

Министерство образования и науки Российской Федерации

Санкт-Петербургский институт машиностроения
(ВТУЗ-ЛМЗ)

Кафедра “Триботехника”



БИЛЕТЫ
для экзаменов по дисциплине
“Техническая эксплуатация и надежность промышленного
оборудования”

2007 - 2008 уч. год

- ✦Билеты - 2...8
- ✦Содержание билетов-9...39
- ✦Содержание задачи- 40...47

РАЗРАБОТАЛ

Профессор, д.т.н.

Ефремов Л. В.

2007

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1

По дисциплине: Техническая эксплуатация и надежность промышленного оборудования

1. Цели и задачи технической эксплуатации
2. Формирование повреждения и отказа элемента машины
3. Задача

Утвержден на заседании кафедры " 20 " декабря 2007 г.

Протокол № _____

Зав. Кафедрой

Скотникова М.А.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 2

По дисциплине: Техническая эксплуатация и надежность промышленного оборудования

1. Техническая эксплуатация как производственный процесс
2. Характеристики выборки случайных величин
3. Задача

Утвержден на заседании кафедры " 20 " декабря 2007 г.

Протокол № _____

Зав. Кафедрой

Скотникова М.А.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 3

По дисциплине: Техническая эксплуатация и надежность промышленного оборудования

1. Техническая и коммерческая эксплуатация
1. Оценка долговечности элемента машины с учетом вида деградиационного процесса
2. Задача

Утвержден на заседании кафедры " 20 " декабря 2007 г.

Протокол № _____

Зав. Кафедрой

Скотникова М.А.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 4

По дисциплине: Техническая эксплуатация и надежность промышленного оборудования

1. Элементы технической эксплуатации
2. Основные понятия теории вероятности
3. Задача

Утвержден на заседании кафедры " 20 " декабря 2007 г.

Протокол № _____

Зав. Кафедрой

Скотникова М.А.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 5

По дисциплине: Техническая эксплуатация и надежность промышленного оборудования

1. Техническое обслуживание и ремонт машин
2. Общие понятия о показателях надежности.
3. Задача

Утвержден на заседании кафедры " 20 " декабря 2007 г.

Протокол № _____

Зав. Кафедрой

Скотникова М.А.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 6

По дисциплине: Техническая эксплуатация и надежность промышленного оборудования

1. Стратегии ремонтов машин.
2. Вероятностная модель деградации узла с линейной функцией
3. Задача

Утвержден на заседании кафедры " 20 " декабря 2007 г.

Протокол № _____

Зав. Кафедрой

Скотникова М.А.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 7

По дисциплине: Техническая эксплуатация и надежность промышленного оборудования

2. Системы ППР и ППО.
3. Показатели надежности элементов машины
4. Задача

Утвержден на заседании кафедры " 20 " декабря 2007 г.

Протокол № _____

Зав. Кафедрой

Скотникова М.А.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 8

По дисциплине: Техническая эксплуатация и надежность промышленного оборудования

1. Виды и показатели плановых ремонтов. Ремонтный цикл.
2. Показатели долговечности и ремонтпригодности машины
5. Задача

Утвержден на заседании кафедры " 20 " декабря 2007 г.

Протокол № _____

Зав. Кафедрой

Скотникова М.А.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 9

По дисциплине: Техническая эксплуатация и надежность промышленного оборудования

1. Оценка нормативов ремонта машин по надежности их элементов
2. Показатели безотказности машины
3. Задача

Утвержден на заседании кафедры " 20 " декабря 2007 г.

Протокол № _____

Зав. Кафедрой

Скотникова М.А.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 10

По дисциплине: Техническая эксплуатация и надежность промышленного оборудования

1. Методы контроля технического состояния машин и их элементов
2. Показатели надежности. Общие сведения.
3. Задача

Утвержден на заседании кафедры " 20 " декабря 2007 г.

Протокол № _____

Зав. Кафедрой

Скотникова М.А.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 11

По дисциплине: Техническая эксплуатация и надежность промышленного оборудования

1. Техническая диагностика. Обоснование актуальности
2. Закон распределения Вейбулла
3. Задача

Утвержден на заседании кафедры " 20 " декабря 2007 г.

Протокол № _____

Зав. Кафедрой

Скотникова М.А.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 12

По дисциплине: Техническая эксплуатация и надежность промышленного оборудования

1. Техническая диагностика. Основные понятия.
2. Основные понятия теории вероятности
3. Задача

Утвержден на заседании кафедры " 20 " декабря 2007 г.

Протокол № _____

Зав. Кафедрой

Скотникова М.А.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 13

По дисциплине: Техническая эксплуатация и надежность промышленного оборудования

1. Диагностические параметры.
2. Характеристики выборки случайных величин
3. Задача

Утвержден на заседании кафедры " 20 " декабря 2007 г.

Протокол № _____

Зав. Кафедрой

Скотникова М.А.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 14

По дисциплине: Техническая эксплуатация и надежность промышленного оборудования

1. Классификация допустимых диагностических параметров
2. Принцип образования повреждения и отказа элемента машины
3. Задача

Утвержден на заседании кафедры " 20 " декабря 2007 г.

Протокол № _____

Зав. Кафедрой

Скотникова М.А.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 15

По дисциплине: Техническая эксплуатация и надежность промышленного оборудования

1. Характеристики изменения диагностического параметра
2. Отказы и повреждения. Классификация.
3. Задача

Утвержден на заседании кафедры " 20 " декабря 2007 г.

Протокол № _____

Зав. Кафедрой

Скотникова М.А.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 16

По дисциплине: Техническая эксплуатация и надежность промышленного оборудования

1. Методика прогнозирования технического состояния машины при диагностике.
2. Процессы и состояния элементов машин.
3. Задача

Утвержден на заседании кафедры " 20 " декабря 2007 г.

Протокол № _____

Зав. Кафедрой

Скотникова М.А.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 17

По дисциплине: Техническая эксплуатация и надежность промышленного оборудования

1. Методы и средства технической диагностики.
2. Основные понятия о надежности машин. Состояния машин.
3. Задача

Утвержден на заседании кафедры " 20 " декабря 2007 г.

Протокол № _____

Зав. Кафедрой

Скотникова М.А.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 18

По дисциплине: Техническая эксплуатация и надежность промышленного оборудования

1. Методы и средства технической диагностики. Классификация.
2. Основные понятия о надежности машин. Свойства.
3. Задача

Утвержден на заседании кафедры " 20 " декабря 2007 г.

Протокол № _____

Зав. Кафедрой

Скотникова М.А.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 19

По дисциплине: Техническая эксплуатация и надежность промышленного оборудования

1. Классификация средств технической диагностики по принципу действия
2. Актуальность исследований надежности при эксплуатации машин.
3. Задача

Утвержден на заседании кафедры " 20 " декабря 2007 г.

Протокол № _____

Зав. Кафедрой

Скотникова М.А.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 20

По дисциплине: Техническая эксплуатация и надежность промышленного оборудования

1. Устройство средств технической диагностики
2. Актуальность исследований надежности при эксплуатации машин. .
3. Задача

Утвержден на заседании кафедры " 20 " декабря 2007 г.

Протокол № _____

Зав. Кафедрой

Скотникова М.А.

КРАТКИЕ ОТВЕТЫ НА ПЕРВЫЕ ВОПРОСЫ БИЛЕТОВ

1. Б1в1 Цели и задачи технической эксплуатации

Цель ТЭ - обеспечение экономичной и надежной работы ПО при его коммерческой эксплуатации с минимальными затратами.

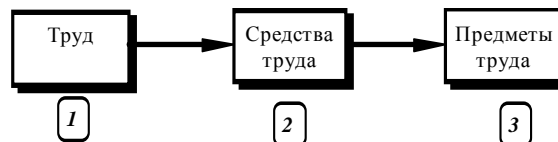
Основными задачами технической эксплуатации ПО являются;

- обеспечение высокой степени готовности к использованию по назначению;
- обеспечение требуемого уровня надежности и безопасности работы;
- содержание ПО в исправном состоянии;
- рациональное использование и увеличение эксплуатационного периода ПО,
- сокращение затрат на техническую эксплуатацию и повышение коэффициента технического использования объекта конечного применения (например автомобиля)

$$K_{ми} = \frac{T_{э}}{T_{э} + T_{р} + T_{мо}}$$

2. Б2в1 Техническая эксплуатация как производственный процесс.

Техническая эксплуатация ПО представляет собой производственный процесс, который является неотъемлемой частью коммерческой эксплуатации объекта конечного применения. И на него распространяются экономические законы любых процессов производства. В соответствии с этими законами для возникновения производственного процесса необходимо иметь три элемента:



- труд как целесообразная деятельность человека;
- предмет труда, на который направлен эта деятельность;
- средства труда с помощью которых человек воздействует на предмет труда.

Привести примеры для конкретной машины.

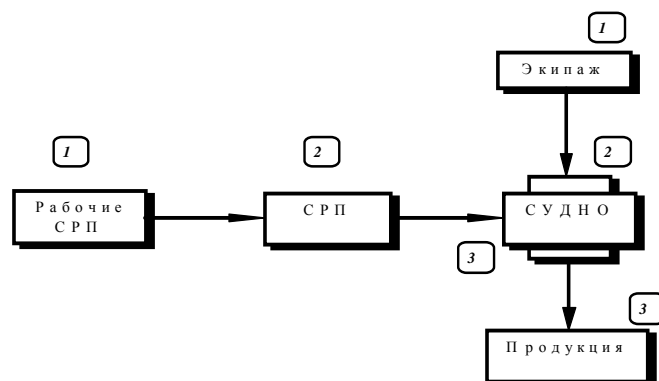
3. Б3в1 Техническая и коммерческая эксплуатация

Под коммерческой эксплуатацией ПО следует понимать производственный процесс и комплекс целенаправленных действий и затрат, направленных на получение желаемого экономического или другого эффекта. При этом ПО в этом случае является средством труда с помощью которого решается поставленная задача.

Например элементами коммерческой эксплуатации промыслового флота (основного процесса производства рыбной продукции) являются: труд экипажа судов, добываемое сырье, изготавливаемая из него и транспортируемая рыбная продукция (предметы труда) и собственно суда (средства труда).

При технической эксплуатации то же судно следует рассматривать как предмет труда, на которых направлена деятельность (труд) его экипажа и специалистов баз технического обслуживания и судоремонтных предприятия. При этом средствами труда в данном случае является комплекс документации, оборудования и оснастки

судов и указанных береговых предприятия с помощью которых осуществляется техническая эксплуатация флота (ТЭФ).



Таким образом ПО, являясь одновременно и средством труда и предметом труда. Он связывает между собой два производственных процесса - коммерческую эксплуатацию и техническую эксплуатацию.

4. Б4в1 Элементы технической эксплуатации

Цель ТЭФ - обеспечение экономичной и надежной работы ПО при его коммерческой эксплуатации с минимальными затратами. Для достижения этой цели в ТЭФ входят следующие три элемента:

- Техническое использование
- Техническое обслуживание
- Ремонт

Техническое использование – это комплекс мероприятий по управлению техникой, включая ввод в эксплуатацию, работу по выполнению основных функций и вывод из эксплуатации. При работе необходимо выполнять операции по контролю по выбору оптимальных режимов.

Техническое обслуживание – это комплекс мероприятий и средств по поддержанию ПО в нормальном техническом состоянии.

Ремонт - это комплекс мероприятий и средств по восстановлению работоспособности ПО после отработки назначенного ресурса или отказа.

5. Б5в1 Техническое обслуживание и ремонт машин.

Процессы ТО и ремонта представляют собой совокупность операций по поддержанию и восстановлению утрачиваемой со временем исправности или работоспособности судов и их элементов.

Общая цель ТО и ремонта состоит в предотвращении отказов и сохранении в течении заданного времени высокого уровня технического состояния ПО путем выполнения ремонтно - профилактических операций с минимальными затратами времени с средств.

С технологической точки зрения ТО и ремонт мало отличаются друг от друга.

Главные различия состоят в стадии выполнения и объеме работ, а так же - в организации и исполнителях этих технологических процессов, а при плановой экономике - еще и в источниках финансирования.

Техническое обслуживание (ТО) - это комплекс операций по поддержанию исправного состояния объектов, выполняемых, как правило, силами владельцев без вывода их из эксплуатации

Ремонт - это комплекс операций по восстановлению работоспособного состояния объектов, выполняемых, как правило, ремонтными или другими специализированными предприятиями с выводом их из эксплуатации.

При плановой системе экономики ТО выполнялось за счет эксплуатационных расходов при определении себестоимости продукции, а ремонт - за счет амортизационных отчислений. При рыночной экономике оба этих процесса финансируются за счет эксплуатационных расходов.

6. Б6в1 Стратегии ремонтов машин

Известно несколько организационных направлений проведения (стратегий) технических обслуживаний и ремонтов ПО. К ним, в частности, относятся:

- ремонт по мере возникновения отказов ПО,
- ремонт на основании без разборного контроля технического состояния (мониторинга) элементов ПО,
- ремонт по результатам плановых осмотров ПО (система ППО),
- планово-предупредительная система ремонтов (ППР).

Выбор стратегии ремонтов зависит от назначения и режима работы ПО. Наиболее простая система по отказу ПО обычно применяется для бытовой техники, которая ремонтируется в случае возникновения отказов.

Для ответственных машин промышленного назначения такая система не пригодна и опасна. Для нее чаще всего применяют систему ППР на основе нормативов периодичности и объемов ремонта основных видов, которые учитывают долговечность соответствующих деталей и узлов.

Для некоторых машин применяют систему ППО, при которой вопрос о необходимости ремонта решают по результатам планового освидетельствования. Обычно подобная система действует при наличии соответствующих служб надзора (например Регистра судоходства). При этом она совмещается с системой ППР.

Ремонт на основании безразборного контроля технического состояния элементов ПО требует оснащения их специальными средствами диагностики наиболее опасных процессов деградации элементов машин. Эта система дает наибольший эффект в сочетании с системой ППР.

На практике возможны и смешанные системы ТОР, когда ремонты выполняются на основе системы ППР, а часть работ по ТО - по потребности.

7. Б7в1 Системы ППР и ППО.

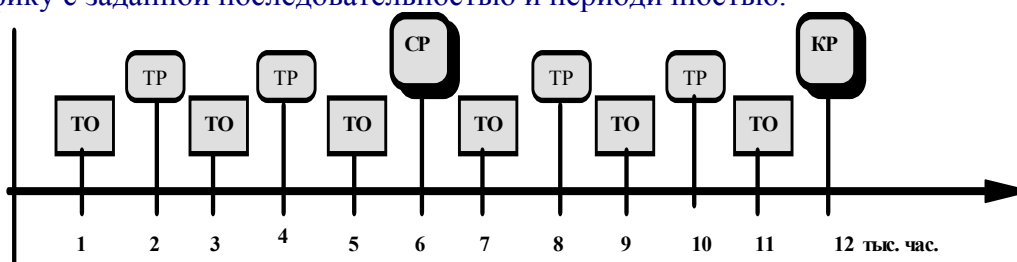
Система ППР представляет собой совокупность ремонтов нескольких видов, которые выполняются по графику с заданной последовательностью и периодичностью.

В общем случае в систему ППР входят три вида ремонта:

- текущий,
- средний,
- капитальный.

Система ППО состоит из операций по оценке технического состояния ПО через заданные промежутки времени, например ежемесячные ежеквартальные, полугодовые, годовые и т.п. осмотры. При этом объем и глубина разборки контрольных операций

увеличивается при увеличении номера ППО. нескольких видов, которые выполняются по графику с заданной последовательностью и периодичностью.



8. Б8в1 Виды и показатели плановых ремонтов. Ремонтный цикл.

Система ППР представляет собой совокупность ремонтов нескольких видов, которые выполняются по графику с заданной последовательностью и периодичностью.

В общем случае в систему ППР входят три вида ремонта:

- текущий,
- средний,
- капитальный.

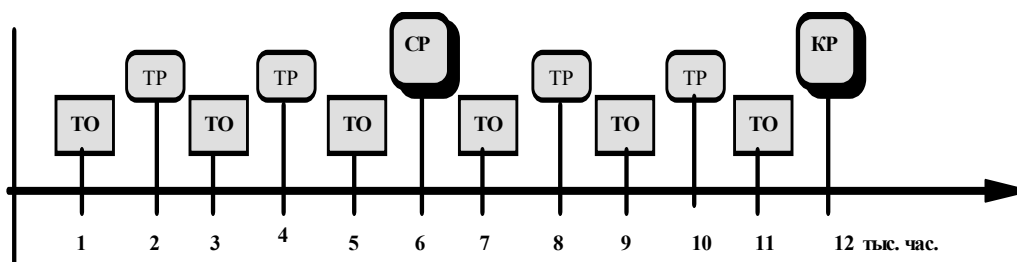
Основными характеристиками каждого у-го вида ремонта являются:

- назначенный ресурс до ремонта R_y , тыс.ч
- номенклатура работ по технологическому процессу
- трудоемкость ремонта W_y , тыс. нормо-час.
- продолжительность ремонта τ_y , тыс. час .

Соотношения между видами ремонта можно выразить следующим образом

$$\begin{aligned} R_T < R_C < R_K, \\ W_T < W_C < W_K, \\ \tau_T < \tau_C < \tau_K. \end{aligned}$$

При этом величины ресурсов должны быть кратны друг другу, что позволяет составить схему (график) ремонтов (см. рис).



Продолжительность эксплуатации от ее начала до капитального ремонта называется ремонтным циклом, который повторяется после каждого капитального ремонта. Ремонтный цикл характеризуется следующими параметрами:

- продолжительность ремонтного цикла, равная назначенному ресурсу до капитального ремонта R_K ,
- количество ремонтов каждого вида в цикле n_y ,
- суммарное число ремонтов в цикле Σn_y .

Комплексным показателем ремонтного цикла можно считать коэффициент технического использования, формула которого может быть представлена в следующем виде.

$$K_{ТИ} = \frac{R_k}{R_k + \sum_1^m n_y \tau_y},$$

где m - число видов ремонта ($m=3$).

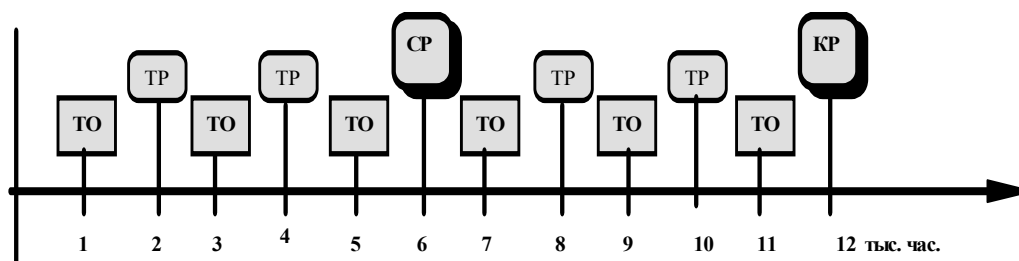
9. Б9в1 Оценка нормативов ремонта машин по надежности их элементов

Система ППР основных машин и механизмов ПО включает в себя стандартные виды ремонтов: текущий, средний и капитальный. Параметры этих ремонтов определяются по данным Руководств по эксплуатации, ТУ на ремонт или нормативам (графикам) ремонта, составленных применительно рассматриваемому элементу судна при эксплуатации судов данного типа с учетом режима их эксплуатации.

Кроме того в систему ППР включаются плановые технические обслуживания, периодичность и объем работ у которых меньше, чем у текущего ремонта.

В зависимости от содержания и объема работ технические обслуживания так же могут иметь несколько видов и обозначаться ТО-1, ТО-2, ТО-3 и т.д., или просто характеризоваться периодичностью их выполнения,

Располагая параметрами ремонтного цикла можно изобразить его схему примерно так как это показано на рисунке.



Параметры каждого вида ремонта и ТО определяются по перечню работ по обнаружению и устранению наиболее вероятных неисправностей соответствующих деталей и узлов. Иначе говоря, каждый вид ремонта и ТО, лимитируемые долговечностью конкретных элементов изделия.

Как правило, чем выше уровень ремонта (по возрастанию назначенного ресурса R_y), тем более массивные и дорогие детали лимитируют необходимость этих видов ремонта.

В дизелестроении принято, что капитальный ремонт - это ремонт связанный с подъемом коленчатого вала и ремонтом блока цилиндров. При среднем ремонте ремонтируются цилиндрические крышки и цилиндрические втулки, при текущем ремонте - поршневые кольца и клапана и т.д.

Учитывая принцип кратности ремонтов, работы по ремонту или ТО меньшего ранга как правило входят в состав ремонта более высокого ранга.

10. Б10в1 Методы контроля технического состояния машин и их элементов

Контроль технического состояния машин и их элементов в процессе их изготовления, эксплуатации и ремонта является необходимым условием обеспечения их требуемого качества и надежности.

Существует множество методов и средств контроля технического состояния. В зависимости от этапа жизненного цикла эти методы можно условно разделить на следующие группы:

- Функциональный контроль технического состояния при работе машины,
- Дефектации деталей и узлов разобранной (или еще не собранной) машины,
- Техническая диагностика состояния внутренних элементов машин без существенной разборки.

Выполнение функционального контроля входит в обязанности механиков, обслуживающих машину. Они обязаны следить за изменением всех рабочих параметров машины и поддерживать их значения в допустимых пределах путем регулировки рабочих органов или выполнения внеплановых ремонтов. Для этой цели используются штатные приборы контроля (термометры, манометры, индикаторы и др.), в том числе специальные автоматизированные системы контроля и сигнализации. Однако это направление контроля не предназначено для оценки корректировки объема ремонта.

Во время ремонтов осуществляется дефектация, т.е. более подробный контроль технического состояния деталей и узлов машин с использованием средств микрометрической, оптической, ультразвуковой, электромагнитной, капиллярной и другой дефектоскопии. Дефектация выполняется с целью установления перечня восстанавливаемых или заменяемых деталей по мере полной разборки механизма. Такой способ оценки технического состояния изделий так же не оказывает существенного влияния на сроки и объемы плановых ремонтов, поскольку трудоемкость обязательных работ по дефектации, разборке, сборке, монтажу и испытаниям машин обычно составляет более 80-90% общей трудоемкости ремонта машины.

Решить важнейшую задачу по сокращению объемов ремонта ТС можно с помощью третьего направления работ по контролю технического состояния ТС - технической диагностики.

Техническая диагностика (ТД) - это комплекс операций по оценке технического состояния и выявлению дефектов деталей без разборки или с минимальной разборкой машины с целью прогнозирования их остаточного ресурса и перечня работ по предстоящему плановому ремонту.

11. Б11в1 Техническая диагностика. Обоснование актуальности.

Для предупреждения отказов при эксплуатации машины приходится, во-первых, постоянно поддерживать рабочие параметры машин в допустимых пределах путем регулировки их рабочих органов, а во-вторых, периодически выполнять регламентированные правилами эксплуатации работы по техническому обслуживанию и ремонту, которые входят в систему планово-предупредительных ремонтов (ППР). Сроки и объемы текущих, средних и капитальных ремонтов устанавливаются с учетом вероятностной природы протекания процессов старения и возникновения повреждений. При этом ресурсы и объемы ремонта назначаются по допустимым вероятностям для основных видов повреждений, исходя из того, что любой экземпляр машины должен безотказно отработать межремонтный период эксплуатации.

Отсюда следует, что детали конкретных экземпляров судовых машин к моменту наступления срока планового ремонта могут не достигнуть предельных износов либо, наоборот превышать их. Однако при плановой системе ремонтов достижение предельных износов можно обнаружить лишь путем дефектации деталей при разборке машины во время уже выполняемого ремонта. Для того чтобы сократить объем ремонта или обосновать перенос срока его выполнения, необходимо получить информацию о техническом состоянии деталей без разборки машины.

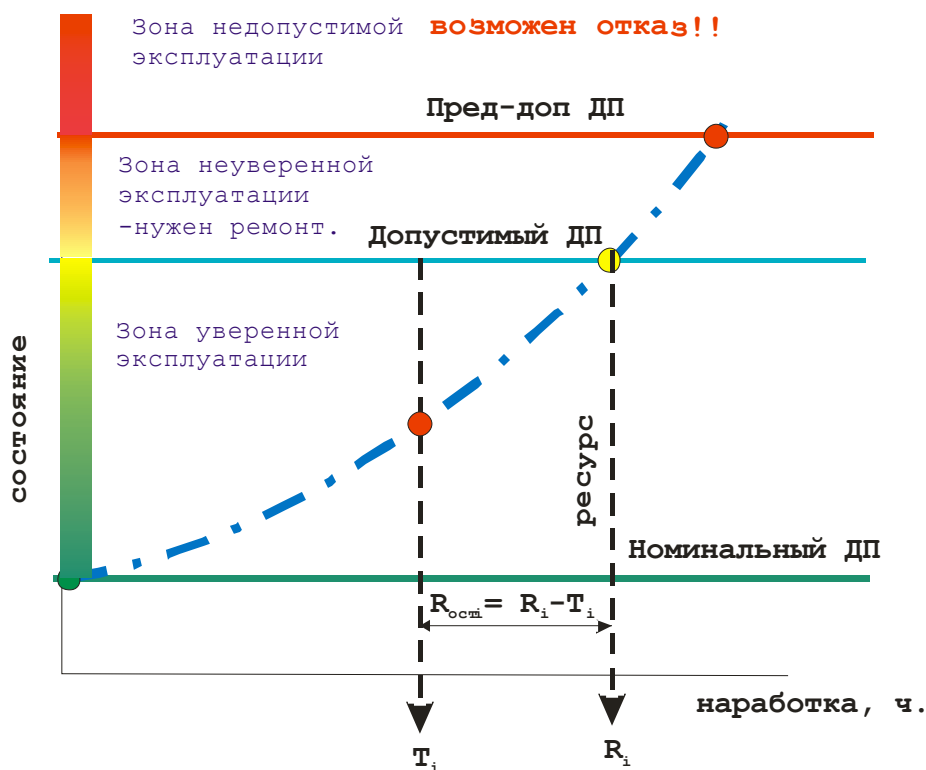
Эту актуальную экономическую задачу и призвана решать техническая диагностика с помощью специальных средств позволяющих оценивать степень повреждений внутренних деталей машины по диагностическим параметрам приборов.

12. Б12в1 Техническая диагностика. Основные понятия.

Техническая диагностика (ТД) - это комплекс операций по оценке технического состояния и выявлению дефектов деталей без разборки или с минимальной разборкой машины с целью прогнозирования их остаточного ресурса и перечня работ по предстоящему плановому ремонту.

Диагностический параметр - это физическая величина, непосредственно замеряемая. СТД и функционально зависима от степени повреждения исследуемого элемента СТС. Диагностические параметры могут быть обобщенными и частными.

Обобщенные диагностические параметры отражают интегральное влияние изнашивания различных деталей на работоспособность машины. Частный диагностирующий параметр более точно указывает на степень износа конкретной детали.



Для прогнозирования технического состояния и остаточного ресурса необходимо определять диагностические параметры через некоторые промежутки

времени, строить по ним характеристику диагностического параметра и рассчитывать остаточный ресурс по моменту достижения допустимого диагностического параметра.

13.Б13в1 Диагностические параметры.

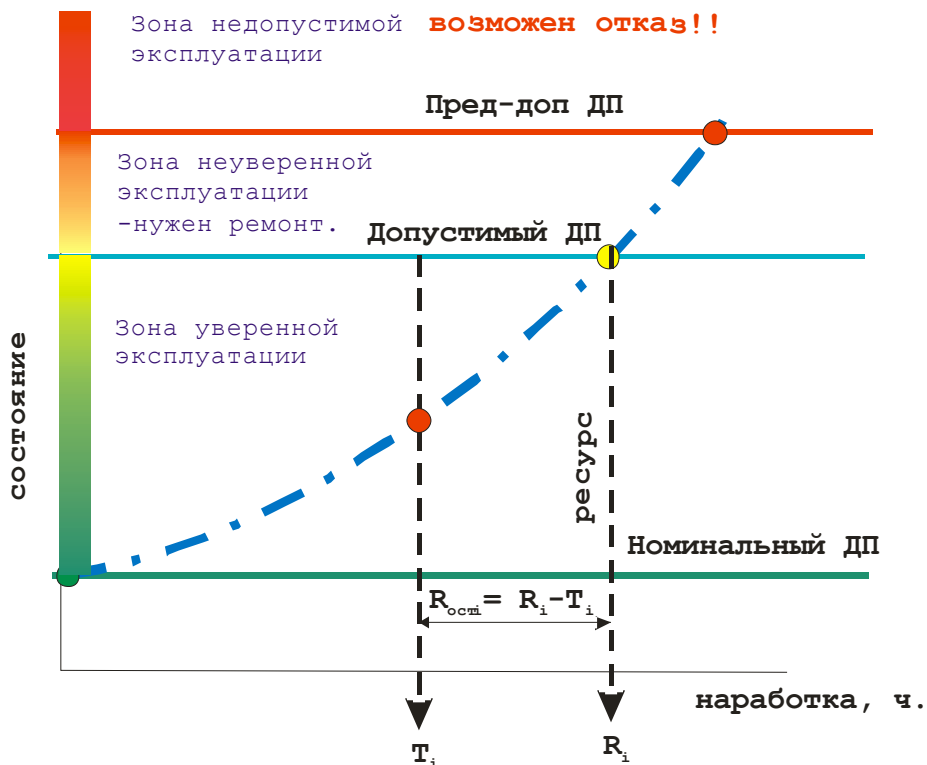
Диагностический параметр - это физическая величина, непосредственно замеряемая прибором и функционально зависящая от степени повреждения исследуемого элемента машины. Диагностические параметры могут быть обобщенными и частными.

Обобщенные диагностические параметры отражают интегральное влияние изнашивания различных деталей на работоспособность машины. Частный диагностирующий параметр более точно указывает на степень износа конкретной детали.

Величина диагностического параметра зависит от прибора и градуировки его регистрирующего органа. К таким величинам относятся сила тока в А, напряжение тока в В, линейные величины в мм, давление или вакуум в МПа, температура в °С, сопротивление в Ом, уровень вибрации в дБ и др. Корреляционная зависимость этих параметров от исследуемой физической величины, характеризующей степень повреждения элемента машины, определяется путем специальных научных исследований, что позволяет формировать шкалу прибора в размерности исследуемой физической величины (например высота столбика ртути может быть совмещена со шкалой температуры в °С.)

14.Б14в1 Классификация допустимых диагностических параметров

Важнейшим критерием оценки технического состояния машины являются номинальные, допустимые и предельные значения диагностических параметров.



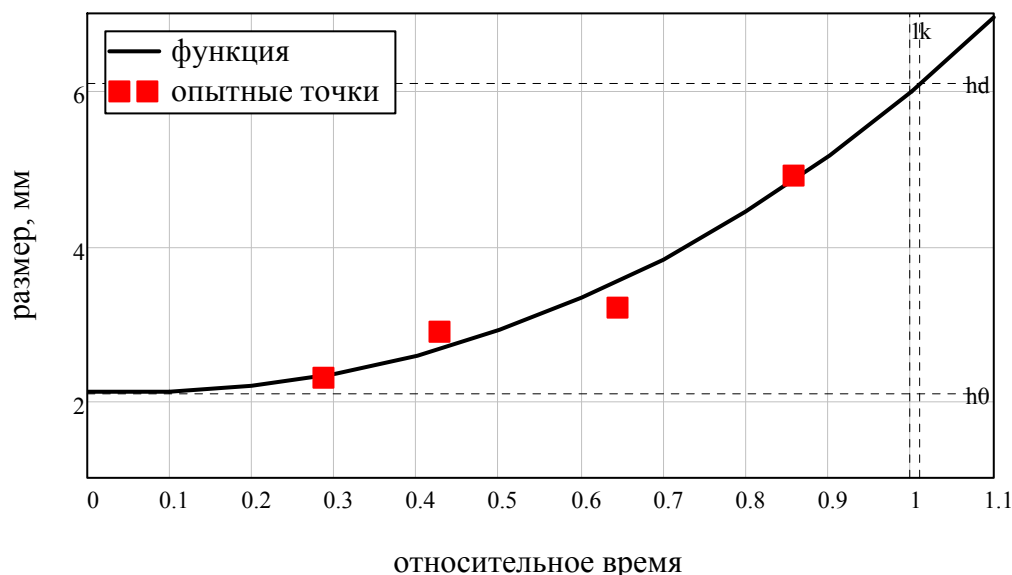
- Номинальный диагностический параметр соответствует начальному (идеальному) техническому состоянию машины, в котором оно находится после изготовления, ремонта и периода приработки деталей.
- Допустимый диагностический параметр характеризует начало перехода от нормального технического состояния к нестабильному, когда дальнейшая эксплуатация возможна, но повышается вероятность отказа.
- Предельный диагностический параметр соответствует переходу в опасную зону эксплуатации, когда вероятность отказа очень высокая (более 50%).

Таким образом, номинальный, допустимый и предельный диагностические параметры характеризуют поле работоспособности машины, которое можно разбить на три зоны:

- зона уверенной эксплуатации, ограниченная номинальной и допустимой величинами диагностического параметра;
- зона неуверенной эксплуатации, требующая восстановления номинальной величины в удобное время и ограниченная допустимой и предельной величинами диагностического параметра;
- зона недопустимой эксплуатации, требующая прекращения эксплуатации для незамедлительного ремонта (регулировки) и находящаяся выше предельной величины диагностического параметра.

В случае оснащения машины системами сигнализации они должны быть настроены на допустимый диагностический параметр, а при достижении предельной величины должен загораться красный свет и срабатывать звуковая сигнализация.

15.Б15в1 Характеристики изменения диагностического параметра



При решении задачи о прогнозировании остаточного ресурса по данным диагностирования основным вопросом является определение вида аппроксимирующей функции диагностического параметра от времени. Такая функция называется Характеристикой изменения диагностического параметра.

Исходными данными для решения задачи являются координаты отдельных точек «ДП - время», которые получаются путем периодических измерений ДП.

В первом приближении такую функцию можно построить путем проведения плавной кривой среди экспериментальных точек. Более точно эта задача решается с

применением корреляционного анализа по специальной программе на ЭВМ. (возможен дополнительный вопрос о программе расчета – см. Б16в1).

16. Б16в1 Методика прогнозирования технического состояния машины при диагностике

Максимальный эффект от диагностирования машин можно получить при условии использования полученных результатов для прогнозирования ее технического состояния. Эту задачу можно решить по рассмотренной ниже методике и программе, когда в качестве данных применяется база данных измерений ДП h_i (объемом m), выполняемых периодически после соответствующей отработки t_i /

Методика отличается от тем, что в ней за критерий технического состояния принимается не остаточный ресурс, а отношение расчетного ресурса к назначенному ресурсу до контролируемого вида ремонта или технического обслуживания. Это позволяет решать главную задачу технической диагностики – оценивать возможность продления срока службы или необходимость разборки машины для дефектации и ремонта при наступлении планового срока ремонта. Рассмотрим методику при использовании линейной функции ДП.

Расчет начинается с ввода исходных данных (фрагмент 1).

<u>ISHODNII DANNIE</u>			
Chislo toчек	m = 5	Nominal DP	h0 := 2
		Dopusk DP	hd := 6.2
Trebuemij resurs	Rn := 12	j := 0.. m - 1	
j =	t1 _j :=	h1 _j :=	2 klika
0	4	2.2	
1	6	2.3	
2	9	3.8	
3	12	3.7	
4	14	4	

Фрагмент 1

Затем следует определить переменные и параметры корреляционного уравнения (Фрагмент 2).

Это позволяет определить искомые функции изменения ДП от времени и обратную функцию ресурса от ДП. (Фрагмент 3). При этом получены формулы как для математического ожидания функции, так и ее доверительных границ. Ресурс определяется по нижней доверительной границе.

Расчет завершается построением графика и оценкой возможности дальнейшей эксплуатации машины. (фрагмент 4).

Оценка осуществляется с помощью программы, которая на основании сравнения относительного ресурса $kml = R_i/R_n$ с его нормативными значениями (плохо, если $kml < 0.9$, удовлетворительно, если $0.9 \leq kml < 1$, хорошо, если $1 \leq kml < 1.8$ и отлично, если $1.8 \leq kml$).

Результат анализа автоматически выводится на экран (см. фрагмент 4).

Anamarfoza

$$x_j := \frac{h_j - h_0}{hd - h_0} \quad y_j := t_j$$

Koefficient korrelyacii $KOR1 := \text{corr}(x, y)$ $KOR1 = 0.915$

Variacii $\text{Var}(x) = 0.043$ $\text{Var}(y) = 17$

Uglovoy koefficient $bl := KOR1 \sqrt{\frac{\text{Var}(y)}{\text{Var}(x) \cdot KOR1^2}}$ $bl = 19.799$

$y_{sl} := \text{mean}(y)$ $x_{sl} := \text{mean}(x)$ $y_{sl} = 9$ $x_{sl} = 0.286$

Postoyannaya funkci (sredniy resurs) $Al := y_{sl} - bl \cdot x_{sl}$

Otnositelnyi otkloneniya

$$\delta y_l := \sqrt{(1 - KOR1^2) \cdot \text{Var}(y)}$$
 $\delta y_l = 1.663$ $\delta x_l := \sqrt{(1 - KOR1^2) \cdot \text{Var}(x)}$ $\delta x_l = 0.084$

2

Uravneniya iznosa (srednij i) $U_ravneniya iznosa (granici)$

$$h_{sx}(t) := h_0 + (hd - h_0) \cdot \left(\frac{t - Al}{bl} \right) \quad h_{lx}(t) := h_0 + (hd - h_0) \cdot \left[\frac{t - Al}{bl} + \left(\frac{-\delta x_l}{\delta x_l} \right) \right]$$

$t_x := 0, 0.1..2 \cdot R_n$

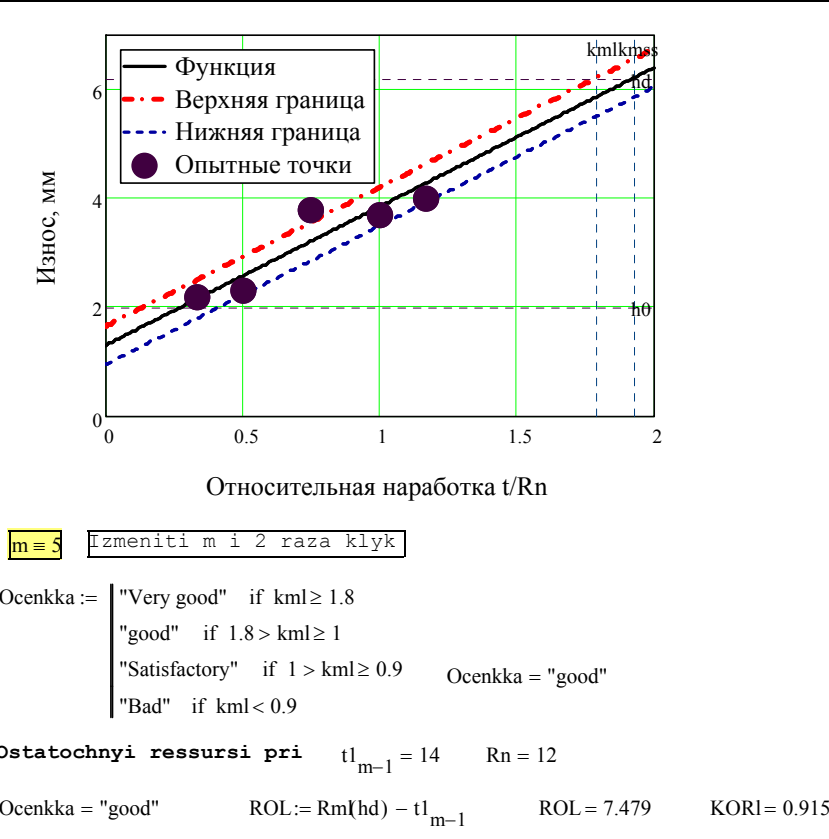
Uravneniya srednego resurca $U_ravneniya nignego resurca$

$$R_{sl}(h) := Al + bl \cdot \left(\frac{hd - h_0}{h - h_0} \right) \quad R_{m}(h) := R_{sl}(h) - \delta y_l \quad R_{m}(hd) = 14.664$$

$$R_{sl}(hd) = 23.142 \quad R_{m}(hd) = 21.479 \quad R_{sr}(hd) = 17.362$$

$$k_{ml} := \frac{R_{m}(hd)}{R_n} \quad k_{ml} = 1.79 \quad k_{mss} := \frac{R_{sl}(hd)}{R_n}$$

3



4

Фрагменты 2, 3 и 4

17. Б17в1 Методы обоснования допустимых диагностических параметров

Актуальной проблемой при внедрении методов диагностики является корректное обоснование номинальной, допустимой и предельной величин диагностических параметров. Имеется несколько направлений исследования в этой области.

Первое направление связано в установлении функциональной зависимости диагностического параметра от степени повреждения элемента. Такой способ применяют при однофакторном формировании диагностического параметра. Например, может быть установлена зависимость зазора между поршнем и цилиндровой втулкой и уровнем вибрации блока цилиндров.

Второй способ заключается в измерениях диагностического параметра при различных сочетаниях номинальных и допустимых величин, характеризующих наиболее вероятные повреждения. Затем методом многофакторного эксперимента определяются виды повреждений, которые в наибольшей мере формируют диагностический параметр.

Диагностическая информация может быть задана не только в виде числовых величин, но и в форме зависимостей какого-либо процесса от рабочих параметров. Такая зависимость, снятая на абсолютно исправном и отрегулированном машине называется эталонной. В качестве эталонной зависимости может быть использована, например, индикаторная диаграмма давления газов в цилиндрах ДВС или спектр шума в октавных полосах частот.

Методы анализа причин отклонения диагностических параметров от эталонных разрабатываются путем специальных экспериментально-теоретических исследований в лабораторных и натуральных условиях.

Сложные машины и механизмы могут иметь множество диагностических параметров. Поэтому актуальным вопросом является выбор минимального числа наиболее информативных параметров.

Решая задачи оснащения машин специализированными средствами технической диагностики, необходимо в обязательном порядке изучать надежность их деталей и узлов.

18. Б18в1 Методы и средства технической диагностики. Классификация.

В зависимости от задач в области применения методов и средств технической диагностики (СТД) их можно классифицировать по разным признакам.

С точки зрения области применения СТД подразделяются на штатные и специальные. К штатным СТД относятся все инструменты, приборы и системы контроля технического состояния, которые поставляются вместе с машиной: термометры, манометры, расходомеры, микрометрический мерительный инструмент, индикаторы, амперметры, вольтметры и др. К специальным относятся СТД, которые периодически используются техническими службами для уточнения работ по ремонту, проверки качества ремонта или определения причин выхода из строя ПО. К таким средствам можно отнести специальную виброизмерительную аппаратуру, приборы для записи крутильных колебаний, пневмоиндикаторы для контроля герметичности цилиндров ДВС, уникальные инструменты, средства неразрушающей дефектации и т.п.

С точки зрения назначения СТД подразделяются на универсальные и специализированные. Универсальные предназначены для измерения определенных физических величин и параметров на любых объектах без учета их особенностей. К таким приборам относятся все известные средства измерения электрического тока и

магнитного поля, температуры, давления и др. В эту группу входят приборы для измерения и спектрального анализа вибрации и шума, средства дефектации и т.п.

Специализированные средства создаются для диагностики конкретных элементов машин. Например, имеются специальные приборы для контроля состояния только подшипников качения или герметичности цилиндров ДВС. Как правило, специализированные средства имеют в своей конструкции универсальные средства (манометры, амперметры и т.д.).

По видам диагностирования методы и СТД подразделяются на функциональные и тестовые. Функциональные методы заключаются в измерении сигналов, возникающих при работе СТС. При тестовом методе диагностирующий сигнал образуется как отражение внешнего воздействия от диагностического средства.

19.Б19в1 Классификация средства технической диагностики по принципу действия

По принципу действия и назначению датчиков методы и СТД можно условно разделить на следующие группы

- параметрический метод;
- инструментальный метод;
- метод диагностирования по герметичности замкнутых полостей;
- вибро акустические методы;
- электрические и электромагнитные методы;
- теплоизмерительные методы;
- методы оценки износа по содержанию металла в масле и выхлопных газах;
- методы неразрушающего контроля деталей и материалов (дефектации);
- прочие методы

Далее следует рассказать об одном из этих методов более подробно (по желанию)

20.Б20в1 Устройство средств технической диагностики

В общем случае СТД состоит из следующих элементов (блоков): источник воздействия (при тестовом методе), датчик, каналы связи, усилитель и преобразователь сигнала, блоки измерения, расшифровки и регистрации (записи), диагностического параметра, блок накопления и обработки информации. При этом у современной диагностической аппаратуры блоки измерения, расшифровки, регистрации накопления и обработки информации создаются на базе видео- и микропроцессорной техники, совместимой с персональными компьютером.

В простейших случаях перечисленные элементы явно не выражены и совмещены в одном устройстве (например, у ртутного термометра).

В современных измерительных системах могут быть все указанные элементы. Конструкция датчиков зависит от принципа измерения физической величины например, тепловые поля можно мерить за счет расширения ртути или спирта, деформации биметаллической пластины, изменения цвета специальных химических составов и другими способами. О величине давления газов судят по деформации пьезодатчиков, диафрагм и др. Изменение зазоров можно определять микрометрическими (механическими) приборами, путем измерения индуктивности или емкости электрических датчиков и т.д.

Каналы связи датчиков с измерительными блоками могут быть механическими» электрическими, оптическими, лазерными, электромагнитными (с радиопередатчиками) и другими в зависимости от способа передачи энергии от датчика. В частности, оптические и электромагнитные каналы связи являются бесконтактными, что имеет большое значение для устранения помех при некоторых методах диагностики (например, при тензометрировании).

Многие СТД основаны на измерениях микроперемещений элементов датчиков, которые преобразуются в слабые электрические сигналы. Для их распознавания и предназначены блоки усиления и преобразования сигнала. Для этого используются транзисторные усилители переменного тока и другие устройства. Часто усиление сигнала связано с преобразованием одного вида энергии в другой. Например, в шлейфном осциллографе небольшие угловые перемещения зеркала шлейфа под воздействием электрического сигнала создают увеличенное изображение следа от перемещения светового луча на фотопленке.

КРАТКИЕ ОТВЕТЫ НА ВТОРЫЕ ВОПРОСЫ БИЛЕТОВ

1. Б19в2 Актуальность исследований надежности при эксплуатации машин.

Безопасная и эффективная эксплуатация машин при минимальных затратах на их техническое обслуживание и ремонт может быть обеспечен только на основе оценки надежности судовой техники на всех этапах жизненного цикла судна.

В процессе проектирования и строительства судна проводятся соответствующие расчетно-экспериментальные исследования и контрольные операции, направленные на обеспечение требуемого уровня надежности.

Информацию об отказах целесообразно собирать и обрабатывать соответствующими службами владельцев и поставщиков машин с целью своевременного принятия мер по повышению надежности техники.

Особое значение имеют расчеты надежности техники для обоснования нормативов технического обслуживания и ремонта, расхода запасных частей и для решения других эксплуатационных задач. В частности расчетно-экспериментальные исследования приходится выполнять для определения и устранения причин отказов деталей и узлов машин.

Без исследований надежности трудно решить проблему выбора средств и методов технической диагностики и прогнозирования состояний техники.

Из приведенного выше далеко неполного перечня проблем следует вывод об актуальности обучения в Вузах основам теории и практики исследования надежности судовой техники. Особенность изучения надежности техники заключается в том, что показатели надежности носят вероятностный характер. Поэтому в рамках этой дисциплины приходится изучать не только физику деградации состояния (прежде всего изнашивания) элементов машин, но и практические приемы статистического анализа и вероятностного моделирования.

2. Б18в2 Основные понятия о надежности машин. Свойства.

Надежность относится к важнейшим элементам качества продукции, т.е. совокупности свойств продукции, обуславливающая ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением.

Под понятием «надежность» следует понимать свойство объекта выполнять и сохранять во времени требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования.

В свою очередь надежность состоит из таких групп свойств как безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость.

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

Долговечность - свойство объекта сохранять работоспособность до перехода в предельное состояние при установленной системе технического обслуживания и ремонтов.

Ремонтпригодность - свойство объекта, заключающееся в приспособленности к предупреждению и обнаружению причин возникновения его отказов, повреждений и устранению их последствий путем приведения ремонтов и технических обслуживаний.

Сохраняемость - свойство объекта непрерывно сохранять исправное и работоспособное состояние в течении и после режима ожидания, хранения и (или) транспортирования.

При нормировании ремонтов и технических обслуживаний техники основное внимание уделяется показателям долговечности и ремонтпригодности с целью обеспечения безотказной работы.

3. Б17в2 Основные понятия о надежности машин. Состояния машин.

В основе науки о надежности лежит изучение состояний машин и их элементов, которые изменяются во времени, проходя различные стадии.

Если рассматривать машину в целом, то она может находиться в исправном или неисправном, работоспособном или неработоспособном состояниях.

Исправное состояние (исправность) - состояние объекта, при котором он соответствует всем требованиям, установленным нормативно-технической документацией. Неисправное состояние (неисправность) - состояние объекта, при котором он не соответствует хотя бы одному из требований, установленных нормативно-технической документацией.

Работоспособное состояние (работоспособность) - состояние объекта, при котором значения всех параметров, характеризующих его способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической документации. Напротив, неработоспособное состояние (неработоспособность) - состояние объекта, при котором значение хотя бы одного параметра, характеризующего его способность выполнять заданные функции, не соответствует требованиям нормативно-технической документации.

Следует отметить, что объект временно может находиться в неисправном, но работоспособном состоянии, т.е еще выполнять свои функции. Неработоспособное состояние означает выход машины из эксплуатации.

4. Б16в2 Процессы и состояния элементов машин.

При изучении долговечности и безотказности элементов машин (деталей и узлов) необходимо исследовать различные процессы ухудшения (деградации) их состояния, которые называются деградационными процессами.

Деградационный процесс - процесс изменения (ухудшения) технического состояния объекта под воздействием конкретных внешних и внутренних факторов. Например можно отметить такие характерные процессы деградации как изнашивание и коррозия.

Изнашивание - деградационный процесс изменения размеров, формы, массы объекта или состояния его поверхности вследствие остаточной деформации от постоянно действующих нагрузок, либо из-за разрушения поверхностного слоя при трении. Коррозия - химический или электро-химический процесс разрушения поверхности тела при его взаимодействии с внешней средой. Существуют и другие процессы – усталостные разрушения, питтинг, эрозия, кавитация и др.

Количественная оценка изнашивания и др. процессов выполняется путем измерений износов через определенные промежутки времени, что позволяет определить количественные характеристики изменения технического состояния элемента. Это - зависимость параметра, характеризующего техническое состояние элемента при рассматриваемом деградационном процессе, от наработки или продолжительности эксплуатации.

Это позволяет осуществлять контроль уровня состояния элементов с учетом вероятности входа их из строя.

Критический уровень предельного состояния - величина, достижение которой соответствует неработоспособному состоянию и возникновению отказа элемента объекта.

Назначенный уровень предельного состояния - установленная нормативно-технической документацией величина, достижение которой соответствует неисправному состоянию и возникновению повреждения элемента объекта.

Номинальное (начальное) состояние - состояние объекта после изготовления или ремонта, характеризующее его пригодность к длительной эксплуатации.

Предельное состояние - состояние объекта, при котором его дальнейшее применение по назначению недопустимо или невозможно. (см. сл. Пункт).

5. Б15в2 Отказы и повреждения. Классификация.

Ключевое место в теории надежности занимают понятия о таких событиях как отказ и повреждение. Отказ - событие, заключающееся в нарушении работоспособности объекта. Повреждение - событие, заключавшееся в нарушении исправности объекта при сохранении его работоспособности.

При определении причин отказов и повреждений с целью определения виновников и разработки мер по их устранению эти события можно классифицировать следующим образом.

Допустимое повреждение - повреждение, который возникает в результате действия естественных деградиционных процессов элемента объекта и учитываемая в первую очередь при установлении назначенного ресурса до ремонта.

Недопустимое повреждение- повреждение, возникновение которого в период отработки назначенного ресурса связано с допущенными нарушениями правил проектирования, эксплуатации, ремонта, технического обслуживания, хранения или транспортирования объекта.

Внезапный отказ - отказ, возникновение которого характеризуется постоянной во времени интенсивностью отказов и скачкообразным изменением технического состояния.

Зависимый отказ - отказ элемента объекта, обусловленный повреждениями или отказами других элементов.

Конструкционный отказ - отказ, возникший в результате нарушения установленных правил и (или) норм конструирования.

Независимый отказ - отказ элемента объекта, не обусловленный повреждениями или отказами других элементов.

Постепенный отказ (повреждение) - отказ (повреждение), возникновение которого характеризуется постепенным увеличением интенсивности отказов под воздействием одного или нескольких деградиционных процессов.

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

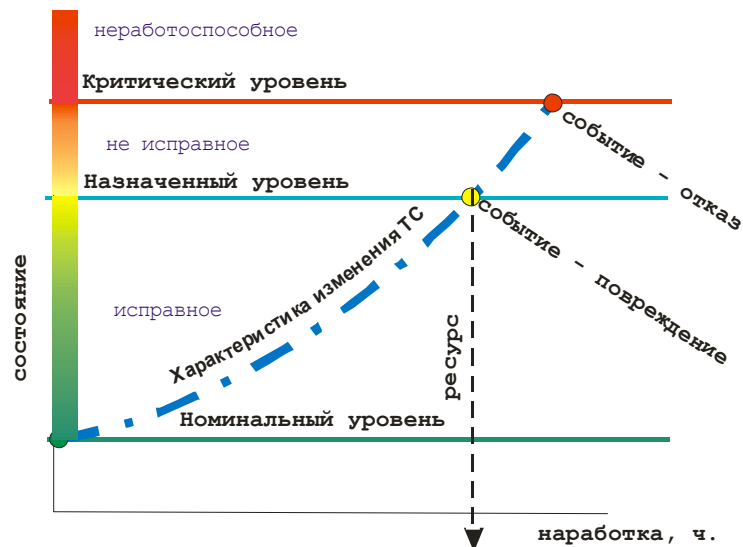
Эксплуатационный отказ - отказ, возникший в результате нарушения установленных правил и (или) условий эксплуатации объекта.

6. Б14в2 Принцип образования повреждения и отказа элемента машины

Можно считать, что повреждение наступит тогда, когда характеристика этого процесса достигает назначенного уровня предельного состояния. Нарботка до этого

момента является ресурсом детали до выполнения ремонта, поскольку дальнейшая работа увеличивает вероятность отказа.

Вероятность отказа резко возрастает при достижении критического уровня предельного состояния. (см. рисунок).



На рисунке показана принципиальная модель формирования повреждения, которая положена в основу нормирования сроков службы деталей и узлов до ремонта.

Однако при решении этой задачи следует еще учитывать вероятностную природу деградиационного процесса, что приводит к дисперсии характеристики изменения ТС и ресурса. Поэтому нормировать срок службы приходится с помощью гамма -процентного ресурса (необходимо быть готовым отвечать и на этот вопрос)

7. Б13в2 Характеристики выборки случайных величин

Большинство задач по оценке показателей надежности выполняется на основе образования и обработки выборки случайных величин (наработки до отказов, износ). В этой связи следует дать объяснение ряду ключевых определений в этой области.

Выборка (выборочная совокупность) - совокупность $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ ограниченного числа наблюдений случайной величины X .

Объем выборки - число единиц, образующих выборочную совокупность.

Размах выборки - статистическая характеристика рассеяния варьирующего признака, представляющая собой разность между наибольшим X_n и наименьшим X_1 значениями вариационного ряда $X_1 < X_2 < \dots < X_n$.

Дисперсия - математическое ожидание квадрата отклонения случайной величины X от ее математического ожидания X_{cp} :

$$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - X_{cp})^2$$

где N - объем выборки, i - номер члена выборки.

Среднее квадратичное отклонение - основной показатель вариации, представляющий собой корень второй степени из дисперсии

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - X_{cp})^2}$$

Средняя арифметическая (выборочная) - приближенное значение математического ожидания случайной величины X .

$$X_{cp} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i$$

Коэффициент вариации - отношение среднего квадратичного отклонения к средней величине варьирующего признака.

Доверительная вероятность - вероятность того, что оцениваемый вектор характеристик генеральной совокупности покрывается доверительной областью (доверительным интервалом).

Доверительные границы - границы доверительного интервала.

Математическое ожидание - наиболее часто используемая характеристика расположения случайной величины, определяемая по формуле

$$MX = \int_{-\infty}^{\infty} xf(x)dx$$

где x - непрерывная случайная величина, $f(x)$ - плотность вероятности.

Эмпирическое (выборочное) распределение вероятностей - статистический аналог распределения вероятностей: определяемый с помощью выборочной совокупности.

8. Б12в2 Основные понятия теории вероятности

Все практические задачи надежности и технической эксплуатации приходится решать на основе теории вероятности. Рассмотрим основные понятия в этой области. Вероятность - число, характеризующее степень возможного наступления случайного события. Распределение вероятностей - совокупность всех возможных значений случайной величины и соответствующих им вероятностей.

Теоретическое распределение вероятностей - распределение, выбранное для описания закона, которому подчиняется фактическое (эмпирическое) распределение.

Эмпирическое (выборочное) распределение вероятностей - статистический аналог распределения вероятностей: определяемый с помощью выборочной совокупности.

Принято считать, что распределения вероятности должны подчиняться одному из известных законов распределений.

Теория вероятностей предлагает много законов распределений, но лишь некоторые из них целесообразно использовать для практических расчетов показателей надежности. К основным законам, которые часто используются для непосредственного расчета показателей надежности, можно отнести следующие непрерывные двухпараметрические распределения: Нормальное распределение (Распределение Гаусса), Логарифмически нормальное распределение (далее - логнормальное распределение), Равномерное распределение, Распределение Вейбулла.

Двухпараметрические распределения называются так потому, что зависят от двух параметров - масштаба a и формы b , которые связаны с основными показателями выборки - средним значением x_s и коэффициентом вариации V .

Кроме того, в расчетной практике широкое распространение получили два однопараметрических распределения, которые являются частными случаями

распределения Вейбулла. Это – экспоненциальное распределение (при постоянном коэффициенте вариации $V=1$) и распределение Релея (при постоянном коэффициенте вариации $V=0,523$). У однопараметрических распределений имеется только один параметр - масштаба a , а их показатель формы $b=const$. Для распределения Релея $b=2$, а для экспоненциального распределения $b=1$.

9. Б11в2 Закон распределения Вейбулла

Теория вероятностей предлагает много законов распределений, но лишь некоторые из них целесообразно использовать для практических расчетов показателей надежности. В данной дисциплине было использовано только распределение Вейбулла, которое обладает наилучшими аппроксимирующими свойствами. В этом распределении применяются следующие функции.

Распределения вероятности безотказной работы $P(t)$ по формуле

$$P(t) = \exp \left[- \left(\frac{t}{a} \right)^b \right]$$

Интенсивности отказов по формуле

$$\lambda(t) = \frac{b}{a} \left(\frac{t}{a} \right)^{b-1}$$

Гамма-процентный ресурс

$$R_\gamma = a \left(\ln \left(\frac{1}{\gamma} \right) \right)^{\frac{1}{b}}$$

В этих формулах применяются параметры распределения формы b и масштаба a , которые связаны с математическим ожиданием выборки t_{sr} и ее коэффициентом вариации V следующим образом.

Параметр формы b определяется с применением гамма функции $\Gamma(x)$ путем решения обратного уравнения

$$V = \frac{\sqrt{\Gamma\left(1 + \frac{2}{b}\right) - \Gamma\left(1 + \frac{1}{b}\right)^2}}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{b}\right)}$$

Одновременно насчитывается коэффициент $K(b)$

$$K(b) = \Gamma\left(1 + \frac{1}{b}\right)$$

Определение гамма функций можно выполнить в математических редакторах или по специальным таблицам из литературы или нормативных документов.

Параметр масштаба a рассчитываем по формуле

$$a = \frac{t_s}{K(b)}$$

Гамма - процентный ресурс относится к важнейшим показателям долговечности, который рассчитывается при заданной вероятности не достижения предельного состояния $\gamma_{\text{доп}}$ для соответствующего деградиационного процесса (например 80% - для изнашивания).

Для оценки указанных параметров можно применить метод моментов или метод наименьших квадратов. В последнем случае в качестве исходных данных используется эмпирическое распределение, предварительно определенное по данным о выборке случайных величин.

10. Б10в2 Показатели надежности. Общие сведения.

В соответствии с ГОСТ 27.002-89 «Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения», для количественной оценки надежности должны применяться соответствующие показатели. При этом следует иметь ввиду, что надежность является сложным свойством, состоящим из безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости. Поэтому, показатель надежности, это количественная характеристика одного или нескольких свойств, составляющих надежность объекта.

Показатель надежности может быть единичным (характеризующий одно из свойств, составляющих надежность объект) или комплексным (характеризующий несколько свойств, составляющих надежность объекта).

В зависимости от способа определения эти показатели подразделяются на расчетные, экспериментальные, эксплуатационными или экстраполированными. В последнем случае точечная или интервальная оценка надежности определяется на основании результатов расчетов, испытаний и (или) эксплуатационных данных путем экстраполяции на другую продолжительность эксплуатации и другие условия эксплуатации.

Безотказность может оцениваться следующими показателями: вероятность безотказной работы, вероятность отказа, интенсивность отказов, наработка на отказ, параметр потока отказов и др. Кроме того для оценки последствий отказов может рассчитываться комплексный показатель - коэффициент готовности.

Для организации безаварийной эксплуатации машин наиболее важными показателями являются показатели долговечности и ремонтпригодности.

Рассматривая требования по надежности машины в целом основным показателям долговечности следует считать назначенный ресурс до ремонта (текущего, среднего или капитального), а показателями ремонтпригодности – средники трудоемкости тех же ремонтов.

Эти показатели должны устанавливаться поставщиками машин с учетом требований к надежности их элементов.

Для оценки надежности элементов (деталей и узлов) рекомендовано рассчитывать гамма-процентные ресурсы для наиболее опасных деградиационных процессов) по специальным программам.

Комплексные показатели позволяют делать общую оценку надежности машин. В эту группу входят два показателя - коэффициент готовности и коэффициент технического использования

Коэффициент готовности - вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течении которых применение объекта по назначению не предусматривается.

Коэффициент технического использования - отношение математического ожидания наработки за некоторый период эксплуатации к сумме математического ожидания наработки и продолжительности технического обслуживания и ремонтов за тот же период эксплуатации.

11. Б9в2 Показатели безотказности машины

ГОСТ 27.002-89 регламентирует следующие показатели безотказности.

Вероятность безотказной работы $P(t)$ - вероятность того, что в пределах заданной наработки t отказ объекта не возникнет.

Вероятность отказа $F(t)$ - вероятность того, что в пределах заданной наработки возникнет отказ объекта.

Интенсивность отказов λ_0 - условная плотность вероятности невосстанавливаемого объекта, определяемая по отношению к еще не отказавшим объектам для рассматриваемого момента времени.

Наработка на отказ t_0 - отношение наработки восстанавливаемого объекта T к математическому ожиданию числа его отказов n в течении этой наработки, определяемые его конструкцией и техническим состоянием.

Параметр потока отказов $\omega(t)$ - плотность вероятности возникновения отказов восстанавливаемого объекта, определяемая для данного момента времени.

Средняя наработка до отказа t_s - математическое ожидание наработки объекта до первого отказа.

Для получения полной картины об уровне безотказности машины рекомендовано применять комплексный показатель коэффициент готовности K_g , который учитывает суммарные Θ и удельные $\tau_0 = \Theta/n$ затраты времени вывода изделия из эксплуатации из-за отказов.

Принято считать, что интенсивность отказов при эксплуатации $\lambda_0 = \text{const}$, что соответствует экспоненциальному закону распределения. В этом случае приведенные выше показатели можно оценивать по следующим формулам.

$$\begin{aligned}t_0 &= T/n, \\ \lambda_0 &= 1/t_0, \\ P(t) &= \exp(-\lambda_0 t) = \exp(-t/t_0), \\ F(t) &= 1 - P(t) = 1 - \exp(-\lambda_0 t), \\ K_g &= T/(T + \Theta) = 1/(1 + \tau_0/t_0).\end{aligned}$$

12. Б8в2 Показатели долговечности и ремонтпригодности машины

Для организации безаварийной эксплуатации машин наиболее важными являются показатели долговечности и ремонтпригодности.

Рассматривая требования к надежности машины в целом основным показателям долговечности следует считать назначенный ресурс до ремонта (текущего, среднего или капитального), а показателями ремонтпригодности – средники трудоемкости тех

же ремонтов. Эти показатели устанавливаются поставщиком изделия и включаются в документацию по его использованию на основании соответствующих стендовых или эксплуатационных испытаний и наблюдений.

Наиболее простым, но не вполне достоверным методом расчета этих показателей является их среднестатистическая оценка с помощью выборки объемом N фактических наработок до ремонта T_i или их трудоемкостей W_i . Тогда средние значения этих показателей и их доверительные границы можно оценить по формуле (при $X_i = T_i$ или $X_i = W_i$)

$$X_s = \sum_{i=1}^N X_i / N,$$

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^N (X_i - X_s)^2 / (N - 1)},$$

$$\left. \begin{array}{l} X_e \\ X_n \end{array} \right\} = X_s \pm \frac{\sigma}{\sqrt{N}} t_{\beta}.$$

Где σ - среднеквадратичное отклонение, t_{β} - коэффициент Стьюдента.

Более корректным методом следует считать оценку сроков и объемов ремонтов с помощью вероятностных показателей надежности ее деталей и узлов для каждого y -го вида повреждения с учетом степени опасности соответствующего деградационного процесса. К таким показателям относятся гамма - процентный ресурс R_{γ} , определяемый для каждого i -го деградационного процесса с помощью соответствующего закона распределения вероятности не достижения предельного состояния $\gamma(t)$ и допустимой величины $\gamma_{\text{доп}}$.

Величина $\gamma_{\text{доп}}$ выбирается в зависимости от последствий потенциального отказа. Например, для износных повреждений $\gamma_{\text{доп}}=0,8$, для усталостных разрушений типа трещин - $\gamma_{\text{доп}}=0,95$, для питинговых разрушений поверхности зубчатых зацеплений - $\gamma_{\text{доп}}=0,90$ и т.д.

С помощью закона распределения $\gamma(t)$ можно определить еще один важный показатель - вероятность обнаружения дефекта i -го вида $\phi(t)$ за наработку t .

Если функции $\gamma(t)$ для основных видов повреждений деталей и узлов известны, то назначенный ресурс до ремонта R_n определяется путем сравнения между собой гамма - процентных ресурсов для каждого деградационного процесса и выбора среди них наименьшего значения R_{γ} .

Отметим, что гамма- процентный ресурс – это наработка, в течении которой объект не достигнет предельного состояния с заданной вероятностью γ , выраженной в процентах.

13. Б7в2 Показатели надежности элементов машины

Наиболее корректным методом оценки сроков и объемов ремонтов Машины следует считать их определение с помощью вероятностных показателей надежности

ее деталей и узлов для каждого y -го вида повреждения с учетом степени опасности соответствующего деградационного процесса. К таким показателям относятся гамма-процентный ресурс R_γ , определяемый для каждого i -го деградационного процесса с помощью соответствующего закона распределения вероятности не достижения предельного состояния $\gamma(t)$ и допустимой величины $\gamma_{доп}$.

Величина $\gamma_{доп}$ выбирается в зависимости от последствий потенциального отказа. Например, для износных повреждений $\gamma_{доп}=0,8$, для усталостных разрушений типа трещин - $\gamma_{доп}=0,95$, для питинговых разрушений поверхности зубчатых зацеплений - $\gamma_{доп}=0,90$ и т.д.

С помощью закона распределения $\gamma(t)$ можно определить еще один важный показатель - вероятность обнаружения дефекта i -го вида $\phi(t)$ за наработку t .

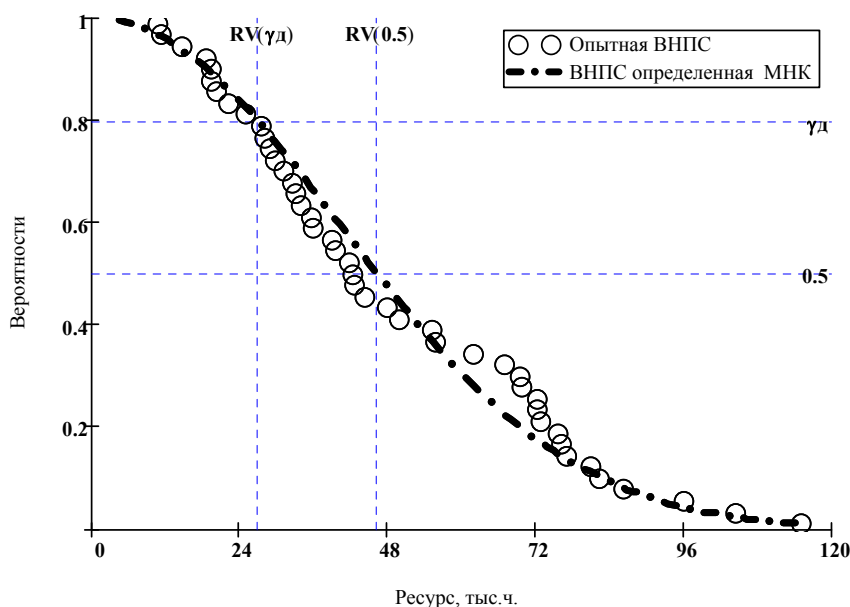
Теория вероятностей предлагает много законов распределений, но лишь некоторые из них целесообразно использовать для практических расчетов показателей надежности. В данной дисциплине было использовано только распределение Вейбулла, которое обладает наилучшими аппроксимирующими свойствами.

$$P(t) = \exp \left[- \left(\frac{t}{a} \right)^b \right]$$

Отсюда гамма-процентный ресурс определяется по формуле

$$R_\gamma = a \left(\ln \left(\frac{1}{\gamma} \right) \right)^{\frac{1}{b}}$$

В этих формулах применяются параметры распределения формы b и масштаба a , которые связаны с математическим ожиданием выборки t_{sr} и ее коэффициентом вариации V .



Имеются компьютерные программы, позволяющие рассчитывать указанные параметры по исходным данным в виде эмпирического распределения или методом моментов (объяснить рисунок).

14. Б6в2 Вероятностная модель деградации узла с линейной функцией

Гамма-процентные ресурсы элементов машин могут быть рассчитаны с учетом физической природы деградационного процесса с помощью так называемых моделей повреждения.

При решении приведенных этого рода задач рекомендовано использовать следующие допустимые значения вероятности не достижения предельного состояния $\gamma_{\text{доп}}$

Вид повреждения	Допустимые значения $\gamma_{\text{доп}}$ %	
	Диапазон	Рекомендуемое
Усталостные (волосяные)	0,9 – 0,97	0,95
Усталостные трещины (поломка)	0,99– 0,999	0,995
Усталостные разрушения поверхности (питинг, выкрашивание и пр.)	0,85 – 0,95	0,90
Кавитация, эрозия, коррозия	0,80 – 0,90	0,85
Изнашивание	0,75– 0,85	0,80
Повреждения при демонтаже и другие не опасные повреждения	0,4 – 0,6	0,50

В основе любой модели повреждения лежит понятие о ресурсе. Ресурс - это наработки от начала эксплуатации до достижения предельного состояния. Поэтому, ресурс можно определить по точке пересечения кривой изменения технического состояния объекта с линией его предельного состояния. При этом необходимо учитывать рассеивание исследуемых параметров и вид функции деградационного процесса. В данном случае рассматривается процесс изнашивания элемента с линейной функцией типа

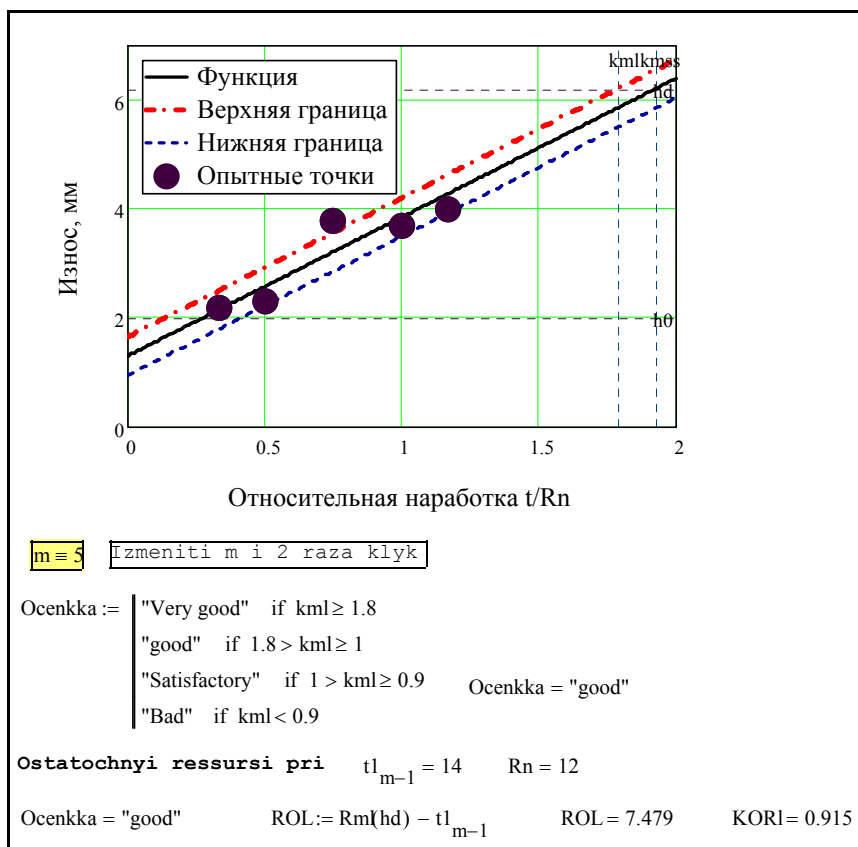
$$H(t) = C + mt,$$

где t – наработка до достижения назначенного уровня предельного состояния h_r , C и m – постоянные показатели характеристики деградационного процесса.

Параметры C и m определяются путем статистической обработки результатов испытаний образцов деталей на изнашивание (коррозионное, кавитационное или другое разрушение поверхности). В данной задаче результаты подобных испытаний заданы в виде выборки объемом N парных значений $t_i - h_i$, где t_i – наработка до момента измерения исследуемого параметра, h_i – результат измерения исследуемого параметра (износа).

Значение допускаемого параметра h_r принимается указывается в условиях задачи. Расчеты проводятся по специальным компьютерным программам. Исходные данные в задачах этого раздела получают на основании проведения экспериментальных исследований или путем сбора информации об износах деталей машин.

Основным методом обработки информации является метод наименьших квадратов,



15. Б5в2 Общие понятия о показателях надежности.

В соответствии с ГОСТ 27.002-89 «Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения», для количественной оценки надежности должны применяться соответствующие показатели. При этом следует иметь ввиду, что надежность является сложным свойством, состоящим из безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости. Поэтому, показатель надежности, это количественная характеристика одного или нескольких свойств, составляющих надежность объекта.

Показатель надежности может быть единичным (характеризующий одно из свойств, составляющих надежность объект) или комплексным (характеризующий несколько свойств, составляющих надежность объекта).

В зависимости от способа определения эти показатели подразделяются на расчетные, экспериментальные, эксплуатационными или экстраполированными. В последнем случае точечная или интервальная оценка надежности определяется на основании результатов расчетов, испытаний и (или) эксплуатационных данных путем экстраполирования на другую продолжительность эксплуатации и другие условия эксплуатации.

Безотказность может оцениваться следующими показателями: вероятность безотказной работы, вероятность отказа, интенсивность отказов, наработка на отказ, параметр потока отказов и др. Кроме того для оценки последствий отказов может рассчитываться комплексный показатель - коэффициент готовности.

Для организации безаварийной эксплуатации машин наиболее важными показателями являются показатели долговечности и ремонтпригодности.

Рассматривая требования по надежности машины в целом основным показателям долговечности следует считать назначенный ресурс до ремонта (текущего, среднего или капитального), а показателями ремонтпригодности – средники трудоемкости тех же ремонтов.

Эти показатели должны устанавливаться поставщиками машин с учетом требований к надежности их элементов.

Для оценки надежности элементов (деталей и узлов) рекомендовано рассчитывать гамма-процентные ресурсы для наиболее опасных деградиационных процессов) по специальным программам.

Комплексные показатели позволяют делать общую оценку надежности машин. В эту группу входят два показателя - коэффициент готовности и коэффициент технического использования

Коэффициент готовности - вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течении которых применение объекта по назначению не предусматривается.

Коэффициент технического использования - отношение математического ожидания наработки за некоторый период эксплуатации к сумме математического ожидания наработки и продолжительности технического обслуживания и ремонтов за тот же период эксплуатации.

16. Б4в2 Основные понятия теории вероятности

Все практические задачи надежности и технической эксплуатации приходится решать на основе теории вероятности. Рассмотрим основные понятия в этой области. Вероятность - число, характеризующее степень возможного наступления случайного события. Распределение вероятностей - совокупность всех возможных значений случайной величины и соответствующих им вероятностей.\

Теоретическое распределение вероятностей - распределение, выбранное для описания закона, которому подчиняется фактическое (эмпирическое) распределение.

Эмпирическое (выборочное) распределение вероятностей - статистический аналог распределения вероятностей: определяемый с помощью выборочной совокупности.

Принято считать, что распределения вероятности должны подчиняться одному из известных законов распределений.

Теория вероятностей предлагает много законов распределений, но лишь некоторые из них целесообразно использовать для практических расчетов показателей надежности. К основным законам, которые часто используются для непосредственного расчета показателей надежности, можно отнести следующие непрерывные двухпараметрические распределения: Нормальное распределение (Распределение Гаусса), Логарифмически нормальное распределение (далее – логнормальное распределение), Равномерное распределение, Распределение Вейбулла.

Двухпараметрические распределения называются так потому, что зависят от двух параметров – масштаба a и формы b , которые связаны с основными показателями выборки – средним значением x_s и коэффициентом вариации V .

Кроме того, в расчетной практике широкое распространение получили два однопараметрические распределения, которые являются частными случаями распределения Вейбулла. Это – экспоненциальное распределение (при постоянном коэффициенте вариации $V=1$) и распределение Релея (при постоянном коэффициенте вариации $V=0,523$). У однопараметрических распределений имеется только один

параметр - масштаба a , а их показатель формы $b = \text{const}$. Для распределения Релея $b=2$, а для экспоненциального распределения $b=1$.

17. БЗв2 Оценка долговечности элемента машины с учетом вида деградиационного процесса

Наиболее корректным методом оценки сроков и объемов ремонтов Машины следует считать их определение с помощью вероятностных показателей надежности ее деталей и узлов для каждого y -го вида повреждения с учетом степени опасности соответствующего деградиационного процесса. К таким показателям относятся гамма-процентный ресурс R_γ , определяемый для каждого i -го деградиационного процесса с помощью соответствующего закона распределения вероятности не достижения предельного состояния $\gamma(t)$ и допустимой величины $\gamma_{\text{доп}}$.

Величина $\gamma_{\text{доп}}$ выбирается в зависимости от последствий потенциального отказа. Например, для износных повреждений $\gamma_{\text{доп}}=0,8$, для усталостных разрушений типа трещин - $\gamma_{\text{доп}}=0,95$, для питинговых разрушений поверхности зубчатых зацеплений - $\gamma_{\text{доп}}=0,90$ и т.д.

С помощью закона распределения $\gamma(t)$ можно определить еще один важный показатель - вероятность обнаружения дефекта i -го вида $\phi(t)$ за наработку t .

Теория вероятностей предлагает много законов распределений, но лишь некоторые из них целесообразно использовать для практических расчетов показателей надежности. В данной дисциплине было использовано только распределение Вейбулла, которое обладает наилучшими аппроксимирующими свойствами.

$$P(t) = \exp \left[- \left(\frac{t}{a} \right)^b \right]$$

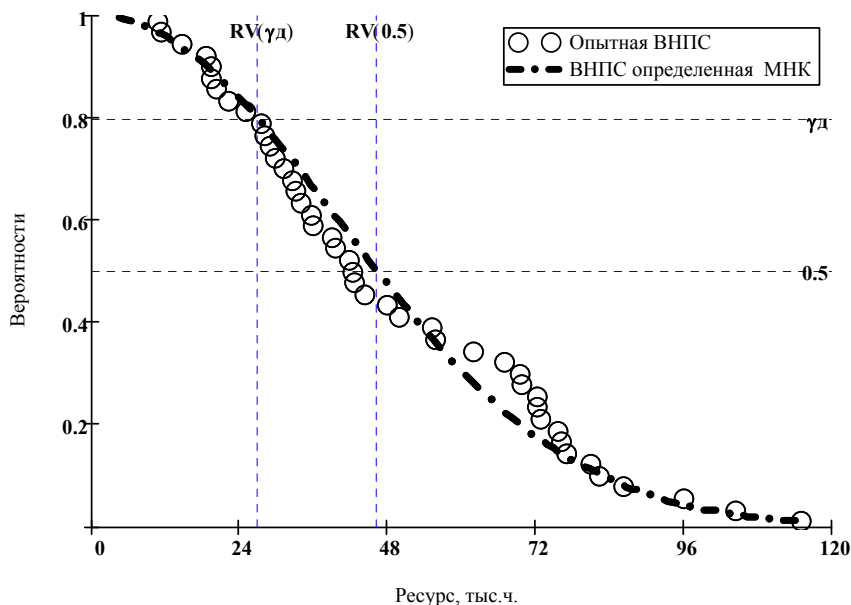
Отсюда гамма-процентный ресурс определяется по формуле

$$R_\gamma = a \left(\ln \left(\frac{1}{\gamma} \right) \right)^{\frac{1}{b}}$$

В этих формулах применяются параметры распределения формы b и масштаба a , которые связаны с математическим ожиданием выборки t_{sr} и ее коэффициентом вариации V .

Указанные параметры определяются методом наименьших квадратов по данным эмпирического распределения или методом моментов (объяснить рисунок).

На рисунке показаны результаты сравнения эмпирического распределения (в виде опытных точек для членов выборки) с теоретическим распределением Вейбулла. Там же нанесены расчетные значения 80-процентного и 50-процентного (медианного) ресурсов. Такой график строится автоматически по специальной программе в редакторе MATHCAD.



18. В2В2 Характеристики выборки случайных величин

Большинство задач по оценке показателей надежности выполняется на основе образования и обработки выборки случайных величин (наработки до отказов, износ). В этой связи следует дать объяснение ряду ключевых определений в этой области. Выборка (выборочная совокупность) - совокупность $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ ограниченного числа наблюдений случайной величины X . Объем выборки - число единиц, образующих выборочную совокупность.

Размах выборки - статистическая характеристика рассеяния варьирующего признака, представляющая собой разность между наибольшим X_n и наименьшим X_1 значениями вариационного ряда $X_1 < X_2 < \dots < X_n$.

Дисперсия - математическое ожидание квадрата отклонения случайной величины X от ее математического ожидания X_{cp} :

$$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - X_{cp})^2$$

где N - объем выборки, i - номер члена выборки.

Среднее квадратичное отклонение - основной показатель вариации, представляющий собой корень второй степени из дисперсии

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - X_{cp})^2}$$

Средняя арифметическая (выборочная) - приближенное значение математического ожидания случайной величины X .

$$X_{cp} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i$$

Коэффициент вариации - отношение среднего квадратичного отклонения к средней величине варьирующего признака.

Доверительная вероятность - вероятность того, что оцениваемый вектор характеристик генеральной совокупности покрывается доверительной областью (доверительным интервалом).

Доверительные границы - границы доверительного интервала.

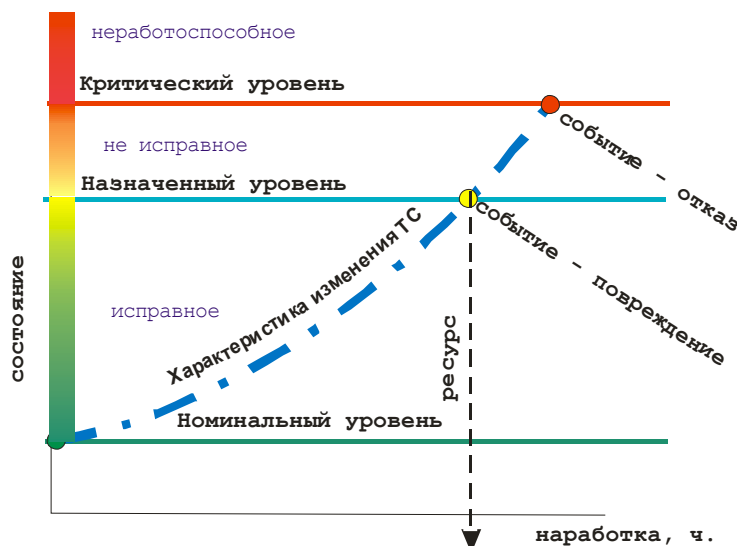
Математическое ожидание - наиболее часто используемая характеристика расположения случайной величины, определяемая по формуле

$$MX = \int_{-\infty}^{\infty} xf(x)dx$$

где x - непрерывная случайная величина, $f(x)$ - плотность вероятности.

Эмпирическое (выборочное) распределение вероятностей - статистический аналог распределения вероятностей: определяемый с помощью выборочной совокупности.

19.Б1в2 Формирование повреждения и отказа элемента машины



Рассматривая какой либо деградационный процесс (например изнашивания) можно считать, что повреждение наступит тогда, когда характеристика этого процесса достигает назначенного уровня предельного состояния. Нарботка до этого момента является ресурсом детали до выполнения ремонта, поскольку дальнейшая работа увеличивает вероятность отказа.

Вероятность отказа резко возрастает при достижении критического уровня предельного состояния. (см. рисунок).

На рисунке показана принципиальная модель формирования повреждения, которая положена в основу нормирования сроков службы деталей и узлов до ремонта.

Однако при решении этой задачи следует еще учитывать вероятностную природу деградационного процесса, что приводит к дисперсии характеристики изменения ТС и ресурса. Поэтому нормировать срок службы приходится с помощью гамма - процентного ресурса (необходимо быть готовым отвечать и на этот вопрос)/

20.Б20в2 Расчет параметров распределения Вейбулла

Теория вероятностей предлагает много законов распределений, но лишь некоторые из них целесообразно использовать для практических расчетов показателей

надежности. В данной дисциплине было использовано только распределение Вейбулла, которое обладает наилучшими аппроксимирующими свойствами. В этом распределении применяются следующие функции.

Распределения вероятности безотказной работы $P(t)$ по формуле

$$P(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{a}\right)^b\right]$$

Интенсивности отказов по формуле

$$\lambda(t) = \frac{b}{a}\left(\frac{t}{a}\right)^{b-1}$$

Гамма-процентный ресурс

$$R_\gamma = a\left(\ln\left(\frac{1}{\gamma}\right)\right)^{\frac{1}{b}}$$

В этих формулах применяются параметры распределения формы b и масштаба a , которые связаны с математическим ожиданием выборки t_{sr} и ее коэффициентом вариации V следующим образом.

Параметр формы b определяется с применением гамма функции $\Gamma(x)$ путем решения обратного уравнения

$$V = \frac{\sqrt{\Gamma\left(1 + \frac{2}{b}\right) - \Gamma\left(1 + \frac{1}{b}\right)^2}}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{b}\right)}$$

Одновременно насчитывается коэффициент $K(b)$

$$K(b) = \Gamma\left(1 + \frac{1}{b}\right)$$

Определение гамма функций можно выполнить в математических редакторах или по специальным таблицам из литературы или нормативных документов.

Параметр масштаба a рассчитываем по формуле

$$a = \frac{t_s}{K(b)}$$

Гамма - процентный ресурс относится к важнейшим показателям долговечности, который рассчитывается при заданной вероятности не достижения предельного состояния $\gamma_{доп}$ для соответствующего деградиационного процесса (например 80% - для изнашивания).

Для оценки указанных параметров можно применить метод моментов или метод наименьших квадратов с помощью эмпирического распределение, предварительно определенного по данным о выборке случайных величин.

**ЗАДАЧА К ЭКЗАМЕНАЦИОННЫМ БИЛЕТАМ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ И НАДЕЖНОСТЬ
ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ»
(2007/2008 учебный год)**

1. В каждом экзаменационном билете предлагается решить одну типовую задачу по оценке износостойкости элемента машины на персональном компьютере с использованием файла [IZNOS.med](#).

2. Задача должна решаться по следующим исходным данным, выбираемым в зависимости от номера билета

№ билета	Исходные данные				
	R _г , тыс.ч.	U _о	U _h	Процесс	Качество
1.	24	0.000	2.100	Изн	Вск
2.	40	0.000	0.550	Квт	Нрм
3.	5	2.000	5.000	Изн	Нск
4.	14	2.100	6.000	Изн	Вск
5.	60	0.000	0.300	Изн	Нрм
6.	8	1.500	5.700	Изн	Нск
7.	10	0	5.000	Изн	Вск
8.	24	0.000	2.100	Квт	Нрм
9.	40	0.000	0.550	Изн	Нск
10.	5	2.000	5.000	Изн	Вск
11.	14	2.100	6.000	Квт	Нрм
12.	60	0.000	0.300	Изн	Нск
13.	8	1.500	5.700	Изн	Нск
14.	10	0	5.000	Изн	Вск
15.	8	1.500	5.700	Квт	Нрм
16.	10	0	5.000	Изн	Нск
17.	24	0.000	2.100	Изн	Вск
18.	40	0.000	0.550	Квт	Нрм
19.	5	2.000	5.000	Изн	Нск
20.	14	2.100	6.000	Изн	Нск

Обозначения: R_г – назначенный ресурс до ремонта, U_о и U_h – номинальный и допустимый диагностический параметр, Изн и Квт – процессы изнашивание и кавитация, Вск, Нрм и Нск – высокое, нормальное и низкое качество изготовления, ремонта или эксплуатации.

3. По указанным исходным данным должен быть выполнен анализ долговечности и износостойкости элемента машины применительно к линейной функции деградиационного процесса.

4. При выполнении задания должны быть выполнены следующие расчетные операции (по программе)

4.1 Ввести исходные данные по указаниям п.2.

4.2 Выполнить образование выборки (вектора) случайных ресурсов до ремонта.

4.3 Проверить полученную выборку на отсев крайних членов и рассчитать статистические моменты для откорректированной выборки.

- 4.4 Построить эмпирическое распределение вероятностей.
 - 4.5 Рассчитать параметры распределения Вейбулла и гамма- процентный ресурс двумя методами – методом моментов и методом наименьших квадратов.
 - 4.6 Построить сравнительные графики теоретических (по двум методам расчета) и эмпирического распределений вероятностей.
 - 4.7 Рассчитать и оценить гамма-процентные износостойкости объекта исследования.
 - 4.8 Образовать итоговую таблицу результатов исследования.
 - 4.9 Составить заключение о долговечности объекта и заключение о его дальнейшей эксплуатации.
5. Результаты расчета должны быть скопированы и записаны на Файл студента в редакторе WORD и защищены экзаменатором на основании ответа на вопросы последнего.
6. Пример расчета по условиям задачи прилагается.

Анализ износостойкости узла трения машины (по учебному пособию по курсовой работе)

1. Постановка задачи.

Рассматривается один из процессов изнашивания детали какого либо узла трения машины (например втулка цилиндров дизеля). Требуется рассчитать гамма-процентный ресурс этой детали, сравнить его с назначенным ресурсом двигателя до соответствующего ремонта и на этом основании принять решение о корректировке норматива ремонта или принятия мер по изменению износостойкости детали.

2. Исходные данные

Постоянные исходные данные

На основании данных о характеристиках машины ввести значения назначенного ресурса до ремонта $Rr := 24$, начального $Uo := 0$ и допустимого износа $Uh := 2.1$

С учетом степени опасности рассматриваемого деградационного процесса, следует установить допустимую вероятность не достижения предельного состояния γ_d в зависимости от деградационного процесса (установить нужный процесс **Процесс**) и коэффициент качества эксплуатации (установить нужный уровень **качество**)

Процессы

Изнашивание := 1

Кавмтацмия := 2

Усталость := 3

Качество

Низкое := 1

Нормальное := 2

Высокое := 3

Скопировать и заменить название признака или поставить нужную цифру

Процесс := 1

качество := 2

Переменные исходные данные

К переменным исходным данным относится выборка результатов сбора информации о наработке до отказа (или до достижения предельного износа).

В рамках учебной задачи эту выборку образуем с помощью генератора случайных чисел.

Для этого следует ввести параметры:

объем выборки $mw := 50$, показатель $ss := 2$

Nagiat Rezultat

$$\gamma_d := \begin{cases} 0.8 & \text{if } \text{Процесс} = 1 \\ 0.9 & \text{if } \text{Процесс} = 2 \\ 0.95 & \text{if } \text{Процесс} = 3 \\ 0.5 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \gamma_d = 0.8$$

По этим данным находим базовый назначенный ресурс

$$w := \frac{Rr}{\ln\left(\frac{1}{\gamma_d}\right)^{\frac{1}{ss}}} \quad w = 50.806$$

Тогда выборка случайных чисел будет определена автоматически по программе

$x1 := w \cdot \text{rweibull}(mw, \text{качество})$

$t := \text{sort}(x1)$ $m := \text{length}(t)$ $m = 50$ $j := 1 .. m$

В результате получаем ранжированную нецензурированную выборку наработок до наступления прелельных износов (см. табл. 1 и рис..1), а так же допустимую вероятность недостижения предельного состояния (ВНПС) $\gamma_d = 0.8$

	1
1	2.878
2	5.462
3	10.79
4	18.489
5	19.562
6	21.206
7	21.387
8	22.435
9	25.108
10	25.347
11	27.153
12	27.602
13	27.645
14	28.191
15	29.703
16	30.358

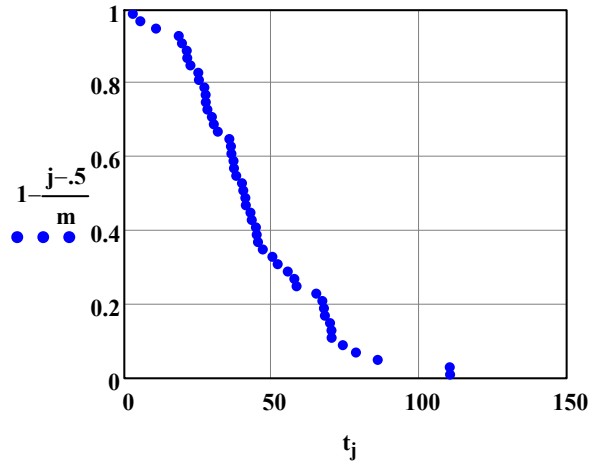


рис.1

Sat Nov 03 12:43:01 2007

3. Решение задачи (основные результаты)

3.1. Проверка выборки на отсеив крайних членов

стало было

Выборка = "не отбрасовать"

Принятый объем выборки

m1 = 50

m = 50

3.2. Расчет статистических моментов выборки

Размах выборки от $t_1 = 2.878$ до $t_{m1} = 110.509$

Матожидание $t_s = 44.757$

Среднеквадратичное отклонение $CK = 23.555$

Коэффициент вариации $KV1 = 0.526$

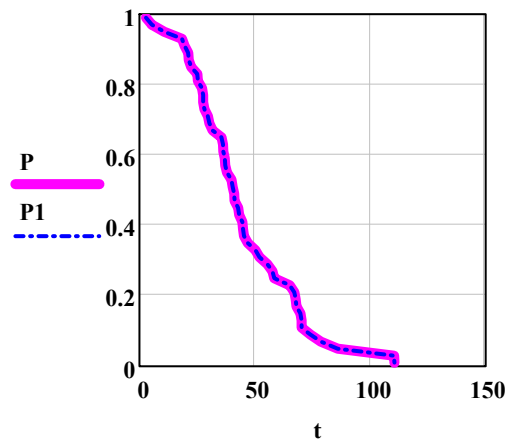
Коэффициент Стьюдента $Kst = 1.047$

Нижняя и верхняя доверительная граница $ДГ_1 = 41.268$ $ДГ_2 = 48.246$

3.3. Построение эмпирического распределения вероятности для малой выборки

Таблица 2

	i	t_i	P_m	P_{m1}
	1	2.878	0.99	0.99
	2	5.462	0.97	0.97
	3	10.79	0.95	0.95
	4	18.489	0.93	0.93
	5	19.562	0.91	0.91
	6	21.206	0.89	0.89
	7	21.387	0.87	0.87
$M1 =$	8	22.435	0.85	0.85
	9	25.108	0.83	0.83
	10	25.347	0.81	0.81
	11	27.153	0.79	0.79
	12	27.602	0.77	0.77
	13	27.645	0.75	0.75
	14	28.191	0.73	0.73
	15	29.703	0.71	0.71
	16	30.358	0.69	0.69



Примечание - в приведенной таблице показаны только 12 первых строк матрицы из $m1 = 50$

3.4. Определение гамма-процентного ресурса

Ограничимся рассмотрением только распределением Вейбулла

Применяем два альтернативных метода - метод моментов (ММ) и метод наименьших квадратов (МНК).

а. Метод моментов

Метод основан на зависимостях параметра формы b и параметра масштаба a распределения Вейбулла от математического ожидания ts и коэффициента вариации V выборки, определенных в разделе 3. 2. . Получены следующие результаты

Параметр формы $b = 1.985$

Параметр масштаба $a = 50.496$ Коэффициент $Kb = 0.888$

Вероятность недостижения предельного состояния	$Pv1(t) := \exp\left[-\left(\frac{t}{a}\right)^b\right]$	$Pv1(15) = 0.914$
Интенсивность отказов	$\lambda v1(t) := \frac{b}{a} \cdot \left(\frac{t}{a}\right)^{b-1}$	
Плотность вероятности	$fv1(t) := Pv1(t) \cdot \lambda v1(t)$	
Гамма - процентный ресурс	$RV1(\gamma) := a \cdot \ln\left(\frac{1}{\gamma}\right)^{\frac{1}{b}}$	$RV1(\gamma_d) = 23.718$

б. Метод наименьших квадратов

Метод основан на решении корреляционного уравнения м помощью МНК по данным об эмпирическом распределении (табл. 2). Получены следующие результаты

Коэффициент корреляции связи **rv = -0.98** связь = "высокая"

Параметр формы **bv = 1.846** Матожидание **Rvs = 45.732**

Параметр масштаба **av = 51.484** Коэффициент вариации **Vv = 0.562**

Коэффициент **Kb = 0.888**

Функции распределения Вейбулла (второй вариант)

Вероятность недостижения
предельного состояния

$$PV(t) := \exp\left[-\left(\frac{t}{av}\right)^{bv}\right] \quad PV(15) = 0.902$$

Интенсивность отказов

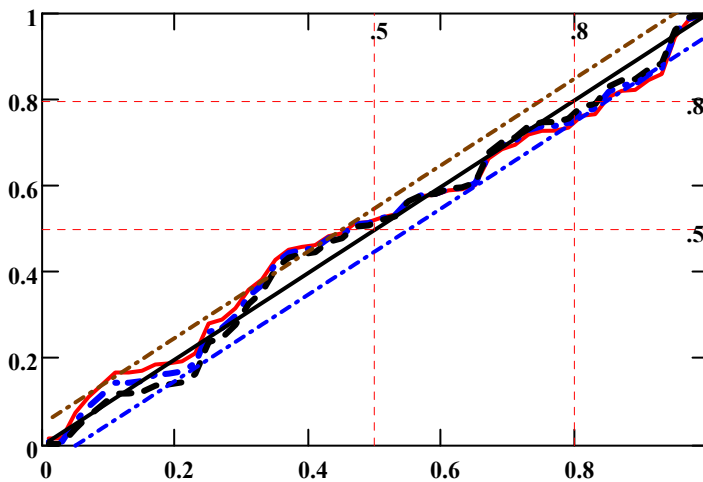
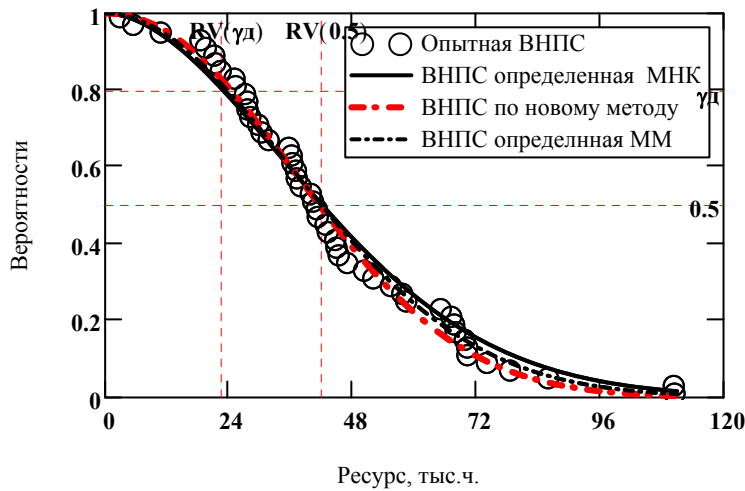
$$\lambda V(t) := \frac{bv}{av} \cdot \left(\frac{t}{av}\right)^{bv-1}$$

Плотность вероятности

$$fV(t) := PV(t) \cdot \lambda V(t)$$

Гамма - процентный ресурс

$$RV(\gamma) := av \cdot \ln\left(\frac{1}{\gamma}\right)^{\frac{1}{bv}} \quad RV(\gamma_d) = 22.849$$



Общий график
корреляции

Koefficienti kjrreliacii dlia raznih metodov

$$\text{CoV} := \text{corr}(\overrightarrow{\text{PV}(t)}, \text{P})$$

$$\text{CoV1} := \text{corr}(\overrightarrow{\text{Pv1}(t)}, \text{P}) \quad \text{CoV2} := \text{corr}(\overrightarrow{\text{P2V}(t_0)}, \text{P1})$$

$$\text{CoV} = 0.9931$$

$$\text{CoV1} = 0.994$$

$$\text{CoV2} = 0.9946$$

Werojatnosty nedostjagenija predelnogo sostoyjaniya

$$\text{MNK} \quad \phi_1(\text{Rr}) := 1 - \text{PV}(\text{Rr}) \quad \phi_1(\text{Rr}) = 0.217$$

$$\text{MM} \quad \phi_2(\text{Rr}) := 1 - \text{Pv1}(\text{Rr}) \quad \phi_2(\text{Rr}) = 0.204$$

Nowiy

$$\phi_3(\text{Rr}) := 1 - \text{P2V}(\text{Rr}) \quad \phi_3(\text{Rr}) = 0.193$$

$$\text{Dopusk} \quad \phi_d := 1 - \gamma_d \quad \phi_d = 0.2$$

IZNOSOSTOYKOSTI GAMMA-PROCENTNIYI

$$\text{Trebuemayja} \quad C_d := \frac{\text{Rr}}{U_h - U_o} \quad C_d = 11.429$$

$$\text{MNK} \quad C_V(\gamma) := \frac{\text{RV}(\gamma)}{U_h - U_o} \quad C_V(\gamma_d) = 10.881$$

$$\text{MM} \quad C_v(\gamma) := \frac{\text{RV1}(\gamma)}{U_h - U_o} \quad C_v(\gamma_d) = 11.294$$

$$\text{Nowiy} \quad C_{v2}(\gamma) := \frac{\text{RV0}(\gamma_d)}{U_h - U_o} \quad C_{v2}(\gamma_d) = 11.642$$

$$\text{SREDNJAA} \quad C_{vs} := \frac{\text{Rvs}}{U_h - U_o} \quad C_{vs} = 21.777$$

$$\text{Naznachennyij resurs} \quad \text{Rr} = 24$$



Nachalo

ИТОГИ

Итог1 =

"метод"	"b"	"a"	"Korr"	"Sred"	"Var"	"oe"	"Raaii"	"Caaii"	"Cdp"
"МНК"	1.846	51.484	0.993	45.732	0.562	0.217	22.849	10.881	11.429
"ММ"	1.985	50.496	0.994	44.757	0.526	0.204	23.718	11.294	11.429
"Нов"	2.13	49.434	0.995	43.78	0.494	0.193	24.449	11.642	11.429

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Заключение := $\left\{ \begin{array}{l} \text{"ne menyati"} \quad \text{if } 1.5 \cdot Cd > CV(\gamma_d) \geq 0.9Cd \\ \text{"povjsiti srok"} \quad \text{if } 1.8 \cdot Cd > CV(\gamma_d) \geq 1.5Cd \\ \text{"povjsiti srok 2 raza"} \quad \text{if } CV(\gamma_d) \geq 1.8Cd \\ \text{"povjsiti iznosostoykosti"} \quad \text{if } CV(\gamma_d) < 0.9Cd \end{array} \right.$

Заключение = "ne menyati"