

**ФИЛИАЛ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
АВТОНОМНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ**

**«Национальный исследовательский технологический
университет «МИСиС» в г. Алмалык**

(Филиал НИТУ «МИСиС» в г. Алмалык)

КАФЕДРА «ГОРНОЕ ДЕЛО»



**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС
ПО ПРЕДМЕТУ**

«НАДЕЖНОСТЬ ГОРНЫХ МАШИН»

(для студентов направления образования: специалитет
210504 - «Горное дело», профиль: Горные машины и оборудование)

Алмалык-2021 г.

Составил:

к.т.н. Кахаров С.К., доцент кафедры «Горное дело» АФ НИТУ МИСиС

Учебно-методический комплекс
Надежность горных машин

Разработана в соответствии с ОС ВО:

Самостоятельно устанавливаемый образовательный стандарт высшего образования Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» по специальности 21.05.04 ГОРНОЕ ДЕЛО (приказ от 02.12.2020 г. № 602 о.в.)

Составлен на основании учебного плана
21.05.04 ГОРНОЕ ДЕЛО, 21.05.04-СГД-16-9.PLX Горные машины и оборудование, утвержденного Ученым советом ФГАОУ ВО НИТУ "МИСиС"

Учебно-методический комплекс одобрен на заседании кафедры
Кафедра горного оборудования, транспорта и машиностроения

Протокол от 09.06.2020 г., №10

Зав. кафедрой Рахутин Максим Григорьевич

№	СОДЕРЖАНИЕ	
1.	Сборник лекций	5
2.	Методические указания по выполнению практических работ	98
3.	Глоссарий.....	124
4.	Приложения.....	129
5.	Типовая программа.....	130
6.	Рабочая учебная программа	135
7.	Темы рефератов	140
8.	Критерии оценки	141
9.	Вопросы для контроля (ТК, ПК, ИК).....	144
10.	Список литературы	146

**ФИЛИАЛ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
АВТОНОМНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ
«Национальный исследовательский технологический
университет «МИСиС» в г. Алмалык**

СБОРНИК ЛЕКЦИИ
по предмету

«Надежность горных машин»

ВВЕДЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ПРЕДМЕТА

Основной задачей, стоящей перед горнодобывающей промышленностью, является обеспечение прироста добычи полезных ископаемых как открытым, так и подземным способами на основе широкого внедрения прогрессивной технологии и высокоэффективного надежного горнотранспортного оборудования.

Многочисленные аварии на горных предприятиях, вызываемые отказами разного рода технических систем той или иной машиной, практически всегда влекут за собой не только простои дорогостоящего оборудования, убытки для предприятия, а также травмы и гибель обслуживающего персонала.

Отказы систем горного оборудования способны привести не только к дискомфорту работников, но и стать причиной внезапного прекращения сложных технологических процессов на горных предприятиях и, как следствие, больших материальных убытков или катастрофических последствий.

В последние несколько десятков лет ситуация усложнилась в связи с появлением новых и сложных систем, а последствия их отказов стали дорогими как с социальной, так и с экономической точек зрения. По этим причинам возникла необходимость в создании теории, способной решать практические задачи повышения надежности различных технических систем горных машин.

Существенное значение в разработке теоретических и прикладных вопросов надежности имеют труды Ю. К. Беляева, Н. П. Бусленко, Р.А. Ганджумян, Б. В. Васильева, Г. В. Дружинина, И. Н. Коваленко, В. А. Кузнецова, Б. Р. Левина, А. М. Половко, А. Д. Соловьева, А. Л. Райкина и др.

Эффективная работа сложной горной техники во многом зависит от уровня теоретической и практической подготовки специалистов. Магистрант по направлению 5А310705 - Горные машины и оборудование должен знать:

- устройство машин и оборудования, применяемых для ведения горных работ;
- основные тенденции развития горных машин в мире;
- принцип действия различных рабочих органов, трансмиссий и других элементов машин;
- основы теории и расчета рабочих органов машин;
- технико-экономические показатели работы;
- правила эксплуатации ремонта и обслуживания горной техники;
- вопросы обеспечения безопасности работы обслуживающего персонала.

Специалист должен уметь:

- рассчитывать графики технического обслуживания и ремонта основного и вспомогательного горного оборудования ;
- определять параметры работы рабочего инструмента, рабочих органов, скорости движения, а также нагрузки, возникающие в рабочих органах машин;
- выполнять укрупненные расчеты сопротивлений движению рабочих органов;
- определять эксплуатационную вероятностную надежность машин и оборудования.

Цель изучения дисциплины «Надежность горных машин» - приобретение знаний и навыков в применении прикладных методов теории надежности к задачам связанных с расчетом надежности и долговечности горных машин. Эти вопросы пока слабо освещены в учебной литературе.

Теоретическая часть курса закрепляется решением задач, имеющих практическое значение.

Основой для изучения дисциплины являются курсы «Математика», «Теоретические основы электротехники», «Горные машины», «Транспортные машины», «Горная механика».

Лекция №1. ПРЕДМЕТ НАУКИ О НАДЕЖНОСТИ

План занятия:

1. Введение. О науке надежности.
2. Теоретическая база науки о надежности
3. Термины и определения в теории надежности

Одним из важнейших факторов, который необходимо учитывать при расчетах, проектировании и эксплуатации электромеханических систем различного назначения, в том числе машин горных предприятий, является надежность.

Это понятие отражает свойство разнообразных изделий – электро-механических машин, оборудования и др. - сохранять требуемые качественные показатели в течение всего периода эксплуатации.

Наука о надежности изучает закономерности изменения показателей качества технических систем и разрабатывает на этой основе методы обеспечения требуемой или необходимой продолжительности и безотказности их работы.

Исходя из единства подхода к объяснению основных закономерностей, связанных с решением проблемы надежности, в дальнейшем изложении будем применять термины «объекты» и «изделия», имея в виду некоторую совокупность составных частей. Объектом (изделием) может быть электрическая установка или двигатель, аппарат, а также совокупность изделий, объединенных общностью процесса функционирования. В ряде случаев вместо термина «объект» применяют более общий термин «система», которая является совокупностью составных частей или узлов - элементов.

Специфическими вопросами надежности являются:

терминология, определяемая действующей нормативно-технической документацией;

фактор времени, оказывающий влияние на изменение начальных параметров в процессе эксплуатации систем;

прогнозирование поведения параметров систем в процессе эксплуатации, технического обслуживания, хранения и т. д.

Основная трудность оценки надежности систем заключается в разработке таких методов расчета и таких источников информации об изменении их параметров, которые позволили бы прогнозировать их поведение в различных условиях эксплуатации.

Теория надежности электромеханического оборудования является для горного электромеханика одной из важнейших дисциплин, закладывающих основу правильной эксплуатации горного оборудования и проектирования новых образцов. Низкий уровень надежности сказывается на стоимости продукции, временных затратах, а в определенных случаях грозит безопасности отдельных людей и экологии окружающей среды. Проблема надежности стоит в центре современной техники, исследование природы надежности на разных уровнях ее конкретизации делает практически необходимой и теоретически значимой разработку диалектики и методологии современной техники. С ростом технического уровня средств комплексной механизации надежность приобретает все более важное значение среди факторов, влияющих на уровень использования горного оборудования. Так, например, простые очистных забоев, использующих узкозахватные комплексы, из-за выходов из строя элементов комплекса составляют 15-20 % рабочего времени.

В технике решение проблемы надежности связано с развитием теории надежности, которая представляет собой научное направление, базирующееся на методах теории вероятности и математической статистики. Теория надежности позволила выработать действительные научные критерии, ее математический аппарат дает возможность оценивать качество систем их количественными характеристиками.

Развитие теории надежности идет по трем направлениям:

1. Изучение проблемы структуры надежности, связанное с определением общей

надежности сложных устройств при различном соединении элементов и с разработкой методики выбора элементов и узлов аппаратуры и режимов их работы при заданной степени надежности.

2. Определение надежности элементов, связанное с изучением физических свойств элементов.

3. Исследование надежности передачи сигнала в условиях помех, проблема помехоустойчивого кодирования.

Важнейшие технические качества устройства зависят от надежности устройства в целом и от надежности его элементов.

Надежность - это качество системы и в то же время ее количественная оценка. Вероятностный смысл надежности очевиден. Надежность можно оценивать количественно. Но роль математики в теории надежности не сводится только к роли некоего «измерительного инструмента». Она составляет важнейший аналитический аппарат, который с большим успехом применяется для более эффективного планирования испытаний как в процессе конструирования системы, так и при организации процесса эксплуатации.

Теория надежности основывается на вероятностной природе самого феномена надежности. При таком подходе из всех состояний, в которых может находиться та или иная система, выделяется множество таких состояний, которые различаются между собой с точки зрения надежности. Это множество называется фазовым пространством системы. С течением времени в составных частях системы происходят различные изменения, например, связанные со «старением» элементов. Поэтому, если в момент t_1 состояние системы описывается точкой x_1 то в момент $t_2 > t_1$ состояние системы соответствует точке x_2 . При этом может оказаться, что $x_2 \neq x_1$

Если обозначить через $x(t) \in G$ состояние системы в момент времени t , то последующие состояния $x(t)$, зависящие от времени, можно рассматривать как процесс, протекающий во времени. Так как изменение состояний носит случайный характер, то значение $x(t)$ можно рассматривать как траекторию случайного процесса, протекающего в фазовом пространстве состояния системы G . Когда определено фазовое пространство $G = \{x\}$ и в нем задан случайный процесс $x(t)$, описывающий эволюцию системы по времени, то следующим этапом является выбор различных числовых характеристик надежности системы.

Нет элементов абсолютно надежных, т.е. таких, вероятность безотказной работы которых равна единице. Имеет место старение элементов вследствие физической энтропии, поэтому надежность того или иного элемента есть убывающая функция времени, и усилия, направленные на повышение надежности элемента, приводят лишь к замедлению убывания вероятности его безотказной работы.

Академик А.И. Берг так определил круг вопросов теории надежности: «Теория надежности устанавливает закономерности возникновения отказов и восстановления работоспособности системы и ее элементов, рассматривает влияние внешних и внутренних воздействий на процессы в системах, создает основы расчета надежности и предсказания отказов, ищет способы повышения надежности при конструировании и изготовлении систем и их элементов, а также способы сохранения надежности при эксплуатации» (1963).

Основные задачи теории надежности сводятся к следующему:

изучение закономерностей возникновения отказов и восстановление работоспособности изделий;

разработка методов количественного определения и сравнительной оценки надежности;

разработка мероприятий по повышению надежности;

изучение взаимосвязей между внешними воздействиями и процессами, происходящими в изделии.

Ликвидация отказов различных элементов горных машин всегда сопряжена с необходимостью проведения внеплановых ремонтов в периоды рабочих смен и приводит к сокращению времени на выполнение горной машиной ее основных функций. Иногда

ликвидация неисправностей оборудования может быть совмещена с технологическими простоями. Поэтому сокращение затрат времени на ликвидацию отказов горных машин тесно связано с возможностями правильной оценки технического состояния элементов и узлов машины, а также установления оптимальной периодичности технического обслуживания оборудования.

В решении всех этих задач используются методы и инструменты теории надежности.

Теоретическая база науки о надежности

Наука о надежности базируется на результатах фундаментальных исследований в области естественных наук, среди которых особое место занимает математика со всеми ее основными компонентами: языком, моделями и методами.

Языковые средства позволяют формализовать объект и задачи исследования.

Модель изучаемого объекта, если она адекватно отображает его свойства, обеспечивает доступ к накопленным к настоящему времени средствам исследований.

Обобщенный алгоритм решения математической модели (ММ) приведен на рис. 1. Видно, что помимо ее решения с помощью математических методов, важное значение имеет проверка обоснованности принятых допущений. Иными словами, нужно решить - оправдано ли пренебрежение некоторыми факторами, которые сочли второстепенными или не заслуживающими внимания при разработке ММ.

Математические методы предоставляют исследователю обширный набор аналитических результатов, вычислительных процедур и алгоритмов, ускоряющих и облегчающих выполнение поставленных задач.

Основным математическим аппаратом в теории надежности являются: теория вероятностей и методы математической статистики.

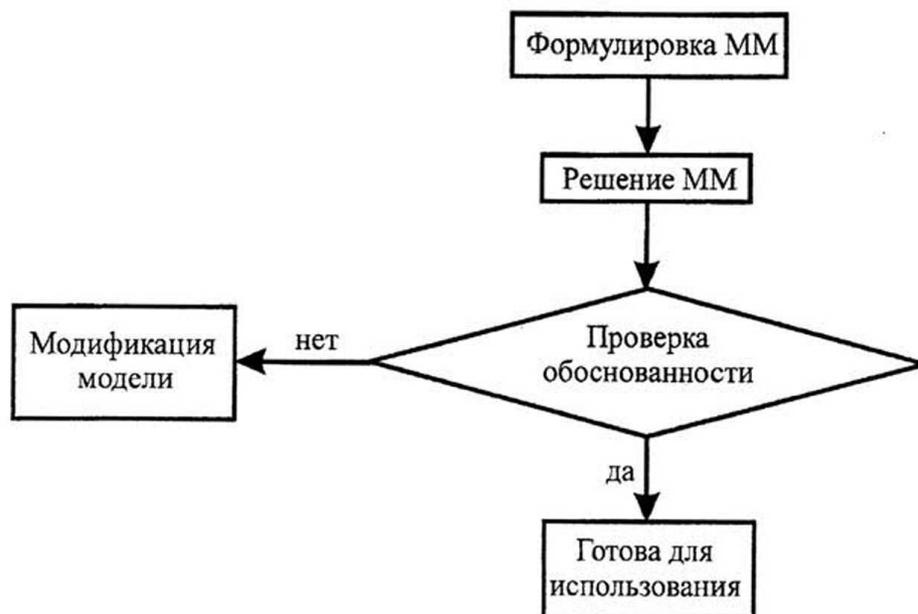


Рис. 1. Обобщенный алгоритм решения математической модели

Однако акад. Б.В. Гнеденко отмечал: «Математика является лишь средством исследования и расчета. Во главе всегда должна быть инженерная проблема и для ее решения должен привлекаться тот научный аппарат, который ближе всего соответствует природе изучаемого явления» [1.1].

Основные задачи теории надежности: установление закономерностей возникновения отказов, изучение влияния внешних и внутренних факторов на надежность, установление числовых характеристик и методов оценки и расчета надежности, разработка методов испытания на надежность, определение методов обеспечения надежности при

проектировании и изготовлении изделий, а также сохранения их основных свойств в процессе транспортирования и при хранении. Эти задачи могут решаться двумя путями [1.2].

Первый путь основан на изучении физико-химических свойств и параметров элементов технических устройств, происходящих в них физико-химических процессов, физической природы и механизма отказов. При этом текущие состояния элементов и систем описываются уравнениями или математическими моделями, отражающими физические закономерности.

Второй путь основан на изучении статистических (вероятностных) закономерностей появления отказов большого числа однотипных систем или изделий. При этом отказы рассматриваются как некоторые отвлеченные случайные события, а многообразные физические состояния элементов и устройств сводятся к двум состояниям - работоспособному (исправному) и неработоспособному (неисправному), которые описываются функциями надежности.

В настоящее время наиболее разработана статистическая (вероятностная) теория надежности. Это объясняется отчасти большой доступностью исследования суммарного влияния многих различных факторов (структуры и свойств материалов, конструкции элементов и устройств, технологических процессов, внешних воздействий и режимов работы) на состояние элементов и устройств.

Особенности разработанных вероятностных методов оценки надежности состоят в том, что получаемые при этом показатели надежности в большинстве случаев можно не связывать с физическими характеристиками как отдельных элементов, так и изделий в целом, и с воздействующими на них факторами. По этой причине эти методы имеют ограниченное применение при проектировании различных систем и изделий особенно тогда, когда повышение надежности за счет резервирования невозможно и единственным путем обеспечения высокой эффективности функционирования системы является высокая надежность составляющих ее компонентов (элементов).

Очевидно, что дальнейшее направление развития теории и техники надежности - это сочетание статистических (вероятностных) методов с проникновением в физическую (физико-химическую) сущность процессов, протекающих в изделиях. Для этого необходимо установить зависимости основных характеристик, определяющих процесс функционирования изделия или системы, от физических свойств и параметров материалов, от физико-химических процессов изменения этих свойств и параметров и от интенсивности эксплуатационных воздействий с учетом случайного характера этих процессов.

Оценка надежности изделий, основанная на данных о физических свойствах материалов, о характеристиках элементов и воздействующих факторах, предполагает использование уже известных статистических (вероятностных) методов, поскольку эти характеристики представляют собой обычно случайные функции времени или случайные величины.

Необходимо отметить, что та часть теории надежности, которая основывается на физике отказов, пока еще не располагает для большинства случаев инженерными методами расчета, особенно изделий машиностроения. Нет даже общей схемы такого расчета, а имеются лишь отдельные виды расчетов, представляющие фрагменты комплексного решения. Такое положение объясняется чрезвычайной сложностью проблемы, поскольку в основе инженерной задачи по определению параметров объекта с учетом износа, коррозии, усталости, снижения механической и электрической прочности и др. лежат разные по физической сущности и характеристике процессы. Сложность задачи усугубляется также и тем, что в процессе эксплуатации на изделия, особенно на электроустановки, действуют многообразные факторы, имеющие вероятностную природу, в результате чего процессы разрушения материалов изделий, приводящие к отказам, также становятся вероятностными. По этим причинам важное значение имеют не только прогностические расчеты надежности, но и прогнозирование потери изделием свойств работоспособности и исправности.

По сложившемуся общему мнению наилучшие результаты дают исследования

математических моделей, отображающих процесс функционирования изделия или системы. Однако формализация таких моделей не всегда возможна. Так, основными характеристиками, определяющими эффективность процесса функционирования электромеханических систем, являются сопротивление изоляции, электрическая и механическая прочность электроизоляционных материалов, их влагостойкость, характеристики окружающей среды, уровень электрических нагрузок, температура нагрева, условия охлаждения и т. п., учесть которые в математической модели практически и теоретически трудно, а порой невозможно.

Термины и определения в теории надежности

Однозначность трактовки и понимания различных положений в любой теории основана на использовании общепринятых терминов. Для этого разрабатываются специальные стандарты, содержащие разъяснения важнейших терминов. Основные термины и определения теории надежности изложены в ГОСТ 27.002-89.

Общие термины

Надежность - свойство объекта выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям использования объекта, ремонта, хранения и транспортирования.

Надежность включает в себя:

безотказность;

долговечность;

ремонтпригодность;

сохраняемость.

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

Долговечность - свойство объекта сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания (ТО) и ремонта.

Ремонтпригодность - свойство объекта, заключающееся в приспособленности к предупреждению и обнаружению причин его отказов, повреждений и устранений их последствий путем проведения ремонта и ТО.

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

Для оценки надежности объекта используют показатели.

Показатель надежности - это количественная характеристика одного или нескольких свойств, составляющих надежность объекта.

Объект - предмет назначения и практической деятельности человека. В теории надежности рассматриваемые объекты определенного целевого назначения являются результатом производственной деятельности человека: изделие, система, элемент.

Изделие расходует свой ресурс, продукт расходуется сам. Изделие рассматривается в периоды проектирования, изготовления, эксплуатации, исследований, испытаний на надежность.

Техническая система является множеством элементов, взаимосвязанных функционально и взаимодействующих друг с другом в процессе выполнения определенного круга задач.

Элемент - простейшая в рамках конкретного рассмотрения составная часть системы.

Понятие система и элемент относительны и трансформируются в зависимости от поставленной задачи.

Наработка - продолжительность или объем работы объекта.

Предельное состояние - состояние объекта, при котором его дальнейшая эксплуатация должна быть прекращена из-за неустраняемых нарушений требований безопасности, или

неустраняемого ухода заданных параметров за установленные пределы, или неустраняемого снижения эффективности эксплуатации ниже допустимой, или необходимости проведения среднего или капитального ремонта. Признаки (критерии) предельного состояния устанавливаются нормативно-технической документацией на данный объект.

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

Работоспособное состояние (работоспособность) - состояние объекта, при котором он способен выполнять заданные функции, сохраняя значение заданных параметров в пределах, установленных НТД.

Неисправное состояние (неисправность) - состояние объекта, при котором он не соответствует хотя бы одному из требований, установленных НТД.

Неработоспособное состояние (неработоспособность) - состояние объекта, при котором значение хотя бы одного из заданных параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, не соответствует требованиям, установленным НТД.

Повреждение - событие, заключающееся в нарушении исправности объекта или его составных частей вследствие влияния внешних воздействий, превышающих уровень, установленный в НТД на объект.

Повреждения могут быть незначительными или значительными. Первое означает нарушение исправности при сохранении работоспособности, второе - отказ объекта.

Отказ - событие, заключающееся в нарушении работоспособности объекта. Признаки (критерии) отказов устанавливаются НТД на данный объект.

Восстанавливаемый объект - объект, работоспособность которого в случае возникновения отказа подлежит восстановлению в рассматриваемой ситуации.

Невосстанавливаемый объект - объект, работоспособность которого в случае возникновения отказа не подлежит восстановлению в рассматриваемой ситуации.

Восстанавливаемый и невосстанавливаемый объекты рассматривают в зависимости от этапа эксплуатации. Например, метеоспутник является восстанавливаемым во время хранения и невосстанавливаемым во время полета.

Лекция №2. ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ГОРНЫХ МАШИН

План

1. Надежность горных машин при конструировании, изготовлении и эксплуатации.
2. Повышение долговечности узлов и элементов

Ряд авторов подразделяют надежность на идеальную, базовую и эксплуатационную.

1. Идеальная надежность - это максимально возможная надежность, достигаемая путем создания совершенной конструкции объекта при абсолютном учете всех условий изготовления и эксплуатации.

2. Базовая надежность - надежность, фактически достигаемая при конструировании, изготовлении и монтаже объекта.

3. Эксплуатационная надежность - действительная надежность объекта в процессе его эксплуатации, обусловленная как качеством проектирования, конструирования, изготовления и монтажа объекта, так и условиями его эксплуатации, технического обслуживания и ремонта.

Наиболее универсальной единицей с точки зрения общей методологии и теории надежности является единица времени. Это обусловлено следующими обстоятельствами.

Во - первых, время эксплуатации технического объекта включает и перерывы, в течение которых суммарная наработка не нарастает, а свойства материалов могут изменяться.

Во - вторых, применение экономико-математических моделей для обоснования назначенного ресурса возможно лишь с использованием назначенного срока службы (срок службы определяется как календарная продолжительность от начала эксплуатации объекта или его возобновления после ремонта определенного вида до перехода в предельное состояние и измеряется в единицах календарного времени).

В - третьих, исчисление ресурса в единицах времени позволяет ставить задачи прогнозирования в наиболее общей форме.

Основной целью анализа надежности и связанной с ней безопасности производственного оборудования и устройств является уменьшение отказов (в первую очередь травмоопасных) и связанных с ними человеческих жертв, экономических потерь и нарушений в окружающей среде.

В настоящее время существует довольно много методов анализа надежности и безопасности. Так наиболее простым и традиционным для надежности является метод структурных схем. При этом объект представляется в виде системы отдельных элементов, для которых возможно и целесообразно определить показатели надежности. Структурные схемы применяются для расчета вероятности отказов при условии, что в каждом элементе одновременно возможен только один отказ. Подобные ограничения вызвали появление других методов анализа.

Метод предварительного анализа опасности определяет опасности для системы и выявляет элементы для определения видов отказов при анализе последствий, а также для построения дерева отказов. Он является первым и необходимым шагом при любом исследовании.

Анализ последствий по видам отказов ориентирован главным образом на аппаратуру и рассматривает все виды отказов по каждому элементу. Недостатки заключаются в больших затратах времени и в том, что часто не учитывается сочетание отказов и человеческого фактора.

Анализ критичности определяет и классифицирует элементы для усовершенствования систем, однако часто не учитывает отказы с общей причиной взаимодействия систем.

Анализ с помощью дерева событий применяется для определения основных последовательностей и альтернативных результатов отказов, но не пригоден при

параллельной последовательности событий и для детального изучения.

Анализ опасностей и работоспособности представляет расширенный вид анализа последствий по видам отказов, который включает причины и последствия изменений основных переменных параметров производства.

Анализ типа «причина-последствие» хорошо демонстрирует последовательные цепи событий, достаточно гибок и насыщен, но слишком громоздкий и трудоемкий.

Наиболее распространенным методом, получившим широкое применение в различных отраслях, является анализ с помощью дерева отказов. Данный анализ четко ориентирован на отыскание отказов и при этом выявляет такие аспекты системы, которые имеют важное значение для рассматриваемых отказов. Одновременно обеспечивается графический, наглядный материал. Наглядность дает специалисту возможность глубоко проникнуть в процесс работы системы и в тоже время позволяет сосредотачиваться на отдельных конкретных ее отказах.

Главное преимущество дерева отказов по сравнению с другими методами заключается в том, что анализ ограничивается выявлением только тех элементов системы и событий, которые приводят к данному конкретному отказу системы. В тоже время построение дерева отказов является определенным видом искусства в науке, поскольку нет аналитиков, которые бы составили два идентичных дерева отказов.

Чтобы отыскать и наглядно представить причинную взаимосвязь с помощью дерева отказов, необходимо использовать элементарные блоки, подразделяющие и связывающие большое число событий.

Таким образом, применяемые в настоящее время методы анализа надежности и безопасности оборудования и устройств, хотя и имеют определенные недостатки, все же позволяют достаточно эффективно определять причины различного рода отказов даже у сравнительно сложных систем. Последнее особенно актуально в связи с большой значимостью проблемы возникновения опасностей, обусловленных недостаточной надежностью технических объектов.

Долговечность машин закладывается при их проектировании и конструировании, обеспечивается в процессе производства и поддерживается в процессе эксплуатации. Таким образом, на долговечность влияют конструкционные, технологические и эксплуатационные факторы, которые по степени своего воздействия позволяют классифицировать долговечность на три вида: требуемую, достигнутую и действительную.

Требуемая долговечность задается техническим заданием на проектирование и определяется достигнутым уровнем развития техники в данной отрасли.

Достигнутая долговечность обуславливается совершенством конструкторских расчетов и технологических процессов изготовления.

Действительная долговечность характеризует фактическую сторону использования машины потребителем.

В большинстве случаев требуемая долговечность больше достигнутой, а последняя больше действительной. В то же время не редки случаи, когда действительная долговечность машин превышает достигнутую. Например, при норме пробега до капитального ремонта (КР), равной 120 тыс. км, некоторые водители при умелой эксплуатации автомобиля достигли пробега без капитального ремонта 400 тыс. км и более.

Действительная долговечность подразделяется на физическую, моральную и технико-экономическую.

Физическая долговечность определяется физическим износом детали, узла, машины до их предельного состояния. Для агрегатов определяющим является физический износ базовых деталей (у двигателя — блок цилиндров, у коробки передач — картер и др.).

Моральная долговечность характеризует срок службы, за пределами которого использование данной машины становится экономически нецелесообразным ввиду появления более производительных новых машин.

Технико-экономическая долговечность определяет срок службы, за пределами

которого проведение ремонтов данной машины становится экономически нецелесообразным.

Основными показателями долговечности машин являются технический ресурс и срок службы.

Технический ресурс есть наработка объекта до начала эксплуатации или ее возобновления после среднего или капитального ремонтов до наступления предельного состояния.

Срок службы — календарная продолжительность эксплуатации объекта от ее начала или возобновления после среднего или капитального ремонтов до наступления предельного состояния.

Эти показатели для конкретных видов машин могут быть выражены в виде средних значений ресурсов и сроков службы отдельно до капитального ремонта, между капитальными ремонтами и до списания машины.

При наличии данных о ресурсе (сроке службы) N объектов статистическая оценка среднего ресурса T_r (среднего срока службы) определяется по формуле

где t_{ri} — ресурс i -го объекта.

Кроме средних ресурсов и сроков службы для оценки долговечности часто применяется гамма-процентный ресурс $T_{r\gamma}$, который представляет собой наработку, в течение которой объект не достигает предельного состояния с заданной вероятностью γ процентов. Заданный процент объектов является регламентированной вероятностью. Если $\gamma=90\%$, то соответствующий ресурс следует называть девяностопроцентным.

Гамма-процентный ресурс определяется из уравнения:

где γ — заданный процент объектов;

$F_r(t)$ — функция распределения ресурса.

Низкая надежность оборудования, как правило, приводит к увеличению эксплуатационных расходов и времени простоя. Кроме того, при недостаточной надежности внезапные отказы частей и деталей вследствие нарушений установленной технологии могут привести к тяжелым авариям, затраты на ликвидацию которых весьма велики. Однако повышение надежности связано с усложнением оборудования и повышением его стоимости. Поэтому необходимо установить некоторую оптимальную надежность, исходя из критерия минимальной стоимости проектирования, изготовления и эксплуатации оборудования. Проектирование и изготовление высоконадежного оборудования требует дополнительных средств. Однако с увеличением надежности уменьшается число отказов, время вынужденного простоя, необходимое количество запасных частей, что позволяет снизить эксплуатационные расходы. Таким образом, с увеличением надежности оборудования растет стоимость проектирования и изготовления, уменьшается стоимость эксплуатации. При этом существует некоторая (оптимальная) надежность, при которой суммарная стоимость проектирования, изготовления и эксплуатации минимальна. Такой оптимальный уровень надежности называется нормой надежности.

Требования повышения безотказной работы оборудования, связанные с обеспечением установленной оптимальной надежности, настолько высоки, что удовлетворить этим требованиям, не прибегая к специальным мерам по повышению его надежности, часто не представляется возможным.

Повышение надежности может быть осуществлено в три этапа — при проектировании, производстве и эксплуатации. Основными методами повышения надежности оборудования являются: резервирование, уменьшение интенсивности отказов оборудования, сокращение времени непрерывной работы и уменьшение среднего времени восстановления.

Резервирование, как средство повышения надежности, наиболее целесообразно применять для повышения надежности оборудования, предназначенного для непрерывной работы в течение короткого времени. Использование резервирования для повышения надежности оборудования, предназначенного для длительной работы, часто связано с высоким резервированием или с применением специальных способов резервирования.

Повышение надежности оборудования путем его резервирования приводит к ухудшению таких характеристик, как масса, габаритные размеры, стоимость, условия обслуживания (увеличение частоты проверок, числа запасных деталей и частей) и поэтому ограничивает пользование этого метода при конструировании бурового и нефтегазопромыслового оборудования.

Уменьшение интенсивности отказов связано с осуществлением комплекса мероприятий по повышению качества и в первую очередь долговечности оборудования.

Долговечность бурового и нефтегазопромыслового оборудования зависит прежде всего от долговечности наиболее ответственных деталей и частей. Задача повышения долговечности должна решаться в трех направлениях: 1) конструкторском — на стадии проектирования, 2) технологическом — при изготовлении, 3) эксплуатационном — в процессе использования, технического обслуживания и ремонта.

При конструировании оборудования решаются главные задачи создания рациональной конструкции машины — упрощение кинематической схемы. Правильный выбор материалов, обеспечение равнопрочности основных деталей в сборочных единицах, обеспечение экономичности и эффективности машины в целом. На стадии конструирования необходимо выбрать такие размеры деталей чтобы обеспечить такие условия их работы, при которых интенсивность изнашивания будет минимальной. В этом случае необходимо принять наиболее выгодные нагрузки и скорости относительного перемещения трущихся поверхностей, предусмотреть наиболее совершенные устройства для смазки, выбрать оптимальные посадки в сопряжениях и т. п.

Для повышения долговечности машины конструктор обязан предусмотреть высокую ремонтпригодность ее основных частей, т. е. обеспечить простоту обслуживания и ремонта машины.

Одна из эффективных мер в этом направлении — максимальная унификация сборочных единиц и деталей, которая дает возможность изготовить машины из типовых сборочных единиц и агрегатов, благодаря чему можно быстро и просто заменить в них изношенные части на местах эксплуатации и отремонтировать в централизованном порядке на хорошо оснащенных специализированных предприятиях. Перспективным направлением в повышении долговечности машин является создание саморегулирующихся и самовосстанавливающихся сборочных единиц и систем. Сущность подобных решений заключается в обеспечении постоянства основных конструктивных параметров сопряжений в процессе работы посредством их автоматической регулировки и подпаладки.

При изготовлении оборудования различные технологические факторы оказывают большое влияние на долговечность деталей и машины в целом. Выбор заготовки, метода обработки и упрочнения рабочих поверхностей деталей, а также качество сборки во многом определяют долговечность сопряжений и надежность частей машины.

Технологические способы повышения долговечности позволяют добиться уменьшения интенсивности изнашивания деталей соответствующей обработкой рабочих поверхностей и их упрочнением.

Эксплуатационные свойства изделий в значительной степени определяются качеством изготовления деталей, характеризующимся в основном геометрическими параметрами, физико-механическими и физико-химическими свойствами рабочих поверхностей.

Исходя из условий эксплуатации, к качеству рабочих поверхностей, точности изготовления деталей и их физико-механическим свойствам предъявляются различные требования.

Перечисленные свойства рабочих поверхностей деталей зависят от применяемого материала и формируются посредством определенных технологических приемов.

Основной задачей технологии машиностроения является разработка технологических процессов, обеспечивающих изготовление деталей машин с наилучшими эксплуатационными свойствами.

К технологическим направлениям повышения долговечности оборудования относятся: подбор оптимальных сочетаний химического состава и структуры материала деталей; применение оптимальных способов формообразования заготовок деталей и термической обработки; выбор оптимальных условий механической обработки; улучшение геометрических параметров рабочих поверхностей деталей; применение упрочняющих способов обработки рабочих поверхностей деталей.

Одним из технологических направлений повышения долговечности машин являются мероприятия по улучшению физико-механических характеристик материалов, используемых для изготовления деталей машин. Основные прочностные характеристики будущих деталей формируются уже на стадии изготовления заготовок этих деталей, посредством литья, обработки давлением и др.

Большое влияние на динамическую прочность материала оказывает способ получения заготовки. Так, пределы колебаний ударной вязкости заготовок из стали Ст. 3, полученных отливкой и ковкой, находятся в диапазоне 2,0 — 20 кгс м/см².

Последующей термической обработкой, например, нормализацией, можно значительно (на 50—100%) повысить некоторые механические характеристики подобных заготовок. Значительное повышение механических свойств заготовок обеспечивается термомеханической обработкой.

Детали оборудования при работе подвергается статическим и динамическим нагрузкам, интенсивному изнашиванию и коррозии. Детали работают в абразивных и коррозионных средах при высоких температурах (-50° ...+50° С).

По мере углубления скважин температура на забое возрастает и основные детали бурового инструмента работают при температуре 200-300° С.

Указанные условия эксплуатации приводят к преждевременному выходу из строя основных деталей бурового и нефтегазопромыслового оборудования и инструмента.

Наблюдения за износом и повреждениями деталей машин в эксплуатации позволяют выделить пять основных видов разрушения деталей:

- 1) деформацию и изломы (хрупкий излом, вязкий излом, остаточная деформация, усталостный излом, контактные усталостные повреждения);
- 2) механический износ (истирание металлических пар, абразивный износ);
- 3) эрозионно-кавитационные повреждения (жидкостная эрозия, кавитация, газовая эрозия);
- 4) коррозионные повреждения (атмосферная коррозия, коррозия в электролитах, газовая коррозия);
- 5) коррозионно-механические повреждения (коррозионная усталость, коррозионное растрескивание, коррозия при трении).

Деформация и изломы возникают при чрезмерном увеличении напряжений в материале детали, превосходящих предел текучести или предел прочности. Деформация материала сопровождается изменением формы и размеров детали.

Механический износ проявляется в результате взаимодействия трущихся пар. В зависимости от характера смазки различают три основных вида трения:

1. Жидкостное трение - трущиеся поверхности тел совершенно отделены друг от друга слоем смазки.
2. Трение при неполной или несовершенной смазке — трущиеся поверхности частично соприкасаются своими выступами; этот вид трения разделяется на три подвида:
 - а) полужидкостное трение, когда слой смазки недостаточно толст и происходит частичное сухое (твердое) трение;
 - б) полусухое трение, когда происходит трение твердых поверхностей, на которых имеется некоторое количество смазки;
 - в) граничное, или молекулярное, трение, когда геометрическая форма трущихся тел

правильная, а обработка поверхностей весьма чистая, в результате чего между трущимися поверхностями образуется молекулярная пленка смазки.

3. Сухое трение — трение металлических поверхностей без смазки.

Наименьший износ трущихся пар, очевидно, наблюдается при жидкостном трении. Износ сопряжений, работающих в условиях жидкостного трения, происходит при пуске машин, перегрузках и применении несоответствующей смазки.

По условиям жидкостного трения рассчитываются подшипники скольжения валов, имеющих большие скорости вращения. Абразивный износ проявляется в подвижных сопряжениях вследствие царапающего и режущего действия твердых абразивных частиц. В результате абразивного износа происходит весьма интенсивное разрушение деталей машин.

Эрозионно-кавитационные повреждения деталей машин и оборудования возникают при действии на металл потоков жидкости или газа, движущихся с большой скоростью. С увеличением твердости поверхности интенсивность разрушения резко снижается.

Коррозия металлов и сплавов представляет собой процесс их разрушения вследствие химического и электрохимического воздействия внешней среды.

Коррозионные повреждения имеют следующие основные особенности:

разрушение металла всегда начинается с поверхности;

внешний вид детали, как правило, меняется;

в результате коррозии металл обычно превращается в окислы или гидраты окислов.

По характеру внешней среды коррозия разделяется на три основных вида: атмосферную, газовую и коррозию в электролитах.

Коррозионно-механические повреждения — это такие повреждения, которые возникают под влиянием коррозии и механических факторов (напряжений, деформаций, трения и др.). Наиболее типичными являются коррозионная усталость, коррозионное растрескивание и коррозия при трении.

Коррозионная усталость представляет собой процесс разрушения металлов и сплавов при одновременном действии коррозионной среды и циклических напряжений. Вследствие коррозии на поверхности детали может возникнуть микроскопический питтинг, вокруг которого концентрируются напряжения, являющиеся причиной образования сетки микротрещин.

Трещины коррозионной усталости, подвергаясь воздействию коррозионной среды, развиваются более интенсивно.

Для повышения долговечности деталей, машин, работающих в условиях коррозионной усталости, необходимо по возможности тщательно изолировать рабочую поверхность детали от коррозионной среды, снижать величину и цикличность напряжений, действующих в поверхностных волокнах металла.

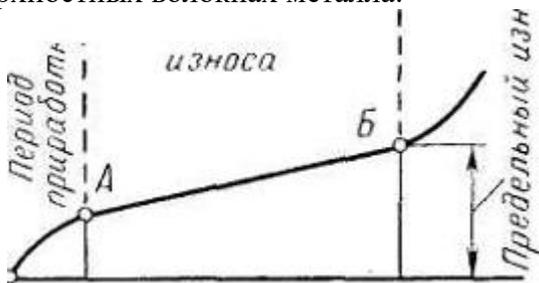


Рисунок 1 График износа трущейся пары

Наиболее распространен механический износ. В работе каждой трущейся пары более или менее четко выделяются три периода:

1) приработка, период естественного износа и аварийный износ (рис.1) Повышение величины износа в период приработки (участок OA) объясняется сглаживанием неровностей сопрягаемых поверхностей до достижения стабильной шероховатости и постоянной площади контакта. Весьма важно соблюдать нормальные условия приработки, так как это позволяет предотвратить преждевременный выход оборудования из строя.

2) естественный износ (участку AB), который характеризуется приблизительно

постоянной скоростью изнашивания.

3) Третий период (участок за точкой Б) характеризуется быстрым износом, увеличением зазора в сопряжении, что приводит к ударам при работе деталей и вызывает повышенные пластические деформации материала. Эта зона износа называется аварийной, а износ, соответствующий на графике точке Б, носит название предельного. Если деталь достигла предельного износа, то она должна быть немедленно заменена новой или восстановлена.

В отличие от предельного износа в ремонтной практике различают допустимый износ, при котором деталь может быть оставлена в машине, если ее предельный износ наступит не раньше следующего ремонта. Существует и выбраковочный износ, который определяют полную непригодность детали к работе и восстановлению. Это относится к деталям, которые работали в зоне аварийного износа.

Нельзя доводить оборудование до аварийного износа. Его следует остановить до того, как износ становится предельным. Этого можно добиться только путем строгого соблюдения графиков профилактических осмотров и ремонтов, в процессе которых получают наиболее достоверные данные о величине износа.

Лекция №3.
ОТКАЗЫ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ
План занятия:

- 1. Виды отказов**
- 2. Классификация отказов**
- 3. Условия эксплуатации электромеханического оборудования горных предприятий**
- 4. Причины отказов электрооборудования**

Отказы и их классификация

Внезапный отказ - отказ, характеризующийся скачкообразным изменением одного или нескольких заданных параметров объекта.

Постепенный отказ - отказ, характеризующийся постепенным изменением одного или нескольких заданных параметров объекта.

Независимый отказ элемента - отказ элемента объекта, не обусловленный повреждением или отказом других элементов.

Зависимый отказ элемента - отказ элемента, обусловленный повреждением или отказом другого элемента объекта.

Сбой - самоустраняющийся отказ, приводящий к кратковременным нарушениям работоспособности.

Перемежающийся отказ - многократно возникающий сбой одного и того же характера.

Конструкционный отказ - отказ, возникающий в результате нарушений установленных правил и (или) норм конструирования и (или) несовершенства методов конструирования.

Производственный отказ - отказ, возникший в результате нарушения установленного процесса изготовления или ремонта объекта.

Эксплуатационный отказ - отказ, возникший в результате нарушения установленных правил и (или) условий эксплуатации или влияния непредусмотренных внешних воздействий.

Полный отказ - отказ, после возникновения которого использование объекта по назначению невозможно до восстановления его работоспособности.

Частичный отказ - отказ, после возникновения которого изделие может быть использовано по назначению, но с меньшей эффективностью.

Причина отказа - явления, процессы, события и состояния, обусловившие возникновение отказа объекта. Возникновение отказа может быть обусловлено ошибками либо низким уровнем проектирования объекта, несоблюдением технологии при производстве, нарушениями правил эксплуатации, различного рода повреждениями, естественными процессами в самом объекте (усталость материала, износ, коррозия и др.).

При проектировании ошибки связаны с неправильным установлением горно-технических условий работы объекта, выбором величины и характера действующих на элементы нагрузок, сочетания материалов взаимодействующих узлов, погрешностью расчетов. В современных условиях значительному сокращению проектных ошибок способствует применение систем автоматизированного проектирования на основе ЭВМ.

Источником отказов из-за некачественного изготовления являются погрешности механической и термической обработки, остаточные напряжения и скрытые дефекты в материале. Количество технологических отказов составляет от 15 до 25 %, продолжительность простоев из-за этих отказов - от 19 до 25 %, а трудоемкость устранения - от 17 до 30 %.

Эксплуатационные отказы имеют наибольший удельный вес, как по количеству, так и по продолжительности и трудоемкости устранения. До 50 % от их общего количества составляют отказы, вызванные горно-техническими причинами. В основном это неожиданные перегрузки машин. Ошибочные отказы связаны с нарушением технических инструкций, правил и норм эксплуатации, низкой профессиональной подготовкой

операторов, несвоевременным обслуживанием и ремонтом оборудования. Соотношения между различными видами отказов приведены в табл.1.1.

Таблица 1.1

Соотношение отказов, %			
Машины	Конструкционный отказ	Производственный отказ	Эксплуатационный отказ
Комплекс КМ-87Д	17	19	64
Комбайн БК-52	12	23	65
Струговая установка УСБ-2М	3	7	90

Режим работы существенно влияет на надежность деталей, узлов машин и комплексов. Режим работы оценивается коэффициентом нагруженности:

$$K_n = P_p / P_d,$$

где P_p - рабочая нагрузка; P_d - предельно допустимая нагрузка.

Признаки отказа указываются в нормативно-технической документации к каждому изделию. Основным признаком отказов и неисправностей является их влияние на выполнение техникоэкономических требований, предъявляемых к оборудованию.

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

Наименее безотказные системы:

энергоснабжение (16-26 % отказов);

пылеподавление (16-24 % отказов);

система связи комбайна с конвейером (13,5-20 % отказов).

На режущую часть, механизм подачи и электрооборудование комбайна приходится от 9 до 25 % всех отказов (табл.1.2).

Таблица 1.2

Удельный вес отказов (простои в процентах от продолжительности смены)

Машина	Очистной комплекс			
	Очистной комбайн	Забойный конвейер	Механизированная крепь	Комплекс в целом
КМ 87Э с комбайном 2К52М	4,3	4,0	1,6	9,9
КМ 87Э с комбайном 1ГШ68	4,2	4,3	2,0	10,5
1 КМД7 с комбайном 1К101	5,1	4,2	1,8	11,1
1 КМ88 с комбайном 1К101	6,3	3,7	2,0	12,0
«Донбасс» с комбайном МК 67	4,1	3,8	2,4	10,3
«Донбасс» с комбайном 1К101	6,0	5,3	2,4	13,7

Принципиальной разницы между внезапными и постепенными отказами нет, так как

внезапные отказы в большинстве случаев являются следствием постепенного, но скрытого от наблюдения изменения параметров, когда факт поломки деталей воспринимают как внезапное событие.

Причинами внезапных и постепенных отказов являются: хрупкое разрушение, пластическая деформация, ползучесть, усталость материалов, изнашивание, коррозия металлов, старение материалов.

Отказы элементов горных машин и комплексов могут быть классифицированы по ряду признаков (табл.1.3).

Таблица 1.3

Классификация отказов

Признак классификации	Вид отказа	Примеры
Характер изменения основных параметров объекта до момента возникновения	Внезапный отказ	Разрыв цепи скребкового конвейера (изменены все параметры) Отказ одного из приводных блоков скребкового конвейера
Характер изменения основных параметров объекта до момента возникновения	Постепенный отказ	Затупление режущего инструмента комбайна, износ бандажей колес электровоза
Возможность последующего использования объекта после возникновения его отказа	Полный отказ Частичный отказ	Разрыв тягового органа конвейера, скреперной установки, толкателя вагонеток, отказ электродвигателя насоса Отказ одного электродвигателя многоприводного конвейера
Связь между отказами	Независимый отказ Зависимый отказ	Выкрашивание твердого сплава в буровой коронке Разрыв тягового органа вследствие его заклинивания Перегорание электродвигателя при отказе одного из контактов пускового устройства
Устойчивость неработоспособности	Устойчивый отказ Самоустраняющийся сбой	Поломка или чрезмерный износ любых деталей Пробуксовка ленты, клиноременной передачи, сбой в ЭВМ
Наличие внешних проявлений отказа	Очевидный (явный) Скрытый (неявный)	Скручивание вала приводного барабана ленточного конвейера Поломка зубчатого колеса радиатора
Причина возникновения отказа	Конструкционный отказ Производственный отказ Эксплуатационный отказ	Ошибка конструктора, несовершенство принятых методов конструирования Ошибка при изготовлении, нарушение технологии, несовершенство технологии Нарушение ПЭ, внешние воздействия, несвойственные нормам эксплуатации
Время возникновения отказа	Отказ при испытании Отказ периода приработки Отказ при нормальной эксплуатации Отказ в конце эксплуатации	Износ и поломка деталей из-за нарушения инструкции по эксплуатации Поломки из-за перегрузки

Анализ и учет факторов, воздействующих на горное оборудование в процессе эксплуатации, являются основой для поддержания уровня надежности, заложенного при

проектировании.

Факторы, влияющие на надежность рудничного электрооборудования

ГОСТ 18311—80 определяет условия эксплуатации электрооборудования как совокупность значений физических величин, являющихся внешними факторами и влияющих на его работу.

К основным воздействующим факторам условий эксплуатации относятся: температура; относительная влажность и запыленность воздуха; перепады температуры; атмосферное давление; скорость воздушной струи; вибрационные и ударные нагрузки; перемещения в процессе эксплуатации.

Условия работы электрооборудования определяются категорией применения электрических аппаратов, качеством напряжения, числом пусков, режимом работы электроустановок и т. п.

Анализ причин выхода из строя электрооборудования, эксплуатирующегося на угольных и рудных шахтах, показал, что климатические и механические факторы, а также условия работы оказывают существенное влияние на его надежность.

В соответствии с ГОСТ и рядом отраслевых нормативных документов условия эксплуатации электрооборудования классифицированы по степеням жесткости. Установлено 15 степеней жесткости по положительной температуре, 9 - по отрицательной, 20 - по вибрационным нагрузкам, 4 - по ударным нагрузкам, 8 - по относительной влажности и т. д.

Высокая надежность и эффективность электрооборудования могут быть обеспечены в том случае, когда принятые в процессе проектирования технические решения (технические параметры,

Конструкция, технология изготовления, виды испытаний) соответствуют строго оговоренным условиям (степеням жесткости) эксплуатации.

В соответствии с этим при разработке учитывается рабочая и предельная температура, влажность воздуха, воздействие капежа, запыленность воздуха, агрессивность среды, скорость воздушной среды, вибрационные и ударные нагрузки и др. Например, средняя годовая рабочая температура (°С) воздуха в шахтах может быть принята: в основных выработках 12; в забоях 15; в камерах подстанций 18.

Рудничное электрооборудование разрабатывается и изготавливается в различных исполнениях: при размещении его на поверхности под навесом (например, У2: климатическое исполнение У, категория размещения 2); в подземных выработках (У5); в районах с холодным климатом: на поверхности под навесом ХЛ2, в подземных выработках ХЛ5.

Наряду с указанными показателями качество напряжения оказывает значительное влияние на показатели надежности электрооборудования. Показателями качества напряжения являются отклонение частоты, отклонение и колебание напряжения, несинусоидальность формы кривой напряжения, колебание частоты, смещение нейтрали и несимметрия напряжения основной частоты.

Условия эксплуатации электромеханического оборудования горных предприятий

Условия эксплуатации принято определять как совокупность внешних факторов (физических величин), которые могут на него влиять в процессе работы. Внешние факторы подразделяют на две группы: климатические и механические.

На подземных горных работ из климатических факторов наибольшее воздействие оказывать влажность, температура, пыль, коррозионно-активные вещества. Из механических факторов - вибрация, резкие толчки и удары, а для выводных концов электрооборудования, кроме того, растягивающая и изгибающая силы, крутящий момент, скручивание, которые возможны при монтаже электрооборудования.

Высокая влажность (до 100%) в подземных выработках угольных и рудных шахт объясняется наличием грунтовых вод, а повышенная температура (по данным МакНИИ, в некоторых выработках она достигает +40С0 даже при кондиционировании) естественным ее

увеличением в связи с положительным градиентом по глубине разработок и (в меньшей степени) тепловыделением от работающего электрооборудования.

Значительна коррозионная активность шахтных вод. Содержание в них катионов и анионов кислот и щелочей, двуокиси углерода, а также других химически активных элементов достигает 50 г на 1 л.

Влажность, температура, пыль, агенты агрессии, плесневые грибки, воздействуя на оболочки и изоляцию электрооборудования, снижают их надежность и, следовательно, приводят к преждевременным его отказам.

При открытой разработке месторождений полезных ископаемых климатических факторов, влияющих на электрооборудование, значительно больше. Кроме более высоких (+45°C и выше) и низких (- 50°C и ниже) температур ее изменений в течение суток (40°C и более) оказывают воздействие такие факторы, как солнечное излучение, ветер, дождь, иней и др.

Выделяют три характерных вида воздействия температуры на работу электрооборудования в карьерах: длительное повышение или понижение; колебание температуры; эпизодическое повышение или понижение. Причина преждевременного отказа электрооборудования при длительном воздействии повышенной температуры - несоответствие выбранной изоляции токоведущих частей степени нагрева. Смены температур и, как следствие, периодический нагрев и охлаждение электрооборудования обусловлены суточными колебаниями и цикличностью работы самого оборудования. Особенно неблагоприятно сказываются смены температур с переходом через ноль при высокой влажности, так как при этом происходит выпадение инея на контактах, примерзание якорей реле и нарушение из-за этого работы систем управления.

При низких температурах (-30°C и ниже) особенно осложняется работа электросетевого оборудования. Например, трансформаторное масло загустевает настолько, что вызывает полные отказы масляных выключателей. Замена их для этих условий на вакуумные – наиболее эффективная мера повышения эксплуатационной надежности.

Неблагоприятно сказывается на работе электрических аппаратов, заполненных трансформаторным маслом, влажность, так как, обладая гигроскопичностью, масло поглощает влагу и теряет свои диэлектрические свойства. В связи с этим, срок замены трансформаторного масла в аппаратах составляет около 3 мес.

Коррозия на открытых работах связана с загрязнением слоя влаги, эпизодические появляющегося на поверхности электрооборудования, различными химическими веществами, оседающими из воздуха. Образующийся при этом электролит интенсивно разрушает элементы электрооборудования.

Существенное влияние на карьерное электрооборудование оказывает солнечная радиация: под солнечными лучами резко ускоряются процессы распада электроизоляционных материалов (полихлорвинил, фторопласт, резина и т.п.), растрескивается и разрушается лакокрасочные покрытия. Дополнительный нагрев поверхностей открыто установленного оборудования прямыми солнечными лучами достигает 30 °С. Такому воздействию подвергаются карьерные высоковольтные приключательные пункты (ПП), располагаемые на рабочих бортах.

От способа разрушения полезного ископаемого (механический, буровзрывной), вида транспорта (электрический, конвейерный, автомобильный), конструкций погрузочно-разгрузочных устройств и сооружений зависит запыленность горных выработок. Наибольшему воздействию пыли на шахтах и карьерах подвергается забойное электрооборудование. Накапливаясь на поверхности токоведущих частей электрооборудования, слой пыли становится электропроводным и по нему обычно происходит пробой. Попадая в электрооборудование, частицы пыли ускоряют абразивный износ его элементов, являются причиной заедания подшипников. Между запыленностью воздуха карьера и наработкой до капитального ремонта электрооборудования существует корреляционная связь, которую необходимо использовать при разработке новых

пыленепроницаемых конструкций электрооборудования.

Механические воздействия (удары, вибрация, растягивающие усилия и т.п.) испытывает электрооборудование – при перемещении большинство машин в процессе работы (очистные и проходческие комбайны, экскаваторы и др.) и периодическом передвижении электроустановок (конвейеры, буровые станки, подстанции, распределительные и переключательные пункты и т.п.).

Переключательные пункты и другое электросетевое оборудование при транспортировании по неподготовленным трассам испытывают значительные вибрационные нагрузки (частота вибраций до 180 Гц, амплитуда 0,2-0,5 мм, ускорение 15g). Вибрационные нагрузки часто вызывают разрушение опорных и проходных изоляторов, отломи тяг и разрегулирование контактных систем, потерю жесткости и прочности сварных конструкций, повреждение приборов, реле защиты и т. п.

Кроме климатических и механических факторов внешней среды состояние электрооборудования сказываются горно-геологические факторы. Это проявляется в характере режимов работы горных машин, совокупность которых наиболее полно отражает условия их работы.

Причины отказов рудничного электрооборудования

Сбор статистических данных в процессе эксплуатации рудничного электрооборудования и его анализ позволяют выявить наиболее характерные причины отказов электродвигателей, пускозащитной аппаратуры, трансформаторов и трансформаторных подстанций, кабелей.

Исследования показали, что наибольшее число отказов у комбайновых двигателей приходится на долю статорной обмотки и вводных коробок, загрязненных угольной пылью, редукторным маслом, подшипниковой смазкой и залитых водой.

В обмотках статора таких электродвигателей основная часть пробоев изоляции секций на корпус приходится на уголки секций вблизи выхода их из паза. Пазовая часть секции из-за электродинамических ударов и термомеханического трения о стенки паза изнашивается сильнее, чем лобовые части. Пробои витковой изоляции отмечаются только в лобовых частях и отсутствуют в пазовой части при любой стадии старения изоляции. Следует отметить, что выплавление алюминиевых обмоток ротора у двигателей ЭДК, например, наблюдается в 2 раза реже, чем у двигателей ЭДКО с более высокой скоростью нарастания температуры.

Появившаяся в процессе эксплуатации несоосность ротора и статора может привести к «затиру» ротора о статор.

Наиболее характерные повреждения подшипников комбайновых электродвигателей при нормальной работе — усталостные повреждения и бринелирование поверхностей качения. Попадание в смазку подшипников угольной и породной пыли, частиц металла приводит к образованию вмятин на поверхности качения. Происходит абразивный износ, постепенно приводящий к усталостному выкрашиванию. Под влиянием температуры и механической нагрузки смазка подшипника постепенно стареет, вязкость ее снижается, что может привести к его биению, заклиниванию и затиру ротора.

У электродвигателей серии ВАО наиболее характерным видом повреждений является обугливание витковой изоляции из-за теплового воздействия. Витковые замыкания характерны для лобовой части обмотки статора со стороны соединения секций. Межфазные и витково-межфазные замыкания происходят в соединениях секций и выводных концах лобовых частей обмоток. Из других характерных повреждений следует отметить корпусные замыкания, заклинивание подшипников, вентилятора о кожух, обрыв сети и т. п.

К основным отказам рудничных взрывобезопасных электрических аппаратов (распредустройства, автоматические выключатели, магнитные станции, пускатели и др.) следует отнести отказы схем дистанционного управления, механизмов свободного расцепления, силовых контактов, отключающих катушек.

Отказы в схемах дистанционного управления вызваны прежде всего отказами отдельных ее элементов из-за влияния жестких условий окружающей среды и низкого качества питающего напряжения. У резисторов и полупроводниковых элементов наблюдается отказ типа обрыв, у конденсаторе — короткое замыкание, у дросселей и стабилизаторов — витковое замыкание. До 95 % отказов наблюдается из-за некачественного соединения или пайки.

Причинами отказов различного рода реле является разрегулировка контактов, образование на их поверхности непроводящей пленки из-за коррозии и загрязнения, сваривание контактов. Для маломощных реле характерны ложные срабатывания под действием ударных и вибрационных нагрузок. Однако основная доля отказов приходится на включающие катушки.

Причиной отказов дросселей, трансформаторов является разрушение изоляции обмоток, происходящее под влиянием повышенной температуры и влажности, вибрационных и ударных нагрузок.

При анализе отказов трансформаторных подстанций и трансформаторов было установлено, что наибольшее число отказов подстанций приходится на автоматические выключатели и блоки защиты БЗП-1А. В указанных аппаратах наиболее характерным является износ контактов, пробой изоляции обмотки ВН на корпус, витковые замыкания обмотки ВН, витковые замыкания отключающей катушки автоматического выключателя. Интенсивность отказов в среднем составляет $13,3 \cdot 10^{-5}$ 1/ч (при наработке на отказ - 7500 ч).

Отказы шахтных гибких кабелей чаще всего происходят из-за механических повреждений изоляции (до 85%). Однако из-за увлажнения изоляции в концевых разделках, соединительных муфтах и счалках наблюдаются также электрические пробой и снижение сопротивления изоляции. Этим объясняется довольно ограниченный срок службы гибких кабелей.

Для бронированных кабелей с бумажной изоляцией характерны отказы из-за пробоя изоляции в проходных и вводных муфтах, из-за механических повреждений в выработках падающими кусками породы, транспортными средствами и при креплении выработок.

Для кабелей напряжением выше 1000 В можно рекомендовать следующие данные по интенсивности отказов (на 100 м), 1/ч: ствольные $\lambda_c = 2,4 \cdot 10^{-5}$; в наклонных выработках $\lambda_n = (6,5 \div 9,0) \cdot 10^{-5}$, в горизонтальных выработках $\lambda_g = (3,7 \div 6,7) \cdot 10^{-5}$.

Для кабелей напряжением до 1000 В данные значительно выше и составляют, 1/ч: для гибких комбайновых $\lambda_k = 58,0 \cdot 10^{-5}$; гибкие в лавах $\lambda_l = 29,2 \cdot 10^{-5}$; гибкие в выработках $\lambda_v = 12,5 \cdot 10^{-5}$; бронированные $10,0 \cdot 10^{-5}$.

Лекция №4

ЭКОНОМИКА И НАДЕЖНОСТЬ. СЛУЧАЙНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ.

План занятия:

1. Взаимосвязь надежности с экономикой
2. Экономическое выражение надежности
3. Случайные величины

Вопрос о влиянии надежности на экономику предприятия или отрасль народного хозяйства будет подробно рассмотрен ниже. Здесь же ограничимся общими замечаниями.

Современный уровень развития техники позволяет достичь практически любых уровней качества и надежности изделий и поэтому затраты являются важным критерием достижения конкретной цели. В некоторых случаях они могут быть настолько велики, что не возместят эффект от повышения надежности и общий результат эксплуатации такой системы будет отрицательным.

Задача состоит в выборе рационального решения, когда затраты на мероприятия по повышению надежности будут соизмеримы или существенно меньше прибыли, получаемой при эксплуатации системы.

При сравнении различных вариантов обычно исходят из условия наибольшего суммарного экономического эффекта с учетом затрат при изготовлении и эксплуатации и положительного экономического эффекта, который дает использование объекта по назначению.

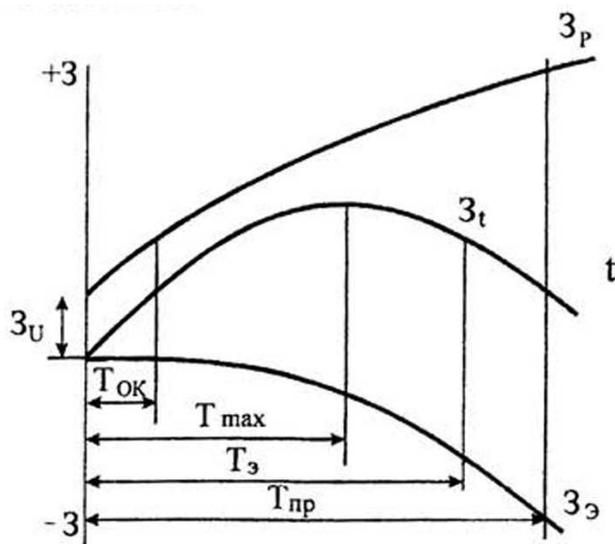


Рис. 2. Изменение во времени экономической эффективности эксплуатации гипотетического изделия

причине кривая суммарной эффективности $3_t = 3_U + 3_Э + 3_P$ имеет максимум и два раза пересекает ось абсцисс t . Через промежуток времени $t = \text{ТОК}$ суммарные затраты уравниваются ($3_P = 3_U + 3_Э$) и объект окупит себя, т. е. возвратит затраты на его изготовление.

Начиная с момента времени $t = \text{ТОК}$ объект будет приносить прибыль. Прирост эффекта будет постепенно снижаться из-за роста эксплуатационных затрат до $t = \text{Tпр}$, когда снова $3_P = 3_U + 3_Э$. При $t > \text{Tпр}$ затраты на эксплуатацию будут больше экономического эффекта, который может обеспечить объект. Экономическая целесообразность эксплуатации находится в промежутке $\text{ТОК} < \text{TЭ} < \text{Tпр}$, где Tпр - предельный срок службы.

Выбор варианта объекта с учетом фактора надежности производят из сравнения затрат на его разработку, изготовление и эксплуатацию с экономическим эффектом, который он может обеспечить.

На рис. 2 показано изменение суммарных затрат на изготовление нового объекта 3_U (первоначальные затраты) и затрат на его эксплуатацию $3_Э$ (включая техническое обслуживание, ремонт и запасные части) в функции времени. Видно, что затраты $3_U + 3_Э$ являются отрицательными в балансе эффективности и возрастают во времени за счет старения отдельных элементов объекта и необходимости вкладывать все больше средств для восстановления утрачиваемых свойств.

В процессе эксплуатации объект дает положительный экономический эффект 3_P - прибыль, которая имеет тенденцию к уменьшению скорости роста за счет увеличения затрат на ремонт и техническое обслуживание (ТО) по мере износа объекта. По этой

В качестве меры эффективности функционирования объекта также рассматривают материальный ущерб, вызываемый перерывами в работе из-за отказов.

Материальный ущерб может проявляться в виде затрат на восстановление работоспособного состояния объекта, в виде увеличения себестоимости выпускаемой продукции или в снижении производительности труда, а также в дополнительных капитальных вложениях.

В некоторых случаях отказы технических систем приводят к нарушениям условий безопасного их применения и тогда последствия могут проявиться в виде пожаров, взрывов и т. п. и даже привести к гибели людей.

Экономическое выражение надежности

Отказы ЭМС приводят к перерывам в работе технологического оборудования, к нарушениям режима электроснабжения и другим фактам, вызывающим материальный ущерб за счет прекращения функционирования основных или всех производственных звеньев предприятия.

Приведенные выше показатели надежности позволяют с определенной степенью точности получить экономическое выражение надежности, т.е. представить материальный ущерб из-за отказов ЭМС в денежном выражении.

Наиболее просто материальный ущерб определяют при отказах восстанавливаемых изделий. Если в эксплуатации в течение времени $T_э$ находилось N однотипных изделий, ВБР $P(T_э)$ которых известна, а стоимость каждого изделия C_i , р., то математическое ожидание убытка $M(Уб)$ без учета затрат на замену отказавших изделий будет

$$M(Уб) = N[1 - P(T_э)]C_i, \quad (35)$$

а математическое ожидание убытков с учетом затрат $C_з$ на приобретение новых изделий для замены отказавших и затрат C_n на собственно замену будет

$$M(Уб)_з = N[1 - P(T_э)](C_i + C_з + C_n). \quad (36)$$

Если известна средняя ИО невосстанавливаемых изделий, то ВБР за время $T_э$ будет $P(T_э) = \exp(-\lambda_{cp}T_э)$.

Из формул (35) и (36) видно, что в данном случае не учитываются длительность простоя и убытки из-за нарушения технологического процесса.

При нарушениях технологического процесса из-за отказов ЭМС возникает убыток $У_п$ из-за потерь продукции в результате снижения объемов ее выпуска и увеличивается себестоимость за счет роста условно-постоянной ее составляющей из-за вынужденных простоев, что выражается в виде убытка $У_{пв}$. Общая величина убытка будет

$$M(У_о) = У_п + У_{пв} = AC(\beta + \gamma - 1), \quad (37)$$

где $\beta = Ц/C$ - отношение цены $Ц$ к себестоимости C единицы продукции; $A = Q_г T_{гр} K_{ив} P_о(Э) K_{ВТС}$.

Здесь $Q_г$ - часовая производительность, ед. ч; $T_{гр}$ - число часов работы в году, ч/год; $K_{ив}$ - коэффициент использования ЭМС по выпуску продукции ($K_{ив} = 0,3 - 0,7$); $P_о(Э)$ - общая вероятность простоя; $K_{ВТС}$ - коэффициент влияния технологических связей на убытки при отказах; γ - доля условно-постоянных расходов в себестоимости продукции.

Вероятность простоя удобно определять по формуле

$$\bar{P}_о(Э) \approx \sum_{i=1}^n \bar{P}_i(Э), \quad (38)$$

где n - число элементов. Здесь вероятность простоя одного элемента определяется по соотношению $P(Э) = \lambda_{cp} t_{a,cp}$, где λ_{cp} - средняя интенсивность отказов элемента; $t_{a,cp}$ - среднее время простоя на отказ, ч.

Формулу (37) удобно использовать для определения убытков при перерывах

электрообеспечения, когда отказ в системе приводит к простоем технологического звена или участка. Данные для расчета приведены в Приложении.

При расчетах ЭМС и систем электрообеспечения (СЭС) на надежность возможны и другие подходы. Один из них основан на определении ожидаемого недоотпуска электроэнергии из-за отказов ЭМС и СЭС.

Если общий ожидаемый расход электроэнергии $\mathcal{E}_{об}$ за некоторый промежуток времени известен, то ее недоотпуск за то же время будет $\Delta\mathcal{E} = \mathcal{E}_{об}\bar{P}_0(\mathcal{E})$. Если стоимость 1 кВт·ч составляет а, р./кВт·ч, то убыток составит $\Delta Z_{ч} = \mathcal{E}_{об}\bar{P}_0(\mathcal{E})$ а, р.

Для экономического обоснования принимаемых технических решений по развитию СЭС важно знать затраты на повышение надежности. Эти затраты определяют путем сопоставления затрат на повышение надежности и экономических убытков от перерывов электрообеспечения.

Случайные величины

Отказы электромеханических систем являются случайными событиями. Промежутки времени между отказами также будут случайными. Такой же характер носят все последствия отказов - потери продукции, длительность простоев и т. п. Таким образом, при изучении всех процессов, связанных с надежностью изделий, объектов или систем, приходится иметь дело со случайными событиями и случайными величинами.

Событие - это свершившийся факт. Случайное событие - это всякий факт, который может произойти или не произойти. В теории вероятностей события разделяют на достоверные, равновероятные, совместные, несовместные, зависимые и независимые [2, 8].

Случайная величина (СВ) - это переменная величина, которая в каждом из n испытаний (наблюдений) может принимать свое значение. Совокупность СВ называют случайной функцией (случайным процессом).

Случайные величины разделяют на дискретные и непрерывные.

Дискретные СВ могут принимать значения, соответствующие натуральному числовому ряду (n человек, d яблок, k изоляторов и т. п.), непрерывные - любые значения на числовой оси (время безотказной работы однотипных элементов, продолжительность их ремонта или восстановления и т. п.).

Для описания СВ необходимо знать вероятность принятия ею различных значений, т. е. закон распределения. Законом распределения СВ называют зависимость между возможными значениями этой величины и соответствующими вероятностями.

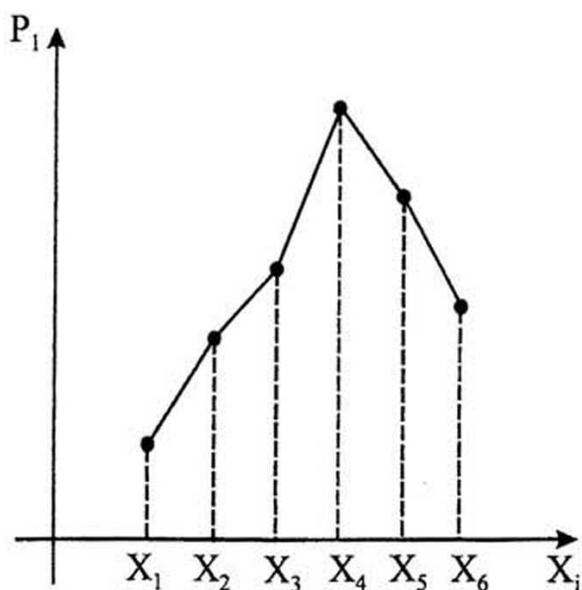


Рис. 3. Многоугольник распределения

Для описания дискретной СВ используют таблицу, которая называется рядом распределения. В верхнем ряду таблицы записывают значения случайных величин, а в нижнем - соответствующие им вероятности появления этих случайных величин. Пример таблицы приведен ниже.

X_1	X_1	X_2	X_3	...
P_1	P_1	P_2	P_3	...

Для наглядности ряд может быть представлен графически. Вершины полученных ординат обычно соединяют отрезками прямых (рис. 3). Полученная фигура носит название многоугольника распределения.

Для непрерывных СВ нельзя составить перечень всех возможных значений, а поэтому

их описание производят с помощью функции распределения. Функцией распределения или интегральным законом распределения СВ X называют задание вероятности выполнения неравенств $X < x$, рассматриваемой как функция аргумента x , т. е. $F(x) = \text{Вер}(X < x)$ или $P(\alpha < x < \beta) = F(\beta) - F(\alpha)$; $F(x) = P(X < x)$. Графическое изображение функции дано на рис. 4.

Основные свойства интегральной функции распределения:

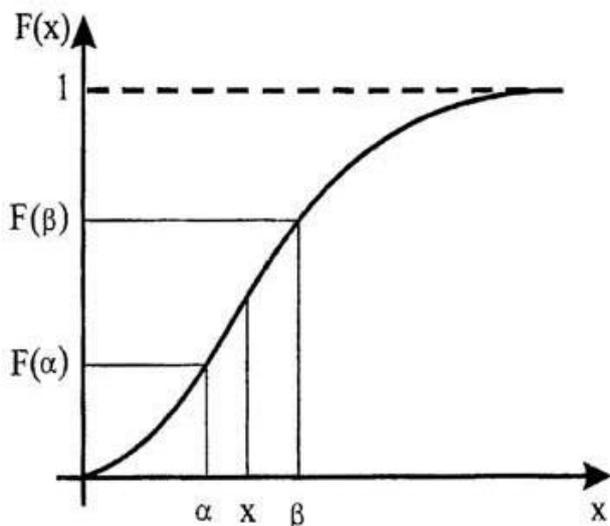


Рис. 4. Функция распределения

функция $F(x)$ заключена в пределах $0 \leq F(x) \leq 1$;

значения $F(0) = 0$; $F(+\infty) = 1$;

вероятность появления события в полузамкнутом интервале равна: $P(\alpha < x < \beta) = F(\beta) - F(\alpha)$.

Функция распределения непрерывной СВ является ее исчерпывающей характеристикой. Недостаток ее состоит в том, что по ней трудно судить о характере распределения СВ в окрестности какой-либо точки числовой оси. Более наглядное представление о характере распределения СВ в окрестностях различных точек дает плотность распределения вероятностей

или дифференциальный закон распределения $f(x)$, причем $f(x) = dF/dx = F'(x)$ (рис. 5).

Важнейшие свойства функции $f(x)$:

интегральная функция

вероятность попадания непрерывной СВ X на участок (α, β) равна интегралу от плотности распределения, взятому по этому участку, т. е.

$$P(\alpha < x < \beta) = \int_{\alpha}^{\beta} f(x) dx ,$$

т. е. заштрихованному участку под кривой на рис. 5.

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(x) dx ;$$

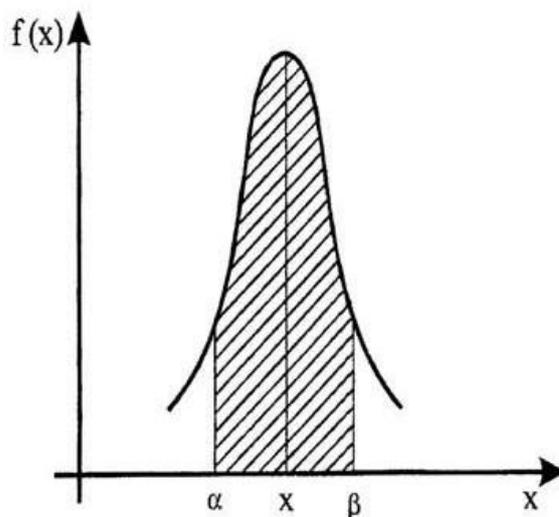


Рис.5. Плотность распределения

Лекция №5

ЧИСЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЛУЧАЙНЫХ ВЕЛИЧИН

План занятия

1. Назначение числовых характеристик
2. Законы распределения дискретных величин

Основное назначение числовых характеристик - выразить наиболее существенные особенности того или иного распределения.

Математическое ожидание $M[X]$ СВ X есть сумма произведений всех возможных значений ее на вероятности этих значений. Для дискретных величин

Математическое ожидание приближенно равно среднему арифметическому:

$$M[X] = m = \sum_{i=1}^{\infty} x_i P_i.$$

$$m^* = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n},$$

где n - число реализаций СВ X .

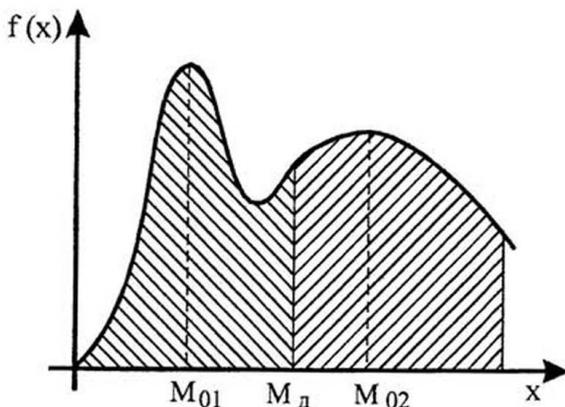


Рис. 6. Двухмодальное распределение

Дисперсия $D[x]$ характеризует рассеяние СВ. Она показывает, насколько тесно сгруппировались случайные величины около центра рассеяния. Дисперсия - это математическое ожидание квадрата отклонения величины x_i от ее математического ожидания m .

Для непрерывной величины

$$D[x] = \sigma^2 = \int_{-\infty}^{+\infty} [(x_i - m)^2] f(x) dx.$$

Часто используют величину, которую

называют среднеквадратическим отклонением и определяют так:

$$\sigma = \sqrt{D[x]}.$$

Мода M_0 СВ есть ее наибольшее случайное значение. На рис. 6 показано двухмодальное непрерывное распределение (моды M_{01} и M_{02}).

Медианой M_d называют такое значение СВ, относительно которого равновероятно получение большего или меньшего значения СВ, т. е. $P(x < M_d) = P(x > M_d)$.

На рис. 6 показаны заштрихованные площади, каждая из которых равна 0,5.

Коэффициент вариации V есть отношение среднеквадратического отклонения к математическому ожиданию, т. е. $V = \sigma/m$.

Законы распределения дискретных величин

Эти законы находят применение в технических приложениях, наибольшее распространение получили биномиальный закон и закон распределения Пуассона.

Биномиальный закон распределения (формулу Бернулли) используют при повторении испытаний. Допустим, что n раз производят независимые опыты; вероятность появления ожидаемого события в каждом опыте постоянна и равна p , а вероятность его неоявления $q = 1-p$. Тогда вероятность появления данного события ровно k раз определяют из

соотношения

$$P_{k,n} = C_n^k p^k (1-p)^{n-k} = \frac{n!}{k!(n-k)!} p^k q^{n-k}.$$

Основные свойства биномиального распределения: область значений - целые положительные числа от 0 до n; вероятность p может иметь любое значение между 0 и +1; при p = 0,5 закон распределения симметричный; n - целое положительное число; математическое ожидание определяют как m = np; а среднеквадратическое отклонение по формуле

$$\sigma = \sqrt{npq}.$$

(6)

Распределение Пуассона встречается в технических задачах о повторных испытаниях, в которых вероятность ожидаемого события мала. Типичными примерами случайной величины, имеющей распределение Пуассона, являются: число вызовов на телефонной станции за время t, число отказов сложной аппаратуры за время t, число атмосферных помех при радиопередачах, число редких компонентов на единицу площади или объема и т. д.

Закон распределения Пуассона интерпретируют следующим образом: требуется найти вероятность $P_n = P(x = n)$ того, что на отрезок длиной t попадет ровно n точек, предполагая, что точки распределяются по всей оси со средней плотностью (рис. 7).

Обозначим эту плотность, т. е. среднее число точек на единицу длины, через λ . Тогда закон Пуассона будет записан так:

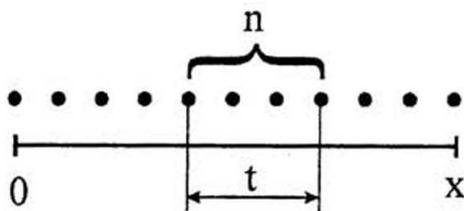


Рис. 7. К определению распределению Пуассона

$$P_n = \frac{(\lambda t)^n}{n!} \exp(-\lambda t).$$

Если обозначить $\lambda t = a$, то

$$P_n = \frac{a^n}{n!} \exp(-a),$$

где a - математическое ожидание.

Свойства распределения Пуассона:

- распределение зависит от одного параметра a, который является математическим ожиданием ($m = a$);
- среднеквадратическое отклонение $\sigma = \sqrt{a}$;
- распределение несимметричное, несимметричность особенно сильно выражена при малых значениях a.

Для дискретных случайных величин функция распределения имеет вид:

$$F(x) = \sum P(X=x_i),$$

где x_i – значения случайной величины; P – вероятности появления данного значения.

Когда текущая переменная x проходит через одно из возможных значений дискретной величины X, функция распределения меняется скачкообразно, причем величина скачка равна вероятности этого значения. Сумма всех возможных скачков функции F(x) равна единице. График функции распределения дискретной случайной величины представляет собой ступенчатую кривую (рис.1.1, б)

В задачах надежности из дискретных распределений наиболее часто используют

биномиальное распределение и распределение Пуассона.

Биномиальным называют закон распределения дискретной случайной величины числа x появления событий K раз в n независимых испытаниях, в каждом из которых вероятность появления событий равна P .

Вероятность того, что событие наступит ровно K раз (без-различно, в какой последовательности) определяется по формуле Бернулли: $P_n(K) = C_n^K p^K q^{n-K}$

$$\text{или } P_n(K) = \frac{n!}{K!(n-K)!} p^K q^{n-K}$$

где $q = 1 - p$ – вероятность не появления события в каждом испытании.

Если число испытаний n велико, а вероятность появления событий P в каждом испытании мала, то используется формула $P_n(K) = \frac{a^K e^{-a}}{K!}$

где $a = nP$ – среднее число (математическое ожидание) событий в n испытаниях.

Распределение дискретной случайной величины X , описываемое последней формулой, называется распределением Пуассона.

Биномиальное распределение имеют, например, отказы восстанавливаемых объектов в течение заданного периода времени.

Пример. На шахте работают шесть конвейеров с турбомуфтами. Вероятность безотказной работы одной турбомуфты в течение четырех месяцев $q = 0,8$. Найти вероятность выхода из строя в течение четырех месяцев нуля, одной, двух, трех и четырех муфт: $P_6(0) = 1 \cdot 0,2^0 \cdot 0,8^6 = 0,262$;

$$P_6(1) = 1 \cdot 0,2^1 \cdot 0,8^5 = \frac{6!}{1!(6-1)!} \cdot 0,2^1 \cdot 0,8^5 = 0,328$$

$$P_6(2) = \frac{6!}{2!(6-2)!} \cdot 0,2^2 \cdot 0,8^4 = 0,245$$

$$P_6(3) = \frac{6!}{3!(6-3)!} \cdot 0,2^3 \cdot 0,8^3 = 0,081$$

$$P_6(4) = \frac{6!}{4!(6-4)!} \cdot 0,2^4 \cdot 0,8^2 = 0,015$$

$$P_6(4) = \frac{6!}{4!(6-4)!} \cdot 0,2^4 \cdot 0,8^2 = 0,015$$

ЗАКОНЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НЕПРЕРЫВНЫХ СЛУЧАЙНЫХ ВЕЛИЧИН

План занятий

1. Закон Гаусса
2. Экспоненциальное распределение
3. Прогнозирование изменения сопротивления изоляции электрооборудования

Для описания непрерывно распределенных СВ применяют нормальный, усеченный нормальный, логарифмически-нормальный, экспоненциальный законы, закон Вейбулла - Гнеденко и другие законы распределения.

Нормальный закон или закон распределения Гаусса (рис. 8) характеризуют плотностью распределения по соотношению

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x_i - m)^2}{2\sigma^2}\right]$$

и функцией распределения

$$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} \exp\left[-\frac{(x_i - m)^2}{2\sigma^2}\right] dx.$$

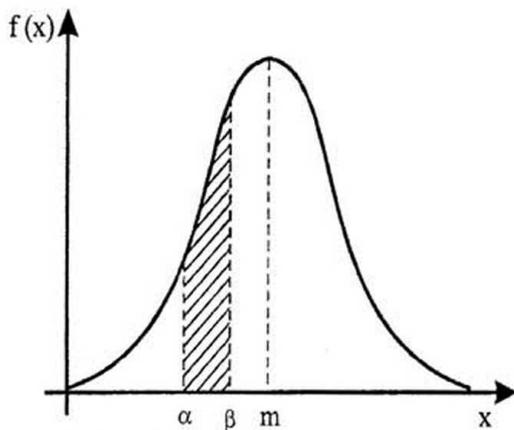


Рис. 8. Кривая плотности нормального закона

интервал, будет

$$P(\alpha < x < \beta) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{\alpha}^{\beta} \exp\left[-\frac{(x_i - m)^2}{2\sigma^2}\right] dx.$$

На рис. 8 эта площадь заштрихована.

При практическом применении НЗ важное значение имеет одна его особенность, которая состоит в том, что вероятности попадания СВ X в интервалы $[(m - \sigma), (m + \sigma)]$, $[(m - 2\sigma), (m + 2\sigma)]$ и $[(m - 3\sigma), (m + 3\sigma)]$ известны и составляют соответственно 0,683, 0,9554 и 0,997. Эту особенность НЗ называют «правилом трех сигм». Оно означает, что 68,3 % значений СВ заключено в интервале $m \pm \sigma$, где m - математическое ожидание, 95,5 % значений - в интервале $m \pm 2\sigma$ и 99,7 % - в интервале $m \pm 3\sigma$, т. е. в пределах $m \pm 3\sigma$ находятся практически все значения рассматриваемой или исследуемой случайной величины. На рис. 9 последовательно показаны вероятности попадания СВ в интервал $m \pm \sigma$

В соотношениях (9) и (10) m - это математическое ожидание, а σ среднеквадратическое отклонение. Нормальный закон (НЗ) широко распространен в технических задачах, да и вообще в природе. Проявляется он во всех случаях, когда СВ X является результатом воздействия большого числа взаимонезависимых СВ, влияние каждой из которых мало (т. е. нет доминирующих СВ).

Основная особенность нормального закона состоит в том, что он является предельным законом, к которому приближаются другие законы распределения.

Вероятность того, что СВ X примет значения, принадлежащие интервалу (α, β) , т. е. попадает в этот

(рис. 9, а), $m \pm 2\sigma$ (рис. 9, б) и $m \pm 3\sigma$ (рис. 9, в).

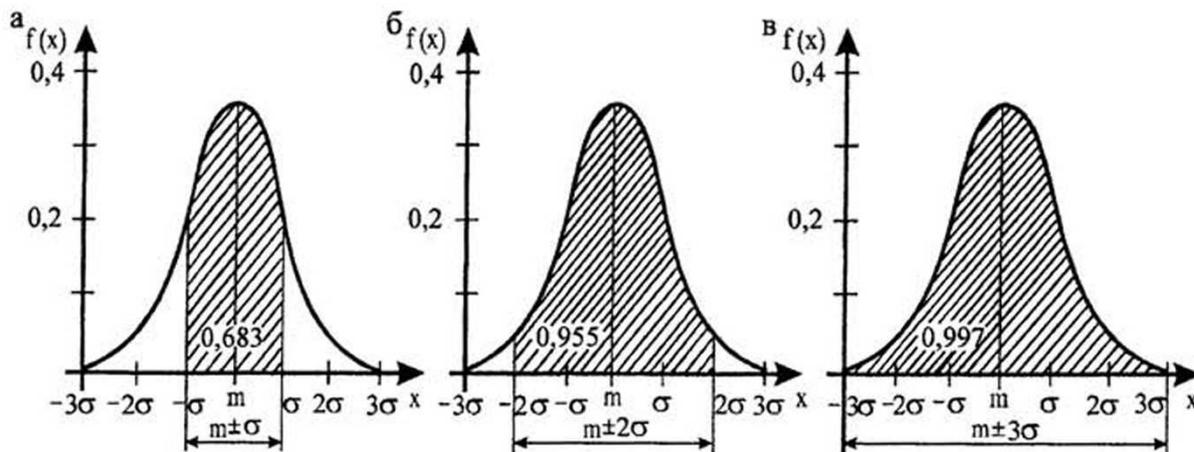


Рис. 9. Вероятность попадания СВ при нормальном распределении (площадь под кривой) в интервалы: а - $(m \pm \sigma)$; б - $(m \pm 2\sigma)$; в - $(m \pm 3\sigma)$

Экспоненциальное распределение (ЭР) имеет плотность распределения:

$$f(x) = \lambda \exp(-\lambda x) = \frac{1}{m} \exp\left(-\frac{x}{m}\right),$$

где λ - параметр распределения; $\lambda = 1/m$; m - математическое ожидание.

Функция распределения:

$$F(x) = 1 - \exp(-\lambda x) = 1 - \exp\left(-\frac{x}{m}\right).$$

Дисперсию СВ получают из соотношения

$$D = 1/\lambda^2,$$

а среднее квадратическое отклонение

$$\sigma(x) = \sigma = \sqrt{D(x)} = \frac{1}{\lambda} = m,$$

т. е. при ЭР среднее квадратическое отклонение равно математическому ожиданию СВ. В прикладных вопросах надежности часто используют функцию $P(x) = 1 - F(x)$, которую называют функцией надежности

С учетом формулы (15) получаем

$$P(x) = \exp(-\lambda x) = \exp(-x/m).$$

На рис. 10 показаны плотность ЭР $f(x)$ и функция надежности $P(x)$.

Одно из важнейших для практического применения свойств ЭР состоит в том, что для случая, когда СВ X равна математическому ожиданию, т. е. $x = m$, функция надежности имеет значение $P(x) = \exp(-m/m) = \exp(-1) = 0,368$, т. е. среднее значение СВ соответствует вероятности появления ее в 38,3 % случаев (рис.

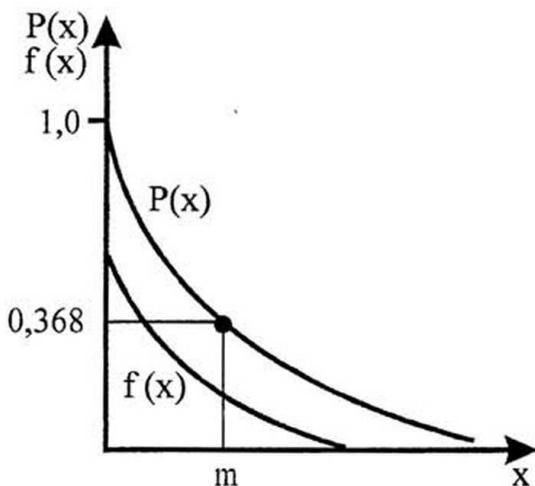


Рис. 10. Плотность ЭР и функция надежности

10).

Заметим, что когда произведение $\lambda x \ll 1$, т. е. когда СВ много меньше ее среднего значения, то соотношения (12), (13) и (16) можно упростить, заменив $\exp(-\lambda x)$ двумя первыми членами разложения в степенной ряд $\exp(-\lambda x)$. При этом выражение (16) примет вид

$$P(x) \approx 1 - \lambda x = 1 - x/m.$$

Получающаяся при этом погрешность не превышает $0,5(\lambda x)^2$.

Распределение Вейбулла - Гнеденко (РВГ) также широко применяют в теории надежности для описания функционирования систем, имеющих период приработки или подверженных износу (старению).

Плотность распределения этого распределения имеет вид:

$$f(x) = abx^{b-1} \exp(-ax^b),$$

а функция распределения:

$$F(x) = 1 - \exp(-ax^b).$$

Это двухпараметрическое распределение, где параметр b определяет вид плотности распределения; параметр a - его масштаб (другое название: b - параметр формы, a - параметр масштаба). Так, при $b < 1$ РВГ может приблизиться к ЭР (рис. 11), а при $b = 1$ совпасть с ним. При $b > 1$ РВГ может приблизиться к НР (рис. 11,б) или выродиться в ЭР.

Кроме рассмотренных выше распределений СВ, получивших широкое распространение в теории надежности, в отдельных случаях могут быть использованы и другие распределения, сведения о которых можно получить из специальной литературы, например [1].

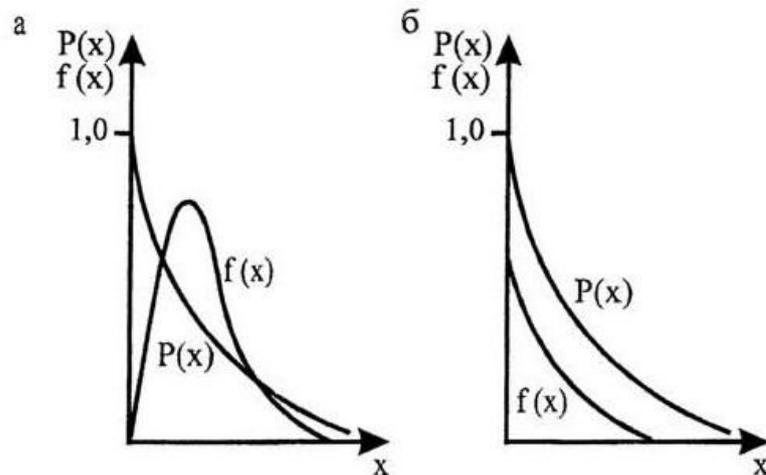


Рис. 11. Распределение Вейбулла – Гнеденко при $b > 1$ (а) и $b < 1$ (б)

С помощью законов распределения СВ в теории надежности чаще всего характеризуют показатели надежности, например, наработку или время безотказной работы, время восстановления и др. Законы распределения в этом случае называют статистическими моделями надежности.

При описании непрерывного распределения часто используют квантили. Квантилем, отвечающим заданному уровню вероятности p , бывает такое значение $x = x_p$, при котором функция распределения принимает значение, равное p , т. е. $F(x_p) = p$. Некоторые квантили имеют особое название. Так, например, медианой распределения MeX называется квантиль,

отвечающий значению $p = 1/2$. Квантили, соответствующие значениям $p = 1/4$ и $p = 3/4$, называют соответственно нижним и верхним квантилями. Если, например, $p_n = 90$, $p_v = 95$, то получаем соответственно 90%-ные и 95%-ные квантили. Указанные квантили являются еще соответственно 10%-ными, 5%-ными верхними точками распределения, а квантили, отвечающие, например, значениям $p = 0,10$, $p = 0,05$, -10%-ными, 5%-ными нижними точками распределения

Пример. Нарботка на отказ турбомуфты скребкового конвейера распределяется нормально с параметрами $a = 500$ ч и $\sigma = 100$ ч.

Определить вероятность безотказной работы для наработки $t_1 = 200$ ч и $t = 700$ ч:

$$Z_1 = \frac{200 - 500}{100} = -3; \quad Z_2 = \frac{700 - 500}{100} = 2$$

$$\Phi(-3) = -\Phi(3) = -0,4987; \quad \Phi(2) = 0,4772;$$

$$P(200) = 1 - F(200) = 1 - (0,5 - 0,4987) = 0,9987;$$

$$P(700) = 1 - F(700) = 1 - (0,5 + 0,4772) = 0,0228.$$

Логарифмически-нормальное распределение наработки имеют многие невосстанавливаемые изделия, например, подшипники качения. При таком распределении логарифм случайной величины x распределен по нормальному закону.

$$\text{Плотность вероятности: } f(x) = \frac{M}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\lg x - \lg a)^2}{2\sigma^2}}$$

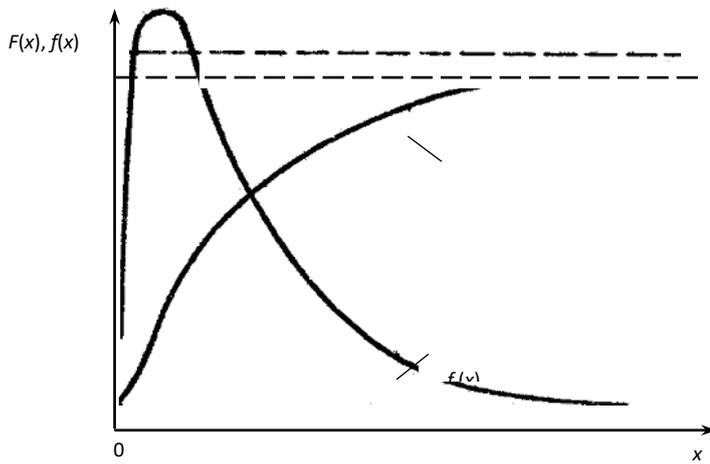


Рис.1.3. Логарифмически-нормальное распределение случайной величины

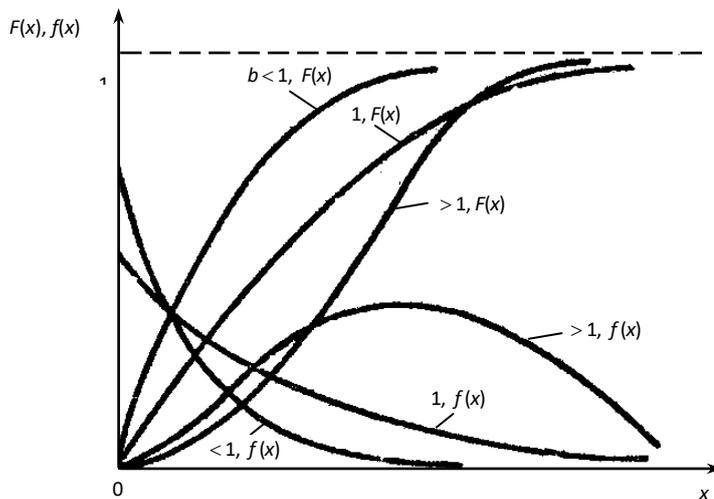


Рис.1.4. Распределение Вейбулла

$$\text{Или } f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\lg x - \lg a)^2}{2\sigma^2}}$$

где $M = 0,43$; σ – среднеквадратичное отклонение логарифма случайной величины.

Область возможных значений x лежит в интервале $(0, +\infty)$. Математическое ожидание и дисперсия случайной величины x при логарифмически-нормальном распределении (рис.1.3):

$$M(x) = e^{\frac{a+\sigma^2}{2}}; \quad D(x) = e^{2a+\sigma^2} (e^{\sigma^2} - 1).$$

Распределение Вейбулла имеют некоторые объекты, у которых отказ наступает вследствие усталостного разрушения, многие полупроводниковые приборы.

Распределение Вейбулла (рис.1.4) имеет функцию распределения

$$F(x) = 1 - e^{-\frac{x^2}{\beta}}; \quad F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{a}\right)^b}$$

и плотность вероятности $f(x) = F(x) = \frac{\alpha}{\beta} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x^\beta}{\beta}}$; $f(x) = \frac{b}{a} \left(\frac{x}{a}\right)^{b-1} e^{-\left(\frac{x}{a}\right)^b}$.

Параметр α оказывает влияние на вид функции распределения и плотность вероятности.

Экспоненциальное распределение. Распределение Вейбулла при $b = 1$ имеет плотность вероятности

$$f(x) = \frac{1}{a} e^{-\frac{x}{a}}$$

и функцию распределения $F(x) = 1 - e^{-\frac{x}{a}}$

Это распределение называется экспоненциальным и имеет особое значение в теории надежности.

Наработка на отказ многих невосстанавливаемых изделий (средств автоматизации и радиоэлектронной аппаратуры и др.), у которых явление износа и старения слабо выражены, распределены экспоненциально.

Вероятность безотказной работы

$$P(t) = 1 - F(t) = e^{-\frac{t}{a}}$$

Интенсивность отказов

$$\lambda(t) = \frac{1}{a} = \text{const}$$

Поэтому плотность вероятности и функцию распределения при экспоненциальном распределении записывают в виде

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$$

Функция распределения $F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$.

Размерность $\lambda[\text{с}^{-1}]$ – количество отказов в единицу времени.

Можно показать, что средняя наработка до отказа $T_0 = 1/\lambda$ и дисперсия $D = 1/\lambda^2$.

Пример. Интенсивность отказов гидронасоса комбайна $\lambda = 0,0006 \text{ ч}^{-1}$. Определить вероятность безотказной работы насоса за 300 ч и среднюю наработку до отказа.

Вероятность безотказной работы за 300 ч

$$P(t) = 1 - F(t) = e^{-0,0006 \cdot 300} = e^{-0,18} = 0,835$$

Средняя наработка до отказа

$$T_0 = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{0,0006} = 1667 \text{ ч.}$$

Вероятность безотказной работы при этом распределении зависит только от длины рассматриваемого интервала времени Δt и не зависит от момента времени τ , с которого начинается отсчет.

Гамма-распределение. Если устройство состоит из одного рабочего и n резервных элементов, каждый из которых включается в работу после отказа предыдущего, то отказ устройства наступит в тот момент, когда выйдет из строя элемент $n + 1$.

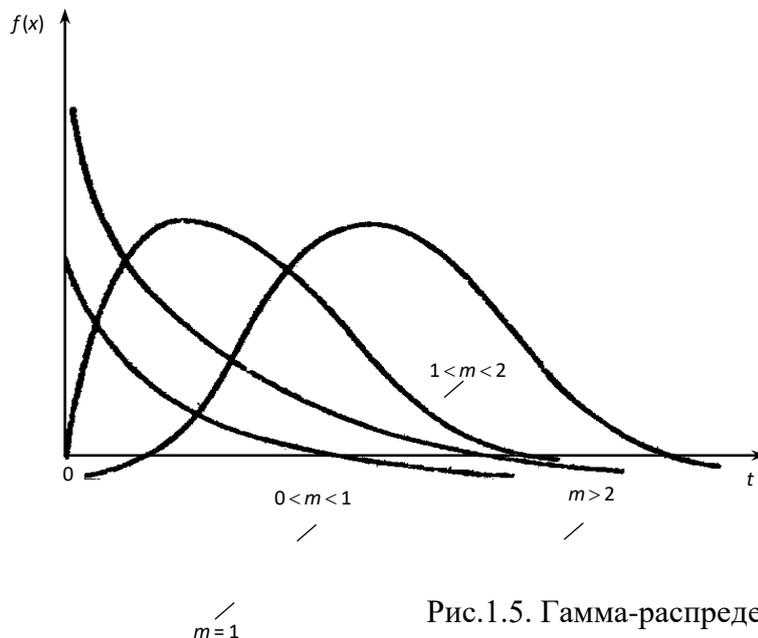
Если все элементы имеют экспоненциальное распределение с интенсивностью отказов λ , то наработка до отказа всего устройства будет иметь γ -распределение с параметрами λ и $m = n + 1$.

Плотность распределения случайной величины (рис.1.5) определяется из выражения

$$f(t) = \frac{1}{\Gamma(m)} \lambda^m t^{m-1} e^{-\lambda t},$$

где Γ – обозначение γ -функции, если m – целое число, то $\Gamma(m) = (m - 1)!$

Гамма-распределение наработки и времени восстановления могут иметь некоторые другие объекты, в этом случае m может быть как целым, так и дробным числом.



При $m = 1$ γ -распределение имеет плотность вероятности

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t},$$

т.е. экспоненциальное распределение является частным случаем γ -распределения.

Математическое ожидание и дисперсия случайной величины, имеющей γ -распределение:

$$M(t) = \frac{m}{\lambda}; \quad D(t) = \frac{m}{\lambda^2}.$$

Лекция №7

ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ

План занятий

1. Показатели долговечности машин
2. Показатели ремонтпригодности
3. Показатели сохраняемости
4. Комплексные показатели надежности

Показатели безотказности восстанавливаемых объектов:

- *вероятность безотказной работы* $P(t)$;
- *параметр потока отказов* $\omega(t)$ – плотность вероятности возникновения отказа восстанавливаемого объекта, определяемая для рассматриваемого момента времени;
- *наработка на отказ* T – отношение наработки восстанавливаемого объекта к математическому ожиданию числа его отказов в течение этой наработки.

Вероятность безотказной работы определяется точно так же, как и для невосстанавливаемых объектов. Однако следует учитывать, что функции распределения наработки между началом эксплуатации и первым отказом, первым и вторым отказом и так далее, могут быть различными. Поэтому вероятность безотказной работы следует определять через соответствующую функцию распределения. При эксплуатации горного оборудования информацию о надежности собирают отдельно для новых и для вышедших из капитального ремонта объектов.

Моменты отказов формируют поток. Характеристикой потока отказов является ведущая функция $\Omega(t)$ – математическое ожидание числа отказов за время t :

$$\Omega(t) = Mn(t).$$

За интервал времени (t_1, t_2)

$$Mn(t_1, t_2) = \Omega(t_2) - \Omega(t_1).$$

Функция

$$\omega(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{Mn(t, t + \Delta t)}{\Delta t} = \Omega'(t).$$

Параметр потока отказов есть среднее количество отказов в единицу времени. Иногда его называют средней частотой отказов.

Наработка на отказ определяется как отношение суммы наработки восстанавливаемых объектов к суммарному числу отказов этих объектов за некоторый период:

$$\hat{T} = \frac{t_p}{n}; \quad \hat{T} = \frac{\sum_{i=1}^N t_{pi}}{\sum_{i=1}^N n_i},$$

где N – число однотипных объектов.

Показатели долговечности

Ресурс – наработка объекта от начала эксплуатации до достижения предельного состояния.

Средний ресурс – математическое ожидание ресурса.

Средний ресурс между средними (капитальными) ремонтами – средний ресурс между смежными средними (капитальными) ремонтами.

Гамма-процентный ресурс – наработка, в течение которой объект не достигнет предельного состояния с заданной вероятностью γ (%). Если, например, $\gamma = 80\%$, то соответствующий ресурс следует называть восьмидесятипроцентным.

В табл.1.5 приведены нормативные значения ресурса для некоторых видов горного оборудования.

Если известна функция распределения ресурса $F_d(t)$, то γ -процентный ресурс определяется из уравнения $1 - F_d(t) = \gamma/100$.

Таблица 1.5

Показатели долговечности оборудования (норматив)

Оборудование	Ресурс, тыс.т (срок службы, мес.)	
	До первого капитального ремонта	Между капитальными ремонтами
Очистные комбайны		
1К101	210 (12)	168 (10)
2К52М	270 (12)	216 (10)
1ГШ68	360 (12)	288 (10)

Окончание табл.1.5

Оборудование	Ресурс, тыс.т (срок службы, мес.)	
	До первого капитального ремонта	Между капитальными ремонтами
КШ1КГ	215 (12)	172 (10)
КШ3М	450 (12)	360 (10)
Скребковые конвейеры		
СП63М	300 (12)	240 (10)
СП130	420 (12)	336 (10)
СП87П	420 (12)	336 (10)
КМ8102БМ	480 (12)	384 (10)
СУОКП70	500 (12)	400 (10)

Показатели ремонтпригодности

Вероятность восстановления в заданное время – вероятность того, что время восстановления работоспособности объекта не превышает заданного.

Среднее время восстановления – математическое ожидание времени восстановления работоспособности.

Математическое определение вероятности восстановления работоспособности объекта:

- вероятностное

$$P_B(t_0) = P(0, t_0) = P\{\theta \leq t_0\} = F_B(t_0),$$

где θ – случайное время восстановления объекта;

- статистическое

$$P_B(t_0) = \frac{n(t_0)}{N(0)},$$

где $n(t_0)$ – количество объектов, ремонт которых закончился к моменту времени t_0 ; $N(0)$ – количество объектов, ремонт которых начат в начальный момент времени $t = 0$.

Таким образом, вероятность восстановления есть частота события, состоящего в том, что реализация времени ремонта объекта меньше t_0 (заданного времени).

Определение среднего времени восстановления:

- вероятностное:

$$T_B = M\{\theta\} = \int_0^{\infty} t f(t) dt = \int_0^{\infty} t dF_B(t) = \int_0^{\infty} [1 - F_B(t)] dt,$$

где T_B – математическое ожидание времени восстановления;

- статистическое:

$$\hat{T}_B = \frac{1}{N(0)} (\theta_B^{(1)} + \theta_B^{(2)} + \dots + \theta_B^{N(0)}) = \frac{1}{N(0)} \sum_{i=1}^{N(0)} \theta^{(i)},$$

где θ_B^i – время восстановления i -го объекта; $N(0)$ – количество восстановленных объектов.

В общем случае случайное время восстановления

$$\theta^i = \tau_{i1} + \tau_{i2} + \tau_{i3} + \tau_{i4},$$

где τ_{i1} – время обнаружения отказа; τ_{i2} – время ремонта (ликвидации отказа); τ_{i3} – время опробования машины после устранения отказа; τ_{i4} – время ожидания ремонта.

Показатель ремонтпригодности T_B , определенный с учетом всех четырех слагаемых, характеризует как приспособленность конструкции для быстрого обнаружения отказов, их ликвидации и опробования после ликвидации отказа, так и уровень организации ремонтной службы, обеспечение рабочей силой, запчастями, т.е. ремонтпригодность в конкретных условиях эксплуатации.

Показатели сохраняемости

Сохраняемость – свойство объекта непрерывно сохранять исправное и работоспособное состояние во время и после хранения и (или) транспортировки. Она характеризуется следующими показателями:

- вероятностью возникновения отказа за время хранения;
- временем хранения на отказ;
- средним сроком сохраняемости;
- гамма-процентным сроком сохраняемости – сроком сохраняемости, который будет достигнут объектом с заданной вероятностью γ (%).

Эти показатели могут быть определены, если известна функция распределения $F_c(t)$ случайной величиной θ_c , где θ_c – случайное время сохраняемости объекта до отказа (между отказами).

Например, вероятность возникновения отказа за время t :

$$P_c(t_0) = P_c(0, t_0) = P\{\theta_c \geq t\} = 1 - F_c(t).$$

Если задаться количеством объектов в процентах (γ), которые сохраняются в течение времени t_c , то срок сохраняемости t_c может быть определен из уравнения

$$1 - F_c(t) = \gamma/100.$$

Если, например, $\gamma = 90\%$, то соответствующий срок сохраняемости следует называть 90-процентным сроком сохраняемости.

Комплексные показатели надежности

Коэффициент готовности – вероятность того, что объект окажется работоспособным в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых использование объекта по назначению не допускается.

Коэффициент технического использования – отношение математического ожидания времени пребывания объекта в работоспособном состоянии за некоторый период эксплуатации к сумме математического ожидания времени пребывания объекта в работоспособном состоянии, времени простоев, обусловленных ТО, и временем ремонта за тот же период эксплуатации.

$$\text{Коэффициент готовности} \quad K_{\Gamma} = \frac{\sum_{i=1}^N \xi_i}{NT_{\text{раб}}},$$

где ξ_i – суммарное время пребывания i -го объекта в работоспособном состоянии, $i = 1, 2, \dots, N$; $T_{\text{раб}}$ – продолжительность эксплуатации, состоящей из последовательно чередующихся периодов работы и восстановления.

При порядке обслуживания, предусматривающем немедленное начало восстановления отказавшего оборудования,

$$K_{\Gamma} = \frac{T_0}{T_0 + T_{\text{в}}},$$

где T_0 – наработка на отказ; $T_{\text{в}}$ – среднее время восстановления.

Из последнего выражения следует, что K_{Γ} характеризует безотказность и ремонтпригодность объекта.

Коэффициент технического использования статистически определяется отношением суммарного времени пребывания наблюдаемых объектов в работоспособном состоянии к

произведению числа наблюдаемых объектов на заданное время эксплуатации: $\hat{K}_{\text{т.и}} = \frac{\sum_{i=1}^N \xi_i}{NT_{\text{экс}}}$

Если заданное время эксплуатации $T_{\text{экс}}$ различно для каждого изделия, то эта формула видоизменится:

$$\hat{K}_{\text{т.и}} = \frac{t_{\text{сум}}}{t_{\text{сум}} + t_{\text{рем}} + t_{\text{обс}}},$$

где $t_{\text{сум}}$ – суммарная наработка всех объектов; $t_{\text{рем}}$ – суммарное время простоев из-за плановых и внеплановых ремонтов всех объектов; $t_{\text{обс}}$ – суммарное время простоев из-за планового и внепланового технического обслуживания всех объектов; время простоя по организационным причинам здесь не учитывается.

В отличие от K_{Γ} , $K_{\text{т.и}}$ учитывает затраты времени на плановое техническое обслуживание и поэтому всегда $K_{\text{т.и}} < K_{\Gamma}$.

Чем больше значения $K_{\text{т.и}}$ и K_{Γ} , тем лучше приспособлен объект для технического обслуживания.

Лекция №8 МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ГОРНЫХ МАШИН

План занятий

1. Формирование надежности при проектировании
2. Формирование надежности при изготовлении объекта
3. Расчет узла из резервированных элементов по вероятностям переходов

Обеспечение надежности машины нельзя рассматривать в отрыве от условий ее эксплуатации. В зависимости от назначения машины требования к надежности могут оказаться различными. В случаях, когда руководствуются не экономическими соображениями, обычно стремятся к максимальной надежности. Там, где на первое место ставятся экономические задачи, оборудование должно иметь оптимальную надежность (рис.2.1).

Надежность формируется и поддерживается на трех этапах жизненного цикла технических объектов: разработки и проектирования, изготовления, эксплуатации.

Формирование надежности при проектировании

К основным методам формирования требуемого уровня надежности горного оборудования на этом этапе относятся:

- выбор рациональных конструктивных, кинематических и технологических схем работы;
- полный учет внешних и внутренних нагрузок;
- применение совершенных методов расчета рабочих параметров;
- резервирование элементов, функций, прочности и мощности;
- анализ показателей надежности;
- выбор методов быстрого и качественного восстановления работоспособности.

Перед расчетом показателей надежности изделия составляется схема расчета. Вначале описывается работа изделия – как оно работает в течение заданного времени, как работают элементы. В результате составляется перечень свойств исправного изделия и диапазон изменения его рабочих параметров. Затем перечисляются и описываются возможные отказы элементов и всего изделия, оценивается влияние отказов каждого из элементов на работоспособность изделия, после чего составляется логическая модель его безотказной работы. Для этого рассматривают поведение изделия при отказе каждого из составляющих элементов.

Уровень надежности определяется и способом соединения или взаимодействия составляющих элементов объекта. В теории надежности различают последовательное, параллельное и смешанное взаимодействия элементов.

Если объект состоит из элементов A , B и C , взаимодействующих последовательно, то он работоспособен при рабочем состоянии каждого из этих элементов. Отказ любого элемента является необходимым и достаточным условием отказа объекта в целом. Вероятность безотказной работы изделия в целом определяется по теореме умножения вероятностей безотказности элементов

$$P = P_A P_B P_C.$$

Отсюда видно, что с увеличением числа последовательно взаимодействующих элементов надежность изделия быстро снижается.

Если изделие состоит из параллельно взаимодействующих элементов и его работоспособность будет обеспечена при сохранении работоспособности хотя бы одного элемента (A , B или C), то вероятность безотказной работы такого изделия определяется по теореме сложения вероятностей.

При большом количестве параллельно взаимодействующих элементов теорема сложения вероятностей дает очень сложную расчетную зависимость. Поэтому удобнее определять вероятность отказа изделия и через нее – вероятность безотказной работы

$$Q = \prod_{i=1}^m q_i,$$

где $q_i = 1 - p_i$ – вероятность отказа i -го элемента, затем $P = 1 - Q$.

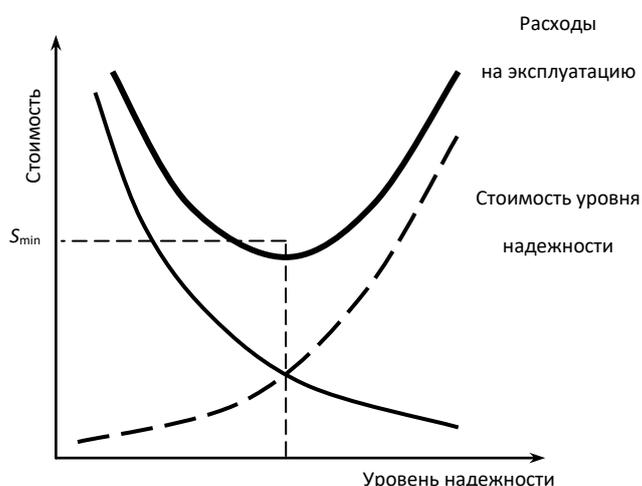
Вероятность безотказной работы изделия при параллельном взаимодействии элементов больше или равна вероятности безотказной работы наиболее надежного элемента. При этом она возрастает с увеличением числа m параллельно взаимодействующих элементов.

При смешанном взаимодействии элементов надежность изделия определяется с использованием зависимостей для последовательного и параллельного взаимодействия.

В теории надежности разработан ряд методов, повышающих надежность систем. Одним из них является создание резервов того или иного вида, повышающих вероятность безотказной работы. Так, например, в систему включают резервные элементы, избыточные по отношению к минимально необходимым для ее работы. Это приводит к более высокой вероятности безотказной работы, чем у одного элемента.

Следует отметить, что введение резервного элемента – не единственный путь повышения надежности. Такой же эффект можно достичь, повышая уровень надежности рабочих элементов системы. Резервируют прочность деталей (запас прочности), мощность машины (запас мощности). Одним из подходов к повышению надежности при проектировании является использование критерия «худшего случая», который предусматривает нормальную работу изделия при сочетании наихудших значений каких-либо факторов во время эксплуатации. Это приводит к запасу устойчивости работы изделия.

Введение в машине избыточности ведет к ухудшению ее весовых, габаритных, стоимостных и других показателей. Существуют математические методы и алгоритмы, позволяющие найти такие проектные решения, которые наилучшим образом удовлетворяли бы различным, зачастую противоречивым, требованиям. С их помощью может быть поставлена и решена задача достижения максимальной вероятности безотказной работы изделия при заданных ограничениях (по стоимости, размерам, массе и др.) или достижения минимального значения одного из показателей при заданном уровне вероятности безотказной работы.



Формирование надежности при изготовлении объекта

На этапе изготовления повышение надежности и долговечности машин достигается применением высококачественных материалов и прогрессивных технологических процессов обработки, совершенной технологией процессов сборки, монтажа и испытаний, строгим соблюдением технологических регламентов. Существенную роль в реализации

намеченного уровня надежности изделия играет обеспечение стабильности размеров и формы деталей, повышение износостойкости и усталостной прочности, качества обработанной поверхности и физико-технических свойств изготовленных деталей. Готовую продукцию принимают заводские ОТК и затем производят заводские и промышленные испытания.

При больших партиях изделий проведение сплошного контроля требует больших расходов. В этом случае контролю подвергаются только некоторые изделия из партии, а сам контроль называется выборочным или статистическим. Для сокращения числа испытаний и их длительности применяются ускоренные испытания. Основная идея ускоренных испытаний на надежность заключается в том, чтобы, не меняя физической сущности процесса изменения надежности, значительно сократить сроки испытаний и, оценив качество изделий, в относительно короткий срок довести их надежность до намеченного уровня. Ускорение испытаний достигается:

- ужесточением нагрузочных режимов или характеристик внешней среды;
- экстраполяцией характеристик случайного процесса появления отказов;
- моделированием процесса износа и старения объекта с помощью различных приборов и аналоговым моделированием.

Результаты ускоренных испытаний должны систематически сопоставляться с результатами эксплуатационных наблюдений.

Восстановление надежности при эксплуатации объекта

Анализ эксплуатационной надежности горных машин показывает, что наиболее существенное влияние на уровень эксплуатационной надежности оказывают правильная организация использования оборудования очистных забоев, обеспечение его запасными частями и частота проведения профилактических работ. Узлы и детали горно-шахтного оборудования показывают разброс наработок до отказа, поэтому большое значение имеет выбор интервалов профилактических замен для различных групп деталей. Замена деталей через период, равный минимальной наработке, экономически не оправдан. Поэтому возникает вопрос о выборе оптимальной периодичности плановых замен деталей. Средняя стоимость профилактических замен элементов очистного комплекса одновременно с перемонтажом комплекса после отработки столба ниже, чем в период отработки столба.

На количество постепенных отказов элементов забойного оборудования существенно влияют величина межремонтного периода и трудоресурс ремонтной смены. Для различных типов забойного оборудования существует предел увеличения среднего срока межремонтного периода за счет увеличения трудового ресурса ремонтной смены. Этот предел зависит от сложности применяемого оборудования. Так для ежедневного проведения профилактических работ вероятность возникновения износных отказов в комплексе КМ-87Д не превышает 0,01, а вероятность их возникновения при одной ремонтной смене в неделю возрастает до 0,61 даже при значительном увеличении трудоресурса ремонтной смены. Рациональные периоды ремонтных работ должны выбираться с учетом сложности и эксплуатационной надежности забойного оборудования.

Оперативное и качественное ведение профилактических работ может быть осуществлено только на базе использования ЭВМ, которые позволят одновременно наблюдать большое количество оборудования, назначать тот или иной вид профилактики и производить контроль за выполненной работой.

Проведение восстановительных работ даже при оптимальной их организации не исключает возможность появления износных и внезапных отказов элементов машин. Поэтому очень важно определять и своевременно поставлять необходимое количество запасных частей для замены отказавших элементов в периоды между проведениями плановых ремонтно-профилактических работ.

Лекция №9

РЕЗЕРВИРОВАНИЕ

План занятий

1. Метод – резервирования
2. Структурные схемы соединений элементов
3. Надежность видов соединений

Резервирование – метод повышения надежности объекта введением избыточности. Избыточность – дополнительные средства и возможности сверх минимально необходимых для выполнения объектом заданных функций.

Избыточность:

наличие избыточных элементов структуры объекта;
использование дополнительного времени сверх минимального;
использование дополнительной информации;
способность элементов выполнять дополнительные функции, кроме непосредственно установленных;
способность элементов выполнять дополнительные нагрузки.

Резервирование – один из способов поддержания уровня надежности оборудования. Показатели надежности зависят от схемы и способов резервирования. Существует понятие «состояние» системы, которое характеризуется работоспособностью одного из элементов и всей системы в целом. Описание состояний системы производится с помощью графов переходов из одного состояния в другое. На основании графов переходов составляются системы дифференциальных уравнений, решение которых позволяют определить вероятность безотказной работы машины при различных вариантах компоновки и резервирования элементов объекта.

Структурные схемы соединений элементов

Различают структурное резервирование общее и раздельное. При общем резервировании резервируется объект в целом. При раздельном резервировании резервируются отдельные элементы объекта (детали, узлы, блоки, агрегаты), схемы и т.д. Часто используется смешанное резервирование.

Раздельное резервирование гораздо эффективнее общего. Эффективность повышается при снижении уровня резервирования, т.е. чем меньшая часть объекта резервируется как единое целое, тем больше $P(t)$ объекта.

Постоянное структурное резервирование – то, при котором резервные элементы функционируют наравне с основными в течение всего времени работы и находятся в одинаковом с ним режиме.

Структурное резервирование замещением – резервирование, при котором функции основного элемента передаются резервному только после отказа основного элемента. Передача функций основного элемента резервному может производиться вручную или автоматически.

Если система состоит из n элементов, из которых один основной и $n-1$ – резервный, то

$$Q(t) = \frac{(\lambda t)^n}{n!} = \frac{q^n}{n!},$$

т.е. вероятность отказа при резервном замещении в $n!$ раз меньше, чем при постоянном резервировании, так как резервные элементы не находятся под нагрузкой. Должна быть обеспечена надежная передача функций резервному элементу.

Рассмотрим эффективность разных способов структурного резервирования. Система

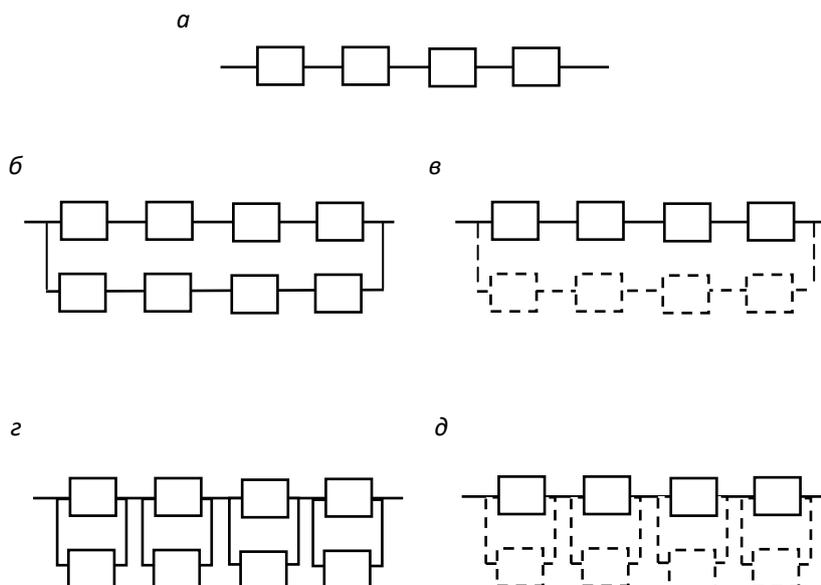


Рис.2.2. Структурные схемы различных видов резервирования: а –

из четырех элементов, соединенных последовательно (рис.2.2, а). Вероятность безотказной работы $P(t) = 0,9$, вероятность отказа $q(t) = 1 - 0,9 = 0,1$,

$$P(t) = P_4(t) = 0,9^4 = 0,66; \quad Q(t) = 1 - P(t) = 1 - 0,66 = 0,34.$$

Общее постоянное резервирование системы (рис.2.2, б):

$$Q(t) = 0,34^2 = 0,12; \quad P(t) = 1 - 0,12 = 0,88.$$

Общее резервирование системы замещением при надежном переключении

(рис.2.2, в):

$$Q_{p.c}(t) = \frac{Q_c^2(t)}{2!} = \frac{0,34^2}{2!} = 0,06;$$

$$P_{p.c}(t) = 1 - Q_{p.c}(t) = 1 - 0,06 = 0,94.$$

Раздельное постоянное резервирование каждого элемента системы (рис.2.2, г):

$$P_{p.c}(t) = [1 - q^2(t)]^4 = (1 - 0,1^2)^4 = 0,96;$$

$$Q_{p.c}(t) = 1 - P_{p.c} = 1 - 0,96 = 0,04 .$$

Раздельное резервирование замещением каждого элемента системы (рис.2.2, д):

$$P_{p.c}(t) = \left[1 - \frac{q^2(t)}{2!}\right]^4 = \left(1 - \frac{0,1^2}{2!}\right)^4 = 0,98;$$

$$Q_{p.c}(t) = 1 - 0,98 = 0,02 .$$

Очевидно, что раздельное резервирование намного эффективнее общего, а резервирование замещением при надежном переключении эффективнее постоянного.

Влияние масштаба резервирования можно оценить следующим образом.

Вероятность безотказной работы одного конвейера P_i . Вероятность безотказной работы (рис.2.2, а) $P_1 = 1 - (1 - P_i)^m$.

Вероятность отказа двух параллельных конвейеров (рис.2.2, б) $(1 - P_i)^m$. Вероятность безотказной работы $P_1 = 1 - (1 - P_i)^m$.

Рассмотрим три группы по два конвейера последовательно соединенные. Тогда вероятность безотказной работы системы (рис.2.2, б) $P_2 = [1 - (1 - P_i)^m]^n$;

при $n = 3, m = 2$ и $P_i = 0,9$:

$$P_1 = 1 - (1 - 0,93)^2 = 0,93; \quad P_2 = [1 - (1 - 0,9)^2]^3 = 0,993 = 0,97.$$

Отсюда видно, что схема на рис.2.2, б надежнее.

Надежность при различных схемах резервирования рассчитывается по следующим формулам.

Общее постоянное резервирование системы (рис.2.2, б)

$$P = 1 - (1 - P_i)^m; \quad P = 1 - (1 - P_i)^2.$$

Общее резервирование системы замещением при надежном подключении (рис.2.2, в)

$$P = 1 - \frac{(1 - P_i)^m}{m!}$$

Общее постоянное резервирование каждого элемента (рис.2.2, г)

$$P = [1 - (1 - P_i)^m]^n.$$

Общее резервирование замещением каждого элемента (рис.2.2, д)

$$P = \left[1 - \frac{(1 - P_i)^m}{m!} \right]^n$$

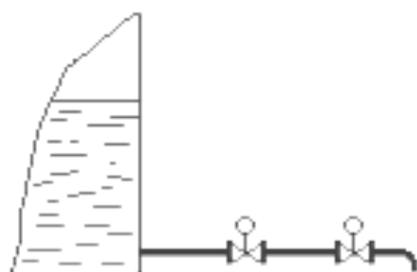
Надежность видов соединений

Расчет надежности изделия, состоящего из ряда элементов, возможен после формирования ее структурной схемы. При этом считают, что элементы изделия взаимодействуют последовательно, если отказ любого из них приводит к отказу всей системы. В этом случае система работоспособна, если работоспособны и элемент А, и элемент Б, и т.д. Союз «и» предопределяет применение теоремы умножения вероятностей. Система находится в состоянии отказа, если отказал или элемент А, или элемент Б, и т.д. В этом случае вероятность отказа определяется по теореме сложения вероятностей отказов элементов.

Элементы изделия взаимодействуют параллельно, если его работоспособность будет обеспечена при сохранении работоспособности хотя бы одного элемента, т.е. работоспособен или А, или Б, и т.д. Вероятность безотказной работы такого изделия определяется по теореме сложения вероятностей для совместных событий. При большом количестве параллельно соединенных элементов использование теоремы сложения вероятностей приводит к весьма громоздкой расчетной зависимости. Поэтому удобнее определять вероятность отказа изделия по теореме умножения вероятностей отказов и уж затем вероятность безотказной работы:

$$P = 1 - Q = 1 - \prod_{i=1}^m q_i = 1 - \prod_{i=1}^m (1 - p_i).$$

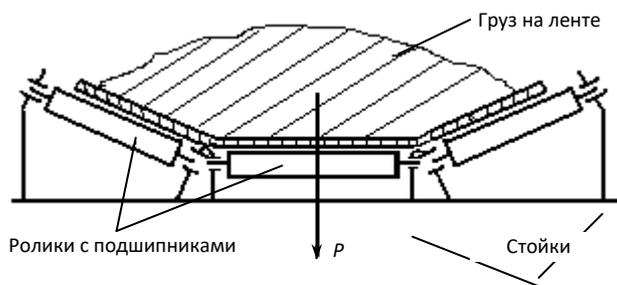
Следует отметить, что понятия параллельного и последовательного взаимодействия



с точки зрения теории надежности не соответствуют соединению элементов в физическом смысле. Например, на сливных линиях из зумпфа фабрики устанавливают по две задвижки, физически соединенные последовательно (рис.2.3). С точки зрения теории надежности эти задвижки взаимодействуют последовательно при открывании слива (нормальное положение задвижек – закрыто) и параллельно при закрывании слива (нормальное положение – открыто).

Таким образом, при формировании структурной схемы взаимодействия элементов любой системы необходим предварительный анализ ее нормальной работы. Для этого рекомендуется использовать инструменты функционального анализа.

Вначале формулируется главная функция изделия, а затем – основные, которые обеспечивают выполнение главной функции и позволяют выделить основные структурные элементы изделия. После этого устанавливается последовательность прохождения важнейшего потока (вещественного или полевого) через структурные элементы. Именно



эта последовательность устанавливает характер взаимодействия элементов – параллельное, последовательное или смешанное. Рассмотрим на примере изложенную методику построения структурной схемы взаимодействия изделия.

Имеется роlikоопора грузовой ветви ленточного конвейера (рис.2.4). Груз лежит на ленте, которая размещена на трех роликах с подшипниками, опирающихся на стойки. Необходимо построить структурную схему

Рис. 2.4 грузовая роlikоопора конвейера.

роlikоопоры. Главная функция роlikоопоры – снизить сопротивление движению ленты с грузом. Основные функции: обеспечить низкий коэффициент трения; поддержание ленты с грузом; желобчатость сечения потока груза.

Первую основную функцию выполняют ролики с подшипниками, вторую – стойки с роliками, третью – комплект роliков. Так как главная функция связана с потоком сил (полевой поток), то необходимо рассматривать последовательность прохождения этим потоком всех элементов изделия. Сопротивления движению создают силы веса груза и ленты. Эти силы от ленты с грузом (элемент надсистемы) проходят последовательно через ролики с подшипниками, стойки, раму конвейерного става (элемент надсистемы). Таким образом, получаем структурную схему роlikоопоры конвейера (рис.2.5).

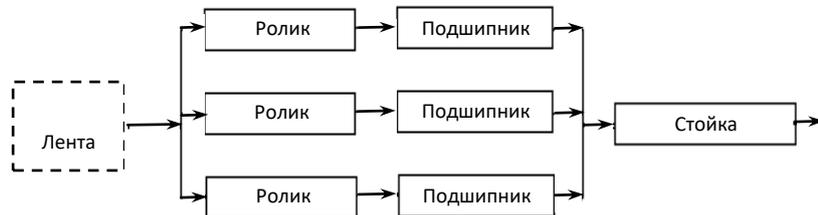


Рис.2.5. Структурная схема роlikоопоры

Структурная схема взаимодействия элементов роlikоопоры имеет смешанный вид. После математического описания в виде уравнения показателя надежности роlikоопоры в зависимости от показателей надежности ее структурных элементов возможен анализ режимов работы роlikоопоры.

Для t последовательно взаимодействующих элементов вероятность безотказной работы определяется по зависимости

$$P = \prod_{i=1}^m p_i,$$

где p_i – вероятность безотказной работы i -го элемента.

Если все элементы имеют одинаковую вероятность p , то $P = p^m$.

Для n параллельно взаимодействующих элементов вероятность отказа i -го элемента $q_i = 1 - p_i$, а вероятность отказа t элементов

$$Q = \prod_{i=1}^n q_i = \prod_{i=1}^n (1 - p_i).$$

Вероятность безотказной работы всего изделия

$$P = 1 - Q = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - p_i).$$

При одинаковых элементах

$$P = 1 - (1 - p)^n.$$

Если изделие состоит из t элементов, взаимодействующих последовательно и образующих p параллельно взаимодействующих цепочек, то вероятность безотказной работы всего изделия

$$P = 1 - \prod_{j=1}^n (1 - \prod_{i=1}^m p_i).$$

При одинаковых элементах

$$P = 1 - (1 - p^m)^n.$$

Лекция №10

РАСЧЕТЫ ВБР ПРИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ И ПАРАЛЛЕЛЬНОМ СОЕДИНЕНИИ ЭЛЕМЕНТОВ

План занятий

1. Расчеты при последовательном соединении элементов
2. Расчеты при параллельном соединении элементов
3. Расчет узла из резервированных элементов по вероятностям переходов

Расчеты при последовательном соединении элементов

Расчеты ЭМС на надежность выполняют для определения показателей безотказности и ремонтпригодности на стадии проектирования или перед проведением испытаний на надежность для сравнения проектных и фактических показателей.

Определение надежности сложных систем производят следующим образом: систему разбивают на составляющие элементы или группы элементов и устанавливают или рассчитывают надежность каждого из них или группы, а затем определяют надежность всей системы. Для этой цели составляют структурную схему. Структурной надежностью системы называют результирующую надежность при заданной структуре (способе соединения элементов) и известных значениях надежности всех входящих в нее элементов или их групп.

Разбивку системы на элементы осуществляют на основе принципа единства функционирования с учетом того, что надежности отдельного узла или группы элементов различаются между собой. При составлении структурной схемы используют два вида соединения элементов - последовательное (основное) и параллельное.

При последовательном соединении элементов отказ системы наступает при отказе любого из элементов. Это напоминает разрыв цепи, составленной из расположенных одно за другим звеньев. Их изображают в виде прямоугольников с указанием показателей надежности (рис. 1).

При последовательном соединении элементов исходят из того, что работоспособное состояние каждого из них - событие независимое. Тогда вероятность работоспособного состояния системы можно определить по теореме умножения вероятностей:

$$P_0(t) = P_1(t)P_2(t) \dots P_n(t), \quad (9)$$

где $P_i(t)$ - ВБР i -го элемента.

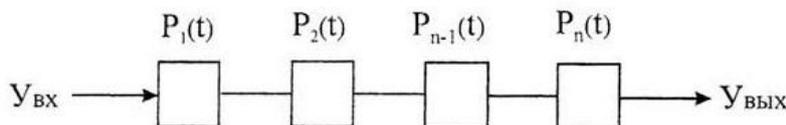


Рис. 1. Последовательное соединение элементов

При экспоненциальном законе распределения наработки каждого из элементов надежность (ВБР) системы будет:

$$P_0(t) = \exp(-\lambda_1 t) \exp(-\lambda_2 t) \dots \exp(-\lambda_n t) = \exp(-\lambda_0 t), \quad (10)$$

где $\lambda_0 = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_n$

или

$$P_0(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t). \quad (11)$$

В некоторых случаях удобно рассчитывать не ВБР системы, а ее наработку, если известны наработки элементов. При этом необходимо учитывать вид и свойства закона распределения наработок отдельных элементов, если они различаются между собой.

Так, если наработки одних элементов распределены по одному закону, а наработки других - по другому, то наработку системы (изделия) определяют из соотношения

$$T = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{T_i}} \quad (12)$$

где T_i - наработка на отказ i -го элемента; n - число элементов.

Для невосстанавливаемых изделий эта формула справедлива только при экспоненциальном законе.

Если элемент невосстанавливаемого изделия имеет наработку на отказ, подчиняющуюся нормальному закону, а наработка на отказ остальных элементов распределена по экспоненциальному закону, то наработку изделия определяют так:

$$T = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{T_i}} \left\{ 1 - \exp \left[-T_j \sum_{i=1}^{n-1} \frac{1}{T_i} + \frac{\sigma_j^2}{2} \left(\sum_{j=1}^{m-1} \frac{1}{T_j} \right)^2 \right] \right\} \quad (13)$$

Когда наработки всех сборочных единиц невосстанавливаемого изделия распределены по закону Вейбулла - Гнеденко с одинаковыми параметрами масштаба ($a_1 = a_2 = a_3 = \dots a_n$) и формы ($b_1 = b_2 = b_3 = \dots b_n$), наработка на отказ изделия равна:

$$T = K_b \frac{n}{b \sqrt[n]{n}} \quad (14)$$

где K_b - гамма-функция величины $1+1/b$.

В остальных случаях различных комбинаций законов наработку на отказ определяют методом приближенных вычислений.

При определении показателей долговечности изделий учитывают те отказы сборных элементов, которые требуют капитального ремонта.

При последовательном соединении элементов для экспоненциального закона показатели надежности изделия:

$$T_i = \frac{TN_i}{A_i}, \quad (15)$$

$$T_i = \frac{P_i(t)A_i}{N_i}, \quad (16)$$

где T, T_i - наработка на отказ изделия и его сборочных элементов (единиц) i -го вида; $P(t), P_i(t)$ - вероятности безотказной работы изделия и его сборочного элемента (единицы) i -го вида; N_i - количество сборочных единиц i -го вида; A_i - доля отказов сборочных единиц i -го вида в общем количестве отказов изделия.

Если для одной сборочной единицы характерно несколько видов отказов, то подсчитывают отдельно показатели надежности для каждого вида отказов, а изделие в целом представляют несколькими последовательно соединенными сборочными элементами, для каждого из которых характерен только один вид отказов.

Расчет при параллельном соединении элементов

Параллельное соединение элементов (рис. 2) применяют при резервировании или дублировании (резервные кабели, ЛЭП для питания потребителей первой категории и др.), а также для обеспечения пропускной способности ЛЭП и т.п.

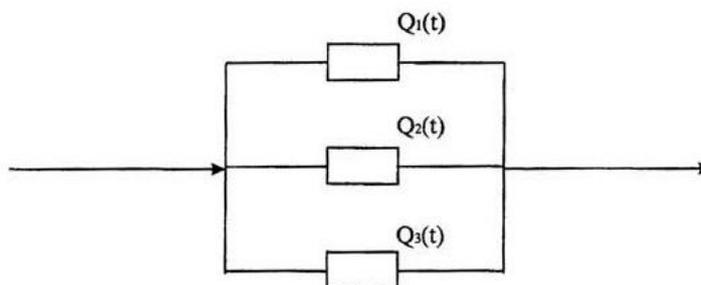


Рис. 2. Параллельное соединение элементов

При параллельном соединении полагают, что независимыми событиями являются неработоспособные состояния элементов, а поэтому оперируют вероятностями отказов $Q(t) = 1 - P(t)$, т.е. отказ является событием, противоположным работоспособному состоянию. Сумма ВБР и вероятности отказа соответствует полной группе событий: $P(t) + Q(t) = 1$.

Результирующая надежность группы из n параллельно соединенных элементов будет:

$$P_0(t) = 1 - Q_0(t) = 1 - \prod_{i=1}^n Q_i(t) \quad (17)$$

где $Q_i(t)$ - вероятность отказа i -го элемента за время t .

В реальных структурных схемах имеет место смешанное или параллельно-последовательное соединение элементов. Примером могут служить системы автоматического управления, радио- и электронные схемы и т.п.

В системах электроснабжения наибольшее распространение получило общее или раздельное резервирование (рис.3).

При общем резервировании имеется несколько (от двух и более) однотипных систем, которые выполняют заданные функции. Вероятность безотказной работы такой системы равна:

$$P(t) = 1 - \left(1 - \prod_{i=1}^n P_i(t) \right)^{k=1} \quad (18)$$

где $k = (n - m) / n$; k - кратность резервирования; n - общее количество систем (элементов), включая резервные; m - количество рабочих систем (элементов), необходимых для нормального функционирования; $(n - m)$ - число резервных элементов.

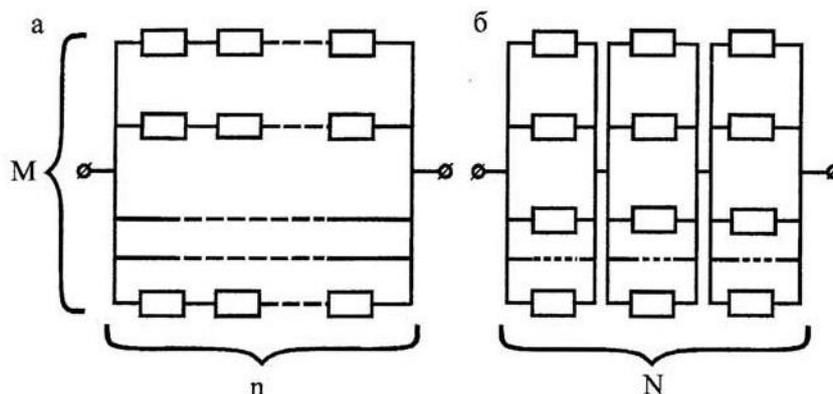


Рис. 3. Общее (а) и раздельное (б) резервирование

На рис. 4 показано изменение вероятности безотказной работы в зависимости от кратности резервирования.

Однако высокая надежность при общем резервировании требует больших затрат, а поэтому может оказаться экономически нецелесообразной. При раздельном резервировании (его иногда называют резервированием с замещением) резервный элемент вводится в работу при необходимости вручную или автоматически. При одинаковой ВБР каждого элемента

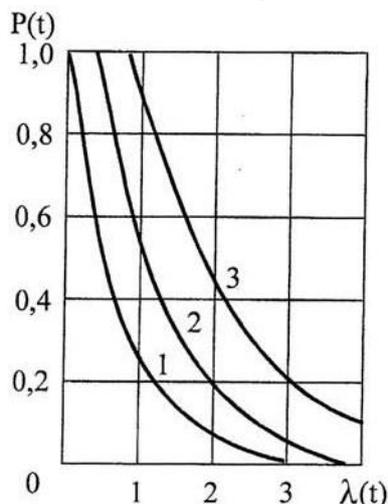


Рис. 4. Зависимость $P(t)$ от кратности резервирования: 1 - при $K = 0/1$ (нерезервированная система); 2 - $K = 2/2$; 3 - при $K = 3/1$.

надежность группы рассчитывают по формуле

$$P_{гр}(t) = 1 - [1 - P(t)]^M, \quad (19)$$

где M - число параллельных цепей.

Надежность всей системы

$$P_{гр}(t) = \{1 - [1 - P(t)]^M\}^N = \{1 - [1 - Q_{гр}(t)]^M\}^N, \quad (20)$$

В более сложных случаях при расчете структурной надежности удобно применять следующий алгоритм: рассчитывают надежность цепочки (если есть последовательно соединенные элементы), затем надежность нескольких групп (параллельное соединение), затем надежность подсистемы (группы, соединенные параллельно) и так далее от простого к более сложному и, наконец, к результирующей надежности.

В случае, если отказавший элемент восстанавливается сразу же (на месте), то надежность резервируемой системы возрастает. Нарботку системы, в которой

восстанавливаемый после отказа элемент переводится в резерв, можно определить по формуле

$$T_{об} = \frac{T^2}{2T_r}, \quad (21)$$

где $T_{об}$ - время восстановления; T - наработка до отказа одного элемента.

При параллельном соединении с целью увеличения пропускной способности линий имеем последовательное соединение элементов, и расчет такой системы проводится по аналогии с изложенным выше.

Расчет узла из резервированных элементов по вероятностям переходов

Расчеты по формулам (19), (20) и (21) обычно дают приближенные, иногда существенно завышенные результаты. Для точных расчетов удобно воспользоваться однородными дифференциальными уравнениями вероятностных переходов (дифференциальными уравнениями Колмогорова). Пусть имеются два элемента, взаимно резервирующих друг друга, один из которых находится в работе, а другой - в резерве. Это могут быть две линии электропередачи W_1 и W_2 , показанные на рис. 5, а. При отказе рабочего элемента (например, W_1) в работу вводится резервный (W_2) и если за время восстановления отказавшего он не откажет, то узел работает нормально. Если же за это время произойдет отказ, то узел в целом находится в неработоспособном состоянии. Такое резервирование носит название активного (горячего) резерва.

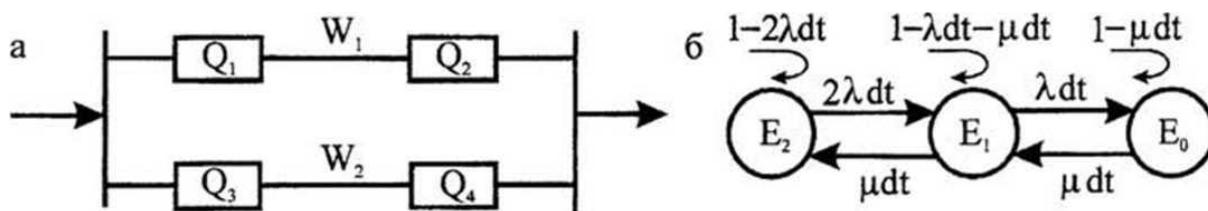


Рис. 5. Схема включения активного резерва (а) и граф переходов (б)

Граф переходов такой системы показан на рис.5, а и 5, б. На рис.5, б состояния E_1 , E_2 и E_0 означают: E_2 - оба элемента работоспособны; E_1 , - один из элементов работает нормально, а другой отказал и восстанавливается; E_0 - оба элемента в неработоспособном состоянии и один из них восстанавливается.

Правило составления дифференциальных уравнений изложено выше [п.2.5].

Здесь же необходимо принять во внимание, что из состояния E_2 под воздействием интенсивности отказов 2λ система за время dt переходит в состояние E_1 , Двойная интенсивность отказов принимается в связи с тем, что имеем два элемента и любой из них может отказаться. Под воздействием потока восстановлений μ система снова переходит в состояние E_2 . Система дифференциальных уравнений

$$\left. \begin{aligned} \frac{dP_2(t)}{dt} &= 2\lambda P_2(t) + \mu P_1(t), \\ \frac{dP_1(t)}{dt} &= 2\lambda P_2(t) + \mu P_0(t) - (\lambda + \mu)P_1(t), \\ \frac{dP_0(t)}{dt} &= \lambda P_1(t) - \mu P_0(t). \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

Состояния E_2 , E_1 и E_0 образуют полную группу событий, т. е. $P_2(t) + P_1(t) + P_0(t) = 1$, а поэтому начальные условия будут $P_2(0) = 1$; $P_1(0) = 0$; $P_0(0)=0$.

Уравнения системы (22) решаются с помощью преобразования Лапласа. Вероятность состояния E0 (оба элемента отказали):

$$P_0(t) = \frac{2\lambda^2}{(\lambda + \mu)^2 + \lambda^2} \left[1 + \frac{1}{\sqrt{\lambda^2 + 4\lambda\mu}} (S_2 \exp S_1 t - S_1 \exp S_2) \right], \quad (23)$$

где

$$S_1 = -\frac{3\lambda + 2\mu - \sqrt{\lambda^2 + 4\lambda\mu}}{2}, \quad S_2 = -\frac{3\lambda + 2\mu + \sqrt{\lambda^2 + 4\lambda\mu}}{2}, \quad (24)$$

Вероятность работоспособного состояния узла $P_\Sigma(1) = 1 - P_0(t)$. При $t \rightarrow \infty$ процесс переходов стабилизируется и вероятность $P_\Sigma(t)$ перестает зависеть от времени, и тогда имеем

$$P_\Sigma(\infty) = K_r = 1 - \frac{2\lambda^2}{(\lambda + \mu)^2 + \lambda^2} = \frac{(\lambda + \mu)^2 - \lambda^2}{(\lambda + \mu)^2 + \lambda^2} \quad (25)$$

Пример пассивного (холодного) резервирования приведен на рис.6, а. Здесь показано, что линия W1 находится под нагрузкой, а линия W2 - в резерве (выключатели Q3 и Q4 выключены). Граф переходов показан на рис. 6, б.

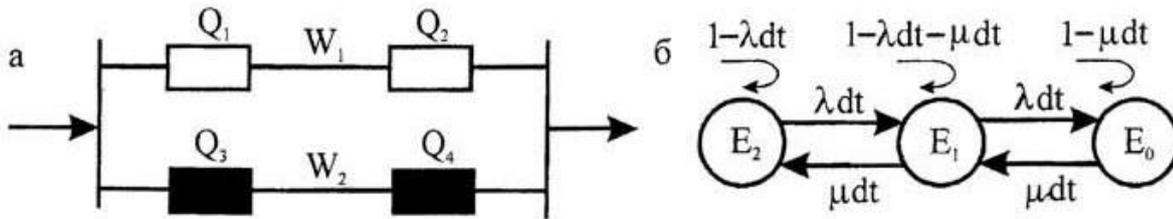


Рис. 6. Схема пассивного (холодного) включения резерва (а) и граф переходов(б)

Дифференциальные уравнения Колмогорова:

$$\begin{aligned} \frac{dP_2(t)}{dt} &= -\lambda P_2(t) + \mu P_1(t), \\ \frac{dP_1(t)}{dt} &= \lambda P_2(t) - (\lambda + \mu) P_1(t) + \mu P_0(t), \\ \frac{dP_0(t)}{dt} &= \lambda P_1(t) - \mu P_0(t). \end{aligned} \quad (26)$$

При тех же начальных условиях решение для $P_0(t)$ имеет вид

$$P_0(t) = \frac{\lambda^2}{(\lambda + \mu)^2 - \lambda\mu} \left[1 + \frac{1}{2\sqrt{\lambda\mu}} (S_2 \exp S_1 t - S_1 \exp S_2) \right], \quad (27)$$

где

$$S_1 = -(\lambda + \mu - \sqrt{\lambda\mu}), \quad S_2 = -(\lambda + \mu + \sqrt{\lambda\mu}). \quad (28)$$

Вероятность работоспособного состояния $\pi(t) = 1 - P_0(t)$.

При $t \rightarrow \infty$ коэффициент готовности

$$\pi(\infty) = K_r = 1 - \frac{\lambda^2}{(\lambda + \mu)^2 - \lambda\mu} = \frac{(\lambda + \mu)\mu}{\lambda^2 + \lambda\mu + \mu^2}. \quad (29)$$

Для определения ВБР и средней наработки графы состояний изменятся. Они приведены на рис. 7, а и б.

При начальных условиях $P_2(0) = 1, P_1(0) = 0, P_0(0) = 0$ можно получить ВБР в виде известного соотношения $P(t) = \exp[-t/T_{ср}]$,

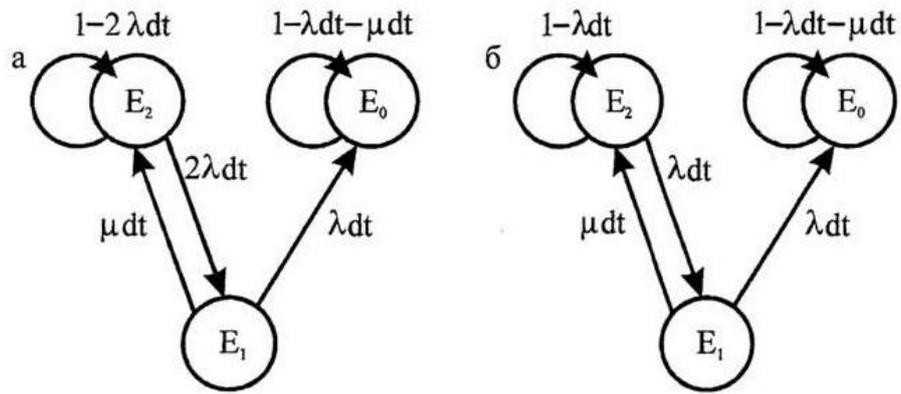


Рис. 7. Графы переходов при активном (горячем) и при пассивном (холодном) резервировании для определения показателя безотказности

Средняя наработка на отказ узла при активном резервировании

$$T_{ep2} = \frac{1 + 3\rho}{2\rho} T_{ep}; \quad (30)$$

при пассивном резервировании

$$T_{ep2} = \frac{1 - 2\rho}{\rho} T_{ep}; \quad (31)$$

где $\rho = \lambda/\mu$.

В заключение отметим, что с помощью графов переходов можно решать разнообразные задачи резервирования или функционирования электромеханических систем.

Рассмотренные в практических занятиях №2, №3 к расчету надежности ЭМС, имеющих последовательное или параллельное соединение элементов, позволяют рассчитать практически любую систему, состоящую из набора различных элементов.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ

План занятий

1. Прогнозирование технического состояния
2. Параметры диагностирования

Техническая диагностика охватывает методы и средства определения состояния технического объекта. Процесс определения состояния технического объекта называют *диагностированием*. Различают рабочее диагностирование, при котором на объект подаются рабочие воздействия, и тестовое, при котором на объект подаются тестовые воздействия. Диагностирование выполняют с целью либо контроля работоспособности объекта, либо поиска дефекта, либо формирования прогноза дальнейшего изменения состояния, либо сочетаний этих целей. Процесс диагностирования осуществляется с помощью комплекта измерительных приборов, специального оборудования и программ измерения. В результате получают диагноз состояния объекта. Состояние объекта оценивается по диагностическим признакам – параметрам или характеристикам, отражающим изменение объекта в процессе эксплуатации. Общим понятием диагностики является работоспособность, которая позволяет обозначать классы состояний объектов.

Для обследования сложных технических систем используют диагностические системы в ЭВМ. Из-за сложности и высокой стоимости средств диагностирования этот метод используют в особых случаях.

Прогнозирование технического состояния объектов

В процессе эксплуатации диагностирование выполняется либо непрерывно, либо периодически для оценки состояния и прогнозирования его изменения в ближайшем будущем. При непрерывном диагностировании параметры оцениваются в рабочем режиме работы объекта либо переключаются на короткое время в специальный диагностический. Периодическое диагностирование выполняется с регулярным или случайным периодом.

Обычно используют следующие методы диагностирования: по параметрам рабочих процессов (скорость резания, потребляемая мощность, развиваемое давление и пр.), по параметрам сопутствующих процессов (количество выделяемого тепла, уровень вибрации, шумы и пр.), по структурным параметрам (зазоры в соединениях, разброс значений погрешности и пр.)

Модель процесса прогнозирования включает три этапа: ретроспектирование, диагностирование, прогнозирование. На первом этапе анализируют опыт эксплуатации объекта путем сопоставления условий работы и возникающих при этом неисправностей. В результате устанавливаются возможные направления изменения состояния объекта, наиболее информативные параметры и программы диагностирования. На втором этапе задаются тестовые воздействия на объект и накапливаются данные исследований в форме таблиц, графиков, спектрограмм и пр. На третьем этапе производится обработка полученной информации о состоянии объекта диагностирования. Как правило, для единичного объекта накопленная информация носит случайный характер. Для группы однотипных объектов изменения рабочих параметров приобретают статистический характер, имеющий свойства плавности и монотонности (тренд). Прогнозирование возможно при существовании единых закономерностей в изменении значений параметров, что и отражает тренд. Полученная модель прогнозирования должна пройти «обучение» – расчет прогнозных характеристик, сравнение с действительными и внесение корректив в модель.

Техническое диагностирование осуществляют с помощью технических средств. Система технических средств диагностирования представляет собой совокупность оборудования, программ и объекта, осуществляющую обследование по правилам, установленным соответствующей документацией. Различают системы тестового

диагностирования (подача специально организуемых воздействий от средств диагностирования) и функционального диагностирования (подача рабочих воздействий).

Системы тестового диагностирования обычно решают задачи проверки исправности и работоспособности объекта, а также поиска неисправностей. Тестовые воздействия не должны мешать нормальному функционированию объекта. Системы функционального диагностирования используют для проверки правильности работы объекта и поиска неисправностей. Эти системы работают при применении объекта по назначению.

Различают три вида прогнозирования:

- аналитическое, основанное на методах экстраполяции значений прогнозируемой переменной на некоторый будущий период; наибольшую эффективность при этом дает метод группового учета аргументов (МГУА), использующий внешний критерий для оценки точности уравнений регрессии;
- вероятностное, основанное на теории вероятностей, позволяющей определить вероятность нахождения прогнозируемого параметра в заданном диапазоне;
- статистическая классификация, основанная на теории распознавания образов; при этом обосновывается отнесение объекта к одному из известных классов на основе меры подобия.

Прогнозирование способствует созданию долговечных объектов за счет выявления элементов для срочного восстановления, обоснования количества запасных частей, срока технического обслуживания и ремонтов.

Параметры диагностирования

Оценку состояния объекта производят по диагностическим признакам, в качестве которых используются параметры объекта или характеристики. К параметрам относят физические величины, имеющие конкретные значения, к характеристикам – зависимости одной физической величины от других. Если значения диагностических признаков находятся в пределах, допускаемых технической документацией на объект, то объект находится в работоспособном состоянии. Если хотя бы один признак выходит за допустимые пределы, то объект находится в состоянии отказа (неработоспособен).

Различают диагностические параметры прямые и косвенные. К *прямым* относят рабочие параметры объекта, значения которых измеряют и оценивают в процессе диагностирования (скорость перемещения, сила тяги, яркость излучения, развиваемое давление и т.п.), к *косвенным* – параметры, позволяющие косвенно оценить прямые параметры (концентрация и крупность частиц металла в масле редуктора, магнитная проницаемость материала, выделение тепла, износ рабочих поверхностей и пр.). В табл.3.1 приведена классификация параметров прогнозирования.

При использовании в качестве диагностического признака характеристики, имеющей вид $y = f(x)$ (здесь x – входной параметр, y – выходной), оценка работоспособности производится по величине отклонения текущей характеристики от номинальной. При этом требуется назначить количественный критерий, позволяющий оценить разность между текущей и номинальной характеристиками объекта. Для этого имеется несколько критериев: среднее отклонение, среднеквадратическое, маска [3].

Таблица 3.1

Параметры прогнозирования состояний объектов

Вид параметров	Примеры параметров
Кинематические	Время, скорость, ускорение, угловые скорость и ускорение, частота, фаза и др.
Геометрические	Длина, площадь, периметр, объем, кривизна, плоский угол, телесный угол и др.
Статические и динамические	Масса, сила, давление, мощность, коэффициент трения, коэффициент сопротивления, коэффициент упругости, работа, энергия, момент силы, момент инерции
Тепловые	Температура, тепловой поток, теплоемкость, коэффициент

	теплопередачи, теплота сгорания, теплота фазового превращения и др.
Акустические	Звуковое давление, акустическое сопротивление, высота звука, тембр, громкость и др.
Электрические и магнитные	Плотность заряда, потенциал, емкость, сила тока, напряжение, сопротивление, магнитный поток, индукция
Излучения	Поток излучения, спектральная плотность излучения по длине волны и по частоте, освещенность, яркость, коэффициент отражения и др.
Атомной энергии	Дипольный момент, доза излучения, единицы радиоактивности и др.
Универсальные физические постоянные	Скорость света в вакууме, гравитационная постоянная, постоянная Планка, число Фарадея и др.

Лекция №12

ВЕРОЯТНОСТНЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕРИОДИЧНОСТИ ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТОВ

План занятий

1. Сбор и обработка информации о надежности объектов
2. Определение параметров распределения
3. Модели профилактики машин
4. Оптимизация межремонтных периодов

Для поддержания проектного уровня надежности необходимо анализировать результаты работы горных машин. Важнейший источник информации о надежности – это место эксплуатации горного оборудования. Необходимо иметь представление, в каких подразделениях горного предприятия можно получить информацию о надежности. Полученная информация должна быть статистически обработана – установлен закон распределения случайной величины и рассчитаны статистические характеристики основных параметров показателей надежности. Выбор закона распределения производится по виду гистограммы с проверкой статистической достоверности, с помощью критериев согласия (критерия Пирсона) и другими способами. После этого рассчитываются показатели надежности.

Сбор и обработка информации о надежности объектов

Сбор информации о надежности необходим для установления численных значений показателей надежности, для определения их соответствия нормативным значениям, а также для определения частоты, причин и последствий отказов. Таким образом, цель сбора:

- установка численных показателей надежности;
- определение частоты причин и последствий отказов;
- уточнение нормативов, инструкций и других материалов ТО, ТР и КР;
- проверка эффективности мероприятий по повышению надежности.

Для построения стратегии обслуживания машин и установок необходимо иметь данные по длительности их работы между ремонтами, о видах и причинах отказов, мероприятиях по восстановлению работоспособности, размеров затрат на ремонт и ликвидацию последствий аварийного отказа.

Данные о надежности могут быть получены из следующих источников информации:

- нормативно-техническая документация (программы работ по обеспечению надежности объекта, мероприятия по технике безопасности при эксплуатации оборудования, требования к рабочим характеристикам машины и т.п.);
- результаты испытаний в моделируемых условиях (исследовательские и квалификационные испытания, приемочные испытания);
- результаты эксплуатационных испытаний (хронометражные наблюдения, данные об отказах, испытания на надежность).

Накопление данных осуществляется различными способами, в том числе путем ведения журнала регистрации отказов, замен и ремонта элементов машины, анализа учетной документации движения запчастей на складе, бухгалтерской документации и т.д. Затем данные обрабатываются методами математической статистики и информация представляется в двух видах: для административного руководства и для инженерных служб. Для администрации должны быть приведены данные о количестве отказов по элементам, узлам, системам за определенный период времени, меры по устранению отказов, экономические данные. Для инженерной службы шахты – более подробные сведения для составления плана мероприятий по обслуживанию машин, сроков ремонта, определения профессионального и количественного состава ремонтной бригады, финансовых расходов. Для инженерных служб изготовителя – сопутствующие условия возникновения отказа, частота, необходимое резервирование.

Методы сбора информации:

- хронометражные наблюдения в производственных условиях;
- бортовые журналы машин;
- ведомости дефектов и учета восстановленных и изготовленных деталей;
- акты о состоянии оборудования после отработки определенного срока;
- акты рекламаций, приемки, испытания оборудования, лабораторные и стендовые испытания.

Вся эта информация о надежности носит вероятностный характер. Для вероятностного описания случайных величин используются числовые характеристики. Основными из них являются математическое ожидание, дисперсия, среднеквадратическое отклонение, математическое ожидание, дисперсия, среднеквадратическое отклонение, коэффициент вариации. Зная конкретный вид и аналитическое выражение функции распределения исследуемой случайной величины, можно рассчитать вероятности безотказной работы и отказов объектов для любых значений наработки.

Основными методами получения информации являются хронометражные наблюдения, лабораторные и стендовые испытания.

Планирование хронометражных наблюдений. Материалы хронометража должны отражать результаты такого количества наблюдений, чтобы показатели надежности можно было определить со степенью точности, предложенной в табл.3.2.

Таблица 3.2

Оценка точности хронометражных наблюдений

Характер Исследований	Объект исследования	Доверительная вероятность	Относительная ошибка δ не больше
Оценка уровня надежности в целом по отрасли	Комплекс	0,9	0,1
	Отдельные машины	0,8	0,1
	Основные сборочные единицы	0,8	0,2
Оценка надежности для определенных условий	Комплекс	0,8	0,1
	Отдельные машины	0,9	0,2

Календарная продолжительность хронометражных наблюдений определяется из выражения $t_{\text{исп}} = \frac{[n]T'_0}{K_3}$; $K_3 = \frac{t_p}{t_p + t_{\text{в.о}} + t_{\text{у.о}} + t_{\text{э.о}}}$,

где T'_0 – предполагаемая средняя наработка на отказ; K_3 – коэффициент непрерывной работы объекта; t_p – время работы; $t_{\text{в.о}}$ – затраченное время на вспомогательные операции; $t_{\text{у.о}}$ – затраченное время на устранение отказов; $t_{\text{э.о}}$ – простои по различным причинам.

Для обеспечения заданной точности необходимо иметь число хронометражных наблюдений не меньше указанных в табл.3.3.

Наблюдения ведут за группой однородных объектов, работающих примерно в одинаковых условиях эксплуатации.

Продолжительность испытаний одного объекта

$$t_{\text{исп}} = \frac{[n]T'_0}{NK_0K_3},$$

где N – число однотипных объектов; K_0 – коэффициент охвата, $K_0 = 0,6$ – для опытной партии; $K_0 = 0,3$ – для серийных машин; $K_0 = 1$ – для опытных образцов.

Таблица 3.3

Число наблюдений для основных законов распределения

Закон распределения	Исходные параметры			Необходимое число наблюдений
	β	δ	Коэффициент вариации V	
Экспоненциальный	0,8	0,2	1	22
	0,8	0,1	1	80
	0,9	0,2	1	55
	0,9	0,1	1	200
Нормальный	0,9	0,1	0,2	6
	0,8	0,1	0,3	8
	0,9	0,2	0,3	5
	0,8	0,1	0,2	16
Логарифмически-нормальный	0,9	0,2	0,4	7
		0,2	0,7	26
		0,1	0,4	27
		0,1	0,7	78
Вейбулла	0,8	0,2	0,6	10
		0,2	0,8	18
	0,8	0,1	0,5	23
		0,1	0,8	56
	0,9	0,2	0,6	20
	0,1	0,8	125	

Для невозстанавливаемых или неремонтируемых объектов

$$t_{\text{исп}} = \frac{[n]T'_1}{K_3},$$

где $[n]$ – минимально необходимое число объектов; T'_1 – предполагаемая величина средней наработки до отказа.

Разовая продолжительность хронометражных наблюдений равна обычно продолжительности рабочей смены. Требуемое число смен

$$m \geq \frac{t_{\text{исп}}}{t_{\text{см}}}.$$

Длительность разовых хронометражных наблюдений должна быть больше $3T_0/K_3$, а число смен непрерывных хронометражных наблюдений

$$m_{\text{н}} \geq 1 + \frac{4T_0}{K_3 t_{\text{см}}}.$$

Для получения достоверных данных о законе распределения должно соблюдаться условие $\sum t_{\text{исп}} \geq (70 - 100) T_0$.

Определение показателей надежности связано с решением двух главных задач математической статистики – оценки неизвестных параметров выборки и проверки статистических гипотез.

Аналогией математического ожидания m_x случайной величины x является его статистическая оценка (среднее арифметическое значение):

$$\hat{m}_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i.$$

Число интервалов

$$K = \frac{x_{\text{max}} - x_{\text{min}}}{\Delta L},$$

где ΔL – длина интервала. Число интервалов K должно быть не меньше 5-6 и не более 10-12.

Число значений n_i случайной величины x в каждом интервале должно быть не меньше 5.

Пример. Принимаем $t_{\text{min}} = 0$ при $n = 300$, $t_{\text{max}} = 400$ мин, тогда

$$\Delta L = \frac{400}{1 + 3,3 \lg 300} \approx 43 \text{ мин.}$$

Обработка статистической информации. В связи с ограниченностью выборки из генеральной совокупности (из всего множества однотипных машин) статистическая функция распределения всегда содержит элементы случайности. Поэтому значения параметров для генеральной совокупности можно получить лишь с некоторой вероятностью. Такие значения параметров называются оценками. Оценкой функции распределения генеральной совокупности является статистическая функция распределения.

Закон распределения, если он неизвестен, определяется следующим образом.

Весь диапазон полученных значений случайной величины \hat{t} разбивается на интервалы. Для удобства расчетов интервалы целесообразно принимать равными.

Примерная величина интервала

$$\Delta t = \frac{\hat{t}_{\text{max}} - \hat{t}_{\text{min}}}{1 + 3,3 \lg n},$$

где n – количество полученных значений случайной величины \hat{t} .

В каждом интервале количество значений случайной величины должно быть не менее 5-10. При меньшем количестве интервалы принимают разной длины. Для каждого интервала подсчитываются:

- число значений случайной величины, попавших в этот интервал n_i ;
- отношение n_i/n (частость события).

Сумма $\sum_{i=1}^n \frac{n_i}{n}$ должна быть равна единице. Это – показатель правильности расчетов.

Доверительным называется интервал, который с вероятностью β покрывает оцениваемое значение параметра распределения. Величина вероятности β называется доверительной вероятностью. Если в результате опытов получена статистическая оценка параметра $\hat{M}(t)$ и установлено, что разница между параметром $M(t)$ и его оценкой не превосходит некоторое значение ε с вероятностью β , т.е.

$$\{\hat{M}(t) - \varepsilon < M(t) < \hat{M}(t) + \varepsilon\} = \beta,$$

то интервал $\hat{M}(t) - \varepsilon; \hat{M}(t) + \varepsilon$ будет являться доверительным интервалом для оценки $\hat{M}(t)$; границы интервала называются доверительными границами. Коэффициент вариации $V = \sigma / m$.

Если закон распределения до начала наблюдения неизвестен, то предполагается, что наработка на отказ и время восстановления распределяются по экспоненциальному закону, а ресурс и срок службы – по логарифмически-нормальному, т.е. в этом случае требуется выполнять максимальное число наблюдений.

Доверительная вероятность связана с предельной абсолютной ошибкой ε условием

$$\beta = P(|x_0 - \hat{x}_0| \leq \varepsilon),$$

где x_0 – генеральная средняя величина изучаемого признака; \hat{x}_0 – оценка x_0 по результатам опыта.

Относительная предельная ошибка $\delta = \varepsilon / \hat{x}_0$.

Затем на гистограмме строится теоретическая кривая распределения $f(t)$, которая должна сохранить существенные особенности статистического распределения.

При подборе теоретической кривой $f(t)$ между ней и статистическим распределением неизбежны некоторые расхождения.

Правильность выбора теоретической кривой устанавливается с помощью критерия согласия χ_0^2 (критерий Пирсона):

$$\chi_0^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - np_i)^2}{np_i},$$

где k – количество интервалов статистического распределения; n_i – количество значений случайной величины в i -м интервале; n – общее число значений случайной величины; p_i – теоретическая вероятность попадания случайной величины в i -й интервал, равная приращению функции распределения в данном интервале.

Распределение χ^2 зависит от числа степеней свободы:

$$r = k - s - 1,$$

где k – количество интервалов; s – количество связей, для экспоненциального распределения $s = 1$, для нормального $s = 2$.

Для распределения χ^2 имеется табл.3.4, в которой приводятся корни уравнения

$$P = (\chi_0^2 \geq \chi^2) = \alpha,$$

где α – уровень значимости (вероятность отвергнуть правильную гипотезу).

В практических расчетах принимают $\alpha = 0,05$. В табл.3.4 даны значения величины χ^2 в зависимости от числа степеней свободы r и уровня значимости α .

По α и r находят χ^2 . Если $\chi_0^2 > \chi^2$, гипотеза отвергается, так как мера расхождения χ_0^2 попала в критическую зону. Если $\chi_0^2 \leq \chi^2$, – гипотеза принимается.

Определение параметров распределения. Параметры распределения определяются до и после выбора закона распределения на основе анализа гистограммы.

При любом законе распределения изучаемой величины оценка математического ожидания принимается равной среднему арифметическому:

$$M\{t\} = \hat{t} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n}.$$

Оценка дисперсии

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \hat{t})^2}{n-1}.$$

Среднеквадратическое отклонение

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \hat{t})^2}{n-1}}.$$

Коэффициент вариации

$$V = \frac{\hat{\sigma}}{\hat{t}} = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \hat{t})^2}{n-1}}}{\frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n}}.$$

При нормальном законе распределения полученные оценки математического ожидания \hat{t} и среднеквадратичного отклонения $\hat{\sigma}$ являются параметрами распределения.

При логарифмически-нормальном распределении оценки параметров

$$\hat{\ln a} = \frac{\sum_{i=1}^n \ln t_i}{n}; \quad \hat{\sigma}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\ln t_i - \hat{\ln a})^2}{n-1}$$

или оценки параметров могут быть получены через математическое ожидание и среднеквадратичное отклонение (через коэффициент вариации):

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\ln(1+V^2)}; \quad \hat{\ln a} = \ln \hat{t} - \frac{\hat{\sigma}^2}{2}.$$

При экспоненциальном распределении математическое ожидание и дисперсия соответственно равны

$$\hat{t} = \frac{1}{\lambda}; \quad \hat{\sigma}^2 = \frac{1}{\lambda^2}.$$

Следовательно, параметр распределения

$$\lambda = \frac{1}{\hat{t}} = \frac{1}{\frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n}} = \frac{n}{\sum_{i=1}^n t_i}.$$

Для определения значений n_i в анализируемом распределении строится гистограмма эмпирической плотности распределения случайной величины. По оси

абсцисс откладываются интервалы Δt случайной величины и на каждом из этих интервалов строится прямоугольник площадью, равной частоте появления случайной величины в данном интервале. Высоты прямоугольников пропорциональны частотам появления n_i случайной величины в каждом интервале.

Длину интервалов рекомендуется определять по формуле

$$\Delta t = \frac{t_{\max} - t_{\min}}{1 + \sqrt[n_2]{n_2 - 1}}$$

где t_{\max} и t_{\min} – соответственно максимальное и минимальное значения случайной величины в вариационном ряду.

Пример построения гистограммы и сглаживающей эмпирической кривой показан на рис.3.1.

Схема применения критерия χ^2 в оценке согласованности теоретического и статистического распределений сводится к следующему:

50 200 400 600 800 t

- 1) для каждого из исследуемых распределений определяют меру расхождения χ^2 ;
- 2) для каждого из распределений вычисляют число степеней свободы

$$r = k - s - 1,$$

где s – количество независимых связей, равное числу определяемых параметров закона распределения;

3) по r и расчетным значениям χ^2 , пользуясь табл.3.4, находят уровень значимости α критерия согласия для каждого исследуемого закона распределения, причем α должно быть не менее 0,01;

4) в качестве теоретической функции распределения принимается та, для которой уровень значимости получился наибольшим.

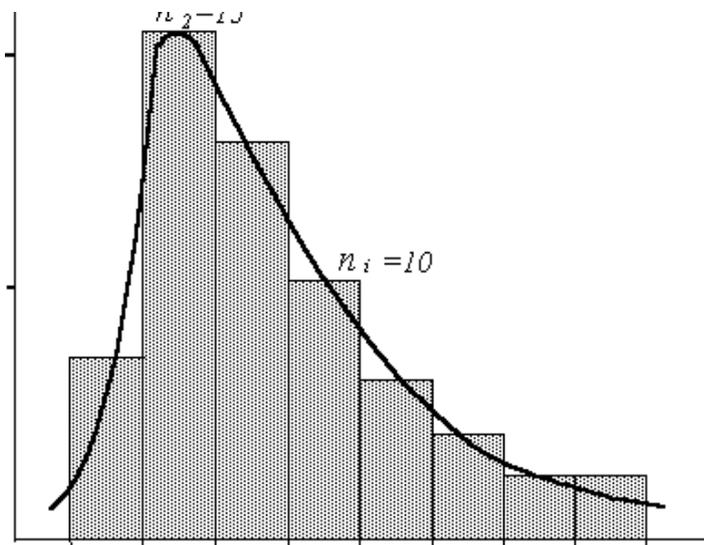


Рис.3.1. Гистограмма и теоретическая функция распределения

Модели профилактики машин

Рассмотрим четыре основные модели профилактики машин:

- с аварийными ремонтами;
- с плановыми ремонтами при внеплановых аварийных ремонтах без переноса сроков очередного технического обслуживания (ППР);
- с плановыми ремонтами при внеплановых аварийных ремонтах с переносом сроков очередного планово-предупредительного ремонта;

- с плановыми ремонтами.

Аварийные ремонты имеют большое распространение. Предполагается, что отказ обнаруживается мгновенно в момент возникновения. В течение всего времени аварийного ремонта машина простаивает. По окончании ремонта весь процесс функционирования машины и ее обслуживания повторяется.

Очевидно, что при описанной модели профилактики может быть вычислен критерий K , однако нахождение его минимума бессмысленно.

Обозначим: t_3 – средняя продолжительность аварийного ремонта; β_3 – средние затраты на проведение аварийного ремонта (ремонта вследствие отказа); ε_1 – средний ущерб в единицу времени простоя или средний ущерб от невыполнения устройством единицы работы; ε_2 – средний ущерб от отказа устройства.

Здесь и далее будем считать, что эффект от эксплуатации машины пропорционален времени ее работы (наработке).

Тогда

$$K = \frac{\beta_3 + \varepsilon_1 t_3 + \varepsilon_2}{T_0} = \frac{A_{ав}}{T_0},$$

где $A_{ав}$ – средние затраты, связанные с аварийным ремонтом; T_0 – средняя наработка до отказа,

$$T_0 = \int_0^{\infty} P(t) dt.$$

Плановые ремонты при внеплановых аварийных ремонтах. Такая система широко применяется для обслуживания горных и транспортных машин. Предполагаем, что возможно проведение плановых предупредительных ремонтов и аварийных ремонтов, причем отказ обнаруживается мгновенно. Восстановительные работы производятся в следующей очередности. Если машина не отказала к назначенному моменту, то производится плановый ремонт, если отказ системы произошел ранее, то в момент отказа начинается аварийный ремонт. После аварийного ремонта время очередного планового ремонта не изменяется. Предполагаем, что во время проведения плановых и аварийных ремонтов машина неработоспособна.

Обозначим: t_1 – средняя продолжительность планового ремонта; β_1 – средние затраты на проведение планового ремонта; $\Omega(T_1)$ – ведущая функция потока отказов – математическое ожидание числа отказов за время T_1 – искомое время периодичности плановых ремонтов (без времени, затрачиваемого на аварийный ремонт $t_3\Omega(T_1)$).

Средние затраты, связанные с проведением одного планового ремонта за время T_1 , равны $A_{пл} = \beta_1 + \varepsilon_1 t_1$. Затраты, связанные с проведением $\Omega(T_1)$ аварийных ремонтов, будут равны $A_{ав}\Omega(T_1)$. Суммарные затраты за период T_1 составят $\Sigma_A = A_{ав}\Omega(T_1) + A_{пл}$.

Критерий оптимизации

$$K = \frac{A_{ав}\Omega(t_1) + A_{пл}}{T_1} \quad \text{или} \quad K = \frac{A_{ав}\Omega(t_1) + A_{пл}}{\int_0^{T_1} P(t) dt}.$$

Плановые ремонты при внеплановых аварийных ремонтах с перенесением времени проведения очередного планового ремонта. После проведения аварийного ремонта очередной плановый ремонт переносится таким образом, чтобы время между моментом окончания последнего аварийного ремонта и очередным плановым ремонтом было равно T_1 . Такая модель профилактики целесообразна для крупных, дорогостоящих узлов, имеющих длительный срок службы (приводы ленточных конвейеров, составные части комбайнов, электродвигателей электровозов и т.п.). Если $P(T_1)$ – вероятность безотказной работы в

течение времени T_1 , то средние затраты на проведение планового ремонта на периоде регенерации равны $A_{пл}P(T_1)$.

Вероятность отказа в течение времени T_1 равна $1 - P(T_1)$. Средние затраты на аварийные ремонты $A_{ав}[1 - P(T_1)]$. Среднее время наработки на периоде регенерации T_1 равно $\int_0^{T_1} P(t)dt$.

Критерий оптимизации

$$K = \frac{A_{ав}[1 - P(T_1)] + A_{пл}P(T_1)}{\int_0^{T_1} P(t)dt} = \frac{A_{ав} - (A_{ав} - A_{пл})P(T_1)}{\int_0^{T_1} P(t)dt}.$$

Плановые ремонты. В практике горной промышленности возможно применение только плановых ремонтов, назначенных по календарному времени (пример – шахтные электровозы). В этом случае отказ может быть обнаружен только при проведении планового ремонта. С момента отказа до окончания очередного планового ремонта машина не сможет выполнять свои функции.

Если $P(T_1)$ – вероятность безотказной работы в течение времени T_1 (искомое время периодичности плановых ремонтов), то средние затраты, связанные с проведением планового ремонта на периоде регенерации T_1 , равны $A_{пл}P(T_1)$, средние затраты, связанные с проведением аварийного ремонта, равны $A_{ав}[1 - P(T_1)]$, средний ущерб от простоя из-за необнаружения отказа на интервале времени от момента отказа до проведения очередной замены равен

$$\varepsilon_1 \left[T_1 - \int_0^{T_1} P(t)dt \right],$$

поскольку средняя наработка машины на периоде регенерации T_1 равна $\int_0^{T_1} P(t)dt$.

Для данной стратегии обслуживания критерий оптимизации

$$K = \frac{A_{пл}P(t) + A_{ав}[1 - P(t)] + \varepsilon_1 \left[T_1 - \int_0^{T_1} P(t)dt \right]}{\int_0^{T_1} P(t)dt}.$$

После выбора оптимального срока замены различных деталей они могут быть сгруппированы по срокам их замены и, в зависимости от сложности ремонта, могут быть назначены ТО, текущий или капитальный ремонт. Желательно, чтобы структура ремонтного цикла была кратной, т.е. при каждом последующем виде ремонта производилась замена деталей и сборочных единиц всех предыдущих групп.

Например, для турбомуфты конвейера СП-63 может быть принята следующая структура ремонтного цикла, сутки:

Н	РО	РО	T_1	РО	РО	T_2	РО	РО	К	РО	РО	Списани
												е
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	18

Оптимизация межремонтных периодов

Узлы и детали горных машин имеют разброс наработок до отказа, поэтому необходимо правильно выбирать интервалы профилактической замены для различных групп деталей.

Профилактическая замена деталей через период, равный минимальной наработке до отказа, является экономически неоправданной, так как многие детали при замене будут иметь еще достаточный ресурс и, кроме того, потребуются затраты на преждевременную замену, при этом уменьшится коэффициент технического использования машины. При максимальных сроках замены увеличится опасность аварийного отказа, связанного с возможными тяжелыми последствиями. Необходимо выбирать оптимальные интервалы плановых замен деталей, т.е. планировать сроки ремонтного обслуживания.

Оптимальные интервалы между плановыми заменами деталей определяются на основании различных критериев:

- максимального коэффициента технического использования;
- минимальных затрат на обслуживание и др.

В горной промышленности наиболее распространенными являются экономические критерии.

К оптимизации периодичности плановых замен деталей следует подходить с учетом не только затрат при эксплуатации, но и эффекта от использования машины.

Рациональной будет такая организация замен, при которой от каждой единицы затрат будет получен максимальный эффект.

В общем виде критерий оптимизации

$$K = \frac{C(T)}{\mathcal{E}(T)} = \frac{\sum_{i=1}^k m_i \beta_i t_i + \sum_{j=1}^l m_j \beta_j t_{j\text{пр}}}{T \int_0^T j(t) dt} \rightarrow \min ,$$

где $C(T)$ и $\mathcal{E}(T)$ – соответственно суммарные затраты и суммарный эффект за время эксплуатации T ; $j(t)$ – математическое ожидание мгновенного значения эффекта от использования машины; k – количество видов работ по обслуживанию; m_i – количество работ по обслуживанию i -го вида; β_i – средние затраты за единицу времени при проведении i -го вида работы по обслуживанию; t_i – средняя продолжительность проведения i -го вида работы по обслуживанию; l – количество причин простоев; m_j – количество простоев по j -й причине; β_j – средний ущерб за единицу времени простоя по j -й причине или ущерб от невыполнения конкретного задания; $t_{j\text{пр}}$ – средняя продолжительность простоя по j -й причине.

Можно показать, что при достижении минимума критерием оптимизации K одновременно получается минимум суммарных затрат, минимум удельных затрат, связанных с эксплуатацией устройства, максимум коэффициента технического использования и максимум коэффициента готовности.

Определение оптимальных сроков службы элементов машин может быть выполнено только для принятой модели профилактики. После проведения любой из возможных замен считается, что показатели надежности элемента полностью восстанавливаются, и назначается следующая плановая замена через период T .

Задача состоит в отыскании такого значения этого периода (часы, сутки), при котором значение критерия оптимизации будет минимальным.

Рассмотрим методику на примере модели профилактики с плановыми и аварийными ремонтами.

Значение критерия оптимизации для этой модели:

$$K = \frac{A_{\text{пл}} P(T) + A_{\text{ав}} [1 - P(T)]}{T \int_0^T P(t) dt} = \frac{A_{\text{пл}} P(T) + A_{\text{ав}} [1 - P(T)]}{T \int_0^T t f(t) dt + TP(T)},$$

где $\int_0^T tf(t)dt + TP(T)$ – математическое ожидание наработки при условии замены элемента, если его наработка достигнет величины T .

Разделив левую и правую части уравнения на $A_{ав}$, получим

$$\xi = \frac{K}{A_{ав}} = \frac{\varepsilon P(T) + [1 - P(T)]}{\int_0^T P(T)dt} = \frac{\varepsilon P(T) + [1 - P(T)]}{\int_0^T tf(t)dt + TP(T)},$$

где $\varepsilon = A_{пл}/A_{ав}$ – коэффициент стоимости.

Приняв $\frac{d\xi}{dT} = 0$, получим

$$\begin{aligned} \varepsilon &= 1 - \left[P(T) + \frac{f(T)}{P(T)} \int_0^T P(t)dt \right]^{-1} = 1 - \left[P(T) + \frac{f(T)}{P(T)} \left(\int_0^T tf(t)dt + TP(T) \right) \right]^{-1} \varphi(T) = \\ &= \left[P(T) + \frac{f(T)}{P(T)} \left(\int_0^T tf(t)dt + TP(T) \right) \right] (1 - \varepsilon) - 1. \end{aligned}$$

Локализация корней может быть произведена из следующих соображений:

1. При нормальном распределении $P(T)$ уравнение имеет только один корень, который с вероятностью 0,997 находится в интервале $[t_{ср} - 3\sigma; t_{ср} + 3\sigma]$. Так как этот корень может быть только положительным, то следует принимать интервал $[0; t_{ср} + 3\sigma]$. Здесь $t_{ср}$ – математическое ожидание наработки; σ – среднеквадратичное отклонение.

2. При распределении Вейбулла с параметром $b > 1$ уравнение имеет только один корень, который с вероятностью 0,982 находится в интервале $[0; 4a]$.

3. При γ -распределении уравнение имеет только один корень при условии, что $\varepsilon \leq 1 - 1/m$. Если $\varepsilon > 1 - 1/m$, то уравнение не имеет корней. При отыскании корня следует рассматривать интервал $\left[0; 4 \frac{m}{\lambda}\right]$.

4. При логарифмически-нормальном распределении кривая $\xi = f(T)$ (рис.3.2) имеет минимум и максимум. Поэтому уравнение при фиксированном ε имеет два корня или вообще корней не имеет. Нижней границей интервала локализации корня является 0, верхнюю – нужно находить путем последовательного расширения интервала.

Метод половинного деления:

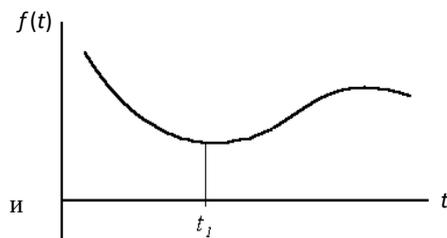


Рис.3.2. Экстремумы функции

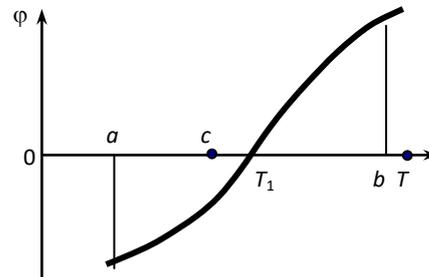


Рис.3.3. Поиск корня уравнения

$$\varphi(T) = 1 - \varepsilon - \frac{P(T)}{P(T)P(T) - f(T) \int_0^T P(t)dt}.$$

Два корня уравнения – положительный и отрицательный. Предположим, известен интервал $[a; b]$, внутри которого находится корень уравнения (рис.3.3). Вычислим значения $\varphi(a)$ и $\varphi(b)$. Если $\varphi(a)\varphi(b) < 0$, это значит, что функция φ пересекает ось T и искомый корень имеется в исследуемом интервале. Если $\varphi(a)\varphi(c) > 0$, значит корень уравнения находится в интервале $[c; b]$; если $\varphi(a)\varphi(c) < 0$, то корень находится в интервале $[a; c]$.

Интервал локализации корня может быть сужен до любых пределов.

Задается точность расчета $[b - a] \leq \delta$. В этом интервале может быть принято любое значение T .

Лекция №13

РАСЧЕТ КОЛИЧЕСТВА ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ

План занятий

1. Комплекты запасных частей
2. Гарантированная вероятность наличия запасных частей
3. Межремонтный период

В процессе эксплуатации любая деталь или узел может отказать. Для обеспечения высокой эффективности работы объекта необходимо в кратчайшие сроки произвести замену отказавшей детали новой. Выполнение этой работы осуществляется при достаточном запасе на складе установленной номенклатуры запасных частей. Различают комплекты запчастей одиночные, групповые и ремонтные.

Одиночный комплект предназначен для поддержания изделия в работоспособном состоянии силами обслуживающего персонала. Одиночный комплект разрабатывается на каждый объект и поставляется вместе с ним один раз. В дальнейшем он должен своевременно пополняться за счет дополнительных закупок.

Групповой комплект разрабатывается для группы одноименных изделий и предназначен для профилактического обслуживания объектов силами ремонтного подразделения предприятия. Поставляется изготовителем один раз вместе с группой объектов, состав определяется условиями эксплуатации и требованиями технической документации.

Ремонтный комплект разрабатывается изготовителем на группу одноименных объектов для их ремонта на специализированном ремонтном предприятии, а также для пополнения групповых комплектов. Поставляется отдельно от оборудования.

Задача расчета комплекта запасных частей состоит в обосновании их количества и номенклатуры.

Среднее число отказов совокупности N элементов

$$n_{\text{ср}} = \frac{Nt}{T_1},$$

где t – рассматриваемый период эксплуатации; T_1 – наработка до 1-го отказа.

Число израсходованных элементов Z за время или наработку t равно числу отказов n . Вероятность того, что за время t потребуется точно Z запасных элементов, может быть определена по формуле Пуассона

$$P_z(t) = \frac{(Nt)^z}{T_1^2 Z!} e^{-\frac{Nt}{T_1}},$$

где $Z = 0, 1, 2, \dots, i, \dots, \infty$.

Среднее количество запасных элементов, расходуемых за межремонтный период t_{mp} , равно среднему числу отказов,

$$Z_{cp} = \frac{Nt_{mp}}{T_1}.$$

В силу случайности возникновения отказов может потребоваться больше или меньше запасных элементов, чем Z_{cp} . При запасе элементов N_3 , равном среднему ожидаемому их расходу Z_{cp} , т.е. если коэффициент запаса $K_3 = N_3 / Z_{cp} = 1$, потребность в запасных элементах будет удовлетворена с гарантированной вероятностью 0,5, которой недостаточно. Нужно рассчитать число запасных элементов с заданной гарантированной вероятностью их наличия P_β , равного 0,9; 0,95; 0,99. Уровень достаточности принимают в зависимости от последствий отказа:

- при невыполнении заданных функций $P_\beta = 0,9-0,92$;
- при отказе с большими убытками от простоя $P_\beta = 0,95-0,97$;
- при отказе с тяжелыми последствиями (угрозе для жизни) $P_\beta = 0,99$.

Вероятность того, что за межремонтную наработку t_{mp} потребуется не больше, чем N_3 запасных элементов, может быть найдена из выражения

$$P_{N_3}(t_{mp}) = e^{-\frac{Nt_{mp}}{T_1}} \sum_{Z=0}^{N_3} \frac{(Nt_{mp})^Z}{T_1^2 Z!}.$$

Вероятность $P_{N_3}(t_{mp})$ должна быть не меньше принятой гарантированной вероятности P_β обеспечения запасными частями, т.е.

$$P_{N_3}(t_{mp}) \geq P_\beta.$$

Формула для гарантированной вероятности наличия запасных частей:

$$P_{N_3}(t_{mp}) = e^{-Z_{cp}} \sum_{Z=0}^{N_3} \frac{Z_{cp}^Z}{Z!} = P_\beta.$$

Для обеспечения высокой вероятности ликвидации отказов по фактору наличия запасных элементов в запасе необходимо иметь не Z_{cp} , а N_3 запасных частей.

Всегда $K_3 > 1$, причем с увеличением среднеожидаемого количества отказов Z_{cp} , т.е. при обеспечении запаса на большее число элементов или на более длительный срок их эксплуатации, коэффициент запаса уменьшается.

Уменьшение K_3 с увеличением Z_{cp} указывает на целесообразность концентрации однотипных машин на одном предприятии или на централизацию снабжения запчастями группы предприятий с однотипным оборудованием.

Пример. В работе имеется шесть конвейеров СП-63М, укомплектованных приводами с электродвигателями КОФ-32-4. Вероятность безотказной работы за период профилактики $P = 0,8$. Определить необходимое число резервных электродвигателей для удовлетворения потребности в них с вероятностью $P_\beta = 0,9$.

Решение. Найдем вероятность выхода из строя $Z = 0; 1; 2; \dots; 6$ электродвигателей:

$$\begin{aligned}
P_6(0) &= C_6^0(1-0,8)^0 \cdot 0,8^6 = 1 \cdot 0,2^0 \cdot 0,8^6 = 0,262; \\
P_6(1) &= C_6^1(1-0,8)^1 \cdot 0,8^5 = 6 \cdot 0,2^1 \cdot 0,8^5 = 0,394; \\
P_6(2) &= C_6^2(1-0,8)^2 \cdot 0,8^4 = 15 \cdot 0,2^2 \cdot 0,8^4 = 0,246; \\
P_6(3) &= C_6^3(1-0,8)^3 \cdot 0,8^3 = 20 \cdot 0,2^3 \cdot 0,8^3 = 0,082; \\
P_6(4) &= C_6^4(1-0,8)^4 \cdot 0,8^2 = 15 \cdot 0,2^4 \cdot 0,8^2 = 0,015; \\
P_6(5) &= C_6^5(1-0,8)^5 \cdot 0,8^1 = 6 \cdot 0,2^5 \cdot 0,8^1 = 0,002; \\
P_6(6) &= C_6^6(1-0,8)^6 \cdot 0,8^0 = 1 \cdot 0,2^6 \cdot 0,8^0 = 0,00006
\end{aligned}$$

1,000

Итак, при наличии в резерве двух электродвигателей потребность будет удовлетворена с вероятностью $0,262 + 0,394 + 0,246 = 0,902$, при трех резервных электродвигателях потребность будет удовлетворена с вероятностью $0,984$, т.е. практически трех резервных электродвигателей всегда будет достаточно для удовлетворения требований в межремонтный период T_1 .

Среднее количество электродвигателей, отказывающихся за межремонтный период T_1 ,

$$\begin{aligned}
Z_{cp} &= 0 \cdot 0,262 + 1 \cdot 0,394 + 2 \cdot 0,246 + 3 \cdot 0,082 + \\
&+ 4 \cdot 0,015 + 5 \cdot 0,002 + 6 \cdot 0,00006 = 1,2.
\end{aligned}$$

В межремонтный период запас необходимо пополнять в среднем на один-два электродвигателя.

Коэффициент запаса

$$K_3 = \frac{N_3}{Z_{cp}} = \frac{2}{1,2} = 1,65$$

при $P_\beta = 0,9$.

В зависимости от числа одновременно эксплуатируемых объектов коэффициент запаса меняется в значительных пределах:

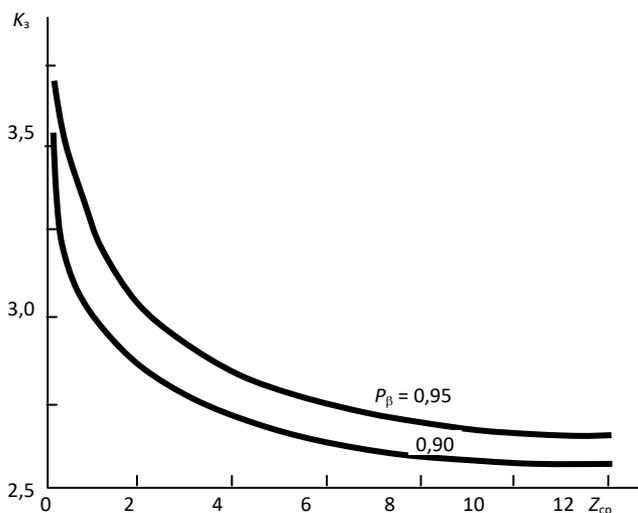


Рис.3.4. Зависимость коэффициента запаса от числа машин

Z_{cp}	1	2	3	4	5	6	7	
K_3	1,80	1,65	1,57	1,50	1,47	1,40	1,37	($P_\beta = 0,9$)
K_3	2,60	2,30	1,83	1,75	1,67	1,63	1,60	($P_\beta = 0,95$)

С увеличением среднесписочного числа отказов, т.е. при обеспечении запаса на большее число элементов или на более длительный срок эксплуатации, коэффициент запаса уменьшается (рис.3.4).

Поэтому экономически выгоднее приобретать запасные элементы на все эксплуатируемые комплексы.

Суммарное эксплуатационное число запасных элементов

$$N_{з.э} = N_z + N_{р.з} + N_{хр} + N_{пр},$$

где N_z – число запасных элементов для ликвидации отказов; $N_{р.з}$ – число элементов для регламентированных замен; $N_{хр}$ – расход элементов при хранении; $N_{пр}$ – расход элементов

Лекция №14

ФОРМИРОВАНИЕ СТРАТЕГИИ ОБСЛУЖИВАНИЯ ГОРНЫХ МАШИН

План занятий

1. Определение параметров распределения наработки
2. Плановые и аварийные замены
3. Построение графиков ремонтов

При формировании стратегии обслуживания горного оборудования рекомендуется следующая последовательность действий.

1. Определение параметров распределения случайной наработки на отказ. Для построения стратегии обслуживания машин и установок необходимо иметь данные по длительности их работы между ремонтами, о видах и причинах отказов, мероприятиях по восстановлению работоспособности, размеров затрат на ремонт и ликвидацию последствий аварийного отказа. Данные обрабатываются методами математической статистики. Зная конкретный вид и аналитическое выражение функции распределения исследуемой случайной величины, можно рассчитать вероятности безотказной работы и отказов объектов для любых значений наработки.

При подборе распределения между теоретической кривой и статистическим распределением неизбежны некоторые расхождения по различным причинам. Оценить погрешность и обосновать выбор теоретической кривой можно с помощью одного из критериев согласия (Пирсона, Стьюдента и др.)

2. Определение оптимальных сроков замены элементов горных машин. Выбор оптимальных сроков ремонтов может быть произведен только для принятой стратегии обслуживания горного оборудования участка. В качестве критерия при расчете оптимальных сроков используются экономические, технические, экологические и другие показатели. Можно также использовать в качестве критерия отношение затрат на замену узла (детали) к длительности межремонтного срока.

Различают затраты на плановую замену $A_{пл}$ узла машины и аварийную $A_{ав}$ (т.е. затраты на ликвидацию последствий аварии при внезапном отказе узла или детали). Тогда отношение

$$E = \frac{A_{пл}}{A_{пл} + A_{ав}}$$

назовем коэффициентом стоимости. Из этого отношения видно, что с увеличением затрат на замену в условиях аварийной ситуации коэффициент стоимости E стремится к

нулю, а в общем случае его значение находится в пределах $1 > E > 0$. На основе численного решения уравнения, отображающего зависимость затрат от срока замены, определяются оптимальные сроки и вероятность их достижения по накопленной информации о надежности горного оборудования. По результатам расчетов проводится качественный анализ данных и назначаются сроки и виды ремонтов.

3. Назначение видов технического обслуживания и ремонта. Для поддержания работоспособного состояния машин в процессе их эксплуатации планируют периодическое проведение технического обслуживания и ремонтов. Техническое и ремонтное обслуживание горных машин представляет собой систему мероприятий по техническому уходу, поддержанию и восстановлению работоспособности горных машин, которое устанавливается на основе рекомендаций системы планово-предупредительных ремонтов (ППР) и расчетных значений межремонтных периодов. В Положении о планово-предупредительной системе технического обслуживания и ремонта оборудования угольных и сланцевых шахт установлены виды, регламенты и принципы организации технического обслуживания и плановых ремонтов, номенклатура основной технической документации для установления ремонтных нормативов, принципы организации учета, хранения и движения запасных частей и оборудования и др.

Сущность системы планово-предупредительных ремонтов состоит в подготовке и выполнении в соответствии со структурой ремонтного цикла установленных видов технического обслуживания и плановых ремонтов. Объемы работ для конкретных условий эксплуатации систем горного оборудования разрабатываются энергомеханической службой объединений и шахт.

4. Построение графиков ремонтов. Для построения графика ремонтов вначале строится временная ось и на ней откладывается общий срок эксплуатации оборудования $T_{сл}$. Для каждого узла на оси откладывается срок замены узла $T_{опт}$, если вероятность достижения оптимальной наработки w превышает 0,9, и $T_{ср}$, если это значение меньше 0,9. При необходимости близко расположенные сроки ремонтов узлов объединяются в один. В зависимости от сложности работ назначается вид ремонта.

В окончательном варианте график ремонтов пересчитывается в суточном измерении (т.е. вычитается время на ремонтные смены в течение суток).

5. Расчет количества запасных узлов (элементов). Горное оборудование относится к системам многократного действия, которые должны выполнять заданные функции в течение длительного времени. За это время в системе может произойти случайное число отказов, обусловленное ненадежностью отдельных ее элементов. Расчет количества запчастей должен производиться с учетом количества плановых замен и аварийных отказов. в зависимости от количества обслуживаемых одноименных машин и вероятности достижения плановых сроков ремонтов используются коэффициенты запаса.

Лекция №15

МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ ГОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЕГО НАДЕЖНОСТИ НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

План занятий

- 1. Методика проведения испытаний горного оборудования**
- 4. Этапы испытания**
- 5. Методы испытания**

Для проведения испытаний назначается межведомственная комиссия (МВК), в состав которой включаются представители: заказчика; производственного объединения; предприятия, где проводятся приемочные испытания; разработчиков технического задания; бассейнового НИИ; разработчика конструкторской документации; ведущего проектно-конструкторского института; завода-изготовителя; головного НИИ; МакНИИ или ВостНИИ (при необходимости); Государственного санитарного надзора; технической инспекции профсоюза отрасли, в которой будет эксплуатироваться изделие.

В основе приемочных испытаний лежит методика, которая с учетом специфических особенностей испытуемого оборудования разрабатывается на основе Типовой методики приемочных испытаний комплексов оборудования. Методика испытаний включает следующие разделы: цели и задачи; объект; организация и порядок проведения; условия и объем; содержание и методика проведения наблюдений; выводы и рекомендации по результатам.

В соответствии с основной целью в процессе испытаний по каждому образцу комплекса и основным элементам, входящим в его состав, должны быть решены следующие задачи: определение фактических показателей технической характеристики, оценка правильности их выбора и соответствия проектным показателям; проверка соответствия основных машин комплекса существующим ГОСТам; определение фактической степени механизации и автоматизации производственных процессов; проверка работоспособности комплекса; выявление преимуществ и недостатков конструкции; проверка эксплуатационной надежности комплекса и его основных частей; оценка правильности выбора технологической схемы работы комплекса; проверка условий безопасности работ; оценка запыленности, удобств прохода, температурных условий при работе комплекса; определение технико-экономических показателей работы основных машин и комплекса в целом и установление экономической эффективности его применения; оценка уровня качества оборудования; уточнение области применения комплекса; установление целесообразности продолжения работ по доводке конструкции.

Организация и порядок проведения испытаний должны предусматривать: проверку комплектности прибывшего на место испытаний комплекса; контрольную сборку машин; опробование их в работе; обучение обслуживающего персонала. После контрольной сборки комплекс демонтируется и спускается в шахту.

Испытания проводятся в два этапа. На первом этапе осваиваются комплекс и взаимодействие основных его частей (выемочной машины, забойного конвейера, механизированной крепи и др.), производится наладка. Одновременно отрабатывается организация работ, уточняются правила безопасности. Сроки проведения первого этапа испытаний устанавливаются МВК.

Горно-геологические и горно-технические условия, выбираемые для испытаний, должны максимально соответствовать граничным, наиболее неблагоприятным условиям, установленным технической характеристикой комплекса, т.е.: мощность пласта – минимальному пределу мощности на тонких пластах и максимальному – на пластах средней

мощности и мощных; угол падения пласта – максимальному углу падения; устойчивость кровли и ее класс по обрушаемости – соответственно наименее устойчивой кровле и наиболее высокому классу обрушаемости; сопротивление почвы и кровли на вдавливание – минимальному по технической характеристике; сопротивление угля резанию – максимальному пределу этого сопротивления.

Выявляются условия безопасности при работе комплекса и его элементов, дается оценка средств пылеподавления, удобства ремонта и эксплуатации. При оценке надежности оборудования опытного образца комплекса устанавливаются: полный перечень всех отказов (отдельно комбайна, конвейера, крепи), включая отказы электрооборудования; показатели надежности комплекса в целом и отдельно комбайна, конвейера крепи лавы и крепи сопряжений и их основных частей и узлов; перечень узлов, за которыми необходимо продолжить наблюдения после завершения испытаний в заданном объеме (узлов, которые в период испытаний не отказывали и по которым не определены показатели надежности).

В процессе испытаний должны быть определены следующие показатели надежности машин и узлов: наработка на отказ, коэффициент готовности, удельная трудоемкость межремонтного технического обслуживания и плановых текущих ремонтов.

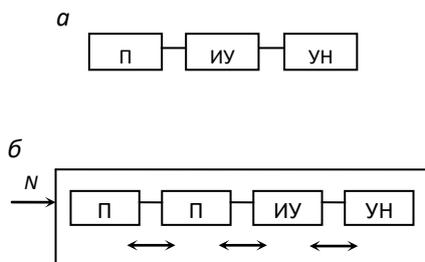
Большую роль при определении показателей надежности играют стендовые испытания деталей и узлов машин (рис.3.5). С целью экономии времени и средств эти испытания нужно проводить столько раз, сколько нужно для получения достоверных результатов. Для определения необходимого числа экспериментов пользуются теорией их планирования. Испытания образцов проводятся на специальных стендах. По результатам испытаний выполняют построение кривой усталости, оценивают параметры распределения пределов выносливости, определяют ресурс машины при эксплуатационных нагрузках.

На рис.3.5: П – привод; ИУ – испытательный узел; УН – узел нагрузки. Преимущество стенда с прямым потоком мощности – малый расход мощности, недостатки – сложная конструкция и высокая стоимость изготовления.

Сигнал обратной связи с измерительного усилителя поступает в регулировочный усилитель, где сравнивается с заданным управляющим сигналом, полученным от задающего устройства. Разность между заданным электрическим сигналом и сигналом обратной связи (фактическое значение снимается с диаметра) усиливается в регулировочном усилителе и как сигнал ошибки подается на исполнительный сервоклапан, который вносит коррекцию в поток подаваемого в полости цилиндра масла. Заданное и истинное значение нагружения можно наблюдать на осциллографе. Источником давления является гидравлический агрегат. Испытательный комплекс оборудован ЭВМ. Ввод управляющего сигнала осуществляется от магнитной записи, на которой зафиксирован реальный процесс нагружения.

Используются три основных метода испытаний на многоцикловую усталость:

- одноступенчатые испытания (регулярные нагружения);
- многоступенчатые (блочные нагружения) – 6-8 ступеней;
- испытания при случайном нагружении.



В последнее время наибольшее развитие получили испытания при случайном нагружении благодаря созданию электрогидравлических следящих систем. Различают виды нагружений:

- испытания воспроизведением (копированием);
- испытания имитацией (моделированием) реального процесса.

Для расчетного определения вероятности безотказной работы $P_m(t)$ машина должна быть разделена на отдельные элементы: системы, узлы, детали. Отказ одного элемента не должен влиять на надежность других.

Рис.3.5. Схема испытательного стенда:

Все элементы машины можно разделить на три группы. Элементы первой группы можно определить расчетным путем, второй – по аналогам, третьей – на стендах.

Коэффициент готовности системы определяется из выражения

$$K_r = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^{n_3} \frac{T_{в_i}}{T_{об_i}}}$$

Испытания на надежность объектов выполняются в соответствии ГОСТ 17510-79.

Лекция №16

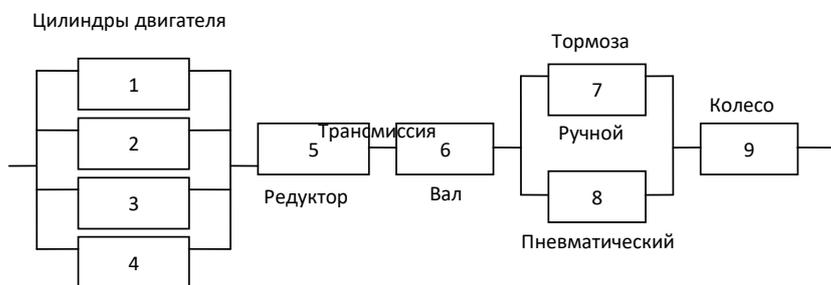
РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ КОМПЛЕКСОВ

ГОРНЫХ МАШИН

План занятий

1. Анализ процесса функционирования объекта
2. Этапы расчета показателей надежности комплекса горного оборудования

Перед расчетом надежности на стадии проектирования составляется схема расчета на основе анализа



процесса функционирования объекта. Затем формулируются его возможные структурные состояния и описываются возможные отказы. Расчет показателей безотказности

производят с помощью теорем сложения и умножения вероятностей. Для повышения надежности применяют различные схемы резервирования. С помощью лабораторных и промышленных испытаний устанавливают соответствие расчетных и фактических показателей. При организации испытаний используют факторный план экспериментов.

Задача А. Автомобиль можно представить схемой (рис.4.1).

1. Основываясь на структурной схеме, найти вероятность безотказной работы автомобиля w_a , если вероятность безотказной работы каждого элемента равна w_i .

2. Вероятность безотказной работы автомобиля равна w_a . Найти вероятность безотказной работы каждого элемента, если они одинаковы.

3. Вероятность безотказной работы автомобиля равна w_a . Вероятности безотказной работы последовательно включенных $w_{п}$ элементов одинаковы, параллельно включенных $w_{пр}$ – на 20 % меньше и тоже одинаковы. Найти вероятности безотказной работы всех элементов данной системы.

4. Вероятность безотказной работы каждого последовательно включенного элемента равна $w_{\text{п}}$, а каждого параллельно включенного на 20 % меньше $w_{\text{п}}$. Определить вероятность безотказной работы системы.

Данные для расчетов: вариант 1 – $w_i = 0,9$; вариант 2 – $w_a = 0,6$; вариант 3 – $w_a = 0,51$; $w_{\text{п}} = 0,73$; вариант 4 – $w_{\text{п}} = 0,73$.

Решение. Вариант 1: $w_a = [1 - (1 - 0,9)^4] \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot [1 - (1 - 0,9)^2] \cdot 0,9 = 0,72164$.

Вариант 2. Это задача, обратная предыдущей, $w_i = 0,849$.

Вариант 3. Уравнение для вычисления вероятности безотказной работы автомобиля имеет вид

$$w_a = [1 - (1 - 0,8w_i)^4]w_i^3[1 - (1 - 0,8w_i)^2].$$

Для последовательного соединения $w_i = 0,8342$, для параллельного соединения $w_i = 0,6674$.

Вариант 4. Уравнение для расчета вероятности безотказной работы автомобиля имеет вид

$$w_a = [1 - (1 - w_{\text{п}})^4](0,8w_{\text{п}})^3 [1 - (1 - w_{\text{п}})^2]; w_a = 0,3145.$$

Задача Б. В период нормальной эксплуатации машины, характеризуемый постоянной интенсивностью отказов, вероятность безотказной работы машины после T часов работы составляет w_m . Определить интенсивность отказов λ . Данные для расчетов: $T = 2500$; $w_m = 0,9$. Для условий задачи вероятность безотказной работы определяется по формуле

$$w_m = e^{-\lambda t},$$

отсюда интенсивность отказов

$$\lambda = -\text{Ln}(w_a)/t = -\text{Ln}0,9/2500 = 0,4214 \cdot 10^{-4}$$

Лекция №17

РАСЧЕТ И ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ ОБСЛУЖИВАНИЯ ГОРНЫХ МАШИН

План занятий

1. Определение оптимальных сроков службы элементов
2. Расчет количества запасных частей по каждому узлу

В расчетной работе рассмотрен вероятностный способ организации профилактических работ, основанный на анализе статистической информации о надежности. Целью расчетов является определение оптимальных сроков службы элементов горных машин, при которых достигается минимум затрат на проведение плановых и аварийных ремонтов, построение стратегии обслуживания горного оборудования и определение необходимого количества запасных частей.

Порядок выполнения работы:

1. Определение параметров законов распределения случайных наработок узлов и деталей машины.
2. Выбор наиболее вероятных законов распределения наработки каждого узла машины.
3. Расчет оптимального периода замены каждого узла машины, определение сроков и видов ремонтов, выбор количества запасных частей.
4. Построение графиков ремонтов.

• Определение параметров распределения наработок 1-го узла выполнено путем статистической обработки накопленных данных на ЭВМ. Получены следующие результаты:

Нормальный закон	$T_{cp} = 1780$	$\sigma = 650$
Логарифмически-нормальный закон	$A = 4,8124$	$\sigma_{л} = 0,236$
Закон Вейбулла	$A = 1884$	$B = 5,006$
Гамма-распределения	$\lambda \sigma = 0,00252$	$m = 10,41$

Для построения диаграммы и опытной кривой распределения наработок 1-го узла определяем длину интервала

$$\Delta t = \frac{T_{\max} - T_{\min}}{1 + 3,3 \lg N}$$

где T_{\max} и T_{\min} – соответственно максимальная и минимальная наработка 1-го узла машины по статистическим данным,

$$\Delta t = \frac{2629 - 840}{1 + 3,3 \cdot 2} = 235$$

На рис.4.2 представлены результаты построения диаграммы и кривой распределения наработок для 1-го узла.

• Наиболее вероятный закон распределения наработок каждого узла выбирается с помощью критерия согласия Пирсона χ^2 :

Законы распределения	Первы й узел	Второй узел	Третий узел	Четверт ый узел	Пятый узел
-------------------------	-----------------	----------------	----------------	--------------------	---------------

Нормальный	13,45	14,90	23,46	18,86	13,58
Логарифмически-нормальный	28,40	26,33	16,32	17,28	33,80
Вейбулла	4,64	4,47	16,86	20,16	5,71
Гамма	10,08	34,056	10,39	4,23	22,64

По значению критерия согласия выбраны законы распределения: первый, второй, пятый узлы – закон Вейбулла; третий, четвертый узлы – гамма-распределения.

• В качестве критерия для расчета оптимальных сроков замен используем отношение затрат на замену узла к длительности межремонтного периода $S_{уд}$ и коэффициент стоимости узла E , значение которого приведено в исходных данных. В результате расчетов на ЭВМ получены значения оптимальных сроков замены $T_{опт}$, средние значения наработок $T_{ср}$, вероятности достижения оптимальных сроков замены \square и удельные стоимости замен $S_{уд}$:

Ном ер узла	$T_{опт}$	$T_{ср}$	$S_{уд}$	\square	E
1	1840	1775	0,00005	0,945	0,185
2	6100	6034	0,00004	0,967	0,119
3	3070	2930	0,00014	0,510	0,533
4	2850	2750	0,00017	0,279	0,444
5	2730	2610	0,00013	0,296	0,644

По условию задачи при вероятности достижения оптимального срока замены более 0,9 принимается срок замены $T_{опт}$, иначе – $T_{ср}$. Принятые сроки замен выделены жирным шрифтом.

Для расчета количества запасных частей по каждому узлу необходимо назначить модели замен. Вид модели выбирается на основе анализа значений удельной стоимости замены $S_{уд}$ и коэффициента стоимости узла E . Высокие значения $S_{уд}$ делают необходимым продление межремонтного периода для максимального использования ресурса узла, а малые значения коэффициента стоимости показывают тяжесть последствий аварийного отказа.

Анализ значений этих параметров позволяет дать следующие рекомендации:

• для 1-го узла – регламентированная модель, т.е. без переноса планового срока ремонта при аварийном отказе, так как $S_{уд}$ имеет малое значение относительно других узлов и $E < 0,3$;

• для 2-го узла – регламентированная модель;

• для 3-го узла – базовая модель, т.е. узел работает до отказа, так как последствия аварийного не тяжелые, а $S_{уд}$ относительно велико;

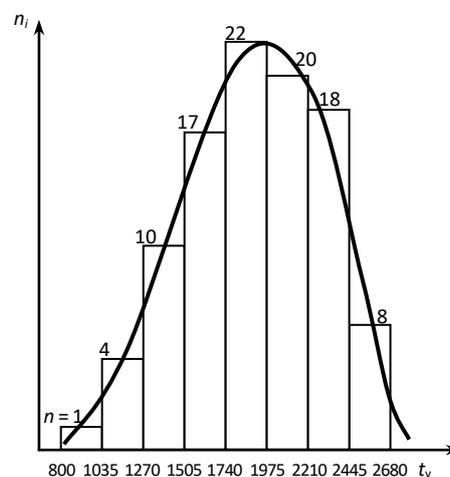
• для 4-го узла – индивидуальная модель, т.е. с переносом планового срока ремонта при замене узла по аварийному отказу (самое большое значение $S_{уд}$);

• для 5-го узла – базовая модель.

Плановое число ремонтов

$$z_{ср} = \frac{NT_{сл}}{T_p}$$

где N – число машин на участке; $T_{сл}$ – срок службы участка; T_p – межремонтный период.



Узел 1

$$z_{\text{cp}} = \frac{9 \cdot 12900}{1840} = 63; \quad \text{число запасных узлов } z1 = 1,34 \cdot 63 = 84.$$

узел 2

$$z_{\text{cp}} = \frac{9 \cdot 12900}{6100} = 19; \quad \text{число запасных узлов } z2 = 1,34 \cdot 19 = 25.$$

узел 3

$$z_{\text{cp}} = \frac{9 \cdot 12900}{2930} = 40; \quad \text{число запасных узлов } z3 = 1,34 \cdot 40 = 53.$$

узел 4

$$z_{\text{cp}} = \frac{9 \cdot 12900}{2750} = 42; \quad \text{число запасных узлов } z4 = 1,34 \cdot 42 = 56.$$

узел 5

$$z_{\text{cp}} = \frac{9 \cdot 12900}{2610} = 44; \quad \text{число запасных узлов } z5 = 1,34 \cdot 44 = 59.$$

• Для построения графика ремонтов вначале строим временную ось и откладываем на ней общий срок эксплуатации оборудования $T_{\text{сл}} = 12900$ ч. В качестве срока замены узла принимаем значение $T_{\text{опт}}$, если вероятность достижения оптимальной наработки w превышает 0,9, и значение $T_{\text{ср}}$, если это значение меньше 0,9.

Откладываем на осях каждого узла эти значения (рис.4.3). Из графика видно, что замена узлов 3, 4 и 5 может быть проведена в одну ремонтную смену, так как наибольшая разница в сроках замен невелика (для 3-го и 5-го узлов), т.е. не более 12 % от срока замены 5-го узла. Назначаем срок замены этих трех узлов на 153-е сутки ($2750/18 = 153$), так как при этом максимально используется ресурс самого дорогого из заменяемых узлов (4-го), а возможный аварийный отказ 3-го или 5-го узлов не повлечет за собой серьезных последствий.

Далее от этого срока откладываем сроки замен 3-го, 4-го и 5-го узлов снова. Теперь видно, что стали близкими замены всех пяти узлов. На этот срок назначаем капитальный ремонт машины, так как он близок к середине срока службы участка и суммарная трудоемкость ремонта максимальная.

Таким же образом продолжаем построение графика ремонтов до достижения $T_{\text{сл}}$, принимая за начало отсчета сроков замен всех узлов срок проведения капитального ремонта. После этого переводим сроки ремонтов из часового измерения в суточное, так как на шахтах принято назначать три смены добычными, а четвертую – ремонтной. При этом получается рабочий период по 18 ч каждые сутки. На окончательном графике откладываем сроки замен и назначаем виды ремонтов. Считаем, что для замены узла 1 достаточно профессиональной подготовки ремонтного персонала участка. Для замены узлов 4 и 5 можно было бы привлечь специалистов энергомеханической службы шахты (т.е. назначить T_1), но стоимость замены узла 3 в этот же срок позволяет повысить статус ремонта до T_2 (с привлечением специалистов местных ремонтных предприятий).

Лекция №18

ФАКТОРЫ ВЛИЯЮЩИЕ НА НАДЕЖНОСТЬ РУДНИЧНОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

План занятий

1. Факторы, влияющие на надежность рудничного электрооборудования

2. Условия эксплуатации электромеханического оборудования горных предприятий

3. Причины отказов рудничного электрооборудования

Факторы, влияющие на надежность рудничного электрооборудования

ГОСТ 18311—80 определяет условия эксплуатации электрооборудования как совокупность значений физических величин, являющихся внешними факторами и влияющих на его работу.

К основным воздействующим факторам условий эксплуатации относятся: температура; относительная влажность и запыленность воздуха; перепады температуры; атмосферное давление; скорость воздушной струи; вибрационные и ударные нагрузки; перемещения в процессе эксплуатации.

Условия работы электрооборудования определяются категорией применения электрических аппаратов, качеством напряжения, числом пусков, режимом работы электроустановок и т. п.

Анализ причин выхода из строя электрооборудования, эксплуатирующегося на угольных и рудных шахтах, показал, что климатические и механические факторы, а также условия работы оказывают существенное влияние на его надежность.

В соответствии с ГОСТ и рядом отраслевых нормативных документов условия эксплуатации электрооборудования классифицированы по степеням жесткости. Установлено 15 степеней жесткости по положительной температуре, 9 - по отрицательной, 20 - по вибрационным нагрузкам, 4 - по ударным нагрузкам, 8 - по относительной влажности и т. д.

Высокая надежность и эффективность электрооборудования могут быть обеспечены в том случае, когда принятые в процессе проектирования технические решения (технические параметры,

Конструкция, технология изготовления, виды испытаний) соответствуют строго оговоренным условиям (степеням жесткости) эксплуатации.

В соответствии с этим при разработке учитывается рабочая и предельная температура, влажность воздуха, воздействие капежа, запыленность воздуха, агрессивность среды, скорость воздушной среды, вибрационные и ударные нагрузки и др. Например, средняя годовая рабочая температура (°С) воздуха в шахтах может быть принята: в основных выработках 12; в забоях 15; в камерах подстанций 18.

Рудничное электрооборудование разрабатывается и изготавливается в различных исполнениях: при размещении его на поверхности под навесом (например, У2: климатическое исполнение У, категория размещения 2); в подземных выработках (У5); в районах с холодным климатом: на поверхности под навесом ХЛ2, в подземных выработках ХЛ5.

Наряду с указанными показателями качество напряжения оказывает значительное влияние на показатели надежности электрооборудования. Показателями качества

напряжения являются отклонение частоты, отклонение и колебание напряжения, несинусоидальность формы кривой напряжения, колебание частоты, смещение нейтрали и несимметрия напряжения основной частоты.

Условия эксплуатации электромеханического оборудования горных предприятий

Условия эксплуатации принято определять как совокупность внешних факторов (физических величин), которые могут на него влиять в процессе работы. Внешние факторы подразделяют на две группы: климатические и механические.

На подземных горных работ из климатических факторов наибольшее воздействие оказывать влажность, температура, пыль, коррозионно-активные вещества. Из механических факторов - вибрация, резкие толчки и удары, а для выводных концов электрооборудования, кроме того, растягивающая и изгибающая силы, крутящий момент, скручивание, которые возможны при монтаже электрооборудования.

Высокая влажность (до 100%) в подземных выработках угольных и рудных шахт объясняется наличием грунтовых вод, а повышенная температура (по данным МакНИИ, в некоторых выработках она достигает +40С даже при кондиционировании) естественным ее увеличением в связи с положительным градиентом по глубине разработок и (в меньшей степени) тепловыделением от работающего электрооборудования.

Значительна коррозионная активность шахтных вод. Содержание в них катионов и анионов кислот и щелочей, двуокиси углерода, а также других химически активных элементов достигает 50 г на 1 л.

Влажность, температура, пыль, агенты агрессии, плесневые грибки, воздействуя на оболочки и изоляцию электрооборудования, снижают их надежность и, следовательно, приводят к преждевременным его отказам.

При открытой разработке месторождений полезных ископаемых климатических факторов, влияющих на электрооборудование, значительно больше. Кроме более высоких (+45С и выше) и низких (- 50С и ниже) температур ее изменений в течение суток (40С и более) оказывают воздействие такие факторы, как солнечное излучение, ветер, дождь, иней и др.

Выделяют три характерных вида воздействия температуры на работу электрооборудования в карьерах: длительное повышение или понижение; колебание температуры; эпизодическое повышение или понижение. Причина преждевременного отказа электрооборудования при длительном воздействии повышенной температуры - несоответствие выбранной изоляции токоведущих частей степени нагрева. Смены температур и, как следствие, периодический нагрев и охлаждение электрооборудования обусловлены суточными колебаниями и цикличностью работы самого оборудования. Особенно неблагоприятно сказываются смены температур с переходом через ноль при высокой влажности, так как при этом происходит выпадение инея на контактах, примерзание якорей реле и нарушение из-за этого работы систем управления.

При низких температурах (-30С и ниже) особенно осложняется работа электросетевого оборудования. Например, трансформаторное масло загустевает настолько, что вызывает полные отказы масляных выключателей. Замена их для этих условий на вакуумные – наиболее эффективная мера повышения эксплуатационной надежности.

Неблагоприятно сказывается на работе электрических аппаратов, заполненных трансформаторным маслом, влажность, так как, обладая гигроскопичностью, масло

поглощает влагу и теряет свои диэлектрические свойства. В связи с этим, срок замены трансформаторного масла в аппаратах составляет около 3 мес.

Коррозия на открытых работах связана с загрязнением слоя влаги, эпизодические появляющегося на поверхности электрооборудования, различными химическими веществами, оседающими из воздуха. Образующийся при этом электролит интенсивно разрушает элементы электрооборудования.

Существенное влияние на карьерное электрооборудование оказывает солнечная радиация: под солнечными лучами резко ускоряются процессы распада электроизоляционных материалов (полихлорвинил, фторопласт, резина и т.п.), растрескивается и разрушается лакокрасочные покрытия. Дополнительный нагрев поверхностей открыто установленного оборудования прямыми солнечными лучами достигает 30 0С. Такому воздействию подвергаются карьерные высоковольтные приключательные пункты (ПП), располагаемые на рабочих бортах.

От способа разрушения полезного ископаемого (механический, буровзрывной), вида транспорта (электрический, конвейерный, автомобильный), конструкций погрузочно-разгрузочных устройств и сооружений зависит запыленность горных выработок. Наибольшему воздействию пыли на шахтах и карьерах подвергается забойное электрооборудование. Накапливаясь на поверхности токоведущих частей электрооборудования, слой пыли становится электропроводным и по нему обычно происходит пробой. Попадая в электрооборудование, частицы пыли ускоряют абразивный износ его элементов, являются причиной заедания подшипников. Между запыленностью воздуха карьера и наработкой до капитального ремонта электрооборудования существует корреляционная связь, которую необходимо использовать при разработке новых пыленепроницаемых конструкций электрооборудования.

Механические воздействия (удары, вибрация, растягивающие усилия и т.п.) испытывает электрооборудование – при перемещении большинство машин в процессе работы (очистные и проходческие комбайны, экскаваторы и др.) и периодическом передвижении электроустановок (конвейеры, буровые станки, подстанции, распределительные и переключательные пункты и т.п.).

Переключательные пункты и другое электросетевое оборудование при транспортировании по неподготовленным трассам испытывают значительные вибрационные нагрузки (частота вибраций до 180 Гц, амплитуда 0,2-0,5 мм, ускорение 15g). Вибрационные нагрузки часто вызывают разрушение опорных и проходных изоляторов, отломи тяг и разрегулирование контактных систем, потерю жесткости и прочности сварных конструкций, повреждение приборов, реле защиты и т. п.

Кроме климатических и механических факторов внешней среды состояние электрооборудования сказываются горно-геологические факторы. Это проявляется в характере режимов работы горных машин, совокупность которых наиболее полно отражает условия их работы.

Причины отказов рудничного электрооборудования

Сбор статистических данных в процессе эксплуатации рудничного электрооборудования и его анализ позволяют выявить наиболее характерные причины отказов электродвигателей, пускозащитной аппаратуры, трансформаторов и трансформаторных подстанций, кабелей.

Исследования показали, что наибольшее число отказов у комбайновых двигателей приходится на долю статорной обмотки и вводных коробок, загрязненных угольной пылью, редукторным маслом, подшипниковой смазкой и залитых водой.

В обмотках статора таких электродвигателей основная часть пробоев изоляции секций на корпус приходится на уголки секций вблизи выхода их из паза. Пазовая часть секции из-за электродинамических ударов и термомеханического трения о стенки паза изнашивается сильнее, чем лобовые части. Пробои витковой изоляции отмечаются только в лобовых частях и отсутствуют в пазовой части при любой стадии старения изоляции. Следует отметить, что выплавление алюминиевых обмоток ротора у двигателей ЭДК, например, наблюдается в 2 раза реже, чем у двигателей ЭДКО с более высокой скоростью нарастания температуры.

Появившаяся в процессе эксплуатации несоосность ротора и статора может привести к «затиру» ротора о статор.

Наиболее характерные повреждения подшипников комбайновых электродвигателей при нормальной работе — усталостные повреждения и бринелирование поверхностей качения. Попадание в смазку подшипников угольной и породной пыли, частиц металла приводит к образованию вмятин на поверхности качения. Происходит абразивный износ, постепенно приводящий к усталостному выкрашиванию. Под влиянием температуры и механической нагрузки смазка подшипника постепенно стареет, вязкость ее снижается, что может привести к его биению, заклиниванию и затиру ротора.

У электродвигателей серии ВАО наиболее характерным видом повреждений является обугливание витковой изоляции из-за теплового воздействия. Витковые замыкания характерны для лобовой части обмотки статора со стороны соединения секций. Межфазные и витково-межфазные замыкания происходят в соединениях секций и выводных концах лобовых частей обмоток. Из других характерных повреждений следует отметить корпусные замыкания, заклинивание подшипников, вентилятора о кожух, обрыв сети и т. п.

К основным отказам рудничных взрывобезопасных электрических аппаратов (распредустройства, автоматические выключатели, магнитные станции, пускатели и др.) следует отнести отказы схем дистанционного управления, механизмов свободного расцепления, силовых контактов, отключающих катушек.

Отказы в схемах дистанционного управления вызваны прежде всего отказами отдельных ее элементов из-за влияния жестких условий окружающей среды и низкого качества питающего напряжения. У резисторов и полупроводниковых элементов наблюдается отказ типа обрыв, у конденсаторе — короткое замыкание, у дросселей и стабилизаторов — витковое замыкание. До 95 % отказов наблюдается из-за некачественного соединения или пайки.

Причинами отказов различного рода реле является разрегулировка контактов, образование на их поверхности непроводящей пленки из-за коррозии и загрязнения, сваривание контактов. Для маломощных реле характерны ложные срабатывания под действием ударных и вибрационных нагрузок. Однако основная доля отказов приходится на включающие катушки.

Причиной отказов дросселей, трансформаторов является разрушение изоляции обмоток, происходящее под влиянием повышенной температуры и влажности, вибрационных и ударных нагрузок.

При анализе отказов трансформаторных подстанций и трансформаторов было установлено, что наибольшее число отказов подстанций приходится на автоматические

выключатели и блоки защиты БЗП-1А. В указанных аппаратах наиболее характерным является износ контактов, пробой изоляции обмотки ВН на корпус, витковые замыкания обмотки ВН, витковые замыкания отключающей катушки автоматического выключателя. Интенсивность отказов в среднем составляет $13,3 \cdot 10^{-5}$ 1/ч (при наработке на отказ - 7500 ч).

Отказы шахтных гибких кабелей чаще всего происходят из-за механических повреждений изоляции (до 85%). Однако из-за увлажнения изоляции в концевых разделках, соединительных муфтах и счалках наблюдаются также электрические пробой и снижение сопротивления изоляции. Этим объясняется довольно ограниченный срок службы гибких кабелей.

Для бронированных кабелей с бумажной изоляцией характерны отказы из-за пробоя изоляции в проходных и вводных муфтах, из-за механических повреждений в выработках падающими кусками породы, транспортными средствами и при креплении выработок.

Для кабелей напряжением выше 1000 В можно рекомендовать следующие данные по интенсивности отказов (на 100 м), 1/ч: ствольные $\lambda_c = 2,4 \cdot 10^{-5}$; в наклонных выработках $\lambda_n = (6,5 \div 9,0) \cdot 10^{-5}$, в горизонтальных выработках $\lambda_g = (3,7 \div 6,7) \cdot 10^{-5}$.

Для кабелей напряжением до 1000 В данные значительно выше и составляют, 1/ч: для гибких комбайновых $\lambda_k = 58,0 \cdot 10^{-5}$; гибкие в лавах $\lambda_l = 29,2 \cdot 10^{-5}$; гибкие в выработках $\lambda_v = 12,5 \cdot 10^{-5}$; бронированные $10,0 \cdot 10^{-5}$.

РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Брауде В.И.* Надежность горно-транспортных машин / В.И.Брауде, Л.Н.Семенов. Л.: Машиностроение, 2015г.
2. *Гетопанов В.Н.* Проектирование и надежность средств комплексной механизации / В.Н.Гетопанов, В.М.Рачек. М.: Недра, 2004 г.
3. *Калявин В.П.* Основы теории надежности и диагностики. СПб: Элмор, 1998.
4. *Марголин И.И.* Основы теории надежности горных транспортных машин / ЛГИ. Л., 1980.
5. *Пушкин В.Г.* Проблемы надежности. М.: Наука, 2013 г.
6. Надежность в машиностроении: Справочник / под ред. В.В.Шашкина, Г.П. Карзова. СПб: Политехника, 1992.

**ФИЛИАЛ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
АВТОНОМНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ**

**«Национальный исследовательский технологический
университет «МИСиС» в г. Алмалык**

КАФЕДРА «ГОРНОЕ ДЕЛО»

МЕТОДИЧЕСКОЕ УКАЗАНИЕ

для практических работ по дисциплине
«Надежность горных машин»

Алмалык 2021 г.

Практическая работа №1

Расчеты показателей надежности элементов.

Надежность – свойство объекта выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям использования объекта, ремонта, хранения и транспортирования.

Надежность включает в себя:

- безотказность;
- долговечность;
- ремонтпригодность;
- сохраняемость.

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

Отказ – событие, заключающееся в нарушении работоспособности объекта. Признаки (критерии) отказов устанавливаются НТД на данный объект.

Внезапный отказ – отказ, характеризующийся скачкообразным изменением одного или нескольких заданных параметров объекта.

Постепенный отказ – отказ, характеризующийся постепенным изменением одного или нескольких заданных параметров объекта.

Сбой – самоустраняющийся отказ, приводящий к кратковременным нарушениям работоспособности.

Производственный отказ – отказ, возникший в результате нарушения установленного процесса изготовления или ремонта объекта.

Эксплуатационный отказ – отказ, возникший в результате нарушения установленных правил и (или) условий эксплуатации или влияния непредусмотренных внешних воздействий.

Полный отказ – отказ, после возникновения которого использование объекта по назначению невозможно до восстановления его работоспособности.

Частичный отказ – отказ, после возникновения которого изделие может быть использовано по назначению, но с меньшей эффективностью.

Причина отказа – явления, процессы, события и состояния, обусловившие возникновение отказа объекта. Возникновение отказа может быть обусловлено ошибками либо низким уровнем проектирования объекта, несоблюдением технологии при производстве, нарушениями правил эксплуатации, различного рода повреждениями, естественными процессами в самом объекте (усталость материала, износ, коррозия и др.).

Показатели безотказности невосстанавливаемых объектов:

- *вероятность безотказной работы* $P(t_0)$ – вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ объекта не возникнет;
- *интенсивность отказов* $\lambda(t)$ – условная плотность возникновения отказа, определяемая для рассматриваемого момента времени при условии, что до этого отказ не возник;
- *средняя наработка до отказа* T_0 – математическое ожидание наработки до первого отказа.

Математическое определение *вероятности безотказной работы* от начала эксплуатации до t_0 (рис.1.1):

- вероятностное

$$P(t_0) = P(0, t_0) = P\{\theta \geq t_0\} = 1 - F(t_0),$$

где θ – случайное время работы (наработки) объекта до отказа (между отказами); $F(t_0)$ – функция распределения случайной величины θ ;

- статистическое

$$\hat{P}(t_0) = \frac{N(t_0)}{N(0)} = \frac{N(0) - n(t_0)}{N(0)} = 1 - \frac{n(t_0)}{N(0)},$$

где $N(t_0)$ – количество исправленных объектов в момент времени t_0 ; $N(0)$ – количество исправленных объектов в момент времени $t = 0$; $n(t_0)$ – количество отказов объектов за время t_0 .

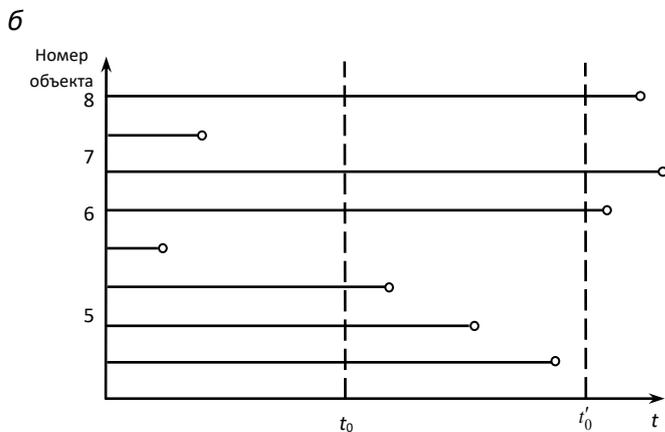
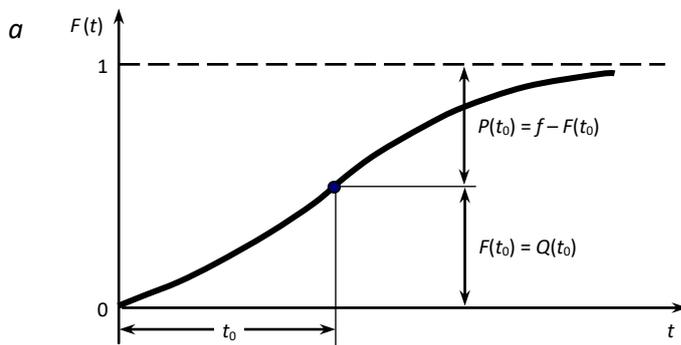


Рис.1.1. Определение безотказности: а – вероятностное; б – статистическое

Если отсчет времени работы производится от произвольного момента t , то вероятность безотказной работы в интервале времени от t до $t + t_0$ может быть определена на основании теоремы умножения вероятностей.

Действительно,

$$P(t + t_0) = P(t)P(t, t + t_0).$$

вероятностный способ определения:

$$P(t, t+t_0) = \frac{P(t+t_0)}{P(t)},$$

где $P(t, t+t_0)$ – вероятность того, что объект проработает безотказно в течение заданного времени t_0 , начиная с момента времени t , или условная вероятность того, что случайное время работы до отказа окажется больше $t+t_0$ при условии, что объект уже проработал безотказно до момента времени t .

Статистический способ определения:

$$\hat{P}(t, t+t_0) = \frac{N(t+t_0)/N_0}{N(t)/N_0} = \frac{N(t+t_0)}{N(t)},$$

где $N(t)$ – количество объектов, исправленных к моменту времени t .

При вероятности отказа в интервале времени от 0 до t_0 :

- вероятностное определение :

$$Q(t_0) = Q(0, t_0) = P\{\theta < t_0\} = F(t_0),$$

где $Q(t_0)$ – вероятность того, что объект откажет в течение заданного времени t_0 , начав работу при $t = 0$, или того, что случайное время работы объекта до отказа окажется меньше заданного времени t_0 ; очевидно, что $Q(t_0) = 1 - P(t_0)$, так как события несовместны;

- статистическое определение

$$\hat{Q}(t_0) = \frac{n(t_0)}{N(0)}.$$

При вероятности отказа в интервале времени от t до $t+t_0$:

- вероятностное определение:

$$Q(t, t+t_0) = 1 - P(t, t+t_0) = 1 - \frac{P(t+t_0)}{P(t)};$$

- статистическое определение:

$$Q(t, t+t_0) = 1 - \frac{N(t+t_0)}{N(t)} = \frac{N(t) - N(t+t_0)}{N(t)} = \frac{\Delta n(t, t_0)}{N(t)},$$

где $\Delta n(t, t_0)$ – число общих отказов именно в интервале времени $(t, t+t_0)$.

Задача. На испытание поставлено N_0 изделий. За время t час вышло из строя $n(t)$ штук изделий. За последующий интервал времени Δt вышло из строя $n(\Delta t)$ изделий. Необходимо вычислить вероятность безотказной работы $(\bar{P}(t))$ за время t , частоту отказов $\bar{a}(t)$ и интенсивность отказов $\bar{\lambda}(t)$ на интервале Δt . Исходные данные для решения задачи приведены в таблице 1.

Таблица 1. Исходные данные для задачи 1

№ вар.	N_0	$t, \text{ час}$	$\Delta t, \text{ час}$	$n(\Delta t)$
1	60	20	20	8
2	75	40	35	7
3	50	70	50	6
4	55	55	50	8
5	65	75	75	9
6	80	85	80	10
7	85	90	80	8
8	45	5	5	5

Решение

Вероятность безотказной работы ($\bar{P}(t)$):

$$\bar{P}(t) = (N_0 - n(\Delta t)) / N_0 = (45 - 5) / 45 = 0,888888889$$

Частота отказов $\bar{a}(t)$ на интервале Δt :

$$\bar{a}(t) = n(\Delta t) / (N_0 \Delta t) = 5 / (45 * 5) = 0,022222222$$

Интенсивность отказов $\bar{\lambda}(t)$ на интервале Δt :

$$\lambda(t) = \bar{a}(t) / \bar{P}(t) = 0,022222222 / 0,888888889 = 0,0250000$$

Практическая работа №2

Расчеты ВБР и средней наработки на отказ элементов.

Показатели безотказности восстанавливаемых объектов:

- *вероятность безотказной работы* $P(t)$;
- *параметр потока отказов* $\omega(t)$ – плотность вероятности возникновения отказа восстанавливаемого объекта, определяемая для рассматриваемого момента времени;
- *наработка на отказ* T – отношение наработки восстанавливаемого объекта к математическому ожиданию числа его отказов в течение этой наработки.

Вероятность безотказной работы определяется точно так же, как и для невосстанавливаемых объектов. Однако следует учитывать, что функции распределения наработки между началом эксплуатации и первым отказом, первым и вторым отказом и так далее, могут быть различными. Поэтому вероятность безотказной работы следует определять через соответствующую функцию распределения. При эксплуатации горного оборудования информацию о надежности собирают отдельно для новых и для вышедших из капитального ремонта объектов.

Для интенсивности отказов:

- * вероятностное определение. Из определения интенсивности отказов по теореме умножения вероятностей имеем:

$$\Delta f(t) = P(t)\lambda(t)\Delta t$$

или

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)} = \frac{1}{1-F(t)} \frac{d}{dt} P(t) = -\frac{d[P(t)]}{p(t)} = \frac{d[Q(t)]}{1-Q(t)},$$

где $f(t)$ – плотность вероятности отказа объекта к моменту времени t при условии, что до этого момента отказ изделия не произошел;

- * статистическое определение:

$$\hat{\lambda}(t) = \frac{\Delta n(t, t + \Delta t) / N(0)\Delta t}{N(t) / N(0)} = \frac{\Delta n(t, t + \Delta t)}{N(t)\Delta t},$$

где Δn – велико; Δt – мало; $\hat{\lambda}(t)$ – отношение числа отказов в интервале времени $(t, t + \Delta t)$ к произведению числа исправленных объектов в момент времени t на длительном интервале времени Δt (количество отказов одного объекта в единицу времени при условии, что до этого момента отказ изделия не произошел).

Для средней наработки до отказа:

- * вероятностное определение для непрерывной наработки:

$$T_0 = M\{\theta\} = \int_0^{\infty} t f(t) dt = \int_0^{\infty} P(t) dt,$$

где T_0 – математическое ожидание наработки до первого отказа;

- * статистическое определение:

$$\hat{T}_0 = \frac{1}{N(0)} (\theta^{(1)} + \theta^{(2)} + \dots + \theta^{[N(0)]}) = \frac{1}{N(0)} \sum_{i=1}^{N(0)} \theta^{(i)},$$

где \hat{T}_0 – среднее арифметическое реализации времени работы объекта до отказа.

Если известна одна из функций $P(t)$, $Q(t)$, $f(t)$, $\lambda(t)$, то через нее можно определить остальные (табл.2.1).

Таблица 2.1 Функциональная связь между показателями надежности

Известная функция	Формулы для определения трех остальных функций			
	$P(t)$	$Q(t)$	$f(t)$	$\lambda(t)$
$P(t)$	–	$1 - P(t)$	$-\frac{d}{dt} P(t)$	$-\frac{1}{P(t)} \frac{d}{dt} P(t)$
$Q(t)$	$1 - Q(t)$	–	$\frac{d}{dt} Q(t)$	$\frac{1}{1 - Q(t)} \frac{d}{dt} Q(t)$
$f(t)$	$\int_0^{\infty} f(x) dx$	$\int_0^t f(x) dx$	–	$\frac{f(t)}{\int_t^{\infty} f(x) dx}$
$\lambda(t)$	$\exp\left(-\int_0^t \lambda(x) dx\right)$	$1 - \exp\left(-\int_0^t \lambda(x) dx\right)$	$\lambda(t) \exp\left(-\int_0^t \lambda(x) dx\right)$	–

Найдем зависимость $P(t)$ от $\lambda(t)$. Из определения плотности отказов и интенсивности отказов имеем:

$$\lambda(t) = -\frac{d}{dt} P(t) \frac{1}{P(t)}; \quad \frac{dp}{p} = -\lambda(t) dt;$$

$$\ln P(t) - \ln P(0) = -\int_0^t \lambda(t) dt, \quad P(0) = 1, \ln P(0)^0 = 0,$$

следовательно,

$$P(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}.$$

Определение показателей безотказности для восстанавливаемых объектов выполняется так же, как и для невозстанавливаемых объектов.

Задача. Изделие состоит из N элементов, средняя интенсивность отказов которых λ_{cp} . Требуется вычислить вероятность безотказной работы в течение времени t и среднюю наработку до первого отказа. Исходные данные для решения задачи приведены в таблице 2.2

Решение

Вероятность безотказной работы $P(t)$:

$$P(t) = e^{-\lambda_c * t},$$

Где, λ_c – средняя интенсивность отказов;

$$\lambda_c = N * \lambda_{cp},$$

$$\lambda_c = 189000 * 1,4 * 10^{-6} = 0,2646;$$

$$P(t) = e^{-0,2646 * 2} = 0,589076.$$

Средняя наработка до первого отказа T_{cp} :

$$T_{cp} = 1 / \lambda_c$$

$$T_{cp} = 1 / 0,2646 = 3,779289.$$

Таблица 2,2. Исходные данные для задачи 2

№ вар.	<i>N</i>	<i>λ_{ср}, 1/час</i>	<i>t, час</i>
1	200 000	$2 * 10^{-6}$	7
2	190 000	$2,7 * 10^{-6}$	5
3	195 000	$3 * 10^{-6}$	6
4	200 000	$1,7 * 10^{-6}$	7
5	205 000	$1,7 * 10^{-5}$	8
6	180 000	$2,1 * 10^{-5}$	5
7	197 000	$2,8 * 10^{-6}$	4
8	189 000	$1,4 * 10^{-6}$	2

Практическая работа №3 Построение графиков показателей надежности элемента

Пусть время работы элемента до отказа подчинено экспоненциальному закону распределения с параметром λ . Требуется вычислить количественные характеристики надежности элемента $P(t), a(t), T_{cp}$ при значении t . Построить графики зависимости $P(t), a(t)$ от t . Исходные данные для решения задачи приведены в таблице 3.

Таблица 3. Исходные данные для задачи 3

№ варианта	λ	t_1	t_2	t_3
1	$2 \cdot 10^{-6}$	700	800	900
2	$2,7 \cdot 10^{-6}$	780	850	900
3	$3 \cdot 10^{-6}$	500	700	800
4	$1,7 \cdot 10^{-6}$	400	600	800
5	$1,7 \cdot 10^{-5}$	450	650	850
6	$2,1 \cdot 10^{-5}$	600	700	900
7	$2,8 \cdot 10^{-6}$	650	750	850
8	$1,4 \cdot 10^{-6}$	400	500	600

Решение

Вероятность безотказной работы $P(t)$:

$$P(t) = e^{-\lambda \cdot t}$$

$$P(t_1) = e^{-0,0000014 \cdot 400} = 0,999440157;$$

$$P(t_2) = e^{-0,0000014 \cdot 500} = 0,999300245;$$

$$P(t_3) = e^{-0,0000014 \cdot 600} = 0,999160353.$$

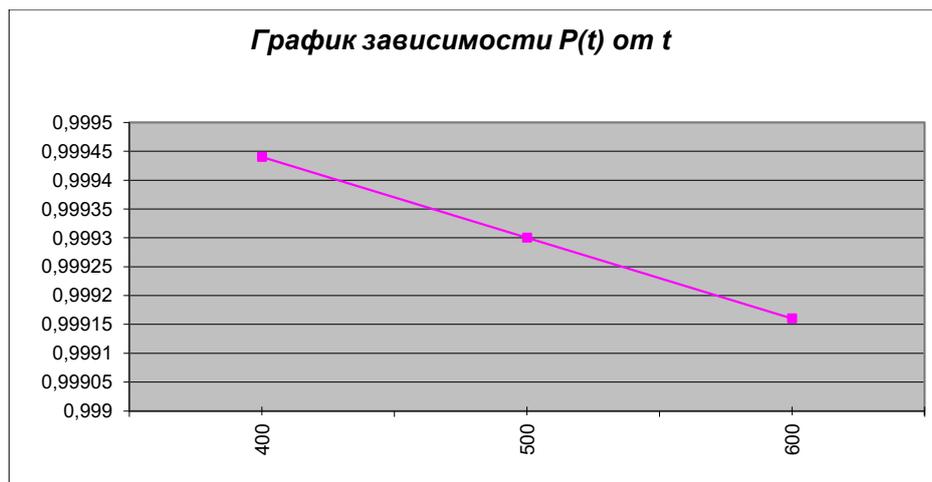


Рис.3.1. График зависимости вероятности безотказной работы от времени

Число отказов $a(t)$:

$$a(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

$$a(t_1) = 0,0000014 \cdot e^{-0,0000014 \cdot 400} = 0,0000013992;$$

$$a(t_2) = 0,0000014 \cdot e^{-0,0000014 \cdot 500} = 0,0000013990;$$

$$a(t_3) = 0,0000014 * e^{-0,0000014*600} = 0,0000013988.$$

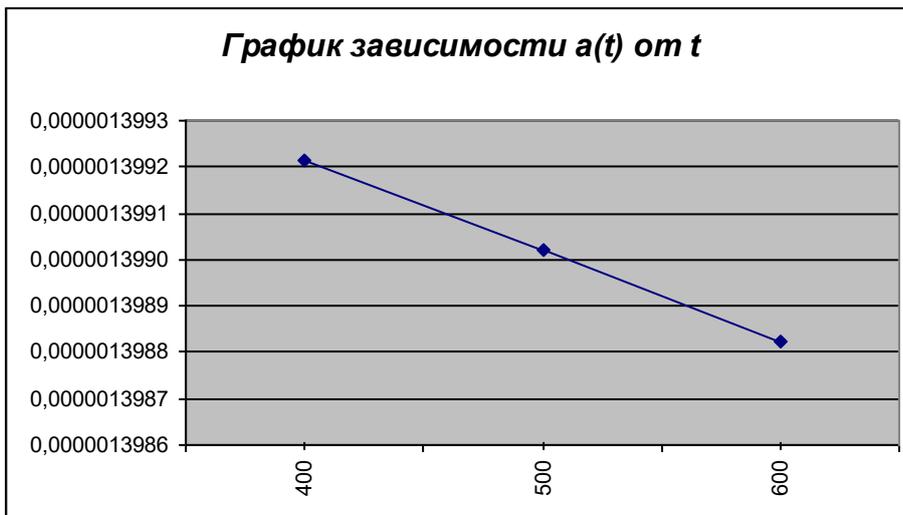


Рис.3.2. График зависимости числа отказов от времени

Средняя наработка до первого отказа T_{cp} :

$$T_{cp} = 1 / \lambda$$

$$T_{cp} = 1 / 0,0000014 = 714285,7143.$$

Практическая работа №4

Определение количественных показателей надежности в определенный период времени

Для решения практических вопросов в области надежности используются показатели, с помощью которых характеризуется количественно уровень надежности горных машин и оборудования.

Показатели надежности позволяют:

- оценивать надежность машин при проектировании, определять ее экспериментально при испытании и эксплуатации машин;
- оценивать влияние уровня надежности машин на производительность Q ;
- намечать пути повышения надежности, применяемого и вновь создаваемого оборудования;
- рассчитывать количество запчастей;
- определять оптимальную периодичность профилактики горных машин.

Для количественной характеристики надежности могут использоваться различные показатели, которые относятся к различным свойствам надежности.

Задача. Время работы изделия до отказа подчиняется закону распределения Релея. Требуется вычислить количественные характеристики $P(t)$, $a(t)$, $\lambda(t)$, T_{cp} для t час, если параметр распределения σ час. Исходные данные для решения задачи приведены в таблице 4.

Таблица 4. Исходные данные для задачи 4

№ варианта	σ	t_1	t_2	t_3
1	2000	700	750	800
2	1500	500	600	700
3	1800	400	600	800
4	1700	500	650	800
5	1500	600	700	800
6	1600	550	600	650
7	1900	450	550	650
8	1000	600	650	700

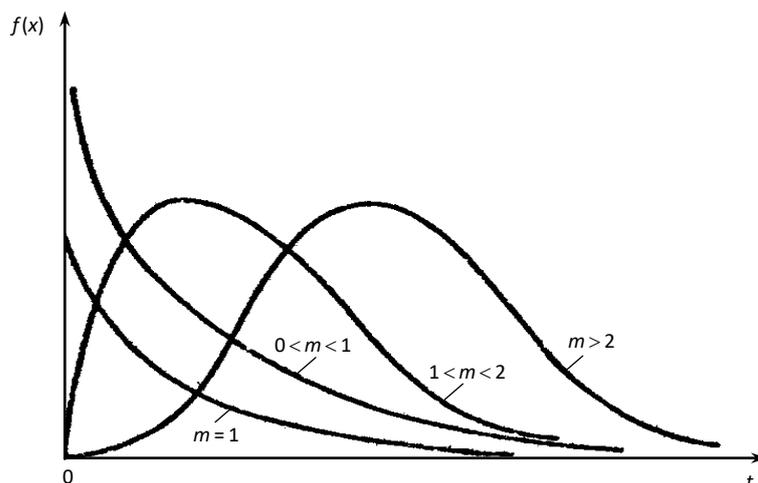


Рис.4.1. Гамма-распределение

Решение

Вероятность безотказной работы $P(t)$:

$$P(t_1) = e^{-\frac{t_1^2}{2\sigma^2}} = 0,8352702114;$$

$$P(t_2) = e^{-\frac{t_2^2}{2\sigma^2}} = 0,8095716487;$$

$$P(t_3) = e^{-\frac{t_3^2}{2\sigma^2}} =$$

0,7827045382.

Частота отказов (плотность распределения) $a(t)$:

$$a(t_1) = \frac{t_1}{\sigma^2} e^{-\frac{t_1^2}{2\sigma^2}} = 0,0005011621;$$

$$a(t_2) = \frac{t_2}{\sigma^2} e^{-\frac{t_2^2}{2\sigma^2}} = 0,0005262216;$$

$$a(t_3) = \frac{t_3}{\sigma^2} e^{-\frac{t_3^2}{2\sigma^2}} = 0,0005478932.$$

Интенсивность отказов $\lambda(t)$:

$$\lambda(t_1) = \frac{t_1}{\sigma^2} = 0,00060;$$

$$\lambda(t_2) = \frac{t_2}{\sigma^2} = 0,00065;$$

$$\lambda(t_3) = \frac{t_3}{\sigma^2} = 0,00070.$$

Средняя наработка до первого отказа T_{cp} :

$$T_{cp} = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \sigma = 1253,296.$$

Практическая работа №5

Определение интенсивности отказов при двухстороннем доверительном интервале.

Физические процессы практически в любой области носят случайный характер. Это связано с причинами их возникновения и течения. Поэтому исследования в теории надежности выполняются на основе методов теории вероятностей и математической статистики. Основой этих методов являются понятия события, случайной величины, теоремы сложения и умножения вероятностей для оценки надежности.

Интенсивность отказов

$$\lambda(t) = \frac{1}{a} = \text{const}$$

Поэтому плотность вероятности и функцию распределения при экспоненциальном распределении записывают в виде

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$$

Функция распределения $F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$

Размерность $\lambda[\text{с}^{-1}]$ – количество отказов в единицу времени.

Можно показать, что средняя наработка до отказа $T_0 = 1/\lambda$ и дисперсия $D = 1/\lambda^2$.

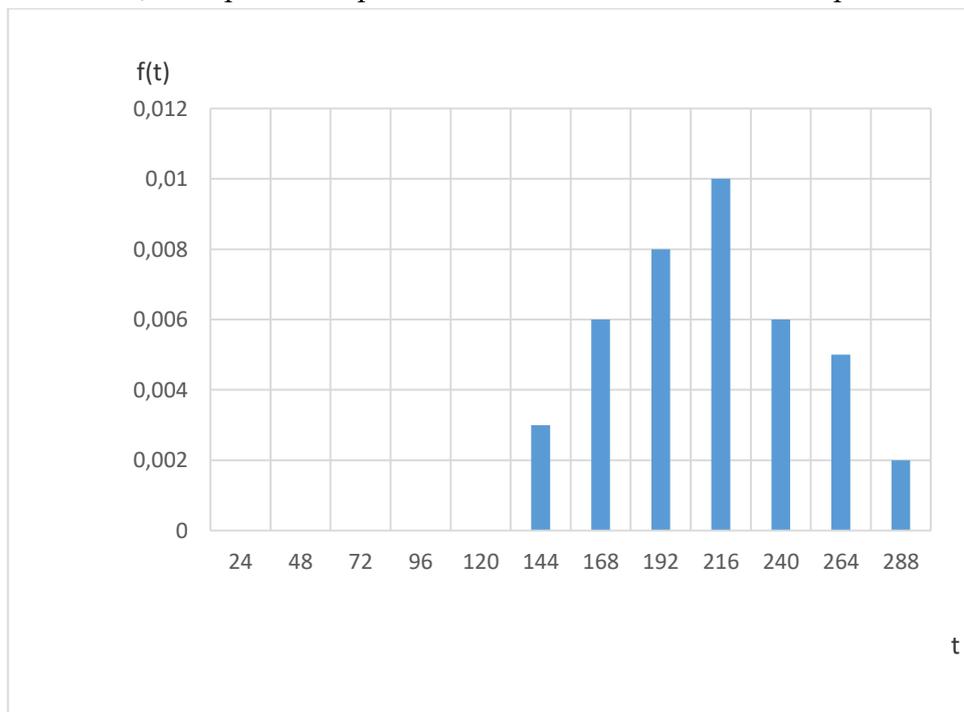


Рис.5.1 Гистограмма плотности распределения отказов элементов

Задача. За время испытаний по плану $[n, B, t_0]$ отказало d устройств, причем отказавшие устройства проработали до выхода из строя соответственно t_1-t_n час. Требуется определить оценку λ и двусторонний доверительный интервал для α . Исходные данные для решения задачи приведены в таблице 5.

Таблица 5. Исходные данные для задачи 5

№ варианта	N	t ₀	d	t ₁ -t _n	α ₂
1	100	1000	7	100, 200, 300, 500, 700	0,7
2	90	110	9	150, 200, 250, 300, 400	0,8
3	110	950	11	200, 400, 600, 800	0,7
4	125	650	21	100, 150, 200, 250	0,6
5	210	700	13	150, 300, 450, 600	0,9
6	130	800	14	200, 250, 400, 700	0,8
7	95	850	9	200, 400, 600, 800	0,7
8	70	500	5	150, 200, 300, 350, 450	0,8

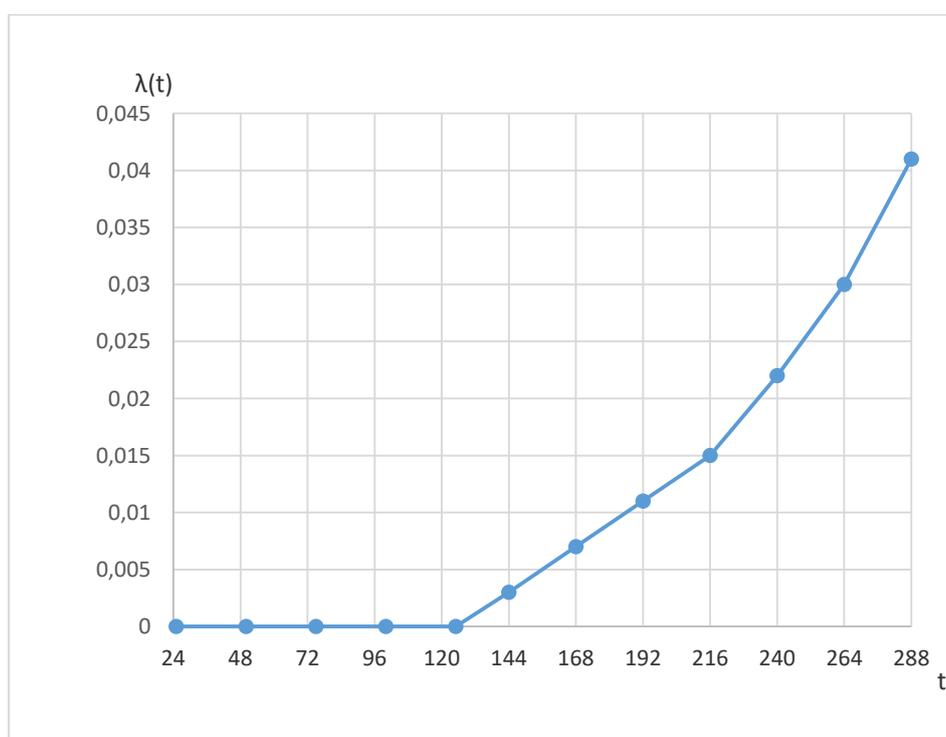


Рис.5.2 Кривая интенсивности отказов элементов

Решение

Суммарная наработка t_{Σ} :

$$t_{\Sigma} = \sum_{i=1}^d t_i + (n-d) * t_0 = 33950;$$

Оценка интенсивности отказов $\bar{\lambda}$:

$$\bar{\lambda} = \frac{d}{t_{\Sigma}} = 0,000147275;$$

Верхняя граница λ_B :

$$\lambda_B = \frac{\chi^2(\alpha_2)(2d)}{2t_\Sigma} = 0,000268041;$$

Нижняя граница λ_H :

$$\lambda_H = \frac{\chi^2(1-\alpha_2)(2d)}{2t_\Sigma} = 0,00013947.$$

Двусторонний доверительный интервал: [0,00013947; 0,000268041].

Практическая работа №6

Расчеты показателей надежности при параллельном соединении элементов

Расчет надежности изделия, состоящего из ряда элементов, возможен после формирования ее структурной схемы. При этом считают, что элементы изделия взаимодействуют последовательно, если отказ любого из них приводит к отказу всей системы. В этом случае система работоспособна, если работоспособны и элемент А, и элемент Б, и т.д. Союз «и» предопределяет применение теоремы умножения вероятностей. Система находится в состоянии отказа, если отказал или элемент А, или элемент Б, и т.д. В этом случае вероятность отказа определяется по теореме сложения вероятностей отказов элементов.

Элементы изделия взаимодействуют параллельно, если его работоспособность будет обеспечена при сохранении работоспособности хотя бы одного элемента, т.е. работоспособен или А, или Б, и т.д. Вероятность безотказной работы такого изделия определяется по теореме сложения вероятностей для совместных событий. При большом количестве параллельно соединенных элементов использование теоремы сложения вероятностей приводит к весьма громоздкой расчетной зависимости. Поэтому удобнее определять вероятность отказа изделия по теореме умножения вероятностей отказов и уж затем вероятность безотказной работы:

$$P = 1 - Q = 1 - \prod_{i=1}^m q_i = 1 - \prod_{i=1}^m (1 - p_i).$$

Следует отметить, что понятия параллельного и последовательного взаимодействия с точки зрения теории надежности не соответствуют соединению элементов в физическом смысле. Например, на сливных линиях из зумпфа фабрики устанавливают по две задвижки, физически соединенные последовательно (рис.6.1). С точки зрения теории надежности эти задвижки взаимодействуют последовательно при открывании слива (нормальное положение задвижек – закрыто) и параллельно при закрывании слива (нормальное положение – открыто).

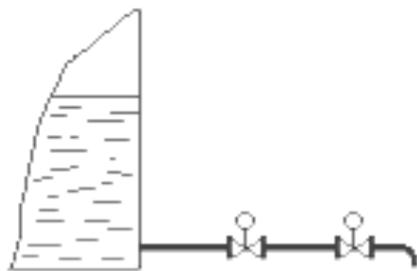


Рис.6.1. Виды соединения элементов

Таким образом, при формировании структурной схемы взаимодействия элементов любой системы необходим предварительный анализ ее нормальной работы. Для этого рекомендуется использовать инструменты функционального анализа.

Вначале формулируется главная функция изделия, а затем – основные, которые обеспечивают выполнение главной функции и позволяют выделить основные структурные элементы изделия. После этого устанавливается последовательность прохождения важнейшего потока (вещественного или полевого) через структурные элементы. Именно эта последовательность устанавливает характер взаимодействия элементов – параллельное, последовательное или смешанное.

Для n параллельно взаимодействующих элементов вероятность отказа i -го элемента $q_i = 1 - p_i$, а вероятность отказа m элементов

последовательность устанавливает характер взаимодействия элементов – параллельное, последовательное или смешанное.

$$Q = \prod_{i=1}^n q_i = \prod_{i=1}^n (1 - p_i).$$

Вероятность безотказной работы всего изделия

$$P = 1 - Q = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - p_i).$$

При одинаковых элементах

$$P = 1 - (1 - p)^n.$$

Если изделие состоит из m элементов, взаимодействующих последовательно и образующих n параллельно взаимодействующих цепочек, то вероятность безотказной работы всего изделия

$$P = 1 - \prod_{j=1}^n (1 - \prod_{i=1}^m p_i).$$

При одинаковых элементах

$$P = 1 - (1 - p^m)^n.$$

Задача. Узел машины состоит из двух параллельно включенных блоков, имеющих интенсивность отказов равных:

$$\lambda_1 = 0,32 * 10^{-5} \text{ (1/ч);}$$

$$\lambda_2 = 0,18 * 10^{-5} \text{ (1/ч).}$$

При отказе одного из блоков узел еще продолжает функционировать, но коэффициент нагрузки второго элемента увеличится, вследствие чего интенсивность отказов возрастает до величины

$$\lambda_1^{(2)} = \lambda_2^{(1)} = 10^{-5} \text{ (1/ч).}$$

Требуется рассчитать вероятность безотказной работы звена на этих условиях за время $t=44000$ ч.

Вариант	λ_1	λ_2	t	
1	$0.37 * 10^{-5}$	$0.16 * 10^{-5}$	50 000	
2	$0.4 * 10^{-5}$	$0.17 * 10^{-5}$	55 000	
3	$0.35 * 10^{-5}$	$0.18 * 10^{-5}$	37 000	
4	$0.5 * 10^{-5}$	$0.11 * 10^{-5}$	44 000	
5	$0.45 * 10^{-5}$	$0.15 * 10^{-5}$	48 000	
6	$0.39 * 10^{-5}$	$0.13 * 10^{-5}$	36 000	
7	$0.37 * 10^{-5}$	$0.2 * 10^{-5}$	50 000	

Решение:

Из общего числа состояний узла выбираем следующие три благоприятные гипотезы:

- 1 оба элемента исправны (H0),
- 2 отказал первый элемент (H1),

3 отказал второй элемент (H2).

Остальные состояния, когда отказали оба элемента в различной последовательности, соответствуют неблагоприятным гипотезам (отказ узла).

1 Вероятность первого состояния

$$P(H_0) = e^{-(\lambda_1 + \lambda_2)t} = e^{-(0,32 \cdot 10^{-5} + 0,18 \cdot 10^{-5}) \cdot 44000} = e^{-0,22} = 0,7125$$

2 Вероятность второго состояния

$$P(H_1) = \lambda_1 \left[e^{-\lambda_2^{(1)}t} - e^{-(\lambda_1 + \lambda_2)t} \right] / (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_2^{(1)}) = 0,32 \cdot 10^{-5} \left[e^{-0,44} - e^{-0,22} \right] / -0,22 \cdot 10^{-5} = -1,45 \cdot [0,6440 - 0,7125] = 0,0996$$

3 Вероятность третьего состояния

$$P(H_1) = \lambda_2 \left[e^{-\lambda_1^{(1)}t} - e^{-(\lambda_1 + \lambda_2)t} \right] / (\lambda_1 + \lambda_2 - \lambda_1^{(2)}) = 0,18 \cdot 10^{-5} \left[e^{-0,44} - e^{-0,22} \right] / -0,22 \cdot 10^{-5} = -0,82 \cdot [0,6440 - 0,7125] = 0,056,$$

Вероятность безотказной работы узла

$$P_1(t) = \sum_1^3 P(H_i) = 0,7125 + 0,0996 + 0,056 = 0,868,$$

Ответ:

Вероятность безотказной работы на данных условиях равна 0,868

Практическая работа №7

Расчет узла из резервированных элементов

Резервирование – метод повышения надежности объекта введением избыточности.

Избыточность – дополнительные средства и возможности сверх минимально необходимых для выполнения объектом заданных функций.

Избыточность:

- 1) наличие избыточных *элементов* структуры объекта;
- 2) использование дополнительного *времени* сверх минимального;
- 3) использование дополнительной *информации*;
- 4) способность элементов выполнять дополнительные функции, кроме непосредственно установленных;
- 5) способность элементов выполнять дополнительные нагрузки.

Резервирование – один из способов поддержания уровня надежности оборудования.

Показатели надежности зависят от схемы и способов резервирования. Существует понятие «состояние» системы, которое характеризуется работоспособностью одного из элементов и всей системы в целом. Описание состояний системы производится с помощью графов переходов из одного состояния в другое. На основании графов переходов составляются системы дифференциальных уравнений, решение которых позволяют определить вероятность безотказной работы машины при различных вариантах компоновки и резервирования элементов объекта.

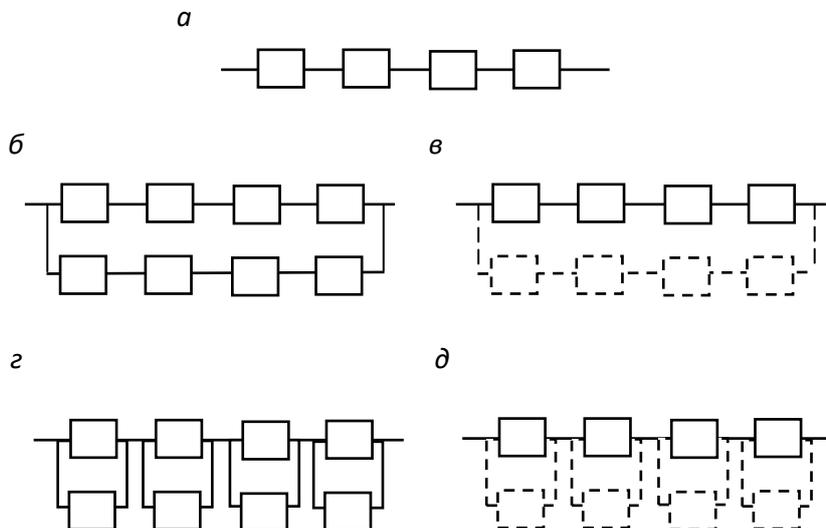


Рис.7.1. Структурные схемы различных видов резервирования: *а* – без резервирования; *б* – общее постоянное резервирование; *в* – общее резервирование замещением; *г* – раздельное постоянное резервирование каждого элемента; *д* – раздельное резервирование замещением каждого элемента

Имеется нерезервированная система, состоящая из пяти блоков.

Вероятность отказа блоков и их веса будут следующими:

$$q_1=0.51; q_2=0.33; q_3=0.20; q_4=0.37; q_5=0.24.$$

$$G_1=4; G_2=1; G_3=1; G_4=5; G_5=1.$$

Требуется резервировать систему так, чтобы вес ее не превышал $G_{доп.}=60\text{кг}$, а вероятность безотказной работы была бы максимальной.

Вар.	q1	q2	q3	q4	q5	G1	G2	G3	G4	G5
1	0.67	0.5	0.3	0.35	0.25	3	4	1	3	1
2	0.7	0.6	0.37	0.45	0.34	5	3	2	3	2
3	0.61	0.4	0.43	0.55	0.23	3	5	2	3	4
4	0.54	0.57	0.23	0.5	0.32	2	5	3	1	1
5	0.46	0.47	0.34	0.53	0.4	3	2	5	3	1
6	0.45	0.43	0.35	0.47	0.3	1	2	3	3	1
7	0.38	0.34	0.28	0.39	0.35	3	1	1	3	1
8	0.5	0.44	0.35	0.54	0.42	2	3	5	3	3
9	0.6	0.54	0.26	0.45	0.25	3	3	1	3	5

Решение

Задача будет решаться таким, образом

1 По формуле :

$$a_j = \frac{G_g}{\ln \frac{1}{q_g}},$$

определим для каждого блока:

$$a_1 = \frac{4}{\ln \frac{1}{0.51}} = 5,94;$$

$$a_2 = \frac{1}{\ln \frac{1}{0.33}} = 0,902;$$

$$a_3 = \frac{1}{\ln \frac{1}{0.2}} = 0,621;$$

$$a_4 = \frac{5}{\ln \frac{1}{0.37}} = 5,029;$$

$$a_5 = \frac{1}{\ln \frac{1}{0.24}} = 0,701.$$

2 находим y_0 – корень уравнения

$$\sum_{j=1}^m a_j \ln(a_j + y_0) = G_{доп} + \sum_{j=1}^m a_j \ln a_j;$$

$$5.94 \cdot \ln(y_0 + 5.94) + 0.902 \cdot \ln(y_0 + 0.902) + 0.621 \cdot \ln(y_0 + 0.621) + 5.029 \ln(y_0 + 5.029) + 0.701 \cdot \ln(y_0 + 0.701) = 60 + 5.94 \ln 5.94 + 60 + 0.902 \ln 0.902 + 60 + 0.621 \ln 0.621 +$$

$$60 + 5.029 \ln 5.029 + 60 + 0.701 \ln 0.701$$

Это трудоемкая задача, поэтому можно использовать следующий прием:

$$y_0^{(1)} = \exp \left[\frac{B}{\sum_{j=1}^m a_j} \right],$$

где $B = G_{\text{доп}} + \sum_{j=1}^m a_j \lg a_j$,

Вычисление дает значение

$$B = 60 + 18.69 = 78.69$$

$$y_0^{(1)} = \exp \left[\frac{78.69}{13.19} \right] = 389.29,$$

Данное приближение можно уточнить, используя, например, метод Ньютона:

$$y_0^{(2)} = y_0^{(1)} - \frac{\sum_{j=1}^m a_j \ln(y_0^{(1)} + a_j) - B}{\sum_{j=1}^m [a_j / (a_j + y_0^{(1)})]} = 389.29 - 1 = 388.29$$

Получаем $y_0^{(2)} = 388.29$ линейная интерполяция значений $y_0^{(1)}$ и $y_0^{(2)}$

Дает корень $y_0^{(3)} = 387.29$

Вычисляем s_j^0 ,

$$s_j^0 = (\ln 1/q_j)^{-1} * \ln \frac{y_0 + a_j}{a_j},$$

	s_j^0	a	б	в
s1	6,23	6	6	7
s2	5,47	6	5	5
s3	4,00	4	4	4
s4	4,38	4	4	5
s5	4,43	4	5	4
Гобобщ,кг	60,71	58	58	66
	$\sum_{j=1}^m G_j (s_j^0 - s_j^*)$)	16,71	2,71	-5,29

которые могут иметь любые значения. Но нужны значения s_j^* , которые дают максимум функции $Pp(s)$ и удовлетворяют условию

$$\sum_{j=1}^{\sigma} G_j s_j^* \leq G_p$$

Вычисляем по данной формуле обобщенный вес, смотри таблицу.

Принимаем целочисленные значения, смотри таблицу

Находим
$$\sum_{j=1}^{\sigma} G_j (s_j^0 - s_j^*) \geq 0;$$

и
$$\sum_{j=1}^{\sigma} G_j (s_j^0 - s_j^*) = \min$$

Наилучшее приближение получаем в варианте «б».

По формуле

$$P_p = \prod_{j=1}^{\sigma} (1 - q_j^{s_j^*})$$

определяем вероятность безотказной работы резервируемой системы

$$P_p = 0,957$$

Для сравнения при дробных s_j вычислим

$$P_{\max} = 0,967$$

Ответ:

Вероятность безотказной работы резервируемой системы

$$P_p = 0,957$$

В выбранных условиях мы получили максимальную вероятность безотказной работы.

Практическая работа №8

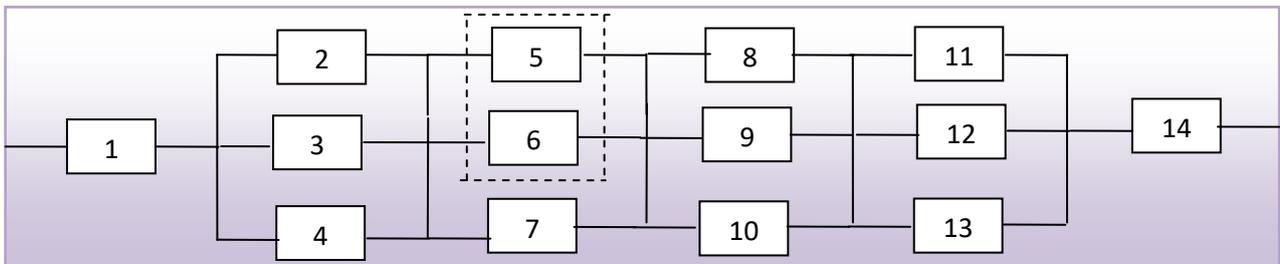
Задание

По структурной схеме надежности технической системы в соответствии с вариантом задания, требуемому значению вероятности безотказной работы системы γ и значениям интенсивностей отказов ее элементов λ_i , требуется:

1. Построить график изменения вероятности безотказной работы системы от времени наработки в диапазоне снижения вероятности до уровня 0.1 - 0.2.
2. Определить γ - процентную наработку технической системы.
3. Обеспечить увеличение γ - процентной наработки не менее, чем в 1,5 раза за счет:
 - а) повышения надежности элементов;
 - б) структурного резервирования элементов системы.

Все элементы системы работают в режиме нормальной эксплуатации (простейший поток отказов). Резервирование отдельных элементов или групп элементов осуществляется идентичными по надежности резервными элементами или группами элементов. Переключатели при резервировании считаются идеальными.

На схемах, обведенные пунктиром m элементы, являются функционально необходимыми из n параллельных ветвей.



№ вар .	γ , %	Интенсивность отказов элементов, $\lambda \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
3	60	0,03	0,5			0,2			1,0			0,03			0,1

Расчетная часть

Расчет начинаем с упрощения исходной схемы.

Элементы 2-4 соединены параллельно. Заменяем элементы 2-4 на элемент А.

По условию, интенсивности отказов элементов 2-4 равны. Следовательно, вероятность безотказной работы элемента А определяется по формуле:

$$p_A = (p_2 - 1)^3 + 1$$

Элементы 5-7 образуют соединение «2 из 3». Интенсивность отказов этих элементов равна. Следовательно, для определения вероятности безотказной работы можно воспользоваться комбинаторным методом:

$$p_B = \sum_{k=2}^3 p_k = \sum_{k=2}^3 C_3^k p_5^k (1 - p_5)^{3-k} = \frac{3!}{2! \cdot 1!} p_5^2 (1 - p_5) + \frac{3!}{3! \cdot 0!} p_5^3 = 3p_5^2 (1 - p_5) + p_5^3 = 3p_5^2 - 2p_5^3.$$

Элементы 8-10 соединены параллельно. Заменяем элементы 8-10 на элемент С. Интенсивности отказов элементов 8-10 равны, поэтому вероятность безотказной работы элемента С определяется по формуле:

$$p_C = (p_8 - 1)^3 + 1$$

Элементы 11-13 также соединены параллельно. Заменяем элементы 11-13 на элемент D. Интенсивности отказов элементов 11-13 также равны, поэтому вероятность безотказной работы элемента D определяется по формуле:

$$p_D = (p_{11} - 1)^3 + 1$$

После замены элементов структурная схема системы примет вид:



Элементы 1, А, В, С, D и 14 соединены последовательно, следовательно, вероятность безотказной работы всей системы определяется по формуле:

$$P = p_1 \cdot p_A \cdot p_B \cdot p_C \cdot p_D \cdot p_{14}$$

Согласно расчетам в Microsoft Excel и исходным данным наименее надежными элементами являются 8-10.

Наработку необходимо увеличить с $\tau = 0,9298 \cdot 10^6$ ч. до $1,3947 \cdot 10^6$ ч.

Повышение надежности системы можно провести двумя способами:

- 1) Заменой малонадежных элементов на более надежные.
- 2) Структурным резервированием элементов.

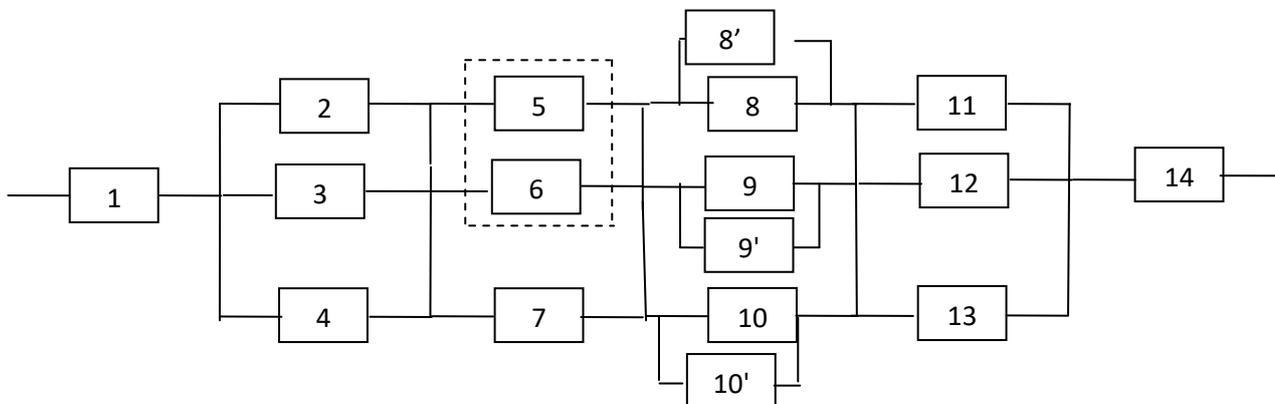
Первый способ

Заменяем элементы 8-10, имеющие $\lambda_i = 1 \cdot 10^{-6}$ 1/ч, на элементы с $\lambda_i = 0,5 \cdot 10^{-6}$ 1/ч. Новые значения рассчитаны в Excel.

При этом вероятность безотказной работы системы вырастет с 0,356271899 до 0,541566249.

Второй способ

Используем постоянно включенный резерв. Подключаем параллельно дополнительные элементы:



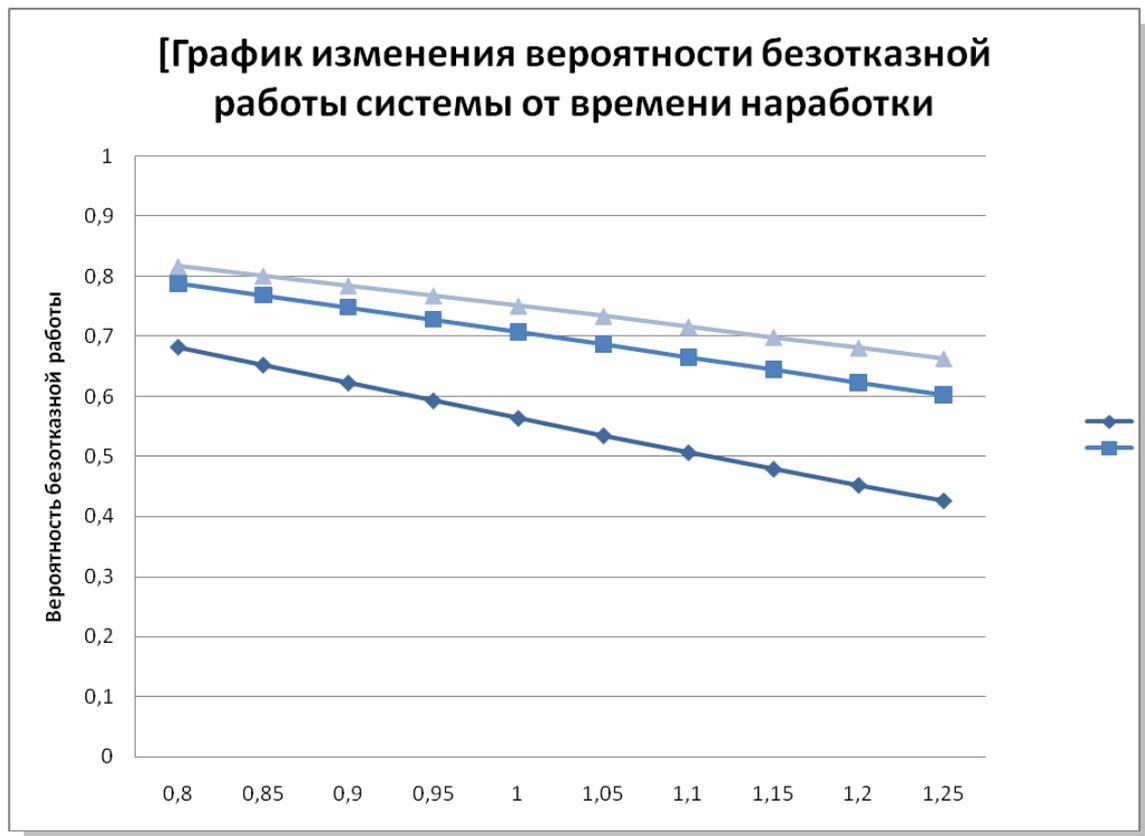
При этом увеличивается вероятность безотказной работы квазиэлемента С. Новые значения рассчитаны в Excel.

При этом вероятность безотказной работы системы вырастет с 0,356271899 до 0,610117356.

Расчет вероятности безотказной работы системы

Элемент	$\lambda \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$	Наработка											
		0,8	0,85	0,9	0,95	1	1,05	1,1	1,15	1,2	1,25	0,9298	1,3947
1	0,03	0,97628571	0,974822379	0,973361242	0,971902294	0,970445534	0,96899096	0,96753856	0,96608834	0,964640293	0,96319442	0,972491445	0,959022253
2-4	0,5	0,670320046	0,653769785	0,637628152	0,621885056	0,60653066	0,59155536	0,57694981	0,562704869	0,548811636	0,53526143	0,628197922	0,497903
4-7	0,2	0,852143789	0,843664817	0,835270211	0,826959134	0,818730753	0,81058425	0,8025188	0,794533603	0,786627861	0,77880078	0,830306807	0,756585297
8-10	1	0,449328964	0,427414932	0,40656966	0,386741023	0,367879441	0,34993775	0,33287108	0,316636769	0,301194212	0,2865048	0,394632629	0,247907397
11-13	0,03	0,97628571	0,974822379	0,973361242	0,971902294	0,970445534	0,96899096	0,96753856	0,96608834	0,964640293	0,96319442	0,972491445	0,959022253
14	0,1	0,923116346	0,918512284	0,913931185	0,909372934	0,904837418	0,90032452	0,89583414	0,891366144	0,886920437	0,8824969	0,911211724	0,869819117
A	-	0,964167458	0,958495528	0,952415736	0,945940562	0,939083816	0,9318604	0,92428609	0,91637735	0,908151161	0,89962486	0,948603276	0,873420645
B	-	0,940880328	0,934319811	0,927532473	0,92053335	0,913336866	0,90595686	0,89840659	0,890698798	0,882845663	0,87485887	0,923385556	0,851092839
C	-	0,833015292	0,81227589	0,791017827	0,769361534	0,747419542	0,72529609	0,70308694	0,680879413	0,658752498	0,63677714	0,778151229	0,574583871
D	-	0,99998666	0,99998404	0,999981097	0,999977817	0,999974185	0,99997018	0,99996579	0,999961002	0,999955789	0,99995014	0,999979184	0,999931191
P	-	0,681031834	0,651317488	0,621614724	0,592091521	0,562898769	0,53417008	0,50602202	0,478554554	0,451851851	0,42598314	0,60	0,356271899
Повышение надежности путем замены самых ненадежных элементов													
		0,8	0,85	0,9	0,95	1	1,05	1,1	1,15	1,2	1,25	0,9298	1,3947
1	0,03	0,97628571	0,974822379	0,973361242	0,971902294	0,970445534	0,96899096	0,96753856	0,96608834	0,964640293	0,96319442	0,972491445	0,959022253
2-4	0,5	0,670320046	0,653769785	0,637628152	0,621885056	0,60653066	0,59155536	0,57694981	0,562704869	0,548811636	0,53526143	0,628197922	0,497903
4-7	0,2	0,852143789	0,843664817	0,835270211	0,826959134	0,818730753	0,81058425	0,8025188	0,794533603	0,786627861	0,77880078	0,830306807	0,756585297
8-10	0,5	0,670320046	0,653769785	0,637628152	0,621885056	0,60653066	0,59155536	0,57694981	0,562704869	0,548811636	0,53526143	0,628197922	0,497903
11-13	0,03	0,97628571	0,974822379	0,973361242	0,971902294	0,970445534	0,96899096	0,96753856	0,96608834	0,964640293	0,96319442	0,972491445	0,959022253
14	0,1	0,923116346	0,918512284	0,913931185	0,909372934	0,904837418	0,90032452	0,89583414	0,891366144	0,886920437	0,8824969	0,911211724	0,869819117
A'		0,964167458	0,958495528	0,952415736	0,945940562	0,939083816	0,9318604	0,92428609	0,91637735	0,908151161	0,89962486	0,948603276	0,873420645
B'		0,940880328	0,934319811	0,927532473	0,92053335	0,913336866	0,90595686	0,89840659	0,890698798	0,882845663	0,87485887	0,923385556	0,851092839
C'		0,964167458	0,958495528	0,952415736	0,945940562	0,939083816	0,9318604	0,92428609	0,91637735	0,908151161	0,89962486	0,948603276	0,873420645

D'		0,999986664	0,99998404	0,999981097	0,999977817	0,999974185	0,99997018	0,99996579	0,999961002	0,999955789	0,99995014	0,999979184	0,999931191
P'		0,788255317	0,768562636	0,748447917	0,72798465	0,707245521	0,68630171	0,6652223	0,644073746	0,622919509	0,60181969	0,73628909	0,541566249
Повышение надежности путем структурного резервирования													
		0,8	0,85	0,9	0,95	1	1,05	1,1	1,15	1,2	1,25	0,9298	1,3947
1	0,03	0,97628571	0,974822379	0,973361242	0,971902294	0,970445534	0,96899096	0,96753856	0,96608834	0,964640293	0,96319442	0,972491445	0,959022253
2-4	0,5	0,670320046	0,653769785	0,637628152	0,621885056	0,60653066	0,59155536	0,57694981	0,562704869	0,548811636	0,53526143	0,628197922	0,497903
4-7	0,2	0,852143789	0,843664817	0,835270211	0,826959134	0,818730753	0,81058425	0,8025188	0,794533603	0,786627861	0,77880078	0,830306807	0,756585297
8-10	0,5	0,670320046	0,653769785	0,637628152	0,621885056	0,60653066	0,59155536	0,57694981	0,562704869	0,548811636	0,53526143	0,628197922	0,497903
11-13	0,03	0,97628571	0,974822379	0,973361242	0,971902294	0,970445534	0,96899096	0,96753856	0,96608834	0,964640293	0,96319442	0,972491445	0,959022253
14	0,1	0,923116346	0,918512284	0,913931185	0,909372934	0,904837418	0,90032452	0,89583414	0,891366144	0,886920437	0,8824969	0,911211724	0,869819117
A''		0,964167458	0,958495528	0,952415736	0,945940562	0,939083816	0,9318604	0,92428609	0,91637735	0,908151161	0,89962486	0,948603276	0,873420645
B''		0,940880328	0,934319811	0,927532473	0,92053335	0,913336866	0,90595686	0,89840659	0,890698798	0,882845663	0,87485887	0,923385556	0,851092839
C''		0,998716029	0,998277379	0,997735738	0,997077577	0,996289218	0,99535699	0,9942674	0,993007252	0,991563791	0,98992483	0,997358377	0,983977667
D''		0,999986664	0,99998404	0,999981097	0,999977817	0,999974185	0,99997018	0,99996579	0,999961002	0,999955789	0,99995014	0,999979184	0,999931191
P''		0,816500509	0,800461423	0,78406226	0,767339091	0,750328219	0,73306604	0,71558888	0,6979329	0,680133943	0,66222742	0,774131937	0,610117356



Вывод: После построения графиков видно, что замена элементов более эффективна для повышения надежности. Особенно если систему необходимо использовать в течение долгого промежутка времени.

Практическая работа №9 Определение показателей надежности сложной системы

Задание. Для схемы соединения элементов системы, представленной на рисунке 9.1, аналитическим методом и методом статистического моделирования определить вероятность безотказной работы как функцию времени на интервале $[0, 3T_0]$. Среднее время безотказной работы системы T_0 вычислить методом статистического моделирования. Закон надежности элементов – экспоненциальный. Проанализировать полученные результаты, сравнив соответствующие значения вероятностей, вычисленные аналитическим методом и методом статистического моделирования. Объяснить причины возможных отличий результатов.

Интенсивности отказов элементов:

$$\lambda_1=10^{-6} \text{ 1/ч,}$$

$$\lambda_2=10^{-7} \text{ 1/ч,}$$

$$\lambda_3=5 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч,}$$

$$\lambda_4=3 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч,}$$

$$\lambda_5=3 \cdot 10^{-7} \text{ 1/ч,}$$

$$\lambda_6=2 \cdot 10^{-8} \text{ 1/ч,}$$

$$\lambda_7=10^{-7} \text{ 1/ч}$$

Исходные данные: $((1 \otimes 2) \times (3 \otimes 4)) \otimes (5 \times 6 \times 7)$

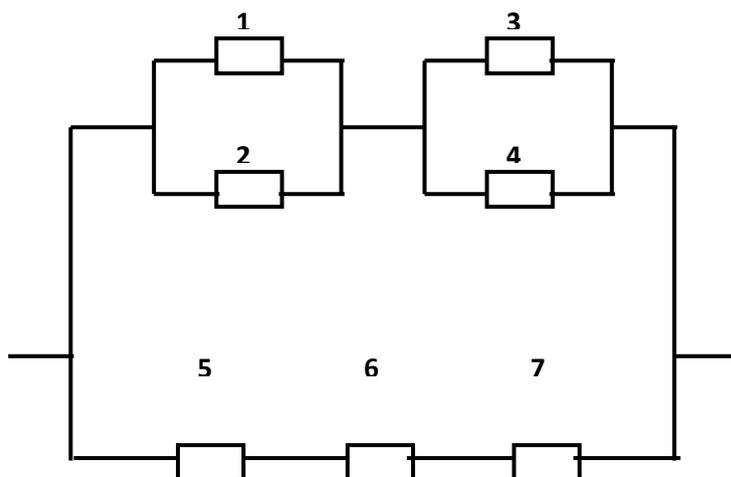


Рисунок 9.1 – исходная схема соединения элементов.

Для определения показателей надежности систем аналитическим и статистическим методом воспользуемся пакетом MathCAD 14.

Произведем расчет с помощью аналитического метода:

Вводим интенсивности отказов:

$$\lambda_{1a}=1 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч}$$

$$\lambda_{2a}=1 \cdot 10^{-7} \text{ 1/ч}$$

$$\lambda_{3a}=5 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч}$$

$$\lambda_{4a}=3 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч}$$

$$\lambda_{5a}=3 \cdot 10^{-7} \text{ 1/ч}$$

$$\lambda_{6a}=2 \cdot 10^{-8} \text{ 1/ч}$$

$$\lambda_7 := 1 \cdot 10^{-7} \text{ 1/ч}$$

Время:

$$t := 0,50..20000000$$

Вероятности безотказной работы элементов:

$$P_1(t) := e^{-\lambda_1 \cdot t}$$

$$P_2(t) := e^{-\lambda_2 \cdot t}$$

$$P_3(t) := e^{-\lambda_3 \cdot t}$$

$$P_4(t) := e^{-\lambda_4 \cdot t}$$

$$P_5(t) := e^{-\lambda_5 \cdot t}$$

$$P_6(t) := e^{-\lambda_6 \cdot t}$$

$$P_7(t) := e^{-\lambda_7 \cdot t}$$

Вычислим вероятность безотказной работы системы, которая при последовательно соединенных элементах рассчитывается по формуле:

$$P_c(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t)$$

А при параллельно соединенных:

$$P_c(t) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - P_i(t)]$$

В результате получаем вероятность безотказной данной системы

вероятность статистический безотказный моделирование

$$P_{12}(t) := P_1(t) + P_2(t) - P_1(t) \cdot P_2(t)$$

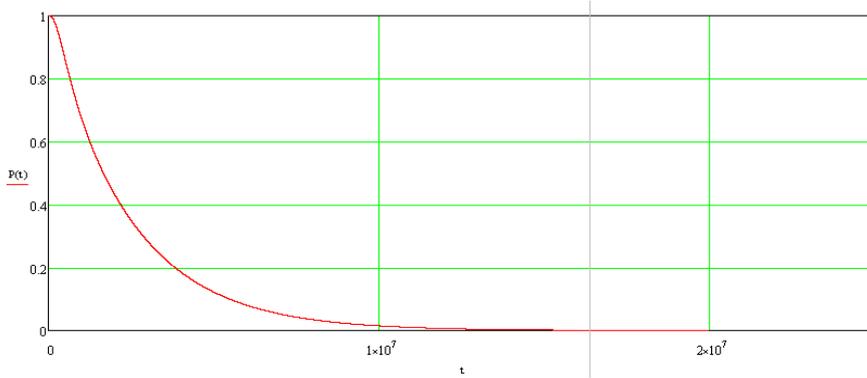
$$P_{34}(t) := P_3(t) + P_4(t) - P_3(t) \cdot P_4(t)$$

$$P_{1234}(t) := P_{12}(t) \cdot P_{34}(t)$$

$$P_{567}(t) := P_5(t) \cdot P_6(t) \cdot P_7(t)$$

$$P(t) := P_{1234}(t) + P_{567}(t) - P_{1234}(t) \cdot P_{567}(t)$$

Построим график $P(t)$:



Произведем расчет с помощью статистического метода:

Поскольку, закон распределения экспоненциальный, то случайное время безотказной работы для каждого из элементов, рассчитывается по формуле:

$$\tau_{j,i} = -\ln(x) / \lambda_j$$

Величина X - случайная величина, равномерно распределенная в диапазоне от 0 до 1.

$$\tau_{1i} := \frac{-1 \cdot \ln(\text{rnd}(1))}{\lambda_{11}}$$

$$\tau_{2i} := \frac{-1 \cdot \ln(\text{rnd}(1))}{\lambda_{12}}$$

$$\tau_{3i} := \frac{-1 \cdot \ln(\text{rnd}(1))}{\lambda_{13}}$$

$$\tau_{4i} := \frac{-1 \cdot \ln(\text{rnd}(1))}{\lambda_{14}}$$

$$\tau_{5i} := \frac{-1 \cdot \ln(\text{rnd}(1))}{\lambda_{15}}$$

$$\tau_{6i} := \frac{-1 \cdot \ln(\text{rnd}(1))}{\lambda_{16}}$$

$$\tau_{7i} := \frac{-1 \cdot \ln(\text{rnd}(1))}{\lambda_{17}}$$

Вычислим время работы объекта:

- при последовательном соединении элементов:

$$t_{\text{noc}} = \min(\tau_1, \tau_2, \tau_3, \dots, \tau_n)$$

- при параллельном:

$$t_{\text{нар}} = \max(\tau_1, \tau_2, \tau_3, \dots, \tau_n)$$

В результате получаем :

$$t_{\text{аутс}} := \max[\min(\max(\tau_{1i}, \tau_{2i}), \max(\tau_{3i}, \tau_{4i})), \min(\tau_{5i}, \tau_{6i}, \tau_{7i})]$$

Вычислим среднее время безотказной работы системы:

$$\text{mean}(\text{tautc}) = 2.431 \times 10^6$$

$$T_{c_3} := \text{mean}(\text{tautc}) \cdot 3$$

$$T_{c_3} = 7.293 \times 10^6$$

$$\text{kor} := 50$$

$$j := 0.. \text{kor}$$

$$\text{shag} := \frac{T_{c_3}}{\text{kor}}$$

$$\text{Gran}_j := 0 + j \cdot \text{shag}$$

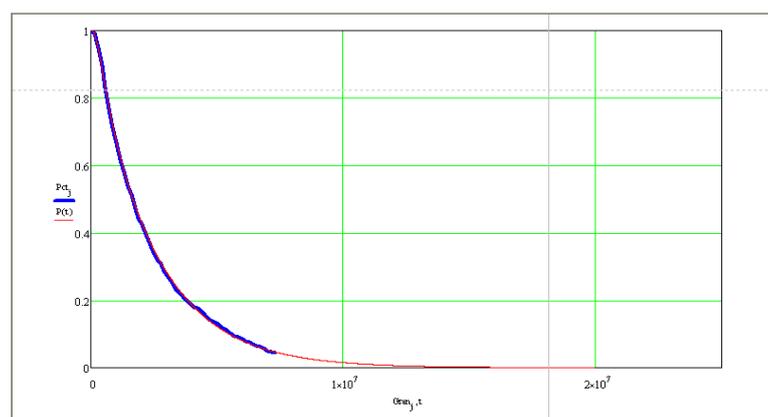
$$\text{Gran}_{50} := 7.293 \times 10^6$$

$$H0_{i,j} := \text{if}(\text{tautc}_i \geq \text{Gran}_j, 1, 0)$$

$$\text{Pct}_j := \frac{\sum_{i=0}^N H0_{i,j}}{N + 1}$$

Построим график зависимостей вероятностей безотказной работы, вычисленные аналитическим и статистическим методами:

Отличия вероятностей, вычисленные при аналитическом и статистическом методе, объясняются следующим: аналитические методы дают наилучшие результаты (более точные), поскольку позволяют проанализировать характеристики надежности в большом диапазоне параметров и в любых интервалах времени. Они дают возможность проследить тенденции изменения основных характеристик надежности при изменении характеристик систем. Методы статистического моделирования позволяют анализировать сложные модели надежности, хотя и не обладают большой общностью. По данному графику видно, что вероятности, полученные при аналитическом методе наиболее точны, по сравнению с вероятностями, полученными при статистическом методе.



Практическая работа №10

Определение показателей надежности невосстанавливаемых элементов

На испытании поставлено $N_0 = 1600$ образцов неремонтируемой аппаратуры число отказов $n(\Delta t)$ фиксировалось через каждые 100 часов работы. Требуется вычислить количественные характеристики надежности невосстанавливаемых надежности и построить зависимости характеристик от времени.

Решение

1. Вычислим вероятность безотказной работы $P^*(t)$, которая оценивается выражением:

$$P^*(t) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0},$$

где N_0 - число изделий в начале испытания;

$n(t)$ - число отказавших изделий за время t .

$$P^*(100) = \frac{1600 - 55}{1600} = 0,966$$

$$P^*(200) = \frac{1600 - 55 - 50}{1600} = 0,934$$

2. Вычислим частоту отказов $f^*(t)$:

$$f^*(t) = \frac{n(\Delta t_i)}{N_0 \cdot \Delta t},$$

где $n(\Delta t)$ - число отказавших изделий в интервале времени от $t - \frac{\Delta t}{2}$ до $t + \frac{\Delta t}{2}$.

$$f^*(50) = \frac{55}{1600 \cdot 100} = 0,344 \cdot 10^{-3} \frac{1}{ч}$$

$$f^*(150) = \frac{50}{1600 \cdot 100} = 0,313 \cdot 10^{-3} \frac{1}{ч}$$

3. Вычислим интенсивность отказов $\lambda^*(t)$:

$$\lambda^*(t) = \frac{n(\Delta t_i)}{N_{срi} \cdot \Delta t},$$

где $N_{срi}$ - среднее число исправных работающих изделий в интервале Δt_i .

$$\lambda^*(50) = \frac{55}{\frac{1600 + 1545}{2} \cdot 100} = 0,350 \cdot 10^{-3} \frac{1}{ч}$$

$$\lambda^*(150) = \frac{50}{\frac{1545 + 1495}{2} \cdot 100} = 0,329 \cdot 10^{-3} \frac{1}{ч}$$

4. Вычисляем вероятность отказов $q^*(t)$:

$$q^*(t) = 1 - p^*(t)$$

$$q^*(100) = 1 - p^*(100) = 1 - 0,966 = 0,034$$

$$q^*(200) = 1 - p^*(200) = 1 - 0,934 = 0,066$$

5. Вычислим среднее время безотказной работы по ниже приведенному выражению, так как

испытания были прекращены до отказа всех элементов:

$$T_{cp}^* = \frac{\sum_{i=1}^0 t_{cpi} \cdot n(\Delta t_i) + t_r [N_0 - n(t_r)]}{N_0},$$

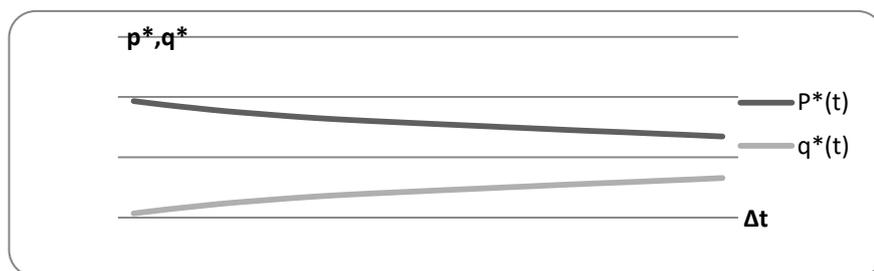
где t_r - время окончания испытаний;

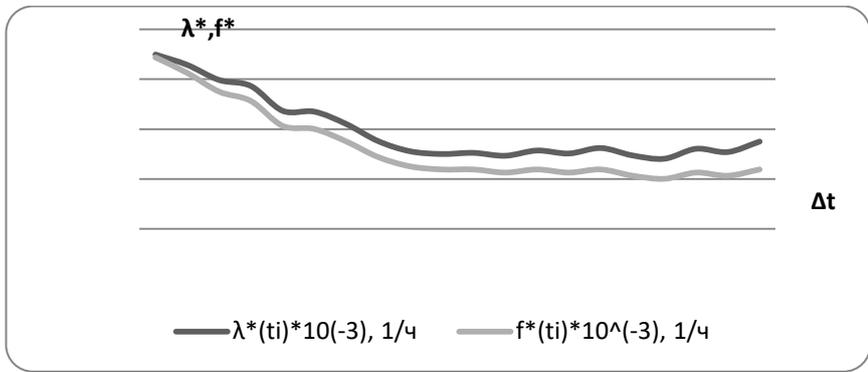
$n(t_r)$ - число элементов, отказавших за время t_r .

$$T_{cp}^* = \frac{50 \cdot 55 + 150 \cdot 50 + \dots + 2000(1600 - 525)}{1600} = 1598,469ч$$

Результаты вычисления $\lambda^*(t)$, $f^*(t)$, $P^*(t)$, $q(t)$ заносим в таблицу

Δt_i	$n(\Delta t_i)$	$P^*(t)$	$q^*(t)$	$N(cpi)$	$\lambda^*(t_i) \cdot 10^{-3}, 1/ч$	$f^*(t_i) \cdot 10^{-3}, 1/ч$
0-100	55	0,966	0,034	1572,5	0,350	0,344
100-200	50	0,934	0,066	1520,0	0,329	0,313
200-300	44	0,907	0,093	1473,0	0,299	0,275
300-400	41	0,881	0,119	1430,5	0,287	0,256
400-500	33	0,861	0,139	1393,5	0,237	0,206
500-600	32	0,841	0,159	1361,0	0,235	0,200
600-700	28	0,823	0,177	1331,0	0,210	0,175
700-800	23	0,809	0,191	1305,5	0,176	0,144
800-900	20	0,796	0,204	1284,0	0,156	0,125
900-1000	19	0,784	0,216	1264,5	0,150	0,119
1000-1100	19	0,773	0,228	1245,5	0,153	0,119
1100-1200	18	0,761	0,239	1227,0	0,147	0,113
1200-1300	19	0,749	0,251	1208,5	0,157	0,119
1300-1400	18	0,738	0,262	1190,0	0,151	0,113
1400-1500	19	0,726	0,274	1171,5	0,162	0,119
1500-1600	17	0,716	0,284	1153,5	0,147	0,106
1600-1700	16	0,706	0,294	1137,0	0,141	0,100
1700-1800	18	0,694	0,306	1120,0	0,161	0,113
1800-1900	17	0,684	0,316	1102,5	0,154	0,106
1900-2000	19	0,672	0,328	1084,5	0,175	0,119





Bap.						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

Практическая работа №11

Определение количественных характеристик надежности сложной системы

В результате анализа данных об отказах системы определена частота отказов $P(t) = 2\lambda e^{-\lambda t} - e^{-2\lambda t}$, $\lambda = 1,2 \cdot 10^{-6}, 1/\text{ч}$. Требуется определить все количественные характеристики

надежности $P(t)$, $\lambda(t)$, T_{cp} , $f(t)$, $f_{cp}(t)$. Построить графики $P(t)$, $\lambda(t)$, $f(t)$, $f_{cp}(t)$.

Решение

1. Вычислим среднюю наработку до первого отказа:

$$T_{cp} = \int_0^{\infty} P(t) dt = \int_0^{\infty} (2\lambda e^{-\lambda t} - e^{-2\lambda t}) dt = \frac{2}{\lambda} - \frac{1}{2\lambda} = \frac{3}{2\lambda} = \frac{3}{2 \cdot 1,2 \cdot 10^{-6}} = 1,25 \cdot 10^6 \text{ ч}$$

2. Определяем частоту отказов:

$$f(t) = -P'(t)$$

$$f(t) = 2\lambda e^{-\lambda t} - 2\lambda e^{-2\lambda t}$$

$$f(t) = 2,4 \cdot 10^{-6} e^{-1,2 \cdot 10^{-6} t} - 2,4 \cdot 10^{-6} e^{-2,4 \cdot 10^{-6} t}$$

$$f(10^5) = 2,4 \cdot 10^{-6} e^{-1,2 \cdot 10^{-6} \cdot 10^5} - 2,4 \cdot 10^{-6} e^{-2,4 \cdot 10^{-6} \cdot 10^5} = 2,4 \cdot 10^{-6} (0,887 - 0,787) = 0,241 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{ч}}$$

$$f(2 \cdot 10^5) = 2,4 \cdot 10^{-6} e^{-1,2 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^5} - 2,4 \cdot 10^{-6} e^{-2,4 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^5} = 2,4 \cdot 10^{-6} (0,787 - 0,619) = 0,403 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{ч}}$$

3. Определим зависимость интенсивности отказов от времени:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)}$$

$$\lambda(t) = \frac{2\lambda e^{-\lambda t} - 2\lambda e^{-2\lambda t}}{2e^{-\lambda t} - e^{-2\lambda t}} = \lambda - \frac{\lambda e^{-2\lambda t}}{2e^{-\lambda t} - e^{-2\lambda t}}$$

$$\lambda(t) = 1,2 \cdot 10^{-6} - \frac{1,2 \cdot 10^{-6} e^{-2,4 \cdot 10^{-6} t}}{2e^{-1,2 \cdot 10^{-6} t} - e^{-2,4 \cdot 10^{-6} t}}$$

$$\lambda(10^5) = 1,2 \cdot 10^{-6} - \frac{1,2 \cdot 10^{-6} e^{-2,4 \cdot 10^{-6} \cdot 10^5}}{2e^{-1,2 \cdot 10^{-6} \cdot 10^5} - e^{-2,4 \cdot 10^{-6} \cdot 10^5}} = 1,2 \cdot 10^{-6} - \frac{1,2 \cdot 10^{-6} \cdot 0,787}{2 \cdot 0,887 - 0,787} = 0,244 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{ч}}$$

$$\lambda(2 \cdot 10^5) = 1,2 \cdot 10^{-6} - \frac{1,2 \cdot 10^{-6} e^{-2,4 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^5}}{2e^{-1,2 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^5} - e^{-2,4 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^5}} = 1,2 \cdot 10^{-6} - \frac{1,2 \cdot 10^{-6} \cdot 0,619}{2 \cdot 0,787 - 0,619} = 0,422 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{ч}}$$

4. Определим зависимость параметра потока отказов $f_{\text{нб}}(t)$ от времени:

$$f(s) = \int_0^{\infty} f(t) e^{-st} dt = \int_0^{\infty} (2\lambda e^{-\lambda t} - 2\lambda e^{-2\lambda t}) e^{-st} dt = 2\lambda \int_0^{\infty} (e^{-(\lambda+s)t} - e^{-(2\lambda+s)t}) dt =$$

$$= \frac{2\lambda}{\lambda+s} - \frac{2\lambda}{2\lambda+s} = \frac{2\lambda^2}{(\lambda+s)(2\lambda+s)}$$

$$f_{cp}(s) = \frac{f(s)}{1-f(s)} = \frac{2\lambda^2}{s(s+3\lambda)}$$

Для отыскания оригинала $f_{cp}(t)$ находим обратное преобразование Лапласа функции

$$f_{cp}(t) = L^{-1}[f_{cp}(s)]$$

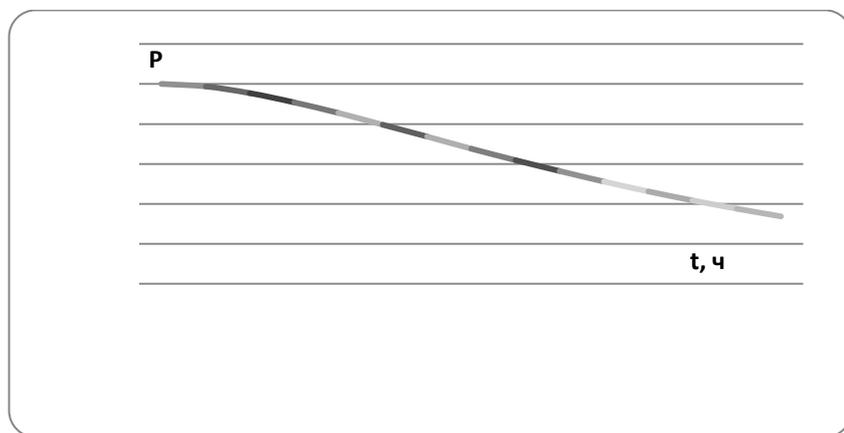
$$f_{cp}(t) = \frac{2\lambda}{3} - \frac{2\lambda}{3} e^{-3\lambda t}$$

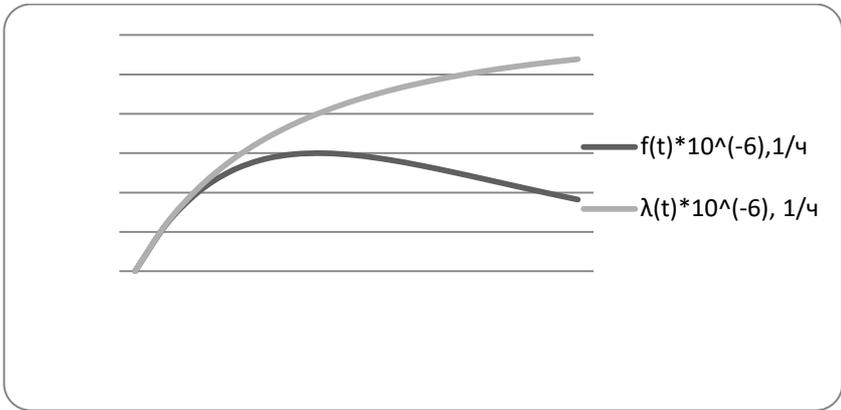
$$f_{cp}(t) = \frac{2 \cdot 1,2 \cdot 10^{-6}}{3} - \frac{2 \cdot 1,2 \cdot 10^{-6}}{3} e^{-3 \cdot 1,2 \cdot 10^{-6} t} = 0,8 - 0,8 e^{-3,6 \cdot 10^{-6} t}$$

$$f_{cp}(10^5) = 0,8 - 0,8 e^{-3,6 \cdot 10^{-6} \cdot 10^5} = 0,8 - 0,8 \cdot 0,698 = 0,242 \frac{1}{\text{ч}}$$

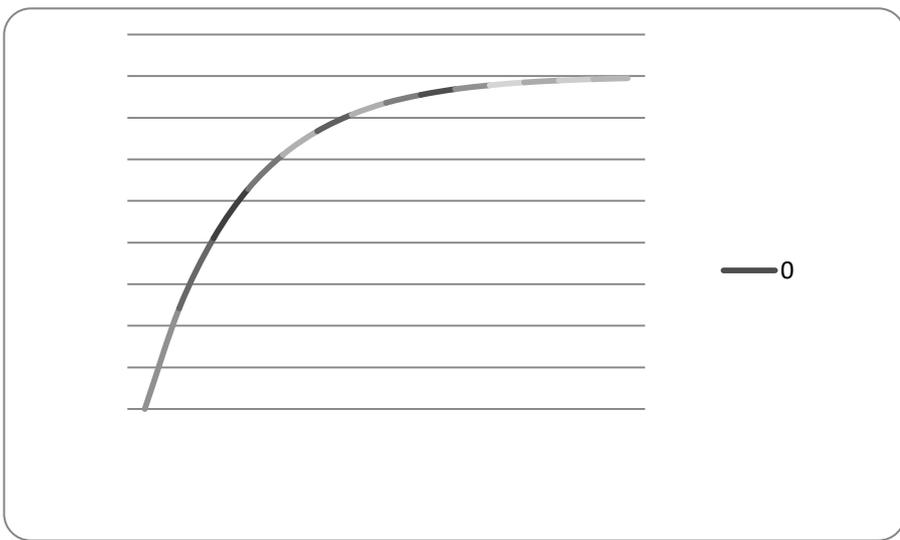
$$f_{cp}(2 \cdot 10^5) = 0,8 - 0,8 e^{-3,6 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^5} = 0,8 - 0,8 \cdot 0,489 = 0,411 \frac{1}{\text{ч}}$$

t	P(t)	f(t)*10 ⁽⁻⁶⁾ , 1/ч	л(t)*10 ⁽⁻⁶⁾ , 1/ч	fcp(t)*10 ⁽⁻⁶⁾ , 1/ч
0	1,000	0	0	0
100000	0,987	0,241	0,244	0,242
200000	0,954	0,403	0,422	0,411
300000	0,909	0,506	0,557	0,528
400000	0,855	0,566	0,662	0,610
500000	0,796	0,594	0,746	0,668
600000	0,737	0,600	0,814	0,708
700000	0,677	0,589	0,870	0,736
800000	0,619	0,567	0,916	0,755
900000	0,564	0,538	0,955	0,769
1000000	0,512	0,505	0,987	0,778
1100000	0,463	0,470	1,015	0,785
1200000	0,418	0,434	1,039	0,789
1300000	0,376	0,398	1,059	0,793
1400000	0,338	0,364	1,077	0,795





Bap.						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						



Практическая работа № 12

Вычисление вероятности безотказной работы элементов

В результате эксплуатации $N=1600$ восстанавливаемых изделий получены следующие статистические данные об отказах, представленные в таблице. Число отказов $n(\Delta t_i)$ фиксировалось через Δt_i часов. Необходимо определить:

- среднюю наработку до первого отказа изделия T_{cp} ;
- вероятность безотказной работы $P(t)$;
- среднюю частоту отказов (параметр потока отказов) $f_{cp}(t)$;
- частоту отказов $f(t)$;
- интенсивность отказов $\lambda(t)$.

Решение

1. Вычислим вероятность безотказной работы $P(t)$, которая оценивается выражением:

$$P(t) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0},$$

где N_0 - число изделий в начале испытания;

$n(t)$ - число отказавших изделий за время t

$$P(200) = \frac{1600 - 59}{1600} = 0,963$$

$$P(400) = \frac{1600 - 59 - 53}{1600} = 0,930$$

2. Вычислим среднюю частоту отказов $f_{cp}(t)$:

$$f_{cp}(t) = \frac{n(\Delta t_i)}{N_0 \cdot \Delta t},$$

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

$$f_{cp}(100) = \frac{59}{1600 \cdot 200} = 0,184 \cdot 10^{-3} \frac{1}{ч}$$

$$f_{cp}(300) = \frac{53}{1600 \cdot 200} = 0,166 \cdot 10^{-3} \frac{1}{ч}$$

3. Вычислим интенсивность отказов $\lambda(t)$:

$$\lambda(t) = \frac{n(\Delta t_i)}{N_{cpi} \cdot \Delta t},$$

где N_{cpi} - среднее число исправных работающих изделий в интервале Δt_i .

$$\lambda^*(100) = \frac{59}{\frac{1600 + 1541}{2} \cdot 200} = 0,188 \cdot 10^{-3} \frac{1}{ч}$$

$$\lambda^*(300) = \frac{53}{\frac{1541 + 1488}{2} \cdot 200} = 0,175 \cdot 10^{-3} \frac{1}{ч}$$

4. Вычислим среднее время безотказной работы по ниже приведенному выражению, так как испытания были прекращены до отказа всех элементов:

$$T_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^0 t_{cp i} \cdot n(\Delta t_i) + t_r [N_0 - n(t_r)]}{N_0}$$

где t_r - время окончания испытаний;

$n(t_r)$ - число элементов, отказавших за время t_r .

$$T_{cp} = \frac{100 \cdot 59 + 300 \cdot 53 + \dots + 4000(1600 - 668)}{1600} = 3038,625 \text{ ч}$$

Результаты вычисления $\lambda(t)$ $f_{cp}(t)$ $P(t)$ заносим в таблицу

Δt_i , ч	$n(\Delta t_i)$	$P(t)$	$f_{cp}(t) \cdot 10^{-3}$, 1/ч	$\lambda(t) \cdot 10^{-3}$, 1/ч	$N(cpi)$
0-200	59	0,963	0,184	0,188	1570,5
200-400	53	0,930	0,166	0,175	1514,5
400-600	48	0,900	0,150	0,164	1464
600-800	44	0,873	0,138	0,155	1418
800-1000	40	0,848	0,125	0,145	1376
1000-1200	37	0,824	0,116	0,138	1337,5
1200-1400	34	0,803	0,106	0,131	1302
1400-1600	32	0,783	0,100	0,126	1269
1600-1800	30	0,764	0,094	0,121	1238
1800-2000	28	0,747	0,088	0,116	1209
2000-2200	28	0,729	0,088	0,119	1181
2200-2400	27	0,713	0,084	0,117	1153,5
2400-2600	27	0,696	0,084	0,120	1126,5
2800-3000	26	0,663	0,081	0,121	1073
3000-3200	26	0,646	0,081	0,124	1047
3200-3400	26	0,630	0,081	0,127	1021
3400-3600	26	0,614	0,081	0,131	995
3600-3800	25	0,598	0,078	0,129	969,5
3800-4000	25	0,583	0,078	0,132	944,5

Вар.						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

Список литературы

1. Голинкевич Т.А. Прикладная теория надежности. Учебник для вузов. - М.: Высшая школа, 1985.
2. Бозм Б., Браун Дж., Каспар Х. И др. Характеристики качества программного обеспечения/Пер. с англ. Е. К. Масловского.- М.: Мир, 1981 – 208 с., ил.
3. Надежность и эффективность АСУ. Заренин Ю. Г., Збырко М. Д., Креденцер Б. П., Свистельник А. А., Яценко В. П. “Техника”, 1975, 368 стр.

**ФИЛИАЛ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
АВТОНОМНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ
«Национальный исследовательский технологический университет
«МИСиС» в г. Алмалык**

ГЛОССАРИЙ

**по дисциплине:
“НАДЕЖНОСТЬ ГОРНЫХ МАШИН”**

Глоссарий

Надежность - свойство объекта выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям использования объекта, ремонта, хранения и транспортирования.

Надежность включает в себя:

безотказность;

долговечность;

ремонтпригодность;

сохраняемость.

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

Долговечность - свойство объекта сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания (ТО) и ремонта.

Ремонтпригодность - свойство объекта, заключающееся в приспособленности к предупреждению и обнаружению причин его отказов, повреждений и устранений их последствий путем проведения ремонта и ТО.

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

Для оценки надежности объекта используют показатели.

Показатель надежности - это количественная характеристика одного или нескольких свойств, составляющих надежность объекта.

Объект - предмет назначения и практической деятельности человека. В теории надежности рассматриваемые объекты определенного целевого назначения являются результатом производственной деятельности человека: изделие, система, элемент.

Изделие расходует свой ресурс, продукт расходуется сам. Изделие рассматривается в периоды проектирования, изготовления, эксплуатации, исследований, испытаний на надежность.

Техническая система является множеством элементов, взаимосвязанных функционально и взаимодействующих друг с другом в процессе выполнения определенного круга задач.

Элемент - простейшая в рамках конкретного рассмотрения составная часть системы.

Понятие система и элемент относительны и трансформируются в зависимости от поставленной задачи.

Наработка - продолжительность или объем работы объекта.

Предельное состояние - состояние объекта, при котором его дальнейшая эксплуатация должна быть прекращена из-за неустранимых нарушений требований безопасности, или неустранимого ухода заданных параметров за установленные пределы, или неустранимого снижения эффективности эксплуатации ниже допустимой, или необходимости проведения среднего или капитального ремонта. Признаки (критерии) предельного состояния устанавливаются нормативно-технической документацией на данный объект.

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

Работоспособное состояние (работоспособность) - состояние объекта, при котором он способен выполнять заданные функции, сохраняя значение заданных параметров в пределах, установленных НТД.

Неисправное состояние (неисправность) - состояние объекта, при котором он не соответствует хотя бы одному из требований, установленных НТД.

Неработоспособное состояние (неработоспособность) - состояние объекта, при котором значение хотя бы одного из заданных параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, не соответствует требованиям, установленным НТД.

Повреждение - событие, заключающееся в нарушении исправности объекта или его составных частей вследствие влияния внешних воздействий, превышающих уровень, установленный в НТД на объект.

Повреждения могут быть незначительными или значительными. Первое означает нарушение исправности при сохранении работоспособности, второе - отказ объекта.

Отказ - событие, заключающееся в нарушении работоспособности объекта. Признаки (критерии) отказов устанавливаются НТД на данный объект.

Восстанавливаемый объект - объект, работоспособность которого в случае возникновения отказа подлежит восстановлению в рассматриваемой ситуации.

Невосстанавливаемый объект - объект, работоспособность которого в случае возникновения отказа не подлежит восстановлению в рассматриваемой ситуации.

Внезапный отказ - отказ, характеризующийся скачкообразным изменением одного или нескольких заданных параметров объекта.

Постепенный отказ - отказ, характеризующийся постепенным изменением одного или нескольких заданных параметров объекта.

Независимый отказ элемента - отказ элемента объекта, не обусловленный повреждением или отказом других элементов.

Зависимый отказ элемента - отказ элемента, обусловленный повреждением или отказом другого элемента объекта.

Сбой - самоустраняющийся отказ, приводящий к кратковременным нарушениям работоспособности.

Перемежающийся отказ - многократно возникающий сбой одного и того же характера.

Конструкционный отказ - отказ, возникающий в результате нарушений установленных правил и (или) норм конструирования и (или) несовершенства методов конструирования.

Производственный отказ - отказ, возникший в результате нарушения установленного процесса изготовления или ремонта объекта.

Эксплуатационный отказ - отказ, возникший в результате нарушения установленных правил и (или) условий эксплуатации или влияния непредусмотренных внешних воздействий.

Полный отказ - отказ, после возникновения которого использование объекта по назначению невозможно до восстановления его работоспособности.

Частичный отказ - отказ, после возникновения которого изделие может быть использовано по назначению, но с меньшей эффективностью.

Причина отказа - явления, процессы, события и состояния, обусловившие возникновение отказа объекта. Возникновение отказа может быть обусловлено ошибками либо низким уровнем проектирования объекта, несоблюдением технологии при производстве, нарушениями правил эксплуатации, различного рода повреждениями, естественными процессами в самом объекте (усталость материала, износ, коррозия и др.).

Glossary

Reliability is the property of the object to perform the specified functions, keeping in time the values of the established performance indicators within the specified limits, corresponding to the specified modes and conditions for using the facility, repairing, storing and transporting.

Reliability includes:

failure-free operation;

durability;

maintainability;

maintainability.

Reliability - the property of the object to continuously maintain its performance for some time or some time.

Longevity - the property of the object to remain operative until the onset of the limit state with

the installed maintenance and repair system.

Repairability - the property of the object, consisting in fitness to prevent and detect the causes of its failures, damages and elimination of their consequences through repair and maintenance.

Retentivity - the property of an object to continuously maintain a healthy and efficient state during and after storage and (or) transportation.

To assess the reliability of the object, indicators are used.

Object - the subject of the appointment and practical activities of man. In reliability theory, the objects under consideration for a specific purpose are the result of a person's productive activity: the product, system, element.

The product spends its resources, the product is consumed by itself. The product is considered in the periods of design, manufacture, operation, research, reliability tests.

The technical system is a set of elements interconnected functionally and interacting with each other in the process of performing a certain range of tasks.

The element is the simplest part of the system, within the framework of a particular examination.

The concept of the system and the element are relative and are transformed depending on the task.

The operating time is the duration or volume of the work of the facility.

Limit state - the state of the facility in which its further operation should be terminated due to unavoidable violations of safety requirements, or the unavoidable departure of the specified parameters beyond specified limits, or the ineradicable decrease in operating efficiency below the permissible level, or the need for medium or major repairs.

Failure is an event involving a violation of the operability of an object. The characteristics (criteria) of failures are established by the NTD on this object.

A recoverable object is an object whose operability in the event of a failure is subject to recovery in the situation in question.

An unrecoverable object is an object whose operability in the event of a failure is not recoverable in the situation in question.

A sudden failure is a failure, characterized by an abrupt change in one or more specified parameters of the object.

Partial failure is a failure, after which the product can be used for its intended purpose, but with less efficiency.

The reason for the refusal is the phenomena, processes, events and states that caused the object to fail. The appearance of a failure can be caused by errors or low level of the design of the facility, non-compliance with the technology in production, violations of operating rules, various types of damage, natural processes in the facility itself (fatigue, wear, corrosion).

Izohli LUG'ATI

Ishonchlilik - mulkni doimiy ish quvvati bir necha vaqt davomida yoki bir necha ish tutish uchun ob'ekt.

Foydalanish qulayligi - uning buzilish sabablari oldini olish va aniqlash uchun moslashish iborat bo'lgan ob'ekt, mulkka zarar

Ishonchlilik - belgilangan vazifalari, belgilangan limitlar, belgilangan operatsion ko'rsatkichlar qiymati vaqt tutib amalga oshirish uchun ob'ekt mol-mulk.

Qaysarlik - mulkni doimiy ish va serviceable va (yoki) saqlash, tashish davomida so'ng holatini saqlab qolish uchun ob'ekt.

Element - oddiy sayt-maxsus tizimining bir qismi ko'rib chiqish. Tizimi va element nisbiy tushunchasi

Serviceability - qaysi da texnik hujjatlar barcha talablarini u javob ob'ekt holati yaxshi holatda

Noto'g'ri holati - NTD talablari kamida bitta qondirish emas, qaysi maqomi ob'ekt.

Zarar - tadbir tashqi ta'sirlar natijasida ob'ekt yoki uning tarkibiy qismi qismlari serviceability buzganlik yilda tashkil topgan

Rad - tadbir ob'ekt ishchi salohiyatini buzilishi yilda tashkil topgan. Belgilari (mezonlar) NTD ob'ektida o'rnatilgan pog'ona.

Kollapsining - samoustranijutsia etishmovchiligi, qisqa muddatli buzilish natijasida.

Ishlab chiqarish qobiliyatsiz - qobiliyatsiz ishlab chiqarish tashkil jarayoni buzilishi natijasida yoki ob'ekt ta'mirlash.

Chidamlilik - o'rnatilgan tizimiga texnik xizmat ko'rsatish qachon chegarasi, davlat boshlanganidan oldin, ish salohiyatini saqlab qolish uchun ob'ekt mol-mulk

Chegara davlat - qaysi-da, uning yanada operatsiya halokatli buzilishi tufayli bekor bo'lishi kerak, qolaversa, davlat

Mahsulot bir resurslarini is'temol, iste'mol o'zi mahsulot. Mahsulotni loyihalash, ishlab chiqarish, ishlatish, ilmiy-tadqiqot, IP davrlar davomida qabul qilinadi

Tezkor qobiliyatsiz - etishmovchiligi va (yoki) qoidalari, shartlari buzilishi natijasida.

**ФИЛИАЛ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
АВТОНОМНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ**

**«Национальный исследовательский технологический университет
«МИСиС» в г. Алмалык
(Филиал НИТУ «МИСиС» в г. Алмалык)**

КАФЕДРА «ГОРНОЕ ДЕЛО»

Регистрирован

“УТВЕРЖДАЮ”

№ _____

Проректор по учебной работе
_____ С.Худояров

« ____ » _____ 2021 г.

« ____ » _____ 2021 г.

РАБОЧАЯ УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА

По курсу: «НАДЕЖНОСТЬ ГОРНЫХ МАШИН»

Для магистрантов

Область знаний	300 000	Производственно-техническая сфера
Область образования	2140070	Инженерное дело
Направление образования	21.05.04.	Горное дело
Специальность	СГД-16-9	Горные машины и оборудование

Семестр	1	Общ.
Всего	120	120
Лекций	36	36
Практических занятий	36	36
Лабораторных работ	-	-
Самостоятельное обучение	48	48

Алмалык-2021г.

Программу составил(и):
к.т.н., доц. Кахаров Сергей Каримович

Рабочая программа
Надежность горных машин

Разработана в соответствии с ОС ВО:
Самостоятельно устанавливаемый образовательный стандарт высшего образования
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» по
специальности 21.05.04 ГОРНОЕ ДЕЛО (приказ от 02.12.2015 г. № 602 о.в.)

Составлена на основании учебного плана:
21.05.04 ГОРНОЕ ДЕЛО, 21.05.04-СГД-16-9.PLX Горные машины и оборудование,
утвержденного Ученым советом ФГАОУ ВО НИТУ "МИСиС" 21.05.2020, протокол № 10/зг

Рабочая программа одобрена на заседании кафедры
Кафедра горного оборудования, транспорта и машиностроения

Протокол от 09.06.2021 г., №10

Зав. кафедрой Рахутин Максим Григорьевич

ВВЕДЕНИЕ

Программа изучения дисциплины «Надёжность горных машин» предназначена для магистрантов направления 5А310705 «Горные машины и оборудования».

Целью дисциплины «Надёжность горных машин» является изучение методов оценки показателей надёжности электромеханического оборудования и обеспечения необходимой надёжности при эксплуатации электромеханического оборудования.

Задачами дисциплины являются

- познакомить обучающихся с основными понятиями и методами расчета надёжности электромеханических систем;
- дать информацию об особенностях разных видов электромеханических машин и вспомогательного оборудования с точки зрения оценки надёжности всей электромеханической системы;
- познакомить обучающихся с методами экспериментальной оценки надёжности узлов электромеханического горного оборудования;
- дать практические навыки по обеспечению надёжности электромеханического оборудования при эксплуатации;
- показать области практического применения в электромеханике теоретических знаний, полученных в специальных курсах высшей математики по теории вероятностей и математической статистике.

Изучение дисциплины производится путем ознакомления с соответствующими темами в рекомендуемой литературе, выполнения заданий контрольной работы, выполнения практических задач и сдачи итоговой контрольной работы.

Учебным планом предусматривается выполнение одной самостоятельной работы. Сдача итоговой контрольной работы является завершающим этапом изучения дисциплины.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА.

Программа дисциплины «Надёжность горных машин» предусматривает изучение методов оценки показателей надёжности электромеханического оборудования и обеспечения необходимой надёжности при эксплуатации электромеханического горного оборудования. Программа соответствует требованиям, предъявляемым к учебным документам с учетом национального компонента образования.

Содержание программы отвечает требованиям образовательного стандарта ССО РУз и соответствует базовому и повышенному уровню подготовки выпускников по специальностям.

Программой предусматривается систематический контроль знаний студентов путем проведения опросов, конкурсов, тестов, самостоятельных и контрольных работ.

Распределение учебного времени по часам, темам, разделам и видам занятий может быть изменено по решению комиссии в пределах общего объема времени.

В результате изучения дисциплины магистр должен знать:

- основные показатели надёжности электромеханического оборудования, факторы, влияющие на надёжность;

- способы расчета показателей надёжности, а также методы их экспериментальной оценки;
- основные пути повышения надёжности электромеханического горного оборудования при эксплуатации путем структурной, временной и информационной избыточности при минимально возможных затратах.

В результате изучения дисциплины магистр должен уметь:

оценить надёжность электрического или механического оборудования;

- проводить системный сравнительный анализ надёжностных характеристик различных альтернативных вариантов для обоснования выбора наиболее эффективного решения;
- анализировать надёжность сложных электромеханических систем;
- получать статистические данные об отказах;
- проводить определительные и контрольные испытания на надёжность;
- проводить диагностику и прогнозирование надёжности.

В результате изучения дисциплины магистр должен владеть:

- элементами теории вероятностей и математической статистики;
- методами анализа надёжности сложных электромеханических систем;
- навыками проведения экспериментальной оценки надёжности и статистической обработки данных;
- методами оценки эксплуатационной надёжности электромеханического оборудования.

ОТВЕДЕННЫЕ ЧАСЫ ДАННОЙ ДИСЦИПЛИНЫ ПО ВИДАМ ЗАНЯТИЙ

Всего для освоения дисциплины отведено 120 часов. Из них: 48 часов на самостоятельную работу. На аудиторные занятия: 36 часов лекционных, 36 часов практических занятий.

СОДЕРЖАНИЕ ЛЕКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА (36 часов)

1. Лекция. Предмет науки о надёжности. Теоретическая база науки о надёжности (2 часа)

Проблема надёжности стоит в центре современной техники, исследование природы надёжности на разных уровнях ее конкретизации делает практически необходимой и теоретически значимой разработку диалектики и методологии современной техники. С ростом технического уровня средств комплексной механизации надёжность приобретает все более важное значение среди факторов, влияющих на уровень использования горного оборудования.

2. Лекция. Повышение долговечности горных машин (2 часа)

Долговечность – свойство объекта сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания (ТО) и ремонта. Физические процессы практически в любой области носят случайный характер. Это связано с причинами их возникновения и течения. Поэтому исследования в теории надёжности выполняются на основе методов теории вероятностей и математической статистики. Основой этих методов являются понятия события, случайной величины, теоремы сложения и умножения вероятностей для оценки надёжности.

3. Лекция. Отказы электромеханического оборудования (2 часа)

Эксплуатационные отказы имеют наибольший удельный вес, как по количеству, так и по

продолжительности и трудоемкости устранения. До 50 % от их общего количества составляют отказы, вызванные горно-техническими причинами. В основном это неожиданные перегрузки машин. Ошибочные отказы связаны с нарушением технических инструкций, правил и норм эксплуатации, низкой профессиональной подготовкой операторов, несвоевременным обслуживанием и ремонтом оборудования.

4. Лекция. Экономика и надежность Случайные величины (2 часа)

В теории надежности разработан ряд методов, повышающих надежность систем. Одним из них является создание резервов того или иного вида, повышающих вероятность безотказной работы. Так, например, в систему включают резервные элементы, избыточные по отношению к минимально необходимым для ее работы. Это приводит к более высокой вероятности безотказной работы, чем у одного элемента.

5. Лекция. Числовые характеристики случайных величин. Законы распределения дискретных величин (2 часа)

Физические процессы практически в любой области носят случайный характер. Это связано с причинами их возникновения и течения. Поэтому исследования в теории надежности выполняются на основе методов теории вероятностей и математической статистики. Основой этих методов являются понятия события, случайной величины, теоремы сложения и умножения вероятностей для оценки надежности.

6. Лекция. Законы распределения непрерывных случайных величин (2 часа)

В теории вероятности используется много законов распределения случайной величины. К ним относятся распределения Лапласа, Коши, Стюдента, Эрланга и многие другие. Рассмотрим распределения, наиболее часто используемые в горных процессах.

7. Лекция. Показатели надежности восстанавливаемых и невосстанавливаемых систем (2 часа)

Показатели безотказности восстанавливаемых объектов:

- вероятность безотказной работы $P(t)$;
- параметр потока отказов $\lambda(t)$ – плотность вероятности возникновения отказа восстанавливаемого объекта, определяемая для рассматриваемого момента времени;
- наработка на отказ T – отношение наработки восстанавливаемого объекта к математическому ожиданию числа его отказов в течение этой наработки.

Вероятность безотказной работы определяется точно так же, как и для невосстанавливаемых объектов. Однако следует учитывать, что функции распределения наработки между началом эксплуатации и первым отказом, первым и вторым отказом и так далее, могут быть различными.

8. Лекция. Методы обеспечения надежности горных машин (2 часа)

Обеспечение надежности машины нельзя рассматривать в отрыве от условий ее эксплуатации. В зависимости от назначения машины требования к надежности могут оказаться различными. В случаях, когда руководствуются не экономическими соображениями, обычно стремятся к максимальной надежности.

9. Лекция. Резервирование (2 часа)

Резервирование – один из способов поддержания уровня надежности оборудования. Показатели надежности зависят от схемы и способов резервирования. Существует понятие «состояние» системы, которое характеризуется работоспособностью одного из элементов и

всей системы в целом. Описание состояний системы производится с помощью графов переходов из одного состояния в другое. На основании графов переходов составляются системы дифференциальных уравнений, решение которых позволяют определить вероятность безотказной работы машины при различных вариантах ком-поновки и резервирования элементов объекта.

10. Лекция. Техническое диагностирование объектов (2 часа)

Элементы изделия взаимодействуют параллельно, если его работоспособность будет обеспечена при сохранении работоспособности хотя бы одного элемента, т.е. работоспособен или А, или Б, и т.д. Вероятность безотказной работы такого изделия определяется по теореме сложения вероятностей для совместных событий. При большом количестве параллельно соединенных элементов использование теоремы сложения вероятностей приводит к весьма громоздкой расчетной зависимости.

11. Лекция. Расчеты ВБР при последовательном и параллельном соединении элементов (2 часа)

Для t последовательно взаимодействующих элементов вероятность безотказной работы

определяется по зависимости $P = \prod_{i=1}^m p_i$, где p_i – вероятность безотказной работы i -го элемента.

Если все элементы имеют одинаковую вероятность p , то $P = p^m$. Для n параллельно взаимодействующих элементов вероятность отказа i -го элемента $q_i = 1 - p_i$, а вероятность отказа

t элементов $Q = \prod_{i=1}^n q_i = \prod_{i=1}^n (1 - p_i)$.

12. Лекция. Вероятностные методы определения периодичности ремонтов (2 часа)

Существуют два основных метода организации технического обслуживания горного оборудования: на основе статистического анализа причин и периодичности отказов оборудования и на основе контроля технического состояния элементов и узлов машины и прогнозирования ее ресурса.

13. Лекция. Расчет количества запасных частей (2 часа)

В процессе эксплуатации любая деталь или узел может отказать. Для обеспечения высокой эффективности работы объекта необходимо в кратчайшие сроки произвести замену отказавшей детали новой. Выполнение этой работы осуществляется при достаточном запасе на складе установленной номенклатуры запасных частей. Различают комплекты запчастей одиночные, групповые и ремонтные.

14. Лекция. Формирование стратегии обслуживания горных машин (2 часа)

Для построения стратегии обслуживания машин и установок необходимо иметь данные по длительности их работы между ремонтами, о видах и причинах отказов, мероприятиях по восстановлению работоспособности, размеров затрат на ремонт и ликвидацию последствий аварийного отказа. Данные обрабатываются методами математической статистики. Зная конкретный вид и аналитическое выражение функции распределения исследуемой случайной величины, можно рассчитать вероятности безотказной работы и отказов объектов для любых значений наработки.

15. Лекция. Методы испытаний горного оборудования и определение показателей его надежности на стадии проектирования (2 часа)

Для проведения испытаний назначается межведомственная комиссия (МВК), в состав которой включаются представители: заказчика; производственного объединения; предприятия, где проводятся приемочные испытания; разработчиков технического задания; бассейнового НИИ; разработчика конструкторской документации; ведущего проектно-конструкторского института; завода-изготовителя; головного НИИ; МакНИИ или ВостНИИ (при необходимости); Государственного санитарного надзора; технической инспекции профсоюза отрасли, в которой будет эксплуатироваться изделие.

16. Лекция. Расчет показателей надежности комплексов горных машин (2 часа)

Перед расчетом надежности на стадии проектирования составляется схема расчета на основе анализа процесса функционирования объекта. Затем формулируются его возможные структурные состояния и описываются возможные отказы. Расчет показателей безотказности производят с помощью теорем сложения и умножения вероятностей. Для повышения надежности применяют различные схемы резервирования. С помощью лабораторных и промышленных испытаний устанавливают соответствие расчетных и фактических показателей. При организации испытаний используют факторный план экспериментов.

17. Лекция. Расчет и построение графиков обслуживания горных машин (2 часа)

В расчетной работе рассмотрен вероятностный способ организации профилактических работ, основанный на анализе статистической информации о надежности. Целью расчетов является определение оптимальных сроков службы элементов горных машин, при которых достигается минимум затрат на проведение плановых и аварийных ремонтов, построение стратегии обслуживания горного оборудования и определение необходимого количества запасных частей.

18. Лекция Факторы, влияющие на надежность рудничного электрооборудования (2 часа)

Опыт и проведенные исследования показали, что из общего числа отказов ЭО на электродвигатели (ЭД) приходится 25-30 %. При этом до 95 % всех отказов ЭД связано с восстановительным ремонтом, т. е. требует замены отказавшего ЭД и производства ремонта в специализированных мастерских.

Распределение отказов по узлам рудничных ЭД, которое, как показывает практика, мало зависит от области их применения, что свидетельствует об общности причин этих отказов.

СОДЕРЖАНИЕ ТЕМ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ (36 часов)

1	Пр.занятие	Расчеты показателей надежности элементов	4 часа
2	Пр.занятие	Расчеты ВБР и средней наработки на отказ элементов	2 часа
3	Пр.занятие	Определение количественных показателей надежности в определенный период времени	4 часа
4	Пр.занятие	Построение графиков показателей надежности элемента	4 часа
5	Пр.занятие	Определение интенсивности отказов при двухстороннем доверительном интервале	2 часа
6	Пр.занятие	Расчеты показателей надежности при параллельном соединении элементов	4 часа
7	Пр.занятие	Расчет узла из резервированных элементов	2 часа
8	Пр.занятие	Расчеты повышения надежности элементов системы	4 часа
9	Пр.занятие	Определение показателей надежности сложной системы	4 часа
10	Пр.занятие	Определение показателей надежности невосстанавливаемых элементов	2 часа
11	Пр.занятие	Определение количественных характеристик надежности сложной системы	2 часа
12	Пр.занятие	Определение показателей безотказной работы восстанавливаемых элементов	2 часа

СОДЕРЖАНИЕ ТЕМ ДЛЯ САМООБРАЗОВАНИЯ СТУДЕНТОВ:

Самостоятельная работа 1	Надежность горных машин	4 часа
Самостоятельная работа 2	Надежность бурового оборудования	4 часа
Самостоятельная работа 3	Надежность проходческого оборудования	4 часа
Самостоятельная работа 4	Надежность автосамосвалов	4 часа

Самостоятельная работа 5	Надежность думкаров и вагонеток	4 часа
Самостоятельная работа 6	Надежность горного электрооборудования	4 часа
Самостоятельная работа 7	Надежность насосных установок	4 часа
Самостоятельная работа 8	Надежность компрессорных установок	4 часа
Самостоятельная работа 9	Надежность вентиляторных установок	2 часа
Самостоятельная работа 10	Надежность обогатительного оборудования	2 часа
Самостоятельная работа 11	Надежность локомотивов	2 часа
Самостоятельная работа 12	Надежность горных экскаваторов	4 часа
Самостоятельная работа 13	Надежность ленточных конвейеров	2 часа
Самостоятельная работа 14	Надежность скреперных установок	2 часа
Самостоятельная работа 15	Надежность канатной дороги	2 часа

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ

по дисциплине

“НАДЕЖНОСТЬ ГОРНЫХ МАШИН”

Для направления образования: 21.05.04 – Горные машины и оборудования
(специальность: 21.05.04-СГД-16-9.PLX Горные машины и оборудование)

Рейтинговая разработка и критерий оценки по предмету “Надежность горных машин”

Уровень успеваемости и знания студентов по предмету “Надежность горных машин” оценивается количественными показателями по 100 балльной системе.

100 баллов по видам контроля распределяется : на текущие и промежуточные контроли успеваемости – 70 баллов; на итоговый контроль -30 баллов.

График рейтинга по предмету

п/п №	Курс	Семестр	Количество недель ответных часов за семестр (рейтинговые)	Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия Часы самостоятельных работ	Аб-аудиторные баллы Сб-Баллы самостоятельных работ	Общие часы в процентах (%)	Виды контроля											Курсовой проект (работа)		
									ТК	ТК – 1	ТК – 2	ПК	ПК – 1	ПК – 2	∑ТК+ПК	Проходной	ИК	Форма проведения ИК	Показатель			
1	2	3	18	120	36	0	36	48	Аб	70	35	13	14	35	12	12	70	39	30	пись	100	
									Мб	30		4	4		5	6						

Рейтинговая разработка оценки и их критерий

№	Типы контроля	Количество	Балл и количество	Общий балл
1. ТК общий 35 баллов				
1.1.	Выполнение практических заданий	18	1,5x18	27
1.2	Самостоятельная работа– подготовка реферата*	1	8	8
2. ПК общий 35 баллов				
2.1.	1 – промежуточный контроль, письменная работа (3 вопроса)	1	4x3	12
2.2.	2 – промежуточный контроль, письменная работа (3 вопроса)	1	4x3	12
2.3.	Самостоятельная работа– подготовка презентации*	1	11	11
∑ТК+ПК				70
3. ИК				
3.1.	Итоговый контроль, письменная работа (3 вопроса)	1	10x3=30	30
ВСЕГО				100

Примечание: ПК проводит преподаватель, ведущий лекцию, ТК проводит преподаватель, ведущий практическое и лабораторное занятия, ИК проводят члены комиссии под председательством заведующего кафедрой.

Уровень конспектирования практических работ, подготовка к ним, например, задача, тестирование, активное участие на занятиях. Учитывая все это, студенты оцениваются следующим образом:

Студенту выполнившему практическую работу полностью причисляется 1,3 – 1,5 балла, если работа выполнена качественно, но по уровню ответа на вопросы 1,06 – 1,29 балла, если выполнена не полностью то по степени выполнения 8,25 – 1,05 баллов.

Промежуточная контрольная производится в форме письменной работы, в виде ответов на 3 вопроса. Каждый ответ оценивается по 4 балльной системе:

- если сущность вопроса раскрыта полностью, ответы точные и полноценные, то – 3,4 – 4 балла;
- если на вопрос ответ обобщенный, сущность не полностью раскрыта и отсутствуют некоторые факты – 2,8 – 3,4 балла
- если есть попытка ответа на вопрос, но имеются путанности – 2,2 – 2,8 балла.

Студенту выполнившему в полном объеме самостоятельную работу в виде реферата (с подробным описанием кинематических схем, рисунков и таблиц, по заданной теме) и раскрывшему в полном объеме сущность вопроса ,ответы точные и обширные то студент получает 6,88-8 балла.

Если объем реферата не достаточно полный, но при этом имеются необходимые данные по теме, в виде схем основных узлов и деталей, а также студент смог ответить на большинство вопросов, оценка будет 5,08-6,8 балла.

Если объем реферата не достаточно полный, но при этом студент пытается ответить на поставленные вопросы имея неточности при ответах 4,4-5 балла.

Студенту выполнившему в полном объеме самостоятельную работу в виде презентации (с подробным описанием кинематических схем, рисунков и таблиц, на слайдах, либо в видеоролике по заданной теме) и раскрывшему в полном объеме сущность вопроса, ответы точные и обширные то студент получает 9,5-11 балла.

Если объем презентации не достаточно полный, но при этом имеются необходимые данные по теме, в виде схем основных узлов и деталей(на слайдах или видеороликах), а также студент смог ответить на большинство вопросов, раскрыть сущность темы, оценка будет 7,81-9,4 балла.

Если объем презентации не достаточно полный, но при этом студент пытается раскрыть сущность темы, имея неточности при ответах 6,05-7,8 балла.

Вопросы для контроля (ТК, ПК, ИК)

по предмету

«Надежность горных машин»

1. Условия эксплуатации электрооборудования горных предприятий.
2. Требования к электрооборудованию и механизмам горных предприятий.
3. Элаассификация и маркировка рудничного электрооборудования
4. Характеристика горно электрооборудования
5. Категория надежности ГМ
6. Долговечность оборудования
7. Быстроизнашиваемые элементы
8. Сохраняемость деталей и узлов машин
9. Нарботка на отказ оборудования
10. Расчет запасных частей.
11. Графики надежности.
12. Основные величины в расчетах электрических нагрузок.
13. Показатели графиков нагрузки.
14. Номинальная мощность.
15. Причины и виды отказов горного оборудования.
16. Резервирование оборудования.
17. Показатели надежности.
18. Паралельное соединение элементов .
19. Последовательное соединение.
20. Общие сведения о защите от повреждений и ненормальных режимах работы.
21. Максимальная токовая защита.
22. Дифференциальные токовые защиты.
23. Защита от однофазных замыканий на землю.
24. Автоматика в системах электроснабжения карьеров.
25. Виды автоматические включения.
26. Автоматическое включение резерва (АВР).
27. Автоматическое повторное включение (АПВ).
28. Автоматическая частотная разгрузка (АЧР).
29. Организация эксплуатации электрооборудования.
30. Изучение устройств и включения в сеть источников света.
31. Лампы накаливания ЛН и лампы кварцевая галагенная КГ.
32. Дуговые ртутные высокого давления ДРЛ.
33. Металлогалогенные ДРИ, дуговые ксеноновые трубчатые ДКСТ, натриевые лампы.
34. Электробезопасность.
35. Действие электрического тока на организм человека.
36. Виды электротравм.
37. Классификация степени воздействия электрического тока на человека.
38. Основные причины электротравматизма.
39. Ощутимый, отпускающий, неотпускающий и смертельные токи.
40. Основные причины электротравматизма.
41. Основные энергетические показатели горных предприятий.
42. Электропотребление карьеров.
43. Тарификация электроэнергии.
44. Электровооруженность труда.
45. Режимы нейтрали электрических сетей карьеров.
46. Изолированная нейтраль.

47. Глухо-заземленная нейтраль.
48. Коэффициент мощности карьерных электроустановок
49. Статические конденсаторы
50. Синхронные двигатели (СД)
51. Синхронные компенсаторы (СК)
52. Статические источники реактивной мощности
53. Компенсация реактивных нагрузок статическими конденсаторами
54. Особенности электроснабжения подземных горных работ
55. Электроснабжение шахт и рудников с обособленным питанием подземных электроприемников
56. Надежность систем подземного электроснабжения и их отдельных элементов
57. Надежности и отказа
58. Факторы, влияющие на надежность рудничного электрооборудования
59. Причины отказов рудничного электрооборудования
60. Коммутационные аппараты
61. Выключатели на напряжение свыше 1 кВ
62. Масляные выключатели
63. Многообъемные масляные выключатели
64. Малообъемные масляные выключатели
65. Вакуумных выключателей
66. Автогазовые выключатели
67. Воздушные разъединители
68. Приводы выключателей и разъединителей
69. Автоматические выключатели
70. Изучение схемы и принцип работы автоматических выключателей
71. Изучение конструкции автоматических выключателей
72. Электрооборудование и электроснабжение одноковшовых экскаваторов
73. Рабочие режимы электроприводов экскаваторов
74. Электрооборудование экскаваторов переменного тока
75. Электропривод и электрооборудование водоотливных, компрессорных, вентиляторных, подъемных установок и вспомогательных механизмов.
76. Конструкция и схема приключательного пункта (ЯКНО-6ЭП, ЯКНО-10У1)
77. Конструкция и схема распределительного пункта (КРУПП-1-6-10/630, КРП)
78. Конструкция и схема силовых трансформаторов
79. Схема распределения электроэнергии и электрооборудование экскаваторов
80. Трансформатор собственных нужд, вводной ящик, (ТСН, ВРУ, СД, ГП, ГВХ, ГНХ на одноковшовых экскаваторов)
81. Защитные устройства от перенапряжения (тросовой молниеотвод, стержневой молниеотвод, вентильный разрядник, трубчатый разрядник)
82. Тросовой молниеотвод
83. Стержневой молниеотвод
84. Вентильный разрядник
85. Причины аварий машин горных предприятий
86. Причины простоя горного оборудования
87. Статистический анализ выхода из строя оборудования
88. Время безотказной работы оборудования
89. Методы повышения надежности горного оборудования
90. Часы наработки машин

ИНФОРМАЦИОННО - МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Основная литература

1. Разгильдеев Г. И. Надежность электромеханических систем и электрооборудования: учеб. пособие. - 3-е изд., перераб. / Г. И. Разгильдеев; ГУ КузГТУ. - Кемерово, 2005. - 157 с.
2. Волков П.Н. и др. - Исследование ремонтно - технологичности эксковаторов - Надежность и контроль качества 2005. №11. 41 с.
3. Половко А.М., Гуров С.В. Основы теории надежности: Санкт-Петербург. 2008
4. Острейковский В.А. Теория надежности. -М.: Высшая школа, 2003. 677 с
- 5.
6. Кузнецов Н.Л. Надежность электрических машин: учеб. пособие для вузов. - М.: Издательский дом МЭИ, 2006. - 432с.
7. Сборник задач по надежности электрических машин: учебное пособие / Н.Л.Кузнецов. - М.: Издательский дом МЭИ, 2008. - 408с.
8. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. - М.: Изд-во стандартов, 1989. - 37 с.
9. Сборник задач по теории надежности / под ред. А. М. Половко, И. М. Маликова. - М.: Изд-во «Советское радио», 2013.-408 с.

Дополнительная литература

1. Интернет сайты:
<http://www.msmu.ru/>. <http://msmu.ru/index..mailto:abitur@msmu.ru>. <http://www.biblus.ru/>.
<http://www.rosugol.ru/>. <http://www.conveer.ru/>. <http://librarv.stroit.ru/>.
<http://www.ssgpo.kz/>. <http://www.ssgpo.kz/ssgpo/struct/mine>. <http://www.nkmz.com/>.
http://www.elibrarv.ru/menu_info.asp - научная электронная библиотека.
<http://mggu.da.ru> - Московский государственный горный университет.
<http://www.mining-iournal.com/mi/MJ/mi>
2. Половко А.М., Гуров С.В. Основы теории надежности: Санкт-Петербург. 2008
3. Острейковский В.А. Теория надежности. -М.: Высшая школа, 2003. 677 с