

1. РОБОТОСПРОМОЖНІСТЬ ОБ'ЄКТІВ. ГОЛОВНІ ПОНЯТТЯ

1.1. Структура объектов (машин)

Объект – предмет познания и практической деятельности человека. В теории надежности рассматриваются объекты определенного целевого назначения, являющиеся результатов производственной деятельности человека: изделие, система или элемент.

Изделие является видом продукции. Изделие при использовании расходует свой ресурс, а продукт сам расходуется. Изделие рассматривается в период проектирования, изготовления, эксплуатации, исследования и испытания на надежность.

Изделие может рассматриваться как система или как элемент.

Элемент – простейшая составная часть системы.

Техническая система является множеством элементов, связанных функционально и взаимодействующих друг с другом в процессе выполнения определенного круга задач. функциональное соединение элементов в системе по принципу сохранения работоспособности подразделяют на последовательное и параллельное.

В данном случае речь идет о так называемых технологических машинах, к которым относятся механические конструкции, предназначенные для выполнения определенной технологической работы.

В общем случае машина состоит:

- Двигатель;
- Передаточный механизм;
- Исполнительный орган;
- Вспомогательные органы.

Роль двигателя – преобразование определенной внешней энергии в механическую энергию, необходимую для выполнения технологической работы.

Передаточный механизм – преобразование исходного движения двигателя в необходимое движение исполнительных органов.

Исполнительные органы – механизмы и приспособления, выполняющие непосредственно технологическую работу.

Совершенство любой машины оценивают по ее надежности и экономичности. При этом под надежностью понимают вероятность безотказного выполнения определенных функций в течение заданного периода срока службы. Экономичность определяется стоимостью затрат, связанных со стоимостью эксплуатации машины.

Работоспособность машин оценивают по прочности, износостойкости, жесткости, теплоустойчивости, вибрационной устойчивости и др. показателям.

Техническое состояние изделия характеризуется совокупностью параметров или качественных показателей. Номенклатура этих показателей и предельные допустимые значения указываются в нормативной и конструкторской документации. Все параметры делятся на:

- *функциональные*, характеризующие способность изделия выполнять заданные функции и определяют его эксплуатационные характеристики (мощность, скорость и др.);
- *нефункциональные*, не влияющие на функционирование изделия и его эксплуатационные показатели (толщина защитного покрытия, цвет и др.).

Отклонение любого параметра за допустимые пределы является дефектом.

Дефект изделия – каждое отдельное несоответствие требованиям нормативно-технической документации.

По их влиянию на способность выполнять заданные функции дефекты делятся на: функциональные и нефункциональные.

Функциональные дефекты нарушают функционирование изделия, т. к. хотя бы один функциональный параметр не соответствует требованиям (поломка какой-то детали, нарушение регулировок, изменение силового или энергетического режима работы).

Нефункциональные дефекты не влияют на функционирование изделия (дефекты окраски, коррозия, деформация кожуха). Но такие дефекты могут переходить в функциональные, если их вовремя не устранить (коррозия и последующее разрушение деталей).

По возможностям устранения дефекты делятся на:

- восстанавливаемые;
- невозстанавливаемые.

Соответственно объекты делятся на восстанавливаемые и невозстанавливаемые.

Восстанавливаемым (ремонтируемым) называется объект, работоспособность которого после отказа можно восстановить.

Невосстанавливаемым (неремонтируемым) является объект, восстановление работоспособности которого в данной ситуации невозможно или целесообразно.

Отнесение объекта к той или иной категории определяется требованиями к надежности системы, условиями эксплуатации (невозможно прерывать функционирование, отсутствие доступа), этап эксплуатации, экономическая целесообразность и др.

1.2. Состояние и свойства объектов

Процесс эксплуатации - это самый длительный и ответственный период в жизненном цикле любой машины (как и любого изделия). Этот этап отличается реальными нагрузками, действующими на машину, реальными колебаниями температур, давлений и атмосферных осадков и т.д.

В процессе эксплуатации машина взаимодействует с окружающей средой, а её элементы взаимодействуют между собой. Это взаимодействие вызывает трение, нагрев, нагружение деталей и т.д. В результате этого машина, как и её элементы, изменяет своё первоначальное состояние. Это состояние машины может

измениться настолько, что машина не будет способна выполнять заданные функции.

В теории надежности различают:

- работоспособное;
- исправное;
- неисправное;
- предельное состояние объекта.

Работоспособное состояние – состояние объекта, при котором значения всех функциональных параметров соответствуют требованиям нормативной документации. Нефункциональные параметры не влияют на работоспособность.

Исправное состояние – состояние объекта, при котором он соответствует всем требованиям документации. Исправный объект является работоспособным, но не наоборот, т. к. работоспособный объект может быть неисправным.

Неисправное состояние – состояние объекта, в котором он не соответствует хотя бы одному функциональному требованию документации.

Предельное состояние – состояние, при котором его дальнейшее использование по назначению или восстановление недопустимо или нецелесообразно.

В теории надежности рассматриваются системы с дискретными состояниями и непрерывным временем, являющиеся одним из видов системы массового обслуживания. Состояние такой системы обычно иллюстрируется графом состояния системы.

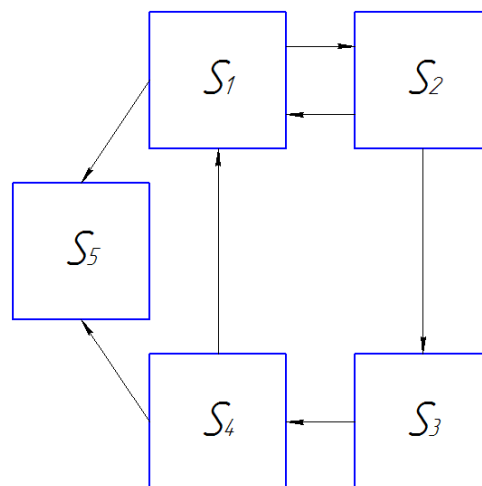


Рис. 1.1 – Граф состояний изделия в системе эксплуатации

S_1 – работоспособное состояние, изделие свободное; S_2 – работоспособное состояние, изделие занято, т. е. функционирует; S_3 – неработоспособное состояние, изделие ждет ремонта; S_4 – неработоспособное состояние, изделие в ремонте; S_5 – предельное состояние

Переход системы из одного состояния в другое происходит после некоторого события.

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

Происходящие в природе события делятся на:

- достоверные;

- невозможные;
- случайные.

Достоверное событие обязательно произойдет, (подброшенная монета упадет на пол). Невозможное событие никогда не произойдет (подброшенная рукой монета зависнет в воздухе). *Случайное* событие может произойти или не произойти (при бросании монеты выпал "орел" или "решка").

Результатом события является некоторый количественный показатель – случайная величина, значение которой невозможно достоверно предугадать (например, количество отказов машины за год, время работы машины до отказа). Конкретное значение случайной величины называется *реализацией*. При повторении опыта её значение изменяется случайным образом. Однако среднее значение случайной величины при возрастании числа опытов меняется всё меньше, приобретая характер закономерности. В этом проявляется закон больших чисел, открытый Чебышевым.

Каждое событие количественно оценивается некоторым числом, принимающим значения в диапазоне от 0 до 1, называемым *вероятностью события*. Вероятность события это численная мера возможности появления какого-то конкретного события в результате эксперимента. Вероятность достоверного события равна 1, невозможного – 0, случайного – положительное число между 0 и 1.

Вероятностью события A называется численная мера степени объективной возможности этого события $P(A)$. вероятность случайного события всегда больше нуля и меньше единицы

$$0 < P(A) < 1. \quad (1.1)$$

Каждое случайное событие является следствием многих случайных факторов, число которых очень велико, а учесть все невозможно. Заранее невозможно предсказать, произойдет ли случайное событие. Только массовые однородные случайные события, независимо от их конкретной природы, при выполнении одних и тех же условий подчиняются вероятностным закономерностям, которые и позволяют определить частоту их появления при выполнении определенной совокупности условий.

В теории надежности рассматривают следующие единичные случайные события:

- повреждение;
- отказ;
- восстановление;
- ремонт.

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

Отказ – событие, заключающееся в нарушении работоспособности объекта.

Восстановление – процесс поиска и устранения функциональных дефектов для восстановления работоспособности объекта. Процесс восстановления включает замену деталей и узлов, очистку, промывку, регулировку и др.

Ремонт – комплекс операций по восстановлению исправности или работоспособности объекта. Ремонт включает все виды ремонта для устранения всех дефектов.

1.3. Отказы объектов и их причины

Отказ является частным случаем повреждения и всегда связан с возникновением функционального дефекта. Существование нефункциональных дефектов не всегда приводит к отказам, и объект может продолжать выполнение своих функций. Эти дефекты не требуют принятия немедленных мер и могут быть устранены при очередном перерыве или ремонте (ремонт контрольных приборов, осветительных элементов, окраска, очистка и др.). Классификация отказов показана на рис. 1.2.

Внезапные и постепенные отказы с течением времени приводят к переходу объекта в неработоспособное или предельное состояние. Этот переход может происходить или мгновенно, или постепенно.

Внезапный отказ происходит из-за превышения действующей нагрузки, снижения несущей способности объекта в результате ошибок расчета и конструирования, вследствие наличия скрытых дефектов или нарушения условий эксплуатации [Брауде, с.32]. Внезапный отказ обычно связан с поломкой деталей, остаточным их деформированием, потерей устойчивости, заеданием и др.

Постепенный отказ наступает при полном использовании ресурса изделия вследствие естественного старения изделия или изнашивания. Постепенный отказ не может быть предотвращен изменением условий эксплуатации, которые могут только замедлить или ускорить появление постепенного отказа. Полное исключение постепенного отказа возможно только профилактической заменой элементов, близких к предельному состоянию и это является важнейшим средством повышения надежности объектов.

Причинами *конструктивных отказов* являются несовершенство или нарушение установленных правил и норм конструирования (неправильный выбор материалов, ошибки при определении напряжений, концентраторы напряжений и др.).

К *производственным* относятся отказы, возникающие в результате несовершенства или нарушения установленного процесса изготовления или ремонта объекта:

- дефекты из-за неправильного выбора состава материалов (включения, примеси);
- дефекты при плавке и изготовлении заготовок (пористость, усадочные раковины, неметаллические включения);
- дефекты при механической обработке (задиры, заусенцы, трещины, увеличенная шероховатость и др.);
- дефекты при сварке (трещины, остаточные напряжения, непровары);
- дефекты термообработки (перегрев, закалочные трещины, обезуглероживание и др.);
- дефекты при сборке (нарушение посадок, повреждение поверхности, задиры, несоответствие размеров деталей и др.).

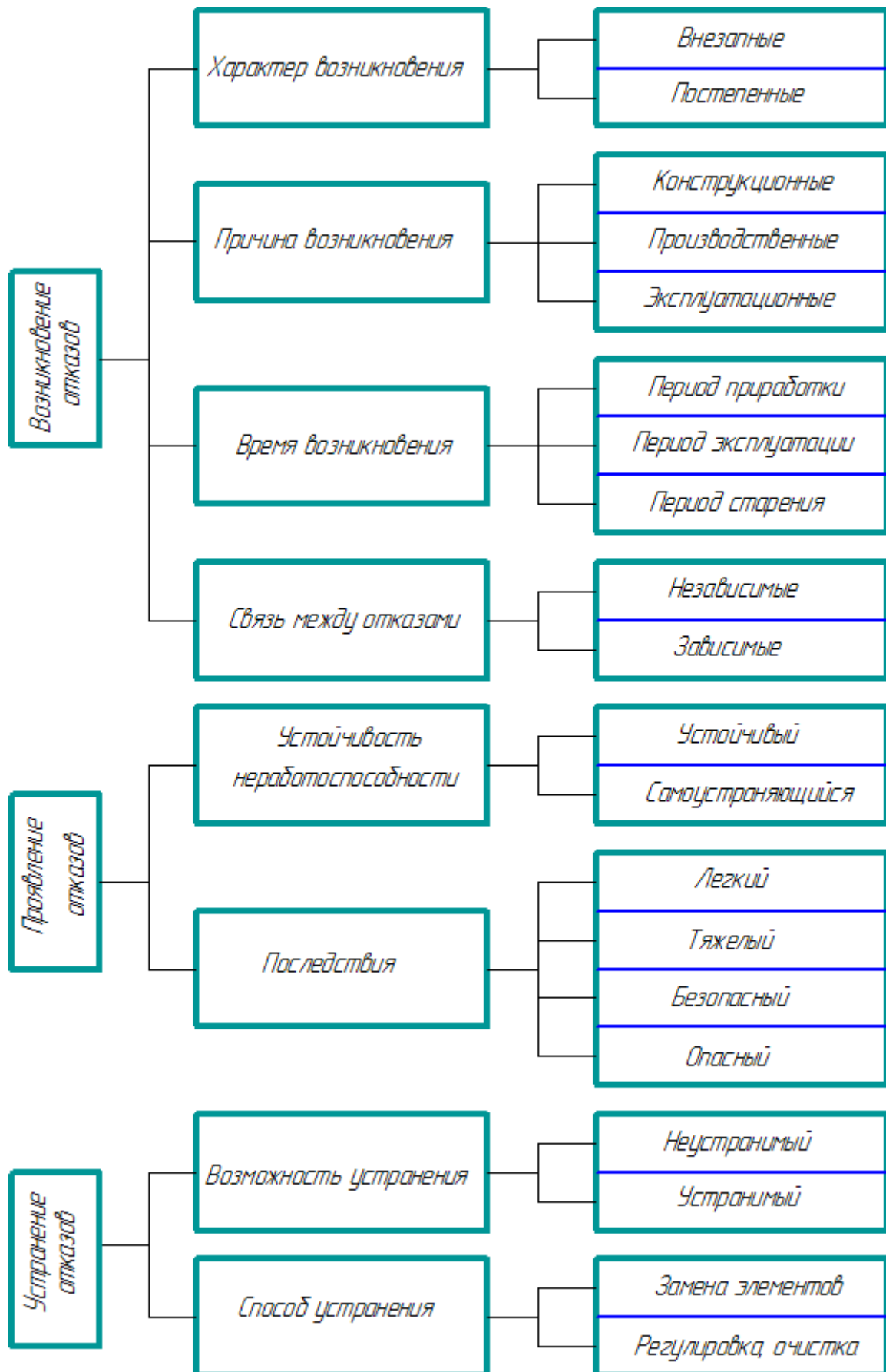


Рис. 1.2 – Классификация отказов

К эксплуатационным относятся отказы, возникшие в результате нарушения установленных правил и условий эксплуатации (неправильное ТО, нарушение режимов работы машины, недостаточное количество или несоответствие типа смазки и др.).

Наглядной формой анализа причин отказов является схема причинно-следственных связей, называемая схемой Исикавы или *рыбьим скелетом* (рис. 1.3).

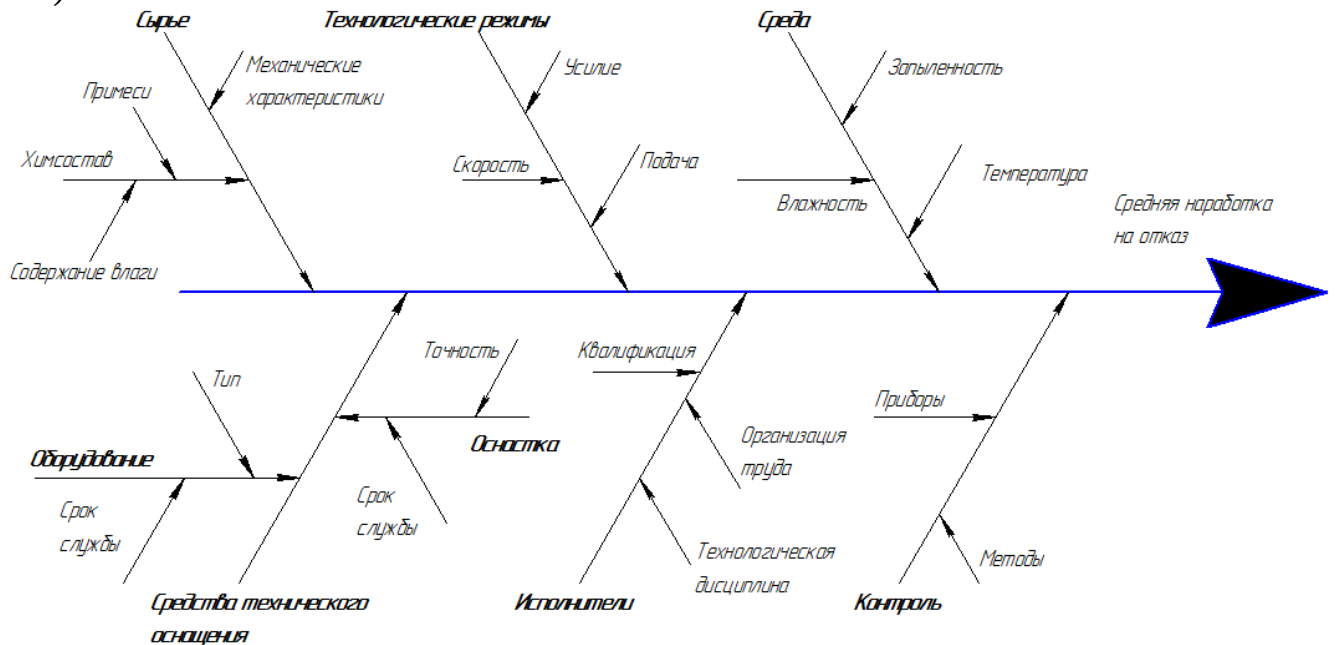


Рис. 1.3 – Схема рыбий скелет (диаграмма Исикавы)

1.4. Критерии работоспособности машин

Качество машины зависит от степени удовлетворения общим требованиям, которые должны выполняться на всех стадиях существования машины [Павлице с.16, Гузенков, с.8].

Работоспособность – состояние объекта, при котором он способен выполнять заданные функции, сохраняя значения заданных параметров в пределах, установленных технической документацией.

Основными критериями работоспособности машин являются прочность, жесткость, устойчивость, износостойкость, коррозионная стойкость, вибростойкость и теплостойкость.

Прочность – важнейший критерий работоспособности, определяющий способность машины и ее элементов передавать заданную нагрузку без деформаций и разрушений.

Выполняют проектировочный и проверочный расчет прочности элементов машин. Т. к. на начальной стадии проектирования неизвестны некоторые величины и факторы, влияющие на прочность, после проектировочного расчета и уточнения параметров машины производится окончательный проверочный расчет.

В связи с этим различают проектировочные и проверочные расчеты. При проектировочном расчете необходимо определить, прежде всего, минимально допу-

стимые размеры деталей исходя из заданных нагрузок и характеристик прочности материала. При проектировочном расчете ставится обратная задача. Исходя из известных размеров деталей и нагрузок, определяются возникающие напряжения, значения которых не должны превышать допустимые для данного материала.

Различают статические и усталостные отказы (поломки) деталей. Статические отказы происходят тогда, когда величина рабочих напряжений превышает предел статической прочности материала. Это происходит по нескольким причинам, основными из которых являются случайные перегрузки, не учтенные при проектировании. Усталостные отказы вызываются длительным действием переменных напряжений, величина которых превышает характеристики усталостной прочности материала.

В инженерных расчетах большое внимание уделяют расчетной модели и величине допустимых напряжений (коэффициент запаса прочности).

Жесткость – критерий работоспособности, который определяет податливость конструкции всей машины и ее элементов.

Расчет на жесткость предусматривает ограничение упругих деформаций деталей в пределах, допустимых для конкретных условий работы.

Таковыми условиями могут быть:

- условия работы сопряженных деталей;
- технологические условия (точность продукции).

Устойчивость – критерий работоспособности длинных и тонких элементов, подвергающихся сжатию продольными силами.

Износостойкость – важнейший критерий работоспособности машин, учитывая, что до 90 % деталей подвижных соединений выходят из строя из-за износа. В результате износа снижается КПД машины, точность сопряжений, увеличивается расход энергии, снижается надежность и долговечность.

Виброустойчивость – способность машины работать в заданном диапазоне режимов без недопустимых колебаний.

Вибрации вызывают дополнительные переменные напряжения и, как правило, к усталостному разрушению деталей. В некоторых случаях вибрации снижают качество работы машины. Особенно опасны резонансные колебания. В связи с повышением скоростей движения машин опасность вибраций возрастает и расчеты на колебания приобретают все большее значение.

Коррозионная стойкость определяет способность машины нормально функционировать в определенных условиях внешней среды.

Теплостойкость определяет работоспособность машины при изменении температуры окружающей среды и ее элементов.

Нагрев деталей машин может вызвать вредные последствия:

- понижение прочности материала и появление ползучести;
- понижение защищаемой способности масляных пленок, а следовательно, увеличение износа деталей;
- изменение зазоров в сопряжениях деталей, что может привести к заклиниванию, задирах, вибрации и др.;
- в некоторых случаях понижение точности работы машины.