

## ВВЕДЕНИЕ

Теория надежности машин и оборудования является для горного инженера-механика 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 вероятностей 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, а 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, изыскивает 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.

# 1. 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.

## 1.1. 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.

Понятия *система* и *элемент* относительно 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 значения 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.

## 1.2. 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 горнотехнических 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 горнотехническими 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 таблице 1.1.

Таблица 1.1

## Соотношение отказов, %

Машины	Конструкци- онный отказ	Производст- венный отказ	Эксплуатаци- онный 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 технико-экономических 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	Механизи- рованная 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	Разрыв тягового органа конвейера, скреперной установки, толкателя вагонеток, отказ электродвигателя насоса
	Частичный отказ	Отказ одного электродвигателя многоприводного конвейера
Связь между отказами	Независимый отказ	Выкрашивание твердого сплава в буровой коронке
	Зависимый отказ	Разрыв тягового органа вследствие его заклинивания. Перегорание электродвигателя при отказе одного из контактов пускового устройства
Устойчивость неработоспособности	Устойчивый отказ	Поломка или чрезмерный износ любых деталей
	Самоустраняющийся сбой	Пробуксовка ленты, клиноременной передачи, сбои в ЭВМ
Наличие внешних проявлений отказа	Очевидный (явный)	Скручивание вала приводного барабана ленточного конвейера
	Скрытый (неявный)	Поломка зубчатого колеса радиатора

Продолжение табл. 1.3

Признак классификации	Вид отказа	Примеры
Причина возникновения отказа	Конструкционный отказ	Ошибка конструктора, несовершенство принятых методов конструирования
	Производственный отказ	Ошибка при изготовлении, нарушение технологии, несовершенство технологии
	Эксплуатационный отказ	Нарушение ПЭ, внешние воздействия, несвойственные нормам эксплуатации
Время возникновения отказа	Отказ при испытании	Износ и поломка деталей из-за нарушения инструкции по эксплуатации
	Отказ периода приработки	Поломки из-за перегрузки
	Отказ при нормальной эксплуатации	—
	Отказ в конце эксплуатации	—

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

### 1.3. СЛУЧАЙНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ В ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ

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.

#### 1.3.1. Понятия события и случайной величины

*Событие* – всякое явление, которое при осуществлении определенной совокупности условий может либо произойти, либо не произойти.

Различают события достоверные, невозможные и случайные:

- достоверное событие обязательно произойдет, если будут выполнены определенные условия; причины достоверного события очевидны и поддаются учету;
- невозможное событие при определенных условиях произойти не может; причины также могут быть полностью учтены;
- случайные (вероятные) события в данных условиях могут произойти, а могут и не произойти; они являются следствием множества причин, необходимая совокупность которых в данный момент может и не сложиться.

*Вероятностью* события называется численная мера степени объективности возможности этого события. Вероятность события  $A$  обозначим  $P(A)$ . Вероятность случайного события  $A$  принимает значения в диапазоне  $0 < P(A) < 1$ . Массовые однородные случайные события, независимо от их конкретной природы, при выполнении одних и тех же условий подчиняются вероятным закономерностям, которые позволяют предвидеть частоту их проявления.

В теории надежности рассматривают следующие однородные случайные события: повреждение, отказ, восстановление, ремонт.

Если в течение опыта появление события  $A$  исключает появление события  $B$ , то такие события называются *несовместными*. Если в опыте при появлении события  $A$  возможно осуществление события  $B$ , то такие события называются *совместными*.

Событие  $\bar{A}$ , состоящее в том, что событие  $A$  в опыте не осуществляется, называется *противоположным* событию  $A$ . Если вероятность осуществления одного события не зависит от того, осуществилось или нет другое событие, то такие события называются *независимыми*. В противном случае события называются *зависимыми*.

События в опыте образуют *полную* группу, если в результате должно произойти хотя бы одно из них.

*Случайная величина* – величина, которая может принять какое-либо неизвестное заранее возможное значение, зависящее от случайных факторов (причин), которые не могут быть учтены.

Случайные величины могут быть дискретными и непрерывными.

*Дискретные (прерывные)* величины – это случайные величины, принимающие отдельные друг от друга значения. В теории надежности дискретными являются: количество невозстанавливаемых объектов, отказавших в заданном интервале времени; количество отказов восстановленного объекта в заданном интервале времени;

количество объектов, восстановленных в заданном интервале времени.

*Непрерывные случайные величины* – это величины, значения которых непрерывно заполняют некоторый промежуток. Примеры непрерывных случайных величин: наработка, ресурс, срок службы, время восстановления, срок сохраняемости.

В результате измерения случайные величины получают конкретные реализации. Каждая реализация может появиться с определенной вероятностью  $P_1, P_2, \dots, P_n$ . Соотношение, устанавливающее связь между возможными значениями случайной величины и соответствующими им вероятностями, называется *законом распределения* случайной величины. Формой задания закона распределения может быть таблица или многоугольник распределения (рис. 1.1а). Полной и универсальной формой задания закона распределения случайной величины является *функция распределения*, или *интегральный закон распределения*.

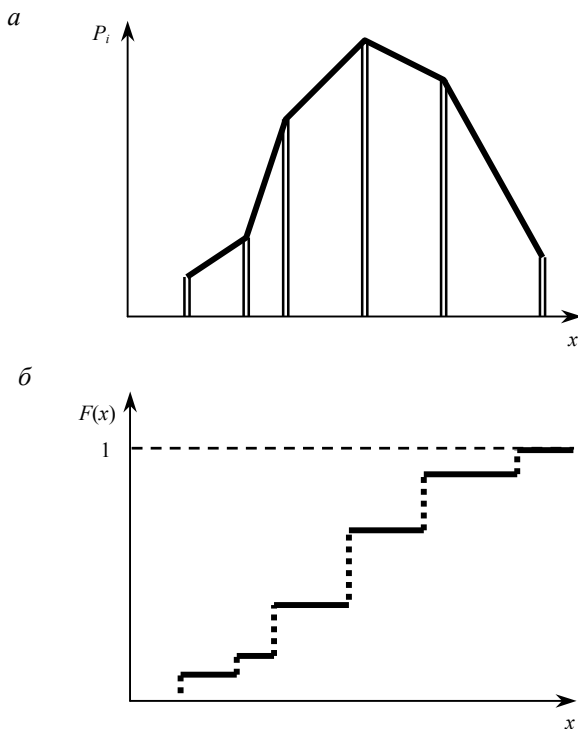


Рис. 1.1. График функции распределения дискретной величины:  
а – многоугольник распределения; б – график функции распределения.

### 1.3.2. Основные теоремы теории вероятностей в надежности

При расчетах надежности различных объектов часто используются теоремы сложения и умножения вероятностей, которые формулируют способы определения вероятностей суммы и произведения событий.

*Суммой* событий  $A_1, A_2, \dots, A_n$  называется сложное событие, состоящее в том, что осуществляются события  $A_1, A_2$  и т.д.

*Произведением* событий  $A_1, A_2, \dots, A_n$  называется сложное событие, состоящее в том, что осуществляются события  $A_1$  и  $A_2$  и т.д.

#### *Теоремы сложения вероятностей*

Вероятность суммы несовместных событий равна сумме вероятностей этих событий:

$$P(A_1 + A_2 + \dots + A_n) = P(A_1) + P(A_2) + \dots + P(A_n).$$

Вероятность суммы совместных событий равна сумме вероятностей этих событий без вероятности их совместного появления:

$$P(A_1 + A_2 + A_3) = P(A_1) + P(A_2) + P(A_3) - P(A_1 A_2) - \\ - P(A_1 A_3) - P(A_2 A_3) + P(A_1 A_2 A_3)$$

или

$$P(A_1 + A_2 + \dots + A_n) = \sum P(A_i) - \sum P(A_{ij}) + \sum P(A_i A_j A_k) - \dots + \\ + (-1)^{n-1} P(A_1 A_2 \dots A_n).$$

Следствие 1. Если события образуют полную группу несовместных событий, то сумма их вероятностей равна единице:

$$\sum P(A_i) = 1.$$

Следствие 2. Сумма вероятностей противоположных событий равна единице:

$$P(A) + P(\bar{A}) = 1.$$

В ряде случаев проще определить вероятность противоположного события  $P(\bar{A})$ , тогда вероятность основного события легко определяется по формуле

$$P(A) = 1 - P(\bar{A}).$$

### ***Теоремы умножения вероятностей***

Вероятность произведения нескольких независимых событий равна произведению вероятностей этих событий:

$$P(A_1 A_2 \dots A_n) = P(A_1) P(A_2) \dots P(A_n) = \prod_{i=1}^n P(A_i).$$

Вероятность произведения двух зависимых событий равна произведению вероятности одного из них на условную вероятность другого при условии, что первое из них произошло:

$$P(A_1 A_2) = P(A_1) P(A_2 / A_1).$$

### **1.3.3. Законы дискретных распределений случайной величины**

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. 1.1б)

В задачах надежности из дискретных распределений наиболее часто используют биномиальное распределение и распределение Пуассона.

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

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)