

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ОРЕНБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ
ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

Надежность технических систем

Направление подготовки (специальность) 35.03.06 Агроинженерия

Профиль образовательной программы Технические системы в агробизнесе

Форма обучения очная

СОДЕРЖАНИЕ

1. Конспект лекций	3
1.1 Лекция № 1 Введение. Основные понятия и определения	3
1.2 Лекция № 2 Оценочные показатели надежности.....	5
1.3 Лекция №3 Физические основы надежности.....	7
1.4 Лекция №4 Методы расчета показателей надежности.....	9
1.5 Лекция №5 Графические методы обработки информации по показателям надежности.....	13
1.6 Лекция №6 Испытание машин на надежность.....	15
1.7 Лекция №7 Надежность сложных систем.....	18
1.8 Лекция №8 Методы повышения надежности технических систем.....	20
2. Методические указания по выполнению лабораторных работ	27
2.1 Лабораторная работа № ЛР-1,2 Расчет показателей надежности изделий статистическим методом по данным исходной опытной информации.....	27
2.2 Лабораторная работа № ЛР-3 Определение износа и остаточного ресурса детали методом индивидуального прогнозирования.....	34
2.3 Лабораторная работа № ЛР-4 Определение полного ресурса сопряжения и допустимых без ремонта размеров сопрягаемых деталей в месте их наибольшего износа.....	38
2.4 Лабораторная работа № ЛР-5,6 Расчет технического ресурса звена гусеницы трактора класса 30кН по результатам стендовых испытаний.....	42
2.5 Лабораторная работа № ЛР-7 Расчет показателей безотказности сельскохозяйственных машин.....	46
2.6 Лабораторная работа № ЛР-8 Экспериментальное определение износа методом искусственных баз.....	54
.....	
.....	

1. КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

1.1 Лекция №1 (2 часа).

Тема: «Введение. Основные понятия и определения»

1.1.1 Вопросы лекции:

- 1 Предмет, задачи, программа и методы изучения дисциплины.
- 2 Понятие о качестве и надежности технических систем.
- 3 Основные понятия и определения.

1.1.2 Краткое содержание вопросов:

1. Предмет, задачи, программа и методы изучения дисциплины.

В настоящее время роль надежности машин как никогда является важной составляющей при создании новой техники. Это связано прежде всего с тем, что надежность неизменно повышается, т.к. увеличивается скорость движения и вращения. В свою очередь люди хотят иметь уверенность - с техникой будет все в порядке и в нужный момент она не подведет.

1. Увеличивается частота вращения коленчатого вала, угловая скорость увеличивается $\omega \uparrow$.

2. Повышается качество 0,99999.

По сути дела наука о надежности и долговечности еще не имеет истории. Ее история только начинается. Настоящее развитие науки о надежности и долговечности началось уже в пятидесятые годы 20 века в связи с бурным развитием радиоэлектроники, ядерной физики, реактивной авиации и космической техники. Для этих отраслей надежность изготавливаемых устройств имеет решающее значение.

Наиболее дальновидные ученые предвидели значение проблем надежности и долговечности. Так, основоположником учения о качестве поверхности является проф. Чебышев В. Л., установивший еще в 1880 году зависимость качества поверхности детали от метода обработки.

В 30-х годах по инициативе выдающегося советского ученого академика Чаплыгина С. А. была создана комиссия при АН СССР по изучению надежности и долговечности машин (1934 г.).

Но технический уровень развития промышленности Советского Союза в то время и ее оснащенность машинами были таковы, что наука о надежности и долговечности не получила поддержки, и комиссия АН СССР прекратила свое существование в 1939 году. Однако она успела провести несколько конференций и совещаний (в 1934 и 1939 гг.), что привлекло к этой проблеме ряд ученых.

В течение 10 лет (1942 - 1952 гг.) господствовало мнение, что исследования надежности и долговечности не могут вылиться в форму стройной теории и служить для прогнозирования надежности. С 1953 года вновь усилился интерес к вопросам надежности и появились ряд работ в этой области. Однако полное признание наука о надежности и долговечности получила в конце 50-х начале 60-х годов.

Особенно много для пропаганды надежности и долговечности сделал академик Берг А. И.. Большой вклад в разработку многих вопросов сделали академик АН УССР профессор Гнеденко Б. В., профессор д. т. н. Проников А. С, Дьяченко П. Е., академик Кузнецов В. Д., академик Серенсен С. В. и др. В настоящее время по отдельным разделам и проблемам надежности и долговечности имеются значительные исследования, как зарубежные, так и отечественные. Подавляющее большинство крупных заводов имеют специальные службы — отделы и бюро надежности и долговечности.

Цель дисциплины: научиться оценивать надежность сельскохозяйственной техники, разрабатывать и осуществлять мероприятия по ее повышению при эксплуатации и ремонте машин.

2 Понятие о качестве и надежности технических систем.

Качество технической системы – совокупность всех ее свойств, обуславливается пригодность удовлетворенность потребностей в соответствии с назначением.

Надежность технической системы – характеризует способность выполнять заданные функции, сохранять во времени значения эксплуатационных показателей в заданных пределах.

3 Основные понятия и определения.

Под *технической системой* понимается любое устройство, состоящее из частей, называемых элементами. Элементами могут быть как простейшие неразложимые части системы, так и отдельные узлы и агрегаты. Единственным и обязательным условием является то, что надежность всех элементов, входящих в техническую систему, должна быть известна, т. е. сосчитана заранее.

Структура системы и характер ее работы должны быть известны настолько, чтобы для любого элемента или любой группы можно сказать: вызывает ли отказ одного элемента или группы элементов отказ системы (полный или частичный).

Потенциальные свойства – объективно существующая особенность машины, проявляющаяся при ее создании и эксплуатации.

Свойства образующие иерархическую совокупность, определяет качество машин.

1.2 Лекция №2 (2 часа)

Тема: «Оценочные показатели надежности»

1.2.1 Вопросы лекции:

- 1 Безотказность и долговечность
- 2 Ремонтопригодность и сохраняемость
- 3 Единичные показатели надежности
- 4 Комплексные показатели надежности

1.2.2 Краткое содержание вопросов:

- 1 Безотказность и долговечность

1) Надежность - свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования.

2) Безотказность - свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки.

Безотказность в той или иной степени свойственна объекту в любом из возможных режимов его существования. В основном безотказность рассматривается применительно к его использованию по назначению, но во многих случаях необходима оценка безотказности при хранении и транспортировании объекта.

Необходимо подчеркнуть, что показатели безотказности вводятся либо по отношению ко всем возможным отказам объекта, либо по отношению к какому-либо одному типу (типам) отказа с указанием на критерии отказа (отказов).

Долговечность - свойство объекта сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта.

Объект может перейти в предельное состояние, оставаясь работоспособным, если, например, его дальнейшее применение по назначению станет недопустимым по требованиям безопасности или нецелесообразным с точки зрения экономичности и эффективности.

2 Ремонтопригодность и сохраняемость

Ремонтопригодность - свойство объекта, заключающееся в приспособленности к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем технического обслуживания и ремонта.

Термин "ремонтпригодность" традиционно трактуется в широком смысле. Этот термин эквивалентен международному термину "приспособленность к поддержанию работоспособного состояния" или, короче, "поддерживаемость" (maintainability).

Допускается дополнительно к термину "ремонтпригодность" (в узком смысле) применять термины "обслуживаемость", "контролепригодность", "приспособленность к диагностированию", "эксплуатационная технологичность" и др.

Сохраняемость - свойство объекта сохранять в заданных пределах значения параметров, характеризующих способности объекта выполнять требуемые функции, в течение и после хранения и (или) транспортирования.

В процессе хранения и транспортирования объекты подвергаются неблагоприятным воздействиям, например колебаниям температуры, действию влажного воздуха, вибрациям и т. п. В результате после хранения и (или) транспортирования объект может оказаться в неработоспособном и даже в предельном состоянии. Сохраняемость объекта характеризуется его способностью противостоять отрицательному влиянию условий и продолжительности его хранения и транспортирования.

3 Единичные показатели надежности

Показатели безотказности:

- 1) Вероятность безотказной работы $P(t)$ – это вероятность того, что в заданном интервале времени t в изделии не возникает отказа.
- 2) Вероятность бессбойной работы $P_{сб}(t)$ – это вероятность того, что в заданном интервале времени t будет отсутствовать сбой в изделии.
- 3) Интенсивность отказа $\lambda(t)$ – это условная плотность вероятности возникновения отказа не восстанавливаемого объекта, определенного рассмотренного момента времени, при условии, что до этого момента отказ не возник.
- 4) Средняя наработка до отказа (среднее время безотказной работы) T – это математическое ожидание наработки до первого отказа

Показатели ремонтпригодности:

- 1) Вероятность восстановления $s(t)$ – это вероятность того, что отказавшее изделие будет восстановлено в течение времени t .
- 2) Интенсивность восстановленного $M(t)$ – условная плотность распространения времени восстановления для момента времени t при условии, что до этого момента восстановление изделия не произошло.
- 3) Среднее время восстановления T_v – это натуральная величина ожидания восстановления.

4 Комплексные показатели надежности

1) Коэффициент готовности $K_r(t)$ – это вероятность того, что изделие работоспособно в произвольный момент времени t .

2) Коэффициент оперативной готовности $K_{\text{опер.}}(t, \tau)$ – это вероятность того, что аппаратура будет работоспособна в произвольный момент времени t и безотказно проработает заданное время τ .

1.3 Лекция №3 (2 часа)

Тема: «Физические основы надежности»

1.3.1 Вопросы лекции:

- 1 Классификация видов изнашивания и физическая сущность каждого вида.
- 2 Методы и средства изучения износов.
- 3 Теории трения.

1.3.2 Краткое содержание вопросов:

- 1 Классификация видов изнашивания и физическая сущность каждого вида.

На основе анализа закономерностей изнашивания деталей машин установлено, что характер износа подавляющего большинства деталей соответствует классической кривой износа.

Имеется 3 характерных зоны на классической кривой – приработки (I), нормального изнашивания (II), аварийного изнашивания (III).

В зонах I и III скорость износа повышается и происходит интенсивное изнашивание. Зона II характеризуется стабилизацией скорости изнашивания ($V = \text{const}$) и при этом изнашивание детали незначительное, поэтому желательно эксплуатацию деталей совмещать с этой зоной.

2 Методы и средства изучения износов.

В практике исследования износостойкости деталей наиболее часто применяют следующие методы:

- микрометрирование,
- взвешивание,
- снятие профилограмм,
- метод искусственных баз,
- радиоизотопные методы (радиоактивные изотопы и индикаторы, нейтронная активация),
- спектральный анализ.

Микрометрирование заключается в непосредственном измерении геометрических размеров объекта до и после изнашивания. Преимущества метода: простота и доступность, точность, возможность наблюдения динамики и поверхностей износа. Недостатки: длительность испытаний и большая трудоемкость, зависимость результатов от деформации детали, неизбежность сборки и разборки.

Взвешивание заключается в измерении массы объекта до и после изнашивания. Преимущества: точность измерения до 0,0001 г, простота - для мелких деталей. Недостатки: необходима разборка узлов, затруднено измерение линейного износа, требуется тщательная очистка.

Снятие профилограмм заключается в исследовании микрорельефа поверхностей износа при помощи специальных приборов (профилографов). Преимущества: высокая точность измерений, возможность определения шероховатости и волнистости. Недостатки: большая трудоемкость из-за операций разборки-сборки, сложность снятия профилограмм, невозможность исследования деталей, подверженных пластической деформации.

Метод искусственных баз основывается на измерении геометрических параметров отпечатка или лунки, специально нанесенных на поверхности детали. Преимущества: возможность оценки износа детали без разборки и при продолжительном испытании, возможность применения его для определения износа деталей из мягких сплавов и соединений с высокими контактными напряжениями. Недостатки: трудоемкость в 1,5 раза больше, чем при микрометрировании, необходимость расчета износа.

3 Теории трения.

В процессе эксплуатации машины подвергаются различным воздействиям и их технические характеристики изменяются. Можно выделить три группы источников воздействий:

- *внешние*, связанные с условиями работы, включая действия оператора, управляющего машиной и проводящего техническое обслуживание и ремонт;
- *внутренние*, связанные с рабочими процессами, протекающими в машине и агрегатах (в двигателе внутреннего сгорания);
- *потенциальная энергия*, возникающая в деталях машин при их изготовлении (различные внутренние напряжения).

Все источники воздействий, проявляющиеся в виде механической, тепловой, химической энергии, вызывают в деталях машин необратимые процессы и приводят к изменению конструктивных параметров.

Основные факторы, вызывающие изменения конструктивных параметров:

- нагружение элементов;
- взаимное перемещение элементов;
- воздействие тепловых, электрических, магнитных и др. полей;
- воздействие химически активных компонентов;
- образование отложений (нагар, накипь и т.п.).

Последствия изменения конструктивных параметров (причины отказов):

- изнашивание;
- пластическая деформация и механические повреждения;
- усталостные повреждения;
- тепловые разрушения;
- коррозионные разрушения;
- физическое старение: изменение физико-химических свойств материалов (намагниченности, электро- и теплопроводности, упругости, структуры материала и т.д.).

Физическое старение машин — это изменение с течением времени свойств материалов, деталей, узлов машин под действием различных факторов (физических, химических и т.п.), приводящее к тому, что объект не может больше выполнять свои функции.

Физическое старение подразделяют на старение при эксплуатации и старение при хранении машин.

Моральным старением машин называют уменьшение их стоимости в связи с научно-техническим прогрессом. Оно может происходить в результате:

- снижения стоимости новых машин той же конструкции;
- появления более совершенных конструкций машин.

1.4 Лекция №4 (2 часа)

Тема: «Методы расчета показателей надежности»

1.4.1 Вопросы лекции:

- 1 Показатели надежности как случайные величины. Сбор статистической информации.
- 2 Полная, усеченная и многократно усеченная информация.
- 3 Методика обработки полной информации.

1.4.2 Краткое содержание вопросов:

- 1 Показатели надежности как случайные величины. Сбор статистической информации.

В результате эксплуатации в различных климатических, дорожных и других условиях с.х. техника подвергается не только переменным но и случайным воздействиям. Поэтому для анализа и контроля надежности используется теория вероятности и математическая статистика. Надежность с.х. техники зависит:

Объективные факторы – это воздействие окружающей среды, механические и другие внешние воздействия (изнашивания, старение и т.п.).

Субъективные факторы – это факторы, в той или иной мере зависящие от деятельности человека: выбор схемы и конструктивного решения при проектировании; выбор элементов; входящих в изделие и их материалов ;выбор режимов нормальной эксплуатации; организация ТО и ремонта машин и др.

Методы исследований основаны на том, что отказ – случайное событие и для его предупреждения необходимо знать физические причины и закономерности возникновения и развития его.

Испытание (опыт) – это практическое создание некоторых условий , правил , т.е. всякой определенной совокупности условий , влияющих на некоторое физическое явление.

Событие – это явление, происходящее в результате выполнения определенного комплекта условий ,т.е. в результате испытания (опыта) .

События бывают : достоверные , невозможные , случайные, несовместимые , совместные и т. д. (равновозможные, зависимые, независимые, един. возможные)

Частота – это число одинаковых или близких (полученных по наблюдению) появлений события или абсолютных значений случайных величин, соединенных в одну группу (интервал) или разряд. [m].

Частость – это частота, выраженная в долях единицы или процентах от общего числа испытаний или объектов изучаемой совокупности.

2 Полная, усеченная и многократно усеченная информация.

Методика сбора информации по отказам машин

1. Исходные данные (наименование, марка, место исп. и т.д.).
2. Регистрируют работу машины в ед. наработки.
3. Учитывают простои.
4. По каждому отказу делают запись: внешне проявляемую наработку, предполагаемую причину и т.д.
5. Записывают особенности проведения ЕТО и ТО.

6. В результате наблюдений определяют затраты времени на обслуживание, устранение отказов и т.д.

7. Собирают эконом показатели: затраты на все операции.

8. Необходимо определить $\min$ необходимое количество машин при испытании, для достоверности информации, в зависимости от закона распределения.

9. Определяется относительная ошибка, которая должна быть от 10 до 25%.

10. Полученные данные обрабатываются по специальной методике, и выдается заключение о степени надежности машины в целом и ее узлов и агрегатов.

Методы получения информации

Полная информация – используется главным образом при сборе информации о технических ресурсах и сроках службы машин сравнительно невысокой долговечности (комбайны, сеялки, плуги и т.д.) Наблюдения ведут до такой наработки, при которой у всех N машин, находящихся под наблюдением, будут зафиксированы показатели отказов, интересующие наблюдателя.

Усеченная информация – это информация, которая получается при плане наблюдения с ограниченной наработкой T до конца наблюдений. При этом предельное состояние должно быть у более 50% машин.

Множественно усеченная информация – информация, полученная в случаях, когда ряд машин снимается с испытаний, появляются выпадающие точки, так как машины не достигли данной наработки.

3 Методика обработки полной информации.

1) Составление вариационного и статистического рядов выработки

Вариационный ряд выборки - это упорядоченный ряд значений какого-либо параметра в порядке возрастания.

Это первый этап обработки информации, дающий представление о границах случайной величины.

Статистическая выборка (информация) - составляется для упрощения дальнейших расчетов при условии, что количество испытанных машин $N > 25$.

Первоначально вся информация разбивается на n интервалов. Для сельхоз. техники $n = [6 \div 12]$

2) Расчет среднего значения и абсолютных характеристик рассеивания ПН

Среднее значение является очень важным, зная его, планируют работу машины, составляют заявки на запасные части, определяют объем ремонтных работ.

Абсолютными характеристиками рассеивания являются дисперсия и среднее квадратичное отклонение.

Пользоваться значением дисперсии не всегда удобно, так как абсолютная величина дисперсии получается, как правило, слишком большой, и размерность дисперсии равна квадрату размерности ПН. Поэтому пользуются средним квадратическим отклонением.

3) Проверка информации на выпадающие точки

В опытной информации о ПН, полученной в процессе наблюдения за машиной, могут быть ошибочные точки, выпадающие из общего закона распределения.

4) Смещение начала рассеивания

$t_{см}$ – это величина смещение зоны рассеивания $T_{гр}$ относительно нулевого значения.

5) Коэффициент вариации

v - определяет степень рассеивания случайной величины и представляет собой безразмерную характеристику рассеивания ПН, более удобную при выборе и оценке ТЗР, чем σ .

6) Построение графиков рассеивания опытных значений пн статистической выборки

Составленный по данным исходной информации уточненный статистический ряд дает полную характеристику опытного распределения ПН.

По данным статистического ряда строятся:

(1) Гистограмма

(2) Полигон

(3) Кривая накопленных опытных вероятностей

7) Выбор теоретического закона распределения (ТЗР) для выравнивания опытной информации

Для повышения точности расчета показателей надежности опытную информацию выравнивают (заменяют) ТЗР. Для с.х. производства используют закон нормального распределения (ЗНР) или закон распределения вейбулла (ЗРВ).

В первом приближении закон выбирают по значению v :

Если $v < 0,3$, то выбирается ЗНР

Если $v > 0,5$, то ЗРВ.

Если $0,3 < v < 0,5$, то выбирается тот закон распределения, который обеспечивает лучшее совпадение с распределением опытной информации.

Точность совпадения проверяют по критерию согласия.

8) Расчет доверительных границ рассеивания ПН

По результатам испытаний, получив характеристики ПН (), их переносят на другие совокупности машин, работающих в различных условиях эксплуатации.

1.5 Лекция №5 (2 часа)

Тема: «Графические методы обработки информации по показателям надежности»

1.5.1 Вопросы лекции:

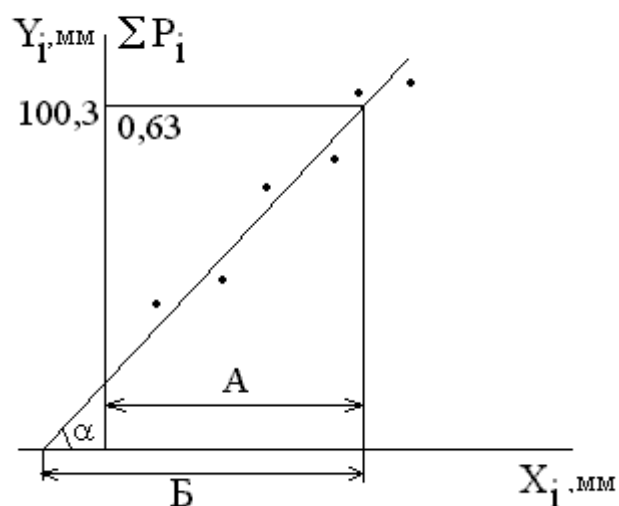
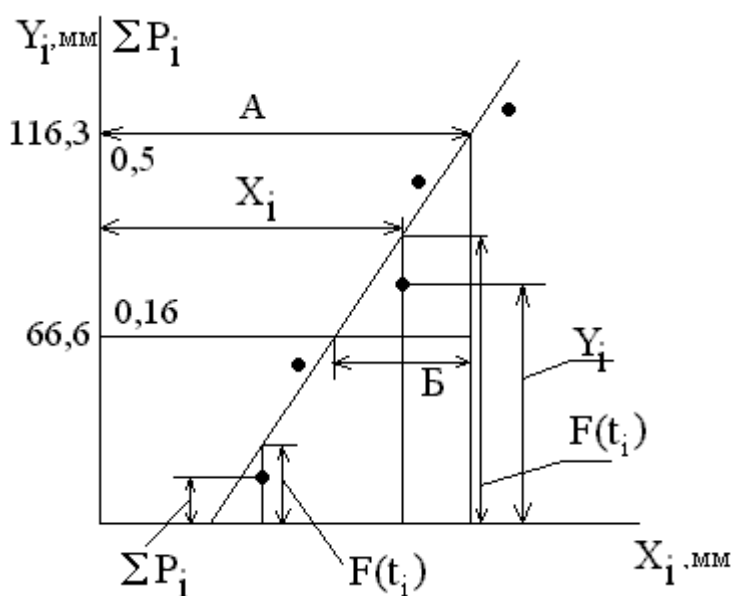
1 Построение графиков рассеивания опытных значений и выравнивание их теоретическими законами нормального распределения и распределения Вейбулла при полной информации по ПН

2 Построение графиков рассеивания опытных значений и выравнивание их теоретическими законами нормального распределения и распределения Вейбулла при усеченной информации по ПН

3 Построение графиков рассеивания опытных значений и выравнивание их теоретическими законами нормального распределения и распределения Вейбулла при многократно усеченной информации по ПН

1.5.2 Краткое содержание вопросов:

1 Построение графиков рассеивания опытных значений и выравнивание их теоретическими законами нормального распределения и распределения Вейбулла при полной информации по ПН



2 Построение графиков рассеивания опытных значений и выравнивание их теоретическими законами нормального распределения и распределения Вейбулла при усеченной информации по ПН

1) Выбор контрольных точек

При обработке усеченной и многократно усеченной информации применяют метод вероятностной бумаги, предусматривающий предварительное графическое построение функциональной сетки, масштаб которой преобразовывает интегральную кривую заданного теоретического закона распределения в прямую. Затем производят расчет ПН.

Однако при инженерных расчетах ПН точнее и проще пользоваться разработанным Ю.Н. Артемьевым графическим методом координатных точек.

2) Определение координат выбранных точек

Чтобы нанести выбранные точки на миллиметровую бумагу, определяют их координаты X_i и Y_i в мм.

3) Построение интегральных прямых ЗНР и ЗРВ

Полученные точки наносят на бумагу и через них проводят интегральную прямую.

4) Выбор закона распределения. Критерий согласия

Если закон распределения заранее не известен, строят интегральные прямые для ЗНР и ЗРВ, и для дальнейших расчетов используют ту, которая лучше совпадает с выбранными координатными точками. Или используют критерий согласия Пирсона χ^2 .

5) Определение параметров теоретического закона распределения

При законе нормального распределения соответствует $\Sigma P_i = 0,5$. Следовательно, абсцисса проведенная на расстоянии 116,3 мм от начал координат до пересечения с интегральной прямой есть (для данного масштаба).

3 Построение графиков рассеивания опытных значений и выравнивание их теоретическими законами нормального распределения и распределения Вейбулла при многократно усеченной информации по ПН

В случае многократно усеченной информации расчетный порядковый номер точки N_{pi}^0 информации определяют так:

$$N_{pi}^0 = N_{pi}^{0\cdot} + \frac{N + 1 - N_{pi}^{0\cdot}}{N + 1 - N_{\cdot p} - N_0}$$

где $N_{pi}^{0\cdot}$ и N_{pi}^0 - расчетные порядковые номера ресурсов i -й и ей предшествующей машин (или элементов), достигших предельного состояния.

N - суммарное число точек информации с учетом приостановленных и отправленных в ремонт машин (элементов)

$N_{пр}$ и N_0 - соответственно число приостановленных и достигших предельного состояния (отказавших) машин элементов) до N_{pi}^0 .

$$\sum_1^i P_i = \frac{N_{pi}^0}{N + 1}$$

1.6 Лекция №6 (2 часа)

Тема: «Испытание машин на надежность»

1.6.1 Вопросы лекции:

- 1 Назначение испытаний. Классификация испытаний на надежность.
- 2 Планы испытаний на надежность. Испытания в условиях рядовой и подконтрольной эксплуатации.
- 3 Ускоренные и имитационные испытания. Испытание на износостойкость, усталостную и коррозионную стойкость. Методы и средства диагностирования технического состояния машин.

1.6.2 Краткое содержание вопросов:

- 1 Назначение испытаний. Классификация испытаний на надежность.

Подавляющее большинство технических расчетов: будь то новая конструкция, новый технологический процесс и т.д., проектируются с определенными ограничениями и допущениями, диктуемыми требованиями простоты, удобства или возможности расчета.

Поэтому в процессе реализации конструкторско-технологических разработок производится изготовление опытных образцов, их пробные испытания и доводка.

И даже в процессе установившегося производства, определенная часть выпускаемой продукции, должна подвергаться испытаниям в целях контроля стабильности качественных характеристик.

По условиям проведения различают следующие виды испытаний:

1. Лабораторные испытания, осуществляемые в специально оборудованных лабораториях.
2. Стендовые заводские испытания, осуществляемые в заводских цехах, контрольно-испытательных станциях и т.д.
3. Полевые, или эксплуатационные испытания, проводимые в условиях повседневной работы машины (нередко в более жестких условиях).

Все виды испытаний преследуют цель собрать информацию, позволяющую произвести оценку степени соответствия служебных характеристик элемента, узла или изделия в целом расчетным показателям, а также оценить изменение этих показателей во времени.

Объектами испытаний могут служить:

1. Образцы материалов, при испытании различных материалов на физико-механические и химические характеристики.
2. Сопряжения или кинематические пары (трущиеся элементы) машин. К ним относятся подшипники, зубчатые колеса, направляющие и т.д.

3. Узлы изделий, коробки скоростей, редукторы, гидрогенераторы, муфты и т.д.
4. Машины в целом.
5. Системы машин.

Выбор того или иного объекта для испытаний зависит от уровня, на котором осуществляется отработка или контроль качественных показателей изделия.

Эти же причины определяют выбор показателей, по которым выполняется испытание и собирается информация.

2 Планы испытаний на надежность. Испытания в условиях рядовой и подконтрольной эксплуатации.

Как уже указывалось, в результате проведения различного вида испытаний и подконтрольной эксплуатации накапливается определенный объем информации по фиксируемым параметрам и показателям (отказам, временам безотказной работы, детерминированным показателям: пределу прочности, усталости и т.д.).

Но в силу ряда случайных причин, получаемые результаты наблюдений при повторении опыта не будут совпадать — будет иметь место разброс значений, и иногда весьма значительный. Это явление обязывает оценивать точность и достоверность получаемых результатов с целью избежать ошибок, искажающих изучаемое явление или процесс. Подобная оценка осуществляется путем статистико-вероятностной обработки результатов наблюдений.

Рассмотрим ряд задач решаемых при обработке результатов наблюдений.

Прежде всего отметим, что не всегда удастся собрать большой объем информации. Чаще всего значение искомого параметра вычисляется на базе ограниченного числа опытов и поэтому в результате будет содержаться случайная ошибка. Такое приближенное случайное значение называется оценкой параметра.

К оценкам предъявляют следующие требования, позволяющие считать ее «доброкачественной» — наиболее точно отражающей изучаемое явление.

1. Необходимо, чтобы при увеличении числа наблюдений « n » оценка параметра « a » стремилась к некоторому теоретическому параметру « a » (сходилась по вероятности). Оценка, обладающая таким свойством, называется *состоятельной*.

2. Желательно, чтобы пользуясь величиной $\bar{a}$ вместо a , мы не делали систематической ошибки в ту или другую сторону, — чтобы выполнялось условие $M[\bar{a}] = a$. Оценка, удовлетворяющая такому условию, называется *несмещенной*.

3. Необходимо, чтобы выбранная несмещенная оценка обладала по сравнению с другими наименьшей дисперсией $D[\bar{a}] = \min$.

Оценка, обладающая таким свойством, называется *эффективной*. На практике не всегда удается удовлетворить всем этим требованиям. Бывает так, что эффективная оценка и существует, но формулы для ее вычисления будут слишком сложны и удобнее будут пользоваться другой с несколько большей дисперсией. Иногда применяются незначительно смещенные оценки и тоже с целью упрощения расчетов.

3 Ускоренные и имитационные испытания. Испытание на износостойкость, усталостную и коррозионную стойкость. Методы и средства диагностирования технического состояния машин.

Испытания на надежность проводятся для сбора статистических данных об отказах элементов машин и оценки по этим данным фактического уровня надежности.

В общих чертах сущность испытания сводится к следующему. На испытание ставится некоторое заранее спланированное количество изделий или элементов изделий. В процессе испытания регистрируются отказы изделий, время их исправной работы и простои для обнаружения и устранения неисправностей. Эта информация и служит основой для оценки уровня надежности.

Условия испытаний видны из этой же диаграммы.

При испытаниях на надежность приходится решать самые разнообразные инженерно-физические и статистические задачи. Испытания призваны решить следующие задачи:

1. Комплекс задач, охватывающих все вопросы оценки надежности по результатам испытаний большого числа изделий, называется генеральной совокупностью. Основными характеристиками, определяемыми путем испытаний, являются: распределение отказов во времени или по величине наработки.

2. Организация испытаний предусматривает следующий порядок сбора информации:

а) при испытании опытного образца все изделия данной модели подвергаются сплошной проверке;

б) при серийном или массовом производстве и при стопроцентном контроле на надежность определяется общий фонд времени работы и его распределение;

в) при серийном или массовом производстве с целью периодического получения данных по надежности проводятся контрольные испытания изделий, изготавливаемых в течение заранее установленного контрольного периода;

г) во многих случаях подвергаются испытаниям выбранные партии деталей. Обычно таким испытаниям подвергают детали, являющиеся слабыми звеньями устройств. Получаемые при испытаниях данные должны удовлетворять требованию состоятельности, несмещенности, эффективности и соответствия принципу наибольшего правдоподобия.

По типу распределения отказов испытания машин и их элементов подразделяются на испытания на внезапные, аварийные отказы и износные (постепенные) отказы. Приработочные отказы должны быть устранены обкаткой или отбраковкой дефектных элементов. Применяются также комплексные испытания в которых учитываются все виды отказов

1.7 Лекция №7 (2 часа)

Тема: «Надежность сложных систем»

1.7.1 Вопросы лекции:

1 Надежность типовых элементов машин: валов, соединений с натягом, резьбовых и сварных соединений, подшипников.

2 Вероятность безотказной работы систем с последовательным, параллельным и смешанным соединением элементов. Резервирование.

1.7.2 Краткое содержание вопросов:

1 Надежность типовых элементов машин: валов, соединений с натягом, резьбовых и сварных соединений, подшипников.

Напомним, что под технической системой понимается любое устройство, состоящее из частей, называемых элементами. Элементами могут быть как простейшие неразложимые части системы, так и отдельные узлы и агрегаты. Единственным и обязательным условием является то, что надежность всех элементов, входящих в техническую систему, должна быть известна, т. е. сосчитана заранее.

Структура системы и характер ее работы должны быть известны настолько, чтобы для любого элемента или любой группы можно сказать: вызывает ли отказ одного элемента или группы элементов отказ системы (полный или частичный).

Надежность системы с независимыми элементами, работающими до первого отказа

Для вывода расчетных зависимостей, кроме указанных выше условий, введем следующее: элементы отказывают независимо друг от друга, то есть отказ любой группы элементов не изменяет надежности других элементов.

Рассмотрим вначале работу системы до ее первого отказа. В этом случае ее надежность полностью определяется функцией надежности $P(t)$, которая равна вероятности безотказной работы системы в течение времени t .

Пусть система состоит из n числа элементов, функцию надежности которых мы обозначим через $p_1(t); p_2(t); \dots p_n(t)$.

Задача заключается в том, чтобы выразить функцию надежности системы $P(t)$ через функции надежности элементов. Рассмотрим несколько возможных случаев.

Выше указывалось, что основным или последовательным соединением считается (в, смысле надежности) такое, когда отказ одного из элементов приводит к отказу всей системы в целом. Данный случай является самым простым и самым важным.

Для безотказной работы системы в течение времени t нужно, чтобы каждый элемент работал безотказно в течение этого же времени. Так как элементы независимы в смысле надежности, то функции надежности элементов перемножаются

2 Вероятность безотказной работы систем с последовательным, параллельным и смешанным соединением элементов. Резервирование.

Напомним, что резервным или параллельным, с точки зрения надежности, называется такое соединение элементов системы, когда отказ одного из элементов не приводит к отказу системы и отказ системы наступает тогда, когда откажут все элементы.

Так как элементы независимы (такое условие оговорено в самом начале), то при параллельном соединении перемножаются вероятности отказа

$$Q(t) = q_1(t) \cdot q_2(t) \dots q_n(t)$$

Частный случай, если элементы равнонадежны, а этот случай здесь наиболее интересен, получим

$$Q(t) = q^n(t),$$

где n — число элементов в системе.

Если надежность каждого элемента подчиняется экспоненциальному закону, то надежность системы уже не будет подчиняться этому закону. Например, для случая равнонадежных элементов

$$Q(t) = [1 - e^{-\lambda(t)dt}]^n$$

Найдем среднее время жизни системы для экспоненциального закона

$$T_0 = \int_0^{\infty} P(t) dt = \int_0^{\infty} [1 - (1 - e^{-\lambda t})^n] dt.$$

Уравнение (3.61) решается с помощью замены $1 - e^{-\lambda t} = x$. В этом случае после ряда преобразований

$$T_0 = \frac{1}{\lambda} \left(1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \dots + \frac{1}{n} \right).$$

При большем числе n

$$T_0 = \frac{1}{\lambda} [\ln n + C]$$

где $C=0,577$.

1.8 Лекция №8 (2 часа)

Тема: «Методы повышения надежности технических систем»

1.8.1 Вопросы лекции:

1 Обеспечение высокого первоначального уровня надежности при конструировании машин.

2 Технологические методы обеспечения доремонтного уровня надежности машин. Технологические методы обеспечения послеремонтного уровня надежности.

3 Обеспечение и повышение надежности при эксплуатации техники.

1.8.2 Краткое содержание вопросов:

1 Обеспечение высокого первоначального уровня надежности при конструировании машин.

1. Выбор долговечных материалов

Детали современных машин изготавливают в зависимости от назначения материалов:

- а) конструкционных
- б) износостойких
- в) антифрикционных (малый коэф-т трения)
- г) фрикционных (большой коэф-т трения)
- д) антикоррозийных и др.

Широко используют конструкционные стали (19...51%), низколегированные (29...63%), серый чугун (18...29%), а также сплавы на основе алюминия, ковкий чугун и др.

Конструкционная Ст-45 имеет наибольшее распространение.

Низколегированные 12ХН3А, 18ХГТ, 30ХГТ

Серый чугун СЧ 15-32, СЧ 18-36

Материалы деталей и рациональные их сочетания подбирают на основе двух главных требований: а) получение нужной долговечности;

б) невысокой стоимости.

Для каждой детали учитывают:

а) условие работы

б) вид изнашивания

г) точность изготовления

Коленвал → высокая усталостная прочность и ударная вязкость, т.к. действуют циклические и динамические нагрузки

Шестерни →

Крестовины → дополнительно высокая контактная усталостная

Подшипники → прочность

2) Обеспечение нормальных условий работы деталей

Для длительной и нормальной работы деталей прежде всего определяют:

а) рациональные размеры трущихся поверхностей

б) геометрическую форму

Пример: Подшипник рассчитывают на удельные нагрузки

Опоры валов – на смятие

Фрикционные пары – на нагрев

Рессоры – на усталость

Во многих случаях конструкторы стремятся заменить некоторые детали малой надёжности, деталями более высокой надёжности.

Пример: Замена подшипника скольжения на подшипник качения.

Преимущества: а) более дешёвые

б) более долговечные

в) минимальное трение

Недостатки: а) малые скорости

б) малые нагрузки

г) меньшая точность работы

д) шум

3) Снижение концентрации напряжений

При проектировании особое внимание следует уделить на галтели, надрезы, канавки и детали подверженные динамическим и циклическим нагрузкам.

4) Создание оптимальных температурных режимов

Играет важную роль в повышении долговечности узлов, агрегатов и машин в целом.

Необходимо регулировать температуру в узлах трения и агрегатах при помощи:

а) воды, воздуха;

б) картерного масла;

а также с применением таких конструкторских решений:

а) создание теплоизолирующих прорезей на головках блоков и поршнях;

б) заполнение пустотелых впускных клапанов металлическим натрием.

5) Обеспечение хороших условий смазывания трущихся поверхностей

Необходимо повышать качество смазочных материалов для с.-х. техники за счёт использования различных присадок, а также проводить смазку под давлением, создавая условия жидкостного трения, при этом следует очищать смазочные материалы, фильтровать. В настоящее время фильтруют масло трансмиссий.

а) присадки;

б) смазка под давлением;

в) фильтрация;

г) переход с консистентной на жидкостную смазку.

6) Создание эффективных устройств для очистки воздуха, топлива, смазки

В современных двигателях применяют эффективные средства:

а) применение новых конструкций циклонных и комбинированных воздухоочистителей;

б) двойная очистка топлива – использование фильтров грубой и тонкой очистки с новыми фильтрующими элементами БФДТ;

в) очистка масла – создание центробежной очистки в шатунных шейках коленвала, установка в картерах магнитных пробок.

7) Улучшение конструкций и материалов уплотнительных устройств

Повышает долговечность, т.к. длительное время с.-х. машины работают на открытом воздухе, насыщенном абразивными частицами

Используют:

а) резиновые радиальные самоподжимные каркасные уплотнения;

б) специальные прокладочные материалы;

г) герметизирующие пасты.

8) Обеспечение достаточной жёсткости базовых деталей

Базовые детали (рамы, блоки, корпуса коробок, задних мостов и т.д.) определяют работоспособность других деталей и обеспечивают для них достаточную жёсткость, устойчивость и стабильность размеров.

Пример: Блок цилиндров ЯМЗ – удобно, малые вибрации.

Блок цилиндров СМД-14 недостаточная жёсткость (переделали гильзы с двух опор на три).

9) Другие мероприятия:

- а) гидравлическое натяжение гусениц (Т-130);
- б) применение двухслойных пальцев гусениц (со слоем из стали Х12Ф1);
- в) ужесточение допусков на подбор деталей цилиндра – поршневой группы по массе;
- г) введение динамической балансировки деталей двигателя, сцепления, карданных валов;
- д) использование распредвалов с безударным профилем кулачков.

2 Технологические методы обеспечения доремонтного уровня надежности машин. Технологические методы обеспечения послеремонтного уровня надежности.

1) Обеспечение необходимой точности и качества изготовления деталей

Зависит от уровня используемого обрабатывающего оборудования и точности размеров рабочих поверхностей деталей.

При увеличении точности изготовления деталей уменьшаются начальные зазоры в подвижных сопряжениях и более жёстко регламентируются натяги в подвижных соединениях.

В машиностроении стремятся к повышению качества поверхностей, при этом уменьшается их шероховатость к искажению макрогеометрии.

2) Достижение высоких геометрических характеристик качества поверхности

Возможно при использовании различных методов:

- а) путём тонкого шлифования;
- б) хонингование;
- г) полирование;
- д) смятие поверхностей:
 - 1) пластическая деформация;
 - 2) раскатывание;
 - 3) обкатывание;
 - 4) виброобкатка;

е) электрические методы:

- 1) электрохимический;
- 2) электромеханический.

Критерии оценки качества поверхности:

- 1) поверхность фактического контакта;
- 2) радиусы закругления вершин и впадин микронеровностей;
- 3) углы наклона образующих неровностей при основании.

3 Выбор наиболее рационального вида обработки.

Требует научно-производственной проверки.

Эффективно применение вибронакатывания, износ деталей при этом снижается.

Упрочнение деталей – это основной метод, применяемый в с.-х. машиностроении

Применяют термическую обработку для улучшения поверхности и упрочнения верхнего слоя (коленвал).

Для упрочнения на поверхности наносят износостойкие коррозионностойкие покрытия:

- 1) Хромирование (верхнее поршневое кольцо, срок службы > в 1,5...2 раза;
- 2) Никелирования;
- 3) Надмирование.

Повышение долговечности деталей нанесением на рабочие поверхности износостойких наплавленных слоёв (лемехи, лапы культиваторов и т.д.) увеличение срока службы в 2...3 раза.

Наплавка плазменной дугой тарелок клапанов автоматически двигатель увеличивает срок службы в 4...10 раз.

4) Другие мероприятия

- 1) Термомеханические упрочнения;
- 2) Применение для изготовления кованных заготовок;
- 3) Изготовление деталей методом обкатывания (шестерён, шлицевых валов);
- 4) Проведение статистической и динамической балансировки;
- 5) Повышение точности и качества сборки.

Комплекс мероприятий по повышению качества отдельных деталей и узлов позволит добиться значительного повышения доремонтного технического ресурса машин.

Перспективным направлением на сегодня является применение принципиально новых материалов и принципиально новой технологии упрочнения поверхностей трения.

Перспективными являются:

1) Эффект аномально низкого трения для случая космического пространства. Снижение коэффициента сухого трения в вакууме до 10^{-3} (на 1000). Разработана технология получения таких поверхностей;

2) Разработка сухих смазок, резко снижающих износ – это (MoS₂-Рв) и другие на основе молибдена (MoS₂-ZnS);

3) Применение “вечных подшипников”, в которых металлическая тяга вращения заменена жидкими кристаллами;

4) Применение лазера для обработки шеек коленвала. Нагрев детали до жидкого состояния и перевод слоя толщиной 10...15 мкм в аморфное строение за счёт резкого охлаждения ($V_{охл}=1000000$ к/с), в следствии чего атомы не успевают перестроиться в кристаллические решётки. Слой не подвержен разрушению физической и химической среды.

Аморфное состояние – это беспорядочное расположение атомов и молекул.

5) Плазменное напыление порошков, термообработка лучом лазера.

3 Обеспечение и повышение надежности при эксплуатации техники.

Обеспечение высокого уровня надёжности отремонтированных деталей является одной из главных задач ремонтного производства.

Для обеспечения высокого уровня надёжности при ремонте используют следующие мероприятия:

1) Обеспечение сохраняемости ремонтного фонда, поступающие на ремонтные предприятия

Достигается организацией соответствующих складов и площадок, применением различных подставок и подкладок, антикоррозийных смазок и другие.

Необходимо хорошо сохранять детали, поступающие для восстановления, иначе это превратится в металлолом.

При разборке не ломать детали и не разукomплектовывать;

Применять специальные приспособления для снятия (гидравлика);

Иметь ящики для деталей;

Не разукomплектовывать детали цилиндро-поршневой группы.

2) Внедрение на ремонтных предприятиях эффективной мойки и очистки

Это одно из наиболее решающих условий обеспечения высокого послеремонтного ресурса машин.

Удаление нагара, смолистых отложений, накали и других загрязнений – требует специального современного оборудования для обеспечения качественного ремонта.

Эффективные моющие средства: МЛ-51, МЛ-52, АМ-15 и “Эмульсин” (для удаления смолистых отложений), новые МС-5, МС-6, МС-8

3) Контроль и дефектация изношенных деталей

Необходимо применять новые, более точные приборы для обеспечения наибольшего срока службы. При этом происходит разграничение деталей на большее число групп, тем самым детали с меньшим износом могут обрабатываться под меньшие ремонтные размеры (посадочные места, отверстия) соответственно валы подвергаются меньшему снятию металла.

Применяют: пробки, калибры, скобы, индикаторы, микрометры – обеспечивают повышение точности измерений до 0,01...0,0001 мм. Коленвалы, блоки, гильзы цилиндров – нужно проверять на отсутствие скрытых дефектов (магнитная, люминесцентная, ультразвуковая и рентгеновская дефектоскопия и другие.)

4) Сплошной контроль размеров и геометрии рабочих поверхностей базовых деталей

В результате строения материала, износов и других воздействий (нагрузки) происходят изменения размеров, геометрии и взаимного расположения поверхностей, которые необходимо устранять. Это обеспечивает высокую работоспособность всего агрегата в целом. Повышается ресурс машины.

5) Тщательный весовой и размерный подбор деталей цилиндрико-поршневой группы

Это необходимо для хорошей работы двигателя, т.к. при работе возникают большие нагрузки, а неравномерная масса приводит к детонации, которая значительно увеличивается при увеличении частоты вращения коленвала.

6) Динамическая балансировка

Коленвалов, карданных валов, маховиков, муфт и т.д.

7) Обеспечение регламентированных посадок, усилий затяжки и сборки резьбовых соединений.

Определены типовой технологией сборки.

8) Стендовая обкатка и испытания

При этом необходим тщательный контроль с целью выявления посторонних шумов и стуков, повышенного нагрева, течи масла и т.д.

Условия эксплуатации машин решающе влияют на показатели их надёжности и могут свести любые достижения конструкторов и технологов на ноль.

1) Методы повышения надёжности при эксплуатации. Обкатка новых машин в хозяйствах

Закладываются основы длительной и безотказной работы машин, должна проводится 50...60 ч при постепенном повышении нагрузки по рекомендации завода-изготовителя.

При этом необходимо контролировать работу всех узлов и механизмов. Проводить ТО, 3 раза менять масло в картере, применять рекомендуемые смазки (масла).

2) Организация ТО и создание необходимой базы

Необходимо своевременно проводить ТО-1 (через 8-10 часов работы), сезонное ТО (2 раза в год) и плановое ТО.

3) Проведение техосмотров и технической диагностики состояния машин

Техосмотры проводят 1-2 раза в год. Диагностику проводят выборочно для получения данных о техническом состоянии на данный момент времени.

4) Обеспечение нормального режима работы

Не нужно перегружать, правильно регулировать зазоры в подшипниках, шестернях и других соединениях. Нарушение приводит к повышению температурного режима, условий смазки при этом наступает форсированный износ.

В зимнее время технику нужно ставить в тёплых боксах.

5) Соблюдение установленных правил хранения

Иметь специальные помещения, подставки, подкладки и т.д.

Применять защитные смазки ЦИАТИМ-202, СХК.

6) Контроль и постоянное соблюдение требуемой герметизации агрегатов и систем

В целях предупреждения попадания абразива.

7) Другие мероприятия

1. Учить и воспитывать механизаторов.
2. Ремонт необходимо проводить в специальных предприятиях.

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

2.1 Лабораторная работа №1,2 (4 часа).

Тема: «Расчет показателей надежности изделий статистическим методом по данным исходной опытной информации»

2.1.1 Цель работы: рассчитать основные показатели надежности гильзы двигателя СМД-60 по данным исходной опытной информации.

2.1.2 Задачи работы:

1. В соответствии с заданным вариантом составить таблицу ряда распределения ресурса $T_{др}$ гильзы с указанием частоты m_i опытной вероятности (частоты) $P_{опi} = m_i / N$ по i -м частичным интервалам ряда.

2. Построить в масштабе гистограмму, полигон и график эмпирической интегральной функции распределения ресурса (кривую накопленных опытных вероятностей).

3. Определить среднее значение ресурса $\bar{T}_{др}$, среднее квадратическое отклонение σ и коэффициент вариации v ряда значений ресурса.

4. Подобрать теоретический закон распределения ресурса, определить его параметры и значения (для частичных интервалов) дифференциальной $f(T)$ и интегральной $F(T)$ функции теоретического распределения.

5. Построить графики функций $f(T)$ и $F(T)$ и сопоставить их с полигоном распределения и с кривой накопленных опытных вероятностей; по графику $F(T)$ установить 80-процентный ресурс гильзы и вероятность доремонтной наработки от двух до трёх тысяч мото-час.

2.1.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

Компьютер.

2.1.4 Описание (ход) работы:

1. При выполнении первого задания следует помнить, что полученные в результате наблюдений значения случайной величины (в нашем примере - это доремонтный ресурс гильзы цилиндров) в упорядоченном виде, то есть расположенные по мере возрастания $T_{др}$, представляют собой вариационный ряд. Примером вариационного ряда служит упорядоченный ряд значений $T_{др}$ от 980 до 5460 мото-час. (табл. 1.1 вариант 1) представляющий собой исходную опытную информацию по результатам наблюдений за двигателями в эксплуатационных условиях. Вариационный ряд - первый этап статистической обработки данных наблюдений, в результате которого мы получаем представление о границах изменения случайной величины.

Более полное описание изменчивости случайной величины в пределах наблюдения при определенных условиях испытаний осуществляется при помощи ряда распределения.

Ряд распределения характеризуется следующим: некоторая переменная величина T (например, ресурс) принимает различные значения $T_1, T_2, T_3, \dots, T_n$, каждое из этих значений имеет некоторую частоту (повторяемость) m_i , то есть $m_1, m_2, m_3, m_4, \dots, m_n$ и частоту (опытную вероятность) $P_{опi} = m_i / N$, где N - общее число отмеченных значений переменной величины T [1].

Таким образом, ряд распределения характеризует соответствие (соотношение) между возможными значениями случайной величины, их частотами и частостями (опытными вероятностями).

Различают дискретный и интервальный ряд распределения.

Интервальный ряд применяется в тех случаях, когда характеризуется изменчивость непрерывной случайной или дискретной величины, если при наблюдении за последней отмечено большое число значений. Ряд распределения может быть представлен в виде таблицы, графика или в аналитической форме.

При составлении интервального ряда распределения область возможных (отмеченных в ходе наблюдения) значений случайной величины разбивается на отдельные частичные интервалы, каждый из которых имеет верхнюю и нижнюю границы. Далее определяют, какое число значений (из общего количества N) попадает в отдельные интервалы, то есть устанавливают частоты m_i по отдельным i -м интервалам, а затем и частости m_i / N .

В табл. 1.2 указаны границы частичных интервалов. Например, если студенту задан вариант 1, то он должен составить ряд распределения для пяти интервалов от 0,5 до 5,5 тыс. мото-часов.

Для определения частоты m_i по интервалам нужно иметь в виду, что в интервал включают те значения, которые численно больше нижней границы, но меньше или равны верхней границе интервала. Например, значение 3500 мото-часов входит в интервал 2,5-3,5 тыс. мото-часов.

При составлении таблицы ряда распределения нужно учитывать, что сумма частот по интервалам должна быть равна 70, а сумма частостей - единице, то есть $\sum m_i / N = 1,000$.

Подсчёт частостей ведут обычно с точностью до четвертого десятичного знака.

2. Из графиков, характеризующих распределение случайной величины, по данным исходной опытной информации прежде всего строят гистограмму и полигон.

При построении гистограммы, на горизонтальной оси графика откладывают значения, соответствующие границам частичных интервалов, а по вертикальной - частоты или частости, также по отдельным интервалам. Затем строят прямоугольники, основания которых лежат на оси абсцисс и равны величине частичных интервалов, а высоты равны частотам или частостям соответствующих интервалов. В результате получается ступенчатый многоугольник или гистограмма. Если теперь соединить прямыми линиями середины верхних (горизонтальных) сторон прямоугольников гистограммы, то

получится полигон распределения в виде ломаной линии. Примеры построения гистограммы и полигона распределения $T_{др}$ для варианта 1 приведены на рис. 1.1 [2].

Наиболее общей характеристикой распределения как дискретных, так и непрерывных случайных величин является интегральная функция распределения $F(T)$, которая определяет вероятность того события, что случайная величина T будет меньше или равна наперед заданному значению t , то есть $F(T) = P(T \leq t)$. Эмпирическая интегральная функция распределения определяет частоту (опытную вероятность) события $T \leq t$, а теоретическая интегральная функция распределения - вероятность данного события.

Функция распределения $F(T)$ может быть задана аналитически или представлена в виде графика.

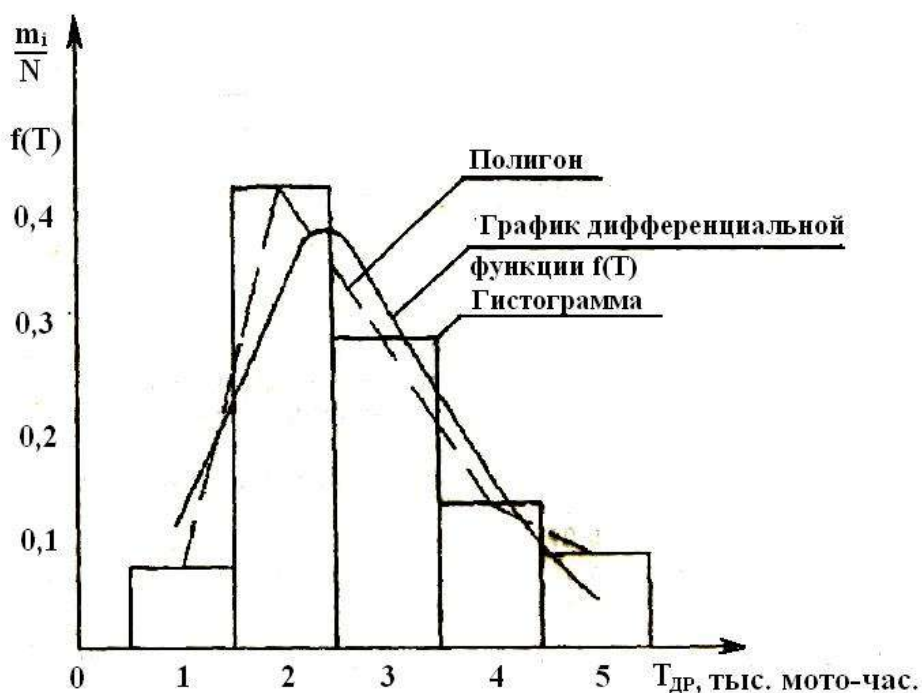


Рис. 1.1 – Гистограмма, полигон эмпирического распределения ресурса гильзы и график дифференциальной функции

На рис. 1.2 показана эмпирическая интегральная функция распределения ресурса гильзы, построенная по данным табл. 1.3 и представляющая собой ломаную линию - интегральную кривую накопленных опытных вероятностей (частостей). В рассмотренном примере (см. табл. 3) $m_i / N = 0$ для $T_{др} < 0,5$ тыс. мото-час.

Таким образом, начальная точка ломаной линии лежит на оси абсцисс и соответствует значению $T_{др} = 0,5$ тыс. мото-час.

Частость $m_i / N = 0,0715$ для значений $T_{др} \leq 1,5$ тыс. мото-час определяет вторую точку ломаной линии, которую отрезками прямых соединяют с начальной точкой и

третьей точкой, соответствующей верхней границе второго интервала ($\sum m_i / N = 0,0715 + 0,4285 = 0,5000$ и $\bar{O}_{AB} \leq 2,5$ тыс. мото-час).

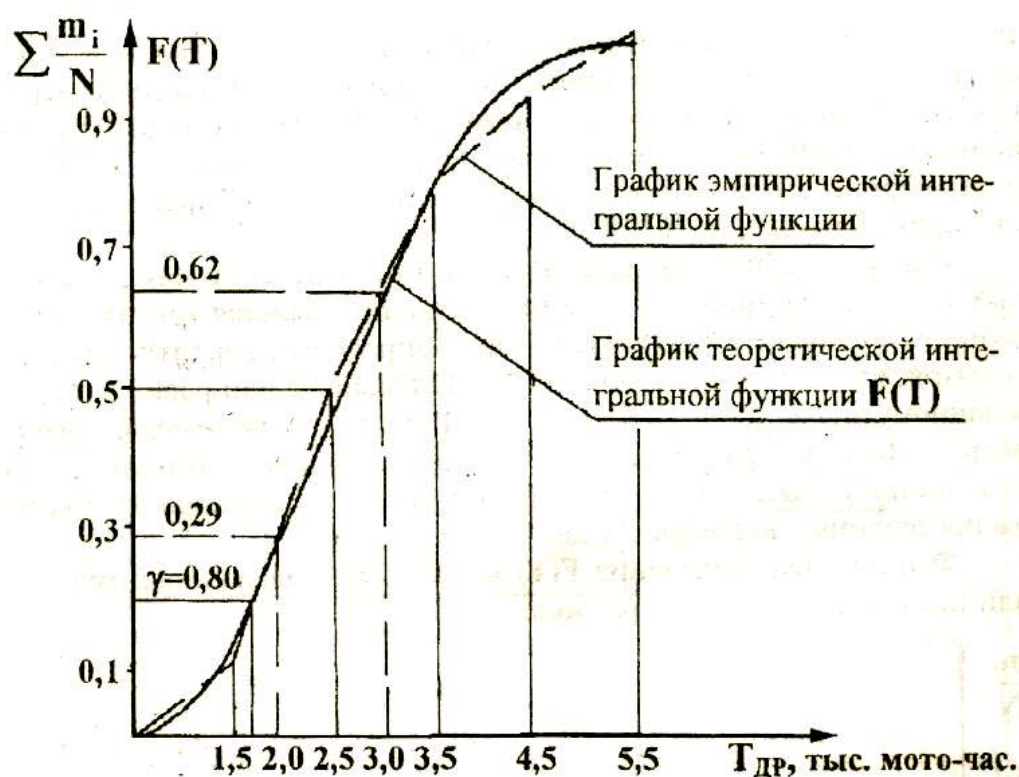


Рис. 1.2 – Эмпирическая и теоретическая интегральные функции распределения ресурса гильзы

Так, переходя последовательно от одного интервала к другому, постепенно строят график эмпирической функции распределения

$T_{др}$, последняя точка которого соответствует $\sum m_i / N = 1000$ для $T_{др} \leq 5,5$ тыс. мото-час.

3. На следующем этапе статистической обработки результатов наблюдений (задание 3) получают числовые характеристики распределения. Это, прежде всего, среднее арифметическое значение ресурса гильзы или просто средний ресурс $\bar{T}_{др}$. Он определяет центр рассеивания значений случайной величины, вокруг которого группируются отдельные значения,

Величину $T_{др}$ подсчитывают по формуле

$$\bar{T}_{др} = \sum T_{Ci} \cdot \frac{m_i}{N}, \quad (1.1)$$

где T_{Ci} - значение ресурса, соответствующее середине i -го интервала.

Для нашего примера $T_{др} = 1,0 \cdot 0,0715 + 2,0 \cdot 0,4285 + 3,0 \cdot 0,2858 + 4,0 \cdot 0,1285 + 5,0 \cdot 0,0857 = 2,73$ тыс. мото-час.

Степень рассеивания (разброс) значений ресурса относительно $\bar{T}_{др}$ оценивается другой числовой характеристикой распределения - средним квадратическим отклонением σ которое подсчитывается по формуле

$$\sigma = \sqrt{\sum \left(T_{Ci} - \bar{T}_{др} \right)^2 \cdot \frac{m_i}{N}}. \quad (1.2)$$

Для рассматриваемого нами примера.

$$\begin{aligned} \sigma &= \sqrt{\left((1,0 - 2,73)^2 \cdot 0,0715 + (2,0 - 2,73)^2 \cdot 0,4285 + (3,0 - 2,73)^2 \cdot 0,2858 + (4,0 - 2,73)^2 \cdot 0,1285 + (5,0 - 2,73)^2 \cdot 0,0857 \right)} = \\ &= \sqrt{1,118} = 1,055 \text{ тыс. мото-час.} \end{aligned}$$

Степень рассеивания случайной величины определяется и безразмерной числовой характеристикой - коэффициентом вариации

$$\nu = \frac{\sigma}{\bar{T}_{др} - t_{см}}, \quad (1.3)$$

где $t_{см}$ — величина смещения зоны рассеивания относительно нулевого значения.

Смещение нужно принимать численно равным нижней границе первого частичного интервала из табл. 1.3 ряда распределения случайной величины.

В нашем примере $t_{см} = 0,5$ тыс. мото-час., тогда

$$\nu = \frac{1,055}{2,73 - 0,50} = 0,472$$

4. При подборе теоретического закона распределения (задание 4) следует знать, что исходная опытная информация об изменениях случайной величины обычно представляет собой некоторую выборку из всей генеральной совокупности возможных значений случайной величины. Поэтому ряд распределения и эмпирическая интегральная функция, наряду с числовыми характеристиками распределения, содержат ошибки исходной информации. К тому же на них отражается некоторой произвол в выборе количества и границ частичных интервалов при статистической обработке данных наблюдения.

Однако эти ошибки можно аннулировать, если правильно подобрать и использовать при определении показателей надёжности изделий (в частности, доремонтного ресурса гильзы цилиндров) теоретический закон распределения (далее обозначается ТЗР), характеризующий соотношение между возможными значениями

случайной величины и их вероятностями. ТЗР известен, если определены дифференциальная функция (или функция плотности вероятности) $f(T)$ и теоретическая интегральная функция $F(T)$ [1].

Действительный ТЗР случайной величины может быть точно установлен, лишь по данным наблюдений, включающим несколько тысяч значений исследуемой случайной величины. Однако при практических инженерных расчетах надёжности изделий в большинстве случаев уже примерно известны возможные теоретические законы распределения, а окончательный выбор одного из них проводится с использованием предварительно обоснованных научными исследованиями критериев. Так, в нашем задании выбор ТЗР ресурса гильзы может осуществляться по величине коэффициента вариации:

- а) если $v \leq 0,33$ - выбирается нормальный закон распределения;
- б) если $v > 0,33$ - выбирается закон распределения Вейбулла.

Поскольку в рассмотренном нами примере $v = 0,472$, выбираем в качестве ТЗР двухпараметрическое распределение Вейбулла, для которого

$$f(T) = \frac{b}{a} \left(\frac{T}{a} \right)^{b-1} \cdot e^{-\left(\frac{T}{a} \right)^b}, \quad (1.4)$$

$$F(T) = 1 - e^{-\left(\frac{T}{a} \right)^b}, \quad (1.5)$$

то есть $f(T)$ и $F(T)$ зависят от значений аргумента T и двух параметров (коэффициентов) a и b [1].

Коэффициенты a и b для закона распределения Вейбулла находятся по табл. 1.4 соответственно значению коэффициента вариации v . Расчетное значение v может отличаться от тех значений, которые приведены в крайней правой графе таблицы. Например, значение $v = 0,472$ находится между значениями 0,461 и 0,480, приведенными в табл. 1.4. В таком случае соответствующие расчётному v значения b , k_b , C_b находятся путем интерполирования. Так, для $v = 0,472$ после интерполирования получаем: $b = 2,24$; $k_b = 0,886$; $C_b = 0,418$. Ниже приведен пример использования одинарного интерполирования для нахождения коэффициентов b , k_b , C_b по коэффициенту вариации $v = 0,472$

5. Значения $f(T)$ и $F(T)$ используются для построения графиков соответствующих функций (задание 5) в тех же координатах, что и эмпирическая интегральная функция распределения. Дифференциальная функция $f(T)$ строится на рис. 1.1, причём расчетные значения $f(T)$ соответствуют серединам частичных интервалов без поправки на $t_{см}$. Теоретическая интегральная функция строится на рис. 1.2, при этом расчётные значения

$F(T)$ соответствуют верхним границам частичных интервалов - так же без поправки на t_{cm} [1].

Проверку соответствия между выбранным теоретическим законом распределения и эмпирическим распределением доремонтного ресурса гильзы можно провести с использованием критерия согласия λ_k (А.Н. Колмогорова), подтверждающего или опровергающего статистическую гипотезу о виде выбранного теоретического закона распределения с принятым уровнем значимости α

$$\lambda_k = D_{\max}^p \cdot \sqrt{N}, \quad (1.8)$$

где $D_{\max}^p$ - максимальное абсолютное значение разности между эмпирической и теоретической интегральными функциями распределения для отдельных i -х частичных интервалов на основании данных, то есть $D_{\max}^p = \max(\sum P_{Opi} - F(T))$. Обычно в технических расчётах принимают α равным 0,10, то есть допускают тем самым в 10 случаях из 100, возможность ошибки первого рода, связанной с риском отбросить правильную статистическую гипотезу.

Для проведения проверки соответствия определяется максимальное абсолютное значение $D_{\max}^p$ и подсчитывается значение $\lambda_{\hat{\epsilon}}$ по формуле (1.8). Например, для первого интервала $D_1^p = 0,0715 - 0,1220 = -0,0505$, для второго интервала $D_2^p = 0,0450$, для третьего – $D_3^p = 0,0078$, для четвертого – $D_4^p = 0,0277$, для пятого – $D_5^p = 0,0100$. Тогда $D_{\max}^p = 0,0505$ и расчетное значение критерия согласия

$$\lambda_{\hat{\epsilon}} = D_{\max}^p \cdot \sqrt{N} = 0,0505 \cdot \sqrt{70} = 0,4210.$$

В справочных статистических материалах приводятся значения критерия согласия Колмогорова $\lambda_{\hat{\epsilon}}$ и вероятности $P(\lambda_k)$ соответствия эмпирического распределения теоретическому.

2.2 Лабораторная работа №3 (2 часа).

Тема: «Определение износа и остаточного ресурса детали методом индивидуального прогнозирования»

2.2.1 Цель работы: определить остаточный ресурс шатуна двигателя СМД-62 методом индивидуального прогнозирования

2.2.2 Задачи работы:

1. Ознакомиться с теоретическими предпосылками определения остаточного ресурса втулки верхней головки шатуна двигателя СМД-62 методом индивидуального прогнозирования.

2. Измерением определить наибольший размер втулки ($D_{изм}$), подсчитать износ детали ($I_{изм}$), среднюю скорость её изнашивания (W_d), средний остаточный ресурс детали ($\bar{T}_{до}$).

3. Определить доверительные границы рассеивания среднего остаточного ресурса и доверительный интервал.

2.2.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Микрометр гладкий с пределами измерений 25...50 мм.
2. Индикаторный нутромер рычажного типа с пределами измерений 25...50 мм.
3. Шатун двигателя СМД-62 со втулкой.
4. Компьютер

2.2.4 Описание (ход) работы:

1. Долговечность детали определяется экономическими и техническими показателями. Экономическим показателем долговечности детали служит удельная стоимость её эксплуатации. К техническим показателям долговечности детали относятся полный, фактический и остаточный ресурсы.

В настоящей работе студенты осваивают методику оценки одного из показателей долговечности - остаточного ресурса детали.

Остаточный ресурс - это ресурс детали (группы деталей) в единицах наработки, по истечении которого её (их) размеры достигнут предельной величины. Предельное состояние наступает при величине износа детали, равной предельному износу $I_{пр}$.

При ремонте техники в ремонтной мастерской хозяйства или на специализированном предприятии предельное состояние деталей оценивается не по предельным значениям износов $I_{пр}$, а по допустимым при ремонте значениям $I_{др}$. Допустимый износ рассчитывают так, чтобы соответствующий этому значению износа остаточный ресурс детали был равен межремонтному ресурсу $T_{мр}$, установленному для узла, агрегата или машины, в которые устанавливается оцениваемая деталь. Установка детали с большим износом, т.е. ресурсом, меньшим $T_{мр}$, повлечет за собой преждевременный выход из строя всего узла.

2. Для определения остаточного ресурса методом индивидуального прогнозирования необходимо выполнить следующее.

2.1. С помощью индикаторного нутромера определить наибольший размер детали – $D_{изм}$, для чего необходимо произвести четыре замера втулки в двух плоскостях по двум сечениям (рис. 2.1). За $D_{изм}$ принимается наибольший из четырёх размеров.

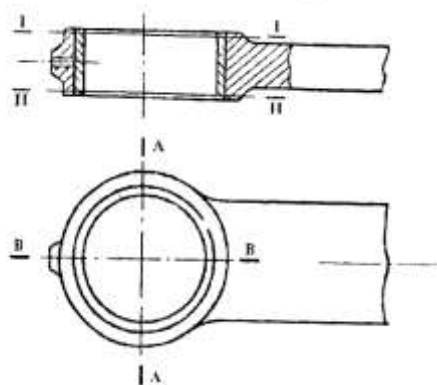


Рис. 2.1 – Схема измерения втулки

2.2. По данным варианта задания и технических условий на дефектацию, приведённых в табл. 2.1, определить износ детали к моменту измерения

$$I_{изм} = D_{изм} - D_{ср}, \quad (2.1)$$

где $I_{изм}$ - износ к моменту измерения, мм.

$D_{ср}$ - средний диаметр, мм.

Средний диаметр определяется как сумма номинального диаметра и половины допуска на размер, мм

$$D_{ср} = D_n + \frac{ES + EJ}{2} \quad (2.2)$$

2.3. Затем необходимо определить скорость изнашивания детали приняв, что изменение этой величины обратно пропорционально изменению наработки детали

$$W_d = \frac{I_{изм}}{H_{изм}} \quad (2.3)$$

где W_d - скорость изнашивания детали, мм/мото-час.;

$H_{изм}$ - наработка детали в момент измерения, мото-час.

2.4. Определить средний остаточный ресурс детали

$$T_{до}^- = \frac{I_{пр} - I_{изм}}{W_d} \quad (2.4)$$

где $I_{пр}$ - предельный износ детали, мм.

Предельный износ детали ($I_{пр}$) можно определить из условия пропорциональности износа детали зазорам сопряжения

$$I_{пр} = I_{др} \cdot \frac{S_{пр} - S_H}{S_{пр} - S_{др}} \quad (2.5)$$

где $S_{пр}$, S_H , $S_{др}$ - соответственно предельный, начальный и допустимый зазоры в сопряжении "втулка - поршневой палец" по техническим условиям.

Допустимый износ детали следует определять по формуле

$$I_{др} = D_{др} - D_{ср} \quad (2.6)$$

3. Величина остаточного ресурса носит вероятностный характер и, как показали износные испытания, рассеивание его величины для одноименных деталей тракторов и сельскохозяйственных машин в большинстве случаев подчинено закону распределения Вейбулла с коэффициентом вариации $v = 0,33 \dots 0,40$ (рис. 2.2).

Среднеквадратическое отклонение, характеризующее степень отклонения величины $\bar{T}_{до}$, определяется из выражения

$$\sigma = v \cdot (\bar{T}_{до} - t_{см}), \quad (2.7)$$

Если принять величину смещения рассеивания $t_{см} = 0,3 \bar{T}_{до}$, формула (2.7) примет следующий вид

$$\sigma = v \cdot (\bar{T}_{до} - 0,3 \cdot \bar{T}_{до}) = v \cdot 0,7 \cdot \bar{T}_{до}, \quad (2.8)$$

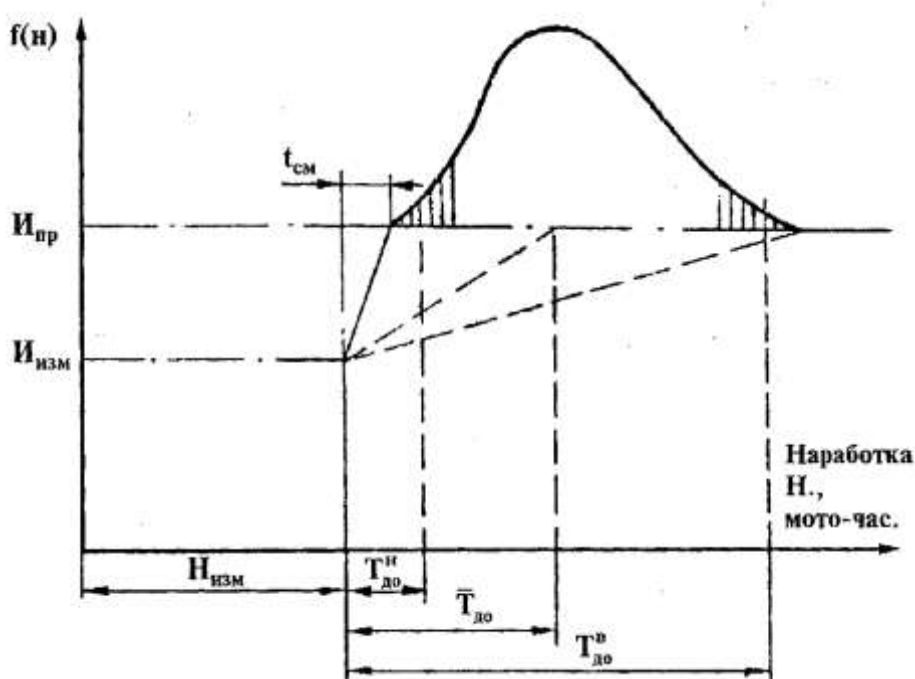


Рис. 2.2 – Схема определения доверительных границ $\bar{T}_{до}$

По таблице и принятому значению коэффициента вариации определить значения параметров распределения Вейбулла "b" и "C_B". Параметр "a" можно определить из соотношения

$$a = \frac{\sigma}{C_B} = \frac{0,7 \cdot \nu \cdot \bar{T}_{до}}{C_B}, \quad (2.9)$$

Приняв величину доверительной вероятности α (по номеру варианта), определить доверительные границы рассеивания остаточного ресурса детали - нижнюю и верхнюю (рис. 2.2)

$$\bar{T}_{до}^H = H_K^H \cdot \frac{(1-\alpha)}{2} \cdot a + t_{CM}, \quad (2.10)$$

$$\bar{T}_{до}^B = H_K^B \cdot \frac{(1+\alpha)}{2} \cdot a + t_{CM}, \quad (2.11)$$

где H_K^H, H_K^B - квантили закона распределения Вейбулла, определяемые по табл. 2.3.

Квантилем называется нормированное значение показателя надёжности, соответствующее данной величине интегральной функции отказности $F(T)$ или накопленной опытной вероятности $\sum P_i$.

Таким образом, можно определить доверительный интервал, в котором с заданной вероятностью α будет находиться величина среднего остаточного ресурса детали $T_{до}$

$$J_\alpha = \bar{T}_{до}^B - \bar{T}_{до}^H, \quad (2.12)$$

После определения величины остаточного ресурса детали делают заключение о целесообразности её дальнейшего использования путём сравнения величин остаточного и межремонтного ресурсов.

2.3 Лабораторная работа №4 (2 часа).

Тема: «Определение полного ресурса сопряжения и допустимых без ремонта размеров сопрягаемых деталей в месте их наибольшего износа»

2.3.1 Цель работы: для заданного сопряжения определить полный ресурс.

2.3.2 Задачи работы:

1. В соответствии с заданным вариантом. выписать данные из технических условий на дефектацию сопряжения и записать исходные данные (межремонтная наработка и скорости изнашивания деталей):

средняя межремонтная наработка для вариантов 2...11 –

$$T_{MP} = 2000 \text{ мото-час};$$

для вариантов 1, 12...15 средняя межремонтная наработка –

$$T_{MP} = 1000 \text{ мото-час};$$

средняя скорость изнашивания по внутреннему диаметру -

$$W_{ДВТ} = 5 \cdot 10^{-5} \text{ мм / мото-час};$$

по наружному диаметру -

$$W_{ДБ} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ мм / мото-час};$$

2. Подсчитать значения допустимого без ремонта $I_{ДР}^C$ и предельного $I_{ПР}^C$ износос сопряжения, средней скорости изнашивания W_C и полного ресурса $T_{СП}$ сопряжения.

3. Подсчитать значения допустимого ($I_{ДР_{ВТ}}, I_{ДР_{Б}}$) и предельного ($I_{ПР_{ВТ}}, I_{ПР_{Б}}$) износос сопрягаемых деталей, а также допустимые без ремонта размеры деталей ($D_{ДР}$ и $d_{ДР}$).

4. Вычертить расчетную схему изнашивания деталей сопряжения и определить его полный ресурс, также допустимых без ремонта и предельных износос деталей

2.3.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

Компьютер

2.3.4 Описание (ход) работы:

1. Из таблицы выписываются исходные технические данные в соответствии с заданным вариантом, которые заносятся в таблицу выписки.

Записываются также общие исходные данные - средняя межремонтная наработка $T_{MP} = 2000$ мото-час. (или 1000 мото-час.), средняя скорость изнашивания по наружному диаметру - $W_{ДБ} = 2 \cdot 10^{-5}$ мм/мото-час., по внутреннему диаметру - $W_{ВТ} = 5 \cdot 10^{-5}$ мм/мото-час.

В наших расчетах используются предварительно установленные по результатам эксплуатационных испытаний средние скорости изнашивания деталей (в приводимом примере - втулки и поршневого пальца). В основу дальнейших расчетов может быть положена линейная зависимость износос деталей и их сопряжения от наработки.

2. При определении износос сопряжения (допустимого без ремонта и предельного), средней скорости изнашивания сопряжения и полного ресурса сопряжения используются следующие уравнения

$$I_{ДР}^C = S_{ДР} - S_{\max}^H, \quad (3.1)$$

$$I_{IP}^C = S_{IP} - S_{\max}^H, \quad (3.2)$$

$$W_C = W_{Д_{BT}} + W_{Д_B}, \quad (3.3)$$

$$T_{СП} = \frac{I_{IP}^C}{W_C}, \quad (3.4)$$

где $S_{\max}^H$ - максимальный начальный зазор в сопряжении, мм;

$W_{Д_{BT}}, W_{Д_B}$ - соответственно средняя скорость изнашивания первой (втулки) и второй (вала) сопрягаемых деталей, мм/мото-час.

Для нашего примера (по варианту 11) получаем

$$I_{ДР}^C = 0,110 - 0,047 = 0,063 \text{ мм};$$

$$I_{IP}^C = 0,250 - 0,047 = 0,203 \text{ мм};$$

$$W_C = 5 \cdot 10^{-5} + 2 \cdot 10^{-5} = 7 \cdot 10^{-5} \text{ мм / мото-час.}$$

$$T_{СП} = \frac{0,203}{7 \cdot 10^{-5}} = 2900 \text{ мото-час.}$$

3. Исходя из пропорциональности износа деталей' (и сопряжений) скоростям их изнашивания, предельные износы сопрягаемых деталей определяем из уравнений

$$I_{IP_{BT}} = \frac{I_{IP}^C \cdot W_{Д_{BT}}}{W_C}, \quad (3.5)$$

$$I_{IP_B} = \frac{I_{IP}^C \cdot W_{Д_B}}{W_C}, \quad (3.6)$$

Тогда для рассматриваемого примера

$$I_{IP_{BT}} = \frac{0,203 \cdot 5 \cdot 10^{-5}}{7 \cdot 10^{-5}} = 0,145 \text{ мм};$$

$$I_{IP_B} = \frac{0,203 \cdot 2 \cdot 10^{-5}}{7 \cdot 10^{-5}} = 0,058 \text{ мм.}$$

Допустимые износы деталей ($I_{ДР_{BT}}, I_{ДР_B}$) определяются из формул, отражающих физическую сущность понятия "скорость изнашивания", как отношение износа детали (сопряжения) к ресурсу:

$$W_{DP} = \frac{I_{PP} - I_{DP}}{T_{MP}}. \quad (3.7)$$

Из выражения (3.7) определяется допустимый износ деталей (втулки и вала)

$$I_{DP_{BT}} = I_{PP_{BT}} - T_{MP} \cdot W_{D_{BT}}, \quad (3.8)$$

$$I_{DP_B} = I_{PP_B} - T_{MP} \cdot W_{D_B}. \quad (3.9)$$

Для нашего примера получим

$$I_{DP_{BT}} = 0,145 - 2000 \cdot 5 \cdot 10^{-5} = 0,045 \text{ мм};$$

$$I_{DP_B} = 0,058 - 2000 \cdot 2 \cdot 10^{-5} = 0,018 \text{ мм}.$$

Допустимые без ремонта размеры деталей сопряжения в месте их наибольшего износа определяются следующим образом

$$\text{для втулки - } D_{DP} = D_{\max} + I_{DP_{BT}}, \quad (3.10)$$

$$\text{для вала - } d_{DP} = d_{\min} - I_{DP_B}, \quad (3.11)$$

где $D_{\max}$, $d_{\min}$ - соответственно максимальный внутренний и минимальный наружный размеры отверстия и вала сопряжения с учётом допусков на их изготовление.

Для рассматриваемого сопряжения "втулка - поршневой палец" получим

$$D_{DP} = 42,038 + 0,045 = 42,083 \text{ мм};$$

$$d_{DP} = 41,991 - 0,018 = 41,973 \text{ мм}.$$

4. Вычерчивается расчётная схема изнашивания деталей сопряжения в функции от наработки, определения его полного ресурса, допустимых без ремонта и предельных износов сопрягаемых деталей. Пример выполнения расчётной схемы для заданного варианта исходных условий показан на рис. 3.1.

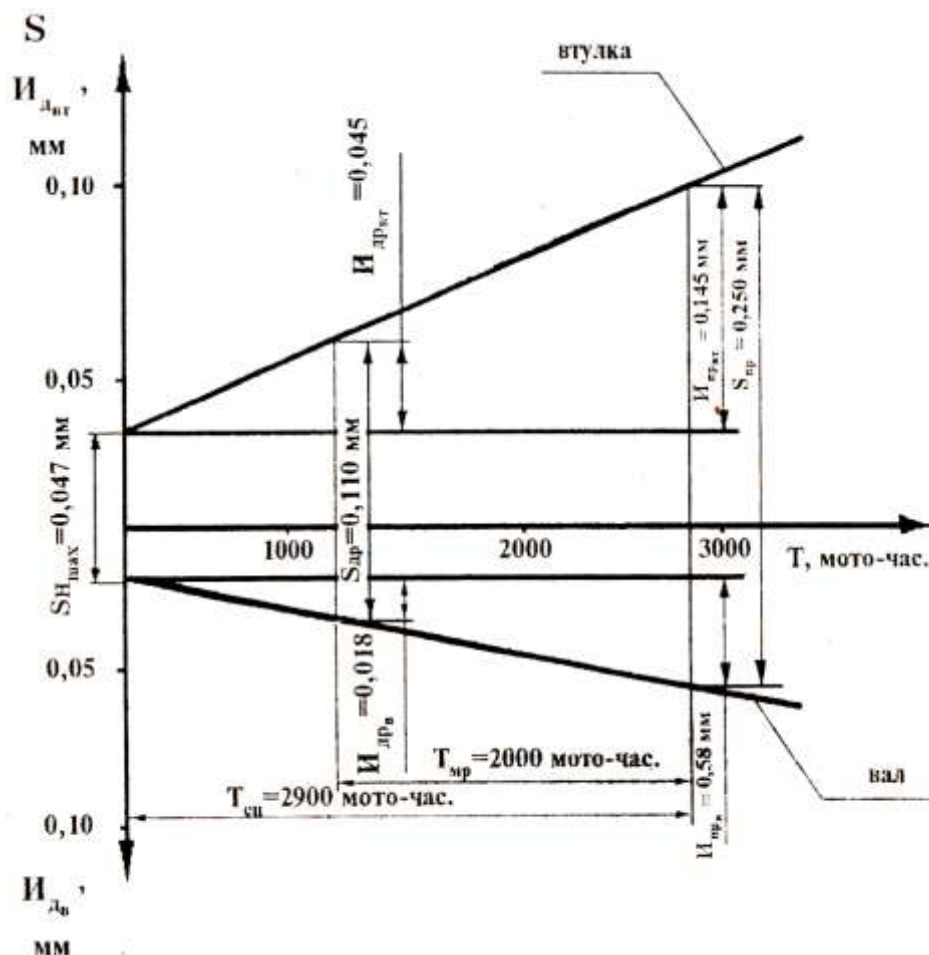


Рис. 3.1 – Расчетная схема изнашивания деталей сопряжения, определения его полного ресурса, допустимых без ремонта и предельных износов сопрягаемых деталей

2.4 Лабораторная работа №5,6 (4 часа).

Тема: «Расчет технического ресурса звена гусеницы трактора класса 30кН по результатам стендовых испытаний»

2.4.1 Цель работы: рассчитать технический ресурс звена гусеницы

2.4.2 Задачи работы:

1. На основе предварительно полученной (по результатам стендовых износных испытаний) зависимости скорости изнашивания проушины звена гусеницы трактора класса 30 кН от воздействующих факторов и имеющихся эксплуатационных статистических характеристик этих факторов найти параметры распределения скорости изнашивания как случайной величины.
2. Определить максимальное, минимальное, среднее значения ресурса и его среднеквадратическое отклонение.
3. Построить график интегральной функции распределения ресурса проушины звена гусеницы и определить 80-процентный гамма-ресурс.

2.4.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

Компьютер

2.4.4 Описание (ход) работы:

1. Зависимость средней скорости изнашивания проушины тысячи звеньев гусеницы ($\bar{W}$, мм/цикл) от действующих факторов.

$$\bar{W} = 10^{-5} \cdot (3,69\bar{c} + 3,60\bar{v} + 9,00\bar{z} + 0,792\bar{p} - 288), \quad (4.1)$$

где $\bar{n}$ - среднее процентное содержание кварцевого песка в почве;

$\bar{v}$ - средняя циклическая скорость качания звена относительно пальца гусеницы при работе трактора, цикл/мин.;

$\bar{z}$ - средняя абсолютная влажность почвы, %;

$\bar{p}$ - среднее значение усилия в гусеничном обводе, кг.

Определение параметров распределения скорости изнашивания

Технический ресурс - наработка объекта от начала ввода его в эксплуатацию до достижения им предельного состояния - из-за воздействия на долговечность конкретного изделия большого числа факторов, величину которых заранее предвидеть и учесть невозможно, является величиной случайной.

При абразивном изнашивании, если изнашивание детали происходит в строго определенных условиях, ресурс детали T_d определяется по формуле, аналогичной формуле (3.4)

$$T_d = \frac{I_{пр}}{\bar{W}_d}, \quad (4.2)$$

где $I_{пр}$ - предельный износ, мм;

$\bar{W}_d$ - скорость изнашивания, мм/мото-час.

Если при эксплуатации изделия скорость изнашивания является величиной случайной, распределенной по нормальному закону, то ресурс такого изделия также будет величиной случайной.

При этом

$$F(T) = 1 - \Phi^* \left[\frac{\frac{I_{пр}}{\bar{W}} - T}{v_{\bar{W}} \cdot T} \right], \quad (4.3)$$

где $F(T)$ - вероятность того, что ресурс изделия меньше заданной наработки T (закон распределения ресурса);

$\Phi^*(x)$ - нормальная функция распределения величины x ;

$I_{\text{пр}}$ - предельный износ;

$\overline{W}$ - скорость изнашивания (средняя);

$v_{\overline{W}}$ - коэффициент вариации скорости изнашивания.

При нахождении закона распределения ресурса таких изделий на специальных испытательных стендах определяют зависимость скорости изнашивания от действующих основных конструктивно -технологических и эксплуатационных факторов. При этом такую зависимость обычно выражают в виде линейного полинома

$$Y = B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 + B_3 X_3 + \dots + B_n X_n, \quad (4.4)$$

где $X_1, X_2, X_3 \dots X_n$ - основные действующие факторы;

$B_0, B_1, B_2 \dots B_n$ - коэффициенты регрессии полинома.

Если каждый из действующих факторов при эксплуатации изделия считать величиной случайной, случайной величиной будет являться и эксплуатационная скорость изнашивания.

Параметры распределения скорости изнашивания находятся по выражениям (4.4) и (4.5)

$$\overline{W} = B_0 + B_1 \overline{X}_1 + B_2 \overline{X}_2 + \dots + B_n \overline{X}_n, \quad (4.5)$$

$$\sigma_{\overline{W}} = 10^{-5} \cdot \sqrt{B_1^2 \sigma_1^2 + B_2^2 \sigma_2^2 + B_3^2 \sigma_3^2 + \dots + B_n^2 \sigma_n^2}, \quad (4.6)$$

где $\overline{X}_1, \overline{X}_2, \overline{X}_n$ - средние значения каждого фактора;

$\overline{W}$ - средняя скорость изнашивания, мм/мото-час;

$\sigma_{\overline{W}}$ - среднее квадратическое отклонение скорости, мм/мото-час;

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3 \dots \sigma_n$ - средние квадратические отклонения факторов.

При выполнении заданного варианта необходимо по заданным статистическим характеристикам изнашивания проушин определить по формулам (4.1) и (4.6) среднюю скорость изнашивания $\overline{W}$ и среднее квадратическое отклонение $\sigma_{\overline{W}}$ (в мм/мото-час). Затем следует определить коэффициент вариации скорости изнашивания по формуле

$$v_{\overline{W}} = \frac{\sigma_{\overline{W}}}{\overline{W}}. \quad (4.7)$$

2. Определение максимального, минимального, среднего значения ресурса и его среднеквадратического отклонения.

2.1. Определить минимальное значение ресурса проушины звена гусеницы, соответствующее значению интегральной функции $F(T) = 0,025$. Подставив в формулу (4.3) значение $F(T)$, равное 0,025, определяем нормальную функцию $\Phi^*(x)$

$$\Phi^*(X) = 1 - 0,025 = 0,975$$

Затем по табл. 4.2 следует найти значение параметра x , соответствующее значению нормальной функции, равному 0,975: значение параметра x может быть принято равным 1,95.

Приравняв выражение аргумента в формуле (4.3) полученному значению параметра x , подсчитываем минимальное значение ресурса

$$\frac{\frac{I_{PP}}{W} - T_{МИН}}{v_{\bar{W}} \cdot T_{МИН}} = 1,95. \quad (4.8)$$

2.2. Определить максимальное ($T_{макс}$) значение ресурса.

Методика определения максимального ресурса аналогична методике определения минимального ресурса (п. 2.1.), но значение интегральной функции в этом случае принимается равным 0,975 ($F(T) = 0,975$).

2.3. Определить среднее значение ресурса.

Для определения среднего значения ресурса проушины весь диапазон ресурса $(\dot{O}_{i \in N} - \dot{O}_{i \in I})$ разбивается на 10 равных интервалов и для каждого интервала по табл.4.2 находятся граничные значения нормальной функции - $\Phi^*(x_{iM})$ и $\Phi^*(x_{iB})$

Затем, в соответствии с выражением (4.3), определяются значения интегральной функции для нижних границ интервалов - $F(t_{iM})$. Разность $\Delta F(T_i)$ между функциями $F(t_{iB})$ и $F(t_{iM})$ или, что то же самое, между функциями $\Phi^*(x_{iM})$ и $\Phi^*(x_{iB})$ представляет вероятность попадания ресурса звена в каждый из i -ых интервалов наработки

$$\Delta F(T_i) = F(t_{iB}) - F(t_{iM}) = \Phi^*(x_{iM}) - \Phi^*(x_{iB}). \quad (4.9)$$

Так как в испытаниях по определению ресурса была использована одна тысяча звеньев, среднее значение ресурса следует определить по выражению:

$$\bar{T} = \frac{\sum_{i=1}^{10} n_i \cdot t_{iCP}}{950}, \quad (4.10)$$

где $n_i = 1000 \cdot \Delta F(T_i)$ - число звеньев, ресурс которых находится в i -ом интервале наработки;

$$t_{i_{cp}} = \frac{t_{i\bar{o}} + t_{i_m}}{2} - \text{средняя наработка в } i\text{-ом интервале.}$$

Расчет среднего значения ресурса $\bar{T}$ удобно производить последовательным заполнением колонок таблицы

2.4. Определить среднеквадратическое отклонение ресурса.

Расчет среднего квадратического отклонения ресурса проушины звена гусеницы производится по формуле:

$$\sigma_{\bar{T}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (t_{i_{cp}} - \bar{T})^2 \cdot n_i}{950 - 1}}, \quad (4.11)$$

3. Построение графика интегральной функции распределения ресурса проушины звена гусеницы и определение 80-процентного гамма-ресурса.

3.1. Данные колонок таблицы позволяют построить в масштабе график интегральной функции распределения ресурсов проушины звена гусеницы, в системе координат - "нижние границы интервалов t_{i_m} " (ось абсцисс) - "интегральная функция $F(t_{i_m})$ " (ось ординат).

3.2. 80-процентный гамма-ресурс звена - это наработка, в течение которой звено не достигнет предельного износа с заданной вероятностью 0,8 - находится из выражения (4.3)

При этом $F(t) = 0,2 = 1 - \Phi^*(x)$, откуда $\Phi^*(x) = 1 - 0,2 = 0,8$. Используя табл.4.2. по $\Phi^*(x) = 0,8$ определяем, что $x = 0,842$. Следовательно

$$\frac{\frac{I_{пп}}{W} - T_{\gamma=80}}{v_{\bar{W}} \cdot T_{\gamma=80}} = 0,842, \quad (4.12)$$

Решая уравнение (4.12) относительно $T_{\gamma} = 80$, определяем 80-процентный гамма-ресурс.

2.5 Лабораторная работа №7 (2 часа).

Тема: «Расчет показателей безотказности сельскохозяйственных машин»

2.5.1 **Цель работы:** рассчитать показатели безотказности трактора ДТ-75С и транспортера ТСН-3Б.

2.5.2 **Задачи работы:**

1. Ознакомиться с теоретическими предпосылками расчёта показателей безотказности сельскохозяйственных машин на основе опытной информации.

2. На основе вариантной исходной информации рассчитать показатели безотказности тракторов ДТ-75С и транспортёров ТСН-ЗБ приближенным методом.

3. Рассчитать показатели безотказности машин (по заданному варианту) точным методом.

2.5.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

Компьютер

2.5.4 Описание (ход) работы:

Общие положения

Безотказность - это свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или некоторой наработки.

Исходной оценочной характеристикой безотказности машины и её элементов является вероятность безотказной работы $P(T)$ или вероятность появления отказа $F(T)$. Вероятность безотказной работы - это вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ объекта не возникает. Вероятность безотказной работы выражается в долях единицы или в процентах и изменяется от единицы до нуля (рис. 5.1).

Например, если $P(t_1) = 0,5$, то это означает, что при достижении наработки, равной t_1 , у 50% машин отказы не возникнут.

Характеристикой, обратной безотказности машин, является вероятность появления отказа $F(T)$, которая дает представление о количестве отказавших машин или числе отказов от начала эксплуатации до заданной наработки [1].

Вероятности $P(T)$ и $F(T)$ в сумме (как обратные функции) равны единице

$$F(T) = 1 - P(T) \quad (5.1)$$

Кроме интегральных функций $F(T)$ и $P(T)$ характеристики безотказности могут быть представлены функцией плотности вероятности, которая может быть построена для любого закона распределения после того, как были определены его параметры (рис. 5.2).

Из графика функции плотности вероятности (см. рис. 5.2) видно, что число отказов машин N_0 в любом интервале наработок от T_1 до T_2 , определяется как площадь T_1abT_2 , или как вероятность середины интервала $f(T_c)$, умноженная на длину интервала $(T_2 - T_1)$.

Вероятность появления отказа в интервале $T_2 - T_1$, или количество отказов на этом участке зависит не только от $f(T_c)$, но и от количества исправных машин $N_H(T_1)$ к наработке T_1 которое определяется интегральной функцией $P(T_1)$

$$P(T_1) = N_H(T_1) = \int_{T_1}^{\infty} f(T) dt. \quad (5.2)$$

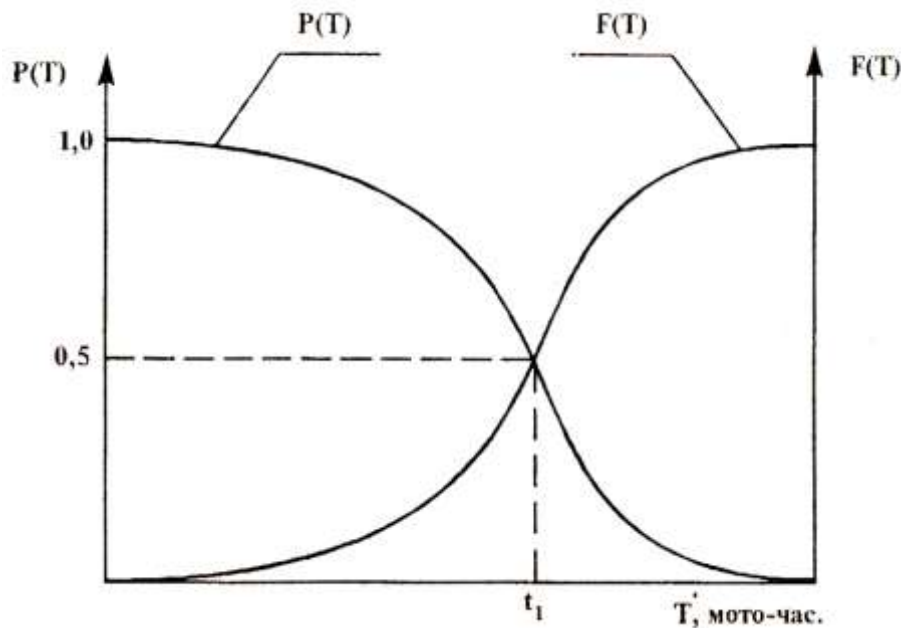


Рис. 5.1 – Графики изменения функции $P(T)$ и $F(T)$

Другими словами, количество исправных машин $N_H(T_1)$ характеризует вероятность безотказной работы машины от начала наблюдения и до наработки T_1 (см. рис. 5.2).

Безотказность изделий оценивается такими показателями, как интенсивность отказов, средняя наработка на отказ, параметр потока отказов, удельные затраты денежных средств на устранение отказов.

Интенсивностью отказов для невосстанавливаемых изделий $\lambda \left(\frac{\text{кол.отказов}}{\text{ед.наработки}} \right)$ называется отношение количества отказавших машин N_0 в интервале наработок от T_1 до T_2 (см.рис. 5.2) к количеству исправных машин (к наработке T_1) и разности $T_2 - T_1$

$$\lambda = \frac{N_0(T_2) - N_0(T_1)}{(T_2 - T_1) \cdot N_H(T_1)}, \quad (5.3)$$

где $N_0(T_1)$ и $N_0(T_2)$ - количество отказов машин от начала наблюдения и соответственно до наработки T_1 или T_2 ;

$N_H(T_1)$ - количество машин, у которых не было отказов от начала наблюдения и до наработки T_1 .

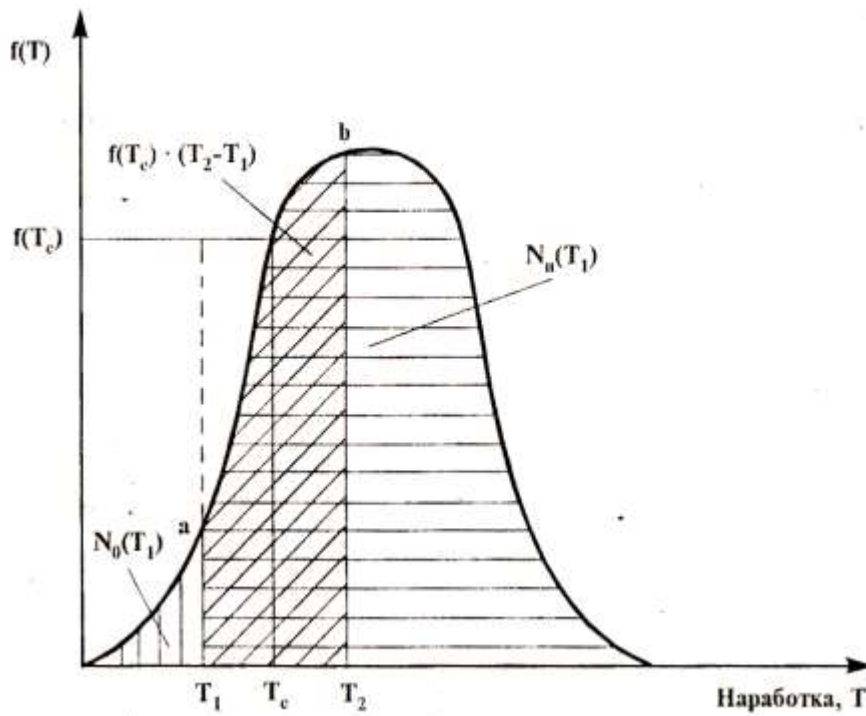


Рис. 5.2 – Функция плотности вероятности (к определению интенсивности отказов)

Интенсивность отказов используется как характеристика безотказности в тех случаях, когда при появлении ресурсного отказа машины из наблюдения исключаются.

В общем виде интенсивность отказов может быть представлена уравнением

$$\lambda = \frac{f(T)}{P(T)} . \quad (5.4)$$

Средняя наработка на один отказ $\bar{T}_0$ представляет собой среднее значение наработки невосстанавливаемых объектов между отказами и показывает, какая наработка в среднем приходится на один отказ (ед. наработки / отказ)

$$\bar{T}_0 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{T_i}{m_i} , \quad (5.5)$$

где N - количество наблюдаемых машин;

T_i - наработка i -ой машины за время наблюдения;

m_i - число отказов i -ой машины за время наблюдения.

Средняя наработка на отказ может быть подсчитана по приближённому уравнению

$$\bar{T}_0 = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_i}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N m_i} , \quad (5.6)$$

Оценочные показатели эксплуатационной безотказности машин определяются в большинстве случаев по таким планам наблюдений, при которых у всех наблюдаемых машин производят многократное устранение всех эксплуатационных отказов, не снимая при этом машины с испытания. При таких планах наблюдений на всем этапе испытания машин их количество остается постоянным ($N = N_n = \text{const}$). Для того чтобы отличать интенсивность отказов при $N = \text{const}$, её принято называть параметром потока отказов и обозначать через ω .

Так как в этих случаях $N_H(T_1) = N = \text{const}$, $P(T) = 1$, то формулы (5.3) и (5.4) примут вид

$$\omega = \frac{N_0(T_2) - N_0(T_1)}{(T_2 - T_1) \cdot N}, \quad (5.7)$$

$$\omega = f(T). \quad (5.8)$$

Средний параметр потока отказов можно определить из выражения

$$\bar{\omega} = \frac{1}{T_0}, \quad (5.9)$$

позволяющего определить среднее число отказов m_{CP} в течение определенной наработки T_3

$$m_{CP} = \bar{\omega} \cdot T_3. \quad (5.10)$$

Экономическими показателями безотказности являются удельные затраты времени, труда и денежных средств на устранение эксплуатационных отказов. Так, удельные затраты денежных средств подсчитываются по уравнению:

$$\bar{\partial}_{\partial O} = \frac{1}{N} \sum_1^N \frac{D_{\partial O i}}{T_i}, \quad (5.11)$$

где N - количество наблюдаемых машин;

$D_{\partial O i}$ - суммарные затраты денежных средств на устранение отказов i -ой машины;

T_i - наработка i -ой машины до конца наблюдения.

Порядок выполнения работы

1. Исходная информация по отказам тракторов ДТ-75С и транспортеров ТСН-3Б приведена в таблицах

На основании данных исходной информации составлены варианты заданий, отличающихся от исходной информации наработкой до эксплуатационных отказов и до предельного состояния.

Наработка до предельного состояния по каждому трактору ДТ-75С или транспортёру ТСН-3Б принимается равной наработке до последнего отказа.

Количество отказов и суммарная стоимость их устранения принимается по всем вариантам в соответствии с данными таблиц.

В качестве примера приведены результаты расчёта показателей безотказности приближённым методом.

Определяется средняя наработка на отказ по формуле (5.5)

$$\bar{T}_0 = \frac{1}{10} \left[\frac{1500}{6} + \frac{1800}{7} + \frac{2150}{7} + \dots + \frac{3300}{8} \right] = 325 \text{ мото-час./отказ}$$

В соответствии с формулой (5.6) средняя наработка может быть определена приближенным методом

$$\bar{T}_0 = \frac{1500 + 1800 + 2150 + \dots + 3300}{6 + 7 + 7 + \dots + 8} = \frac{25290}{79} = 320 \text{ мото-час./отказ}$$

Подсчитывается средний параметр потока отказов по уравнению (5.9)

$$\bar{\omega} = \frac{1}{325} = 0,0030 \text{ отказа/ мото-час.}$$

Более точный подсчёт среднего параметра потока отказов по формуле (5.7) может быть произведен на основании поинтервальной обработки исходной информации с указанием числа отказов и количества работающих машин в каждом интервале.

Среднее значение параметра потока отказов ω в этом случае подсчитывается как среднее арифметическое поинтервальных значений

$$\bar{\omega} = \frac{0,0035 + 0,0025 + 0,0031 + \dots + 0,0058}{6} = 0,0032 \text{ отказа/ мото-час.}$$

Среднее число отказов m_{CP} за наперед заданное число планируемой наработки, например, за 2000 мото-час. на один трактор определяется по уравнению (5.10)

$$m_{CP} = 0,0032 \cdot 2000 = 6,4 \text{ отказа/ мото-час.}$$

Средняя удельная стоимость устранения эксплуатационных отказов определяется по формуле (5.11)

$$\bar{\partial}_{\Sigma 0} = \frac{1}{10} \left[\frac{216}{1500} + \frac{108}{1800} + \frac{152}{2150} + \dots + \frac{170}{3300} \right] = 0,0853 \text{ евро/ мото-час.}$$

2. Для расчета показателей безотказности точным методом строится статистический ряд распределения наработок между смежными эксплуатационными отказами (а не по наработкам машин) после выбора величины интервала A и определения наработки между всеми смежными отказами T_{oi} .

Например, для трактора №1 межотказные наработки будут равны: $T_{o1} = 100$ мото-час.; $T_{o2} = 157 - 100 = 57$ мото-час.; $T_{o3} = 570 - 157 = 413$ мото-час.; $T_{o4} = 740 - 570 = 170$ мото-час.; $T_{o5} = 1010 - 740 = 270$ мото-час.; $T_{o6} = 1500 - 1010 = 490$ мото-час.

Приняв величину интервала $A = 200$ мото-час, , строим статистический ряд распределения эксплуатационных отказов

Методом сумм определим среднюю наработку на отказ $\bar{T}_0$ и среднее квадратическое отклонение σ , для чего преобразуем следующим образом: добавим ещё две строки, при этом в третьей строке, примерно на её середине, делается прочерк одного интервала, а в четвертой строке делаются три прочерка - средний против прочерка третьей строю и ещё два. Производится последовательное сложение частот от начала строки и до прочерка и от конца строки и до прочерка, суммы чисел подсчитываются, обозначаются соответственно коэффициентами a_1 и b_1

Аналогичным образом показываются суммы чисел от начала четвертой строки и до первого прочерка и от конца строки и до третьего прочерка, которые обозначаются соответственно a_2 и b_2 .

После определения коэффициентов a_1, a_2, b_1, b_2 определяются значения коэффициентов M_1 и M_2 по формулам

$$M_1 = a_1 - b_1, \quad (5.12)$$

$$M_2 = a_1 + b_2 + 2a_2 + 2b_2, \quad (5.13)$$

Для нашего примера

$$M_1 = 84 - 12 = 72;$$

$$M_2 = 84 + 12 + 2 \cdot 29 + 2 \cdot 6 = 166.$$

Среднее значение показателя надёжности (наработки на отказ) и среднее квадратическое отклонение определяются по уравнениям (при $N = \sum m_i$)

$$\bar{T}_0 = t_c - \frac{A \cdot M_1}{N}, \quad (5.14)$$

$$\sigma = A \cdot \sqrt{\frac{M_2 - \frac{M_1^2}{\sum m_i}}{\sum m_i}}, \quad (5.15)$$

где t_c - значение середины того интервала

Тогда средняя наработка на отказ и среднее квадратическое отклонение будут равны

$$\bar{T}_0 = 500 - \frac{200 \cdot 72}{79} = 318 \text{ мото-час./отказ};$$

$$\sigma = 200 \cdot \sqrt{\frac{166 - \frac{72^2}{79}}{79}} = 226 \text{ мото-час./отказ}.$$

Затем определяется коэффициент вариации по выражению

$$v = \frac{\sigma}{T_0} = \frac{226}{318} = 0,71.$$

Так как $v > 0,33$, рассеивание наработок между эксплуатационными отказами подчинено закону распределения Вейбулла. Определяются параметры закона распределения Вейбулла

$$b \approx 1,4; C_B \approx 0,659; a \approx \frac{\sigma}{C_B} = \frac{226}{0,659} = 353 \text{ мото-час./отказ}.$$

Для определения доверительных границ рассеивании средней наработки на отказ задаемся доверительной вероятностью α , определяем табличные значения коэффициентов Вейбулла r_1, r_3 и используем формулы

$$\bar{T}_0^H = \bar{T}_0 \sqrt[b]{r_3}, \quad (5.16)$$

$$T_0^B = \bar{T}_0 \sqrt[b]{r_1}, \quad (5.17)$$

где r_1, r_3 - коэффициенты Вейбулла, определяемые в зависимости от заданной величины доверительной вероятности α и повторности информации $N = \sum m_i$.

Для нашего примера при $\alpha = 0,90$ и $N = \sum m_i = 79$ определяем $r_1 = 1,16$; $r_3 = 0,87$, а по формулам (5.16), (5.17) подсчитываем доверительные границы рассеивания

$$T_o^H = 318 \cdot \sqrt[1,5]{0,87} = 289 \text{ мото-час./отказ};$$

$$T_o^B = 318 \cdot \sqrt[1,5]{1,16} = 384 \text{ мото-час./отказ}.$$

Для определения поинтервальной и средней скорости появления отказов при условии, что $\sum m_i = N$, будем использовать формулы (5.2) и (5.4). Так, определим

интенсивность отказов λ в интервале наработок от 400 до 600 мото-час. на отказ), пользуясь табулированными значениями $f(t)$ и $P(T)$ для распределения Вейбулла и уравнением (5.3). При $t = 500$ мото -час. /отказ, $t/a = 500/353 = 1,42$ и $b = 1,5$ из табл. 1.6 определяем, что $af(1,42) = 0,29$. Тогда $f(500) = 0,29/353 = 0,0008$ отказа/мото-час. Находим значения $F(t)$ и $P(T)$ при $t = 400$ мото-час./ отказ: $t/a = 400/353 = 1,13$, $b = 1,5$: $F(t) = 0,68$ и $P(t) = 0,32$. Интенсивность отказов для данного интервала будет равна

$$\lambda(400...600) = \frac{f(500)}{P(400)} = \frac{0,0008}{0,32} = 0,0025 \text{ отказа/мото-час.}$$

Интенсивность отказов в данном интервале может быть определена по приближенному уравнению (5.3) и статистическому ряду (табл. 5.7). В этом случае для интервала 400...600 мото-час. $N_o(T_2) = 72$, $N_o(T_1) = 55$, $T_2 - T_1 = 600 - 400 = 200$ мото-час., $N_H(T_1) = 24$ и

$$\lambda = \frac{72 - 55}{200 \cdot 24} = 0,0035 \text{ отказа/мото-час.}$$

Аналогичным способом определяется интенсивность отказов в любом интервале наработок, а средняя интенсивность подсчитывается как среднее арифметическое частных значений.

2.6 Лабораторная работа №8 (2 часа).

Тема: «Экспериментальное определение износа методом искусственных баз»

2.6.1 Цель работы: определить износ вкладыша коренного подшипника двигателя Д-240 методом искусственных баз

2.6.2 Задачи работы:

1. Изучить конструкцию машины трения МИ-1М.
2. Ознакомиться с методикой определения износа методом искусственных баз.
3. Определить величину износа заданного образца.
4. Подготовить отчёт по работе и ответы на вопросы.

2.6.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Машина МИ-1М.
2. Твердомер ТП-3 "Виккерс".
3. Ключи рожковые 22х24 и 27х32.
4. Образцы для износных испытаний: вырезки из вкладыша коренного подшипника двигателя Д-240, тела вращения из закаленной стали – Сталь 45.

2.6.4 Описание (ход) работы:

1. Ознакомиться с устройством машины МИ-1М, Преобладающим видом трения при работе деталей тракторов и сельхозмашин является трение скольжения. Наиболее типичное сопряжение, работающее в условиях трения скольжения, - сопряжение "вал - подшипник скольжения".

Лабораторные исследования на изнашивание таких сопряжений проводятся на машине МИ-1М, которая применяется для испытания на износ подшипниковых материалов. Строго говоря, машина МИ-1 (машина Амслера) была создана для механического испытания металлов на износ, имитирующего условия службы железнодорожных бандажей на рельсовых железнодорожных путях, а именно: два образца металлов в виде двух одинаковых дисков-роликов диаметром по 40 мм (или 35 мм) и шириной до 10 мм под большой нагрузкой (от 28...30 кГс до 250 кГс) катятся друг по другу с некоторым процентом скольжения (от 1 до 10%), Кроме того, верхний ролик может иметь ещё переменное поперечное движение вперед и назад от 2 до 8 мм. Однако в настоящее время на верхнюю ось машины вместо диска устанавливается образец в виде вилки (сухарика) или буксы, который испытывается на износ при трении скольжения о нижний вращающийся диск либо всухую, либо при смазке.

На верхнем шпинделе 1 машины МИ-1М и нижнем шпинделе 2 (рис. 6.1) закрепляются образцы для испытания. Нижний шпиндель 2 с валом 4 вращается с постоянной частотой, равной 200 мин⁻¹; счетчик 11 фиксирует число оборотов за время испытания. Верхний шпиндель 1 с валом 3 может вращаться с частотой, равной 180 мин⁻¹ или находиться в состоянии покоя. Привод от электродвигателя происходит через шестерни 16, 17, а вращение с вала 6 на верхний шпиндель передается парой цилиндрических зубчатых колес - 19 и 20. Шестерня 19 сидит на валу свободно, а то или иное положение фиксируется винтом. Для приведения в движение верхнего шпинделя шестерня 19 смещается по валу влево до упора.

При вращении обоих шпинделей на машине осуществляется трение качения с проскальзыванием в 10 % , Изменяя диаметры используемых дисков, можно изменять величину проскальзывания в ту или иную сторону.

Давление между образцами осуществляется весом узла подвижной рамы (каретки) 5 и пружиной 7, усилие которой передаётся посредством скобы 21, соединённой с тягой пружины штифтом. Увеличение усилия осуществляется натяжением пружины винтом 22 и определяется по шкале 8.

Измерение момента трения, возникающего между испытуемыми образцами, производится при помощи маятникового силоизмерителя 12. В зависимости от величины момента трения маятник отклоняется от вертикального положения на определённый угол.

Величина момента трения определяется по одной из четырёх шкал. На машине установлена одна линейка 13 с двумя шкалами, каждая из которых соответствует определённой степени нагрузки.

Все узлы и агрегаты машины смонтированы в корпусе 18.

При подготовке машины к работе для крепления образцов следует полностью освободить винт 22 скобы, откинуть скобу влево, освободив таким образом подвижную раму 5 и поднять ее до упора вверх.

Образцы закрепляются на шпинделях машины при помощи гаек: гайка верхнего шпинделя имеет правую резьбу, а гайка нижнего - левую.

После установки и закрепления образцов подвижная рама (каретка.) 5 опускается до их соприкосновения. Направляющие лыски обоймы эксцентрика - 9, 10 должны находиться в вертикальном положении. При значительном несовпадении челюстей каретки и направляющих лысок обоймы, поворот последней может быть легко произведен при вращении вала машины вручную, после чего закрепляется скоба 21.

Вес деталей каретки создаёт давление между образцами, равное 280...300 Н. Дальнейшее увеличение нагрузки осуществляется натяжением пружины 7 при помощи винта 22 и определяется по шкале 8.

Во избежание перегрузки машины рекомендуется создавать в начале малое давление между образцами, затем увеличивать это давление постепенно.

На машине имеется приспособление для записи графика изменения момента трения в процессе испытания. Приспособление состоит из червячного редуктора, линейки 13, диска 15, барабана 14.

На маятник машины одевают грузы, приблизительно соответствующие ожидаемому моменту трения, с превышением в сторону ближайшего груза, а измерение ведется при этом по соответствующей шкале линейки.

При снятых грузах измерение ведется по шкале 0-10 кГс; при использовании одного груза с клеймом 50 кГс, измерение ведется по шкале 0-50 кГс, т.е. клеймо груза соответствует верхнему пределу измерения шкалы, по которой требуется вести измерение.

2. Ознакомиться с методикой определения износа методом искусственных баз.

Сущность метода искусственных баз заключается в том, что на испытываемую поверхность наносится отпечаток в виде лунки от шарика, конусного или призматического индентора. Затем измеряется диагональ отпечатка до и после испытания на машине трения. По изменению диагонали отпечатка определяется линейный износ детали.

Для нанесения отпечатка (базы) может использоваться, например, прибор для измерения твердости вдавливанием алмазной пирамиды (твердомер ТП-3 "Виккерс").

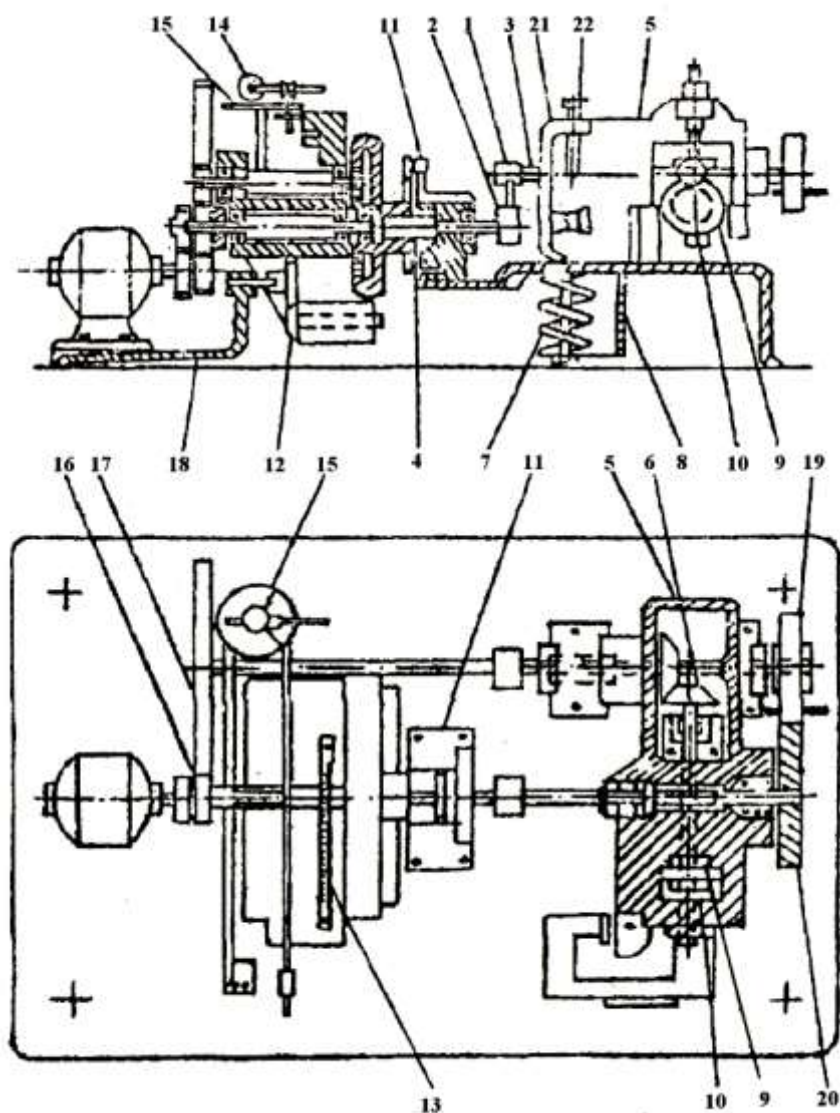


Рис. 6.1 – Схема устройства машины МИ-ИМ: 1 - верхний шпиндель; 2 - нижний шпиндель; 3, 4, 6 - валы; 5 - рама; 7 - пружина; 8 - шкала; 9, 10 - обоймы эксцентрика; 11 - счетчик; 12 - силоизмеритель; 13 - линейка; 14 - барабан; 15 - диск; 16, 17, 19, 20 - шестерни; 18 - корпус; 21 - скоба; 22 - винт

Прибор (рис. 6.2) имеет неподвижную станину, в нижней части которой установлен столик 1, перемещающийся по вертикали вращением маховика 2. Образец устанавливают на столике испытуемой поверхностью (перпендикулярной к действующей силе) вверх и затем поднимают столик почти до соприкосновения образца с алмазной пирамидой, закрепленной в шпинделе 3. Нажатием педали пускового рычага 4 приводят в действие нагружающий механизм, который через рычаг передает давление грузов 5 на алмазную пирамиду.

Столик прибора опускают и подводят микроскоп 6. установленный на штанге, прикрепленной к станине. По микроскопу определяют длину диагонали полученного отпечатка.

В этом приборе применяют нагрузки в 1, 3, 5, 10, 20, 30, 50, 100 и 120 кГс. Чем больше выбираемая нагрузка, тем глубже проникает алмазная пирамида в испытуемый материал.

Алмазная пирамида имеет большой угол при вершине (136°) и диагональ сѐ отпечатка примерно в семь раз больше глубины отпечатка, что повышает точность измерения отпечатка даже при проникновении пирамиды на небольшую глубину и делает этот способ пригодным для определения износов.

Величина износа определяется по изменению длины диагонали отпечатка, расположенной вдоль образующей образца с помощью прибора ТП-3 "Виккерс".

Линейный износ рассчитывается по формуле

$$\Delta h = \frac{d_1 - d_2}{m_H}, \quad (6.1)$$

где Δh - линейный износ, мм;

d_1, d_2 - диагонали до и после изнашивания, мм;

m_H - коэффициент, равный 7.5 для образца из чугуна и 7 – для сплава АСМ.

При определении длины диагонали микроскопом МПВ-1 (12,5 кратного увеличения) следует иметь в виду, что цена деления шкалы барабана изменяется в зависимости от объектива. Так, при использовании объектива 9х0,20 (тубус 190) цена деления будет равна 1,33 мкм, а при объективе 10х0,30 цена деления шкалы барабана будет равна 1 мкм.

Средний износ определяется по четырем отпечаткам.

3. Определить износ заданного образца

3.1. Установить образец на шпиндель машины.

3.2. Установить контробразец на образец, смоченный маслом, осторожно опустить подвижную раму (каретку).

3.3. Придерживая рукой подвижную каретку, включить машину.

3.4. Увеличить постоянную нагрузку до 50 кГс.

3.5. Изнашивание производить 20 минут, затем машину выключить, предварительно записав момент трения. Замерить диагонали всех отпечатков.

3.6. Тщательно вытереть с поверхности образца масло и провести повторно испытание при сухом трении до схватывания, определив момент трения и время работы

до схватывания, которое сопровождается резким увеличением момента трения. Выключить машину.

3.7. Замерить диагонали отпечатков, определить износ.

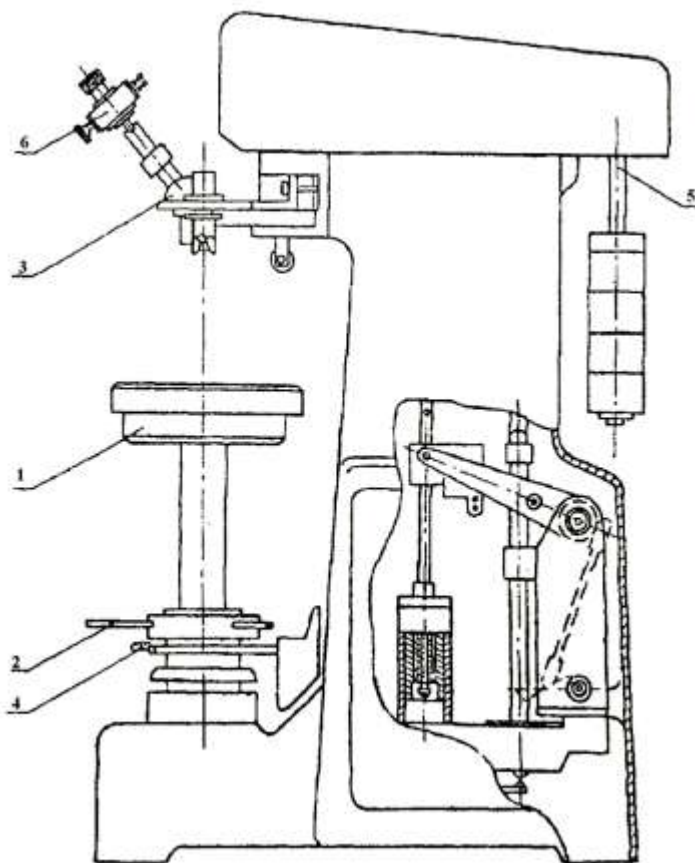


Рис. 6.2 – Схема прибора для измерения твердости вдавливанием алмазной пирамиды (измерение по Виккерсу): 1 - столик для установки образца; 2 - маховик; 3 - шток с алмазной пирамидой; 4 - педаль пускового рычага; 5 - подвеска с призмой; 6 - микроскоп.