

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Минцаев Магомед Шавалович

Должность: Ректор

Дата подписания: 24.06.2025 13:55:36

Уникальный программный ключ

236bcc55c296f119d6aafdc22836b21db52dbc07971a86865a5825f9fa4304cc

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ГРОЗНЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЯНОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени академика М.Д. Миллионщикова



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

ДИСЦИПЛИНЫ

«Надежность и диагностика технологических систем»

Направление подготовки

15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение

машиностроительных производств

Направленность

«Технология машиностроения»

Квалификация

бакалавр

1. Цели и задачи дисциплины

- подготовка бакалавра к профессиональной деятельности в области прогнозирования и обеспечения надежности и технической диагностики элементов и систем на этапах проектирования, изготовления и эксплуатации.

Задачи дисциплины

- формирование знаний и умений в теории надежности и в математических методах, используемых в теории надежности;
- дать теоретические знания и практические навыки по выбору и обоснованию количественных показателей надежности; по методам расчета технических систем на надежность; по методам испытаний элементов и систем на надежность.

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Для успешного изучения дисциплины «Надежность и диагностика технологических систем» студенты должны быть знакомы с основными положениями высшей математики и теории вероятностей, курсов теоретической механики и сопротивления материалов, освоить материал общеинженерных дисциплин «Технология конструкционных материалов», «Метрология» и профилирующих дисциплин «Теория резания и режущие инструменты», «Металлорежущие станки» и пройти технологическую практику на машиностроительном предприятии.

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

3. Таблица 1

Код по ФГОС	Индикаторы достижения	Планируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУВ)
Общепрофессиональные		
ПК-4 Способен обеспечить качество изделий механосборочного производства	ПК 4.1. Выявляет причины брака в производстве изделий машиностроения низкой сложности и разработка рекомендаций по его предупреждению.	Знать: — основы математической и физической теории надежности элементов технологических систем; — методический подход и процедуру, необходимые для разработки систем диагностики технологических систем; Уметь:

		— рассчитывать основные количественные показатели надежности технологических систем и их элементов; — выполнять исследования, необходимые для разработки систем диагностики, составить алгоритмы диагностирования состояния элементов технологических систем; Владеть: - навыками расчета количественных показателей надежности технологических систем и их элементов; — навыками разработки систем диагностики технологических систем и их элементов;
--	--	---

4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Таблица 1

Вид учебной работы	Всего		Семестры	
	часов/ зач. ед.		7	6
	ОФО	ЗФО	ОФО	ЗФО
Контактная работа (всего)	34	8	34	8
В том числе:				
Лекции	17	4	17	4
Практические занятия	17	4	17	4
Семинары				
Лабораторные работы				
Самостоятельная работа (всего)	74	100	74	100
В том числе:				
Курсовая работа (проект)				
Расчетно-графические работы				
ИТР				
Рефераты				
Доклады				
Презентации				
<i>И (или) другие виды самостоятельной работы:</i>				
Подготовка к лабораторным работам				
Подготовка к практическим занятиям	50	70	50	70
Подготовка к зачету	24	30	24	30
Подготовка к экзамену				
Вид отчетности	зачет	зачет	зачет	зачет
	ВСЕГО в часах	108	108	108

Общая трудоемкость дисциплины	ВСЕГО в зач. единицах	3	3	3	3
--------------------------------------	------------------------------	----------	----------	----------	----------

5.Содержание дисциплины

5.Содержание дисциплины

5.1.Разделы дисциплины и виды занятий

Таблица 2

№ п/п	Наименование раздела дисциплины по семестрам	Лекц. занятия часы	Практ. занятия часы	Лаб. работы часы	Семин. зан. часы	Всего часов
1	Основные определения в области надежности технологических систем	2	2			4
2	МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АППАРАТ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ	2	2			4
3	РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ПО СТАТИСТИЧЕСКИМ ДАННЫМ	3	2			5
4	Диагностика технологических систем на этапах достижения точности изготавливаемых деталей	2	2			4
5	Расчеты показателей надежности восстанавливаемых объектов	2	2			4
6	Надежность сложных систем	2	2			4
7	Методы повышения надежности технических устройств	2	3			5
8	Выбор и обоснование оптимальных значений	2	2			4

	показателей надежности.					
	Итого:	17	17			34

5.2. Лекционные занятия

Таблица 3

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание работы
1	Основные определения в области надежности технологических систем	СВОЙСТВА НАДЕЖНОСТИ ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ ВРЕМЕННЫЕ ПОНЯТИЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ОТКАЗОВ КРАТКАЯ ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА
2	МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АППАРАТ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ	СЛУЧАЙНАЯ ВЕЛИЧИНА ХАРАКТЕРИСТИКИ СЛУЧАЙНЫХ ВЕЛИЧИН Законы распределения вероятностей случайных величин Нормальный закон распределения
3	РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ПО СТАТИСТИЧЕСКИМ ДАННЫМ	Определение показателей безотказности
4	Диагностика технологических систем на этапах достижения точности изготавливаемых деталей	Три этапа настройки технологической системы на точность
5	Расчеты показателей надежности восстанавливаемых объектов	ПОКАЗАТЕЛИ РЕМОНТОПРИГОДНОСТИ ПОКАЗАТЕЛИ СОХРАНЯЕМОСТИ КОМПЛЕКСНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ
6	Надежность сложных систем	Частные случаи расчета надежности.
7	Методы повышения надежности технических устройств	Мероприятия, обеспечивающие повышение надежности оборудования при его производстве Управления надежностью на этапе эксплуатации оборудования
8.	Выбор и обоснование оптимальных значений показателей надежности.	МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОБОСНОВАНИЮ ЗНАЧЕНИЙ (НОРМ) ЗАДАВАЕМЫХ ПН. Оптимальная функция "надежность - стоимость"

5.3. Лабораторные работы не предусмотрены.

5.4. Практические занятия (семинары)

Таблица 4

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Тема практической работы
1	Основные определения в области надежности технологических систем	Практическое занятие №1 ПАРАМЕТРЫ НАДЕЖНОСТИ
2	РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ПО СТАТИСТИЧЕСКИМ ДАННЫМ	Практическое занятие № 2 РАСЧЕТ ЕДИНИЧНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ МАШИН
		Практическое занятие № 3 РАСЧЕТ КОМПЛЕКСНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ

3	Надежность сложных систем	Практическое занятие № 4 АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ МАШИН НА СТАДИИ ИХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
4	Методы повышения надежности технических устройств	Практическое занятие № 5 ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ МАШИН ПРИ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИИ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

6. Самостоятельная работа студентов по дисциплине

Целью самостоятельной работы являются формирование личности студента, развитие его способности к самообучению и повышению своего профессионального уровня.

Самостоятельная работа заключается в изучении содержания тем курса по конспектам, учебникам и дополнительной литературе, подготовке к лабораторным и практическим занятиям, оформлении лабораторных работ, к рубежным контролям, к экзамену, оформлении лабораторных работ. Она может включать в себя практику подготовки рефератов, презентаций и докладов по ним. Тематика рефератов должна иметь проблемный и профессионально ориентированный характер, требующий самостоятельной творческой работы студента.

Вопросы к самостоятельной работе:

1. Параметрические и физические методы диагностирования
2. Внешний осмотр станка, проверка комплектации и паспортных данных
3. Установка станков на предприятии
4. Испытание станков на холостом ходу, проверка работы механизмов
5. Проверка всех органов управления
6. Проверка рабочих скоростей
7. Проверка температуры подшипников
8. Проверка механизмов станка
9. Проверка уровня шума и вибрации станка
10. Проверка станка на ускоренных перемещениях и циклах

11. Проверка органов ручного управления
12. Проверка скоростей главного движения
13. Проверка величин подач
14. Испытание станков в работе под нагрузкой и производительности
15. Проверка точности деталей, изготовленных на станке
16. Проверка механизмов станка в работе под нагрузкой
17. Проверка скорости главного движения станка
18. Испытание станков на производительность
19. Проверка станков на геометрическую точность, чистоту обработки и точность обрабатываемой детали
20. Примерные условия проведения испытаний на чистовых режимах для станков
21. Испытание станков на чистоту обработки
22. Проверка геометрической точности станка без нагрузки (тестовый метод)
23. Примеры проверок геометрической точности станков
24. Схема проверки геометрической точности токарного станка
25. Схемы контроля геометрической точности сверлильного станка
26. Схемы контроля геометрической точности вертикального консольно-фрезерного станка
27. Проверка плоскостности рабочей поверхности стола
28. Проверка параллельности рабочей поверхности стола направлению его перемещения
29. Кинематическая точность станков
30. Метод определения точности зубообрабатывающих станков
31. Методы определения точности резбообрабатывающих станков
32. Испытание жесткостных характеристик узлов станка
33. Тестовый метод определения жесткости
34. Бесконтактный метод измерения жесткости
35. Метод измерения жесткости шпиндельного узла вертикально-фрезерного станка
36. Нормы жесткости станков (примеры)
37. Проверка жесткости станка методом функциональной диагностики
38. Методы повышения жесткости
39. Особенности погрешностей станков с ЧПУ и методы их измерения

- 40.Причины возникновения погрешностей в станках с ЧПУ
- 41.Методики проверки точности станков с ЧПУ
- 42.Проверка точности позиционирования для станков с ЧПУ
- 43.Контроль отработки системой привода подач станка единичных импульсов
- 44.Контроль отработки системой привода подач и выявление погрешностей в санках с ЧПУ
- 45.Проверка на безотказность станков с ЧПУ
- 46.Испытания на виброустойчивость
- 47.Методы испытаний станков на виброустойчивость
- 48.Метод определения виброустойчивости по амплитудно-фазовой частотной характеристике
- 49.Метод определения виброустойчивости при работе станка на холостом ходу
- 50.Метод определения виброустойчивости исследованием плавности медленных перемещений узлов станка
- 51.Метод оперативной оценки виброустойчивости элементов технологической системы
- 52.Причины вибрации в технологической системе

Темы рефератов:

- 1.Неплоскостность и непрямолинейность поверхности
- 2.Непрямолинейность траектории перемещения
- 3.Непараллельность элементов и перемещений
- 4.Неперпендикулярность относительного положения элементов
- 5.Несоосность валов
- 6.Радиальное и осевое биение
- 7.Методы проверки геометрической точности станков
- 8.Поверочные линейки
- 9.Поверочные угольники
- 10.Щупы
- 11.Оправки
- 12.Индикаторы и микрокаторы
- 13.Поверочные уровни
- 14.Проверочные мостики

15. Оптические приборы (коллиматоры)
16. Динамометры
17. Современные приборы и аппаратурно-программные комплексы для измерения геометрической точности
18. Беспроводная система QC20-Wballbar
19. Автоколлиматор цифровой двухкоординатный ОПТРО-АК-014(DualAxisDigitalAutocollimator)
20. Кинематомер
21. Лазерная измерительная информационная система

Литература для самостоятельной работы:

ЭБС «Консультант студента»

1. *Технологическая оснастка* Черпаков Б.И. Авторы М. Академия 2003- 280 с.
2. *Инструментальная оснастка станков с ЧПУ: Справочник*
Авторы Григорьев С.Н., Кохомский М.В., Маслов А.Р. Издательство Машиностроение Год издания 2006
3. *Технологическая оснастка: вопросы и ответы:*
Авторы Косов Н.П., Исаев А.Н., Схиртладзе А.Г. Издательство Машиностроение Год издания 2007
4. *Современная технологическая оснастка*
Авторы Рахимьянов Х.М. Издательство НГТУ Год издания 2013
5. *Технологическая оснастка*
Авторы С.Э. Завистовский Издательство РИПО Год издания 2015

7. Фонды оценочных средств

Оценочные средства для текущего контроля успеваемости:

- а) решение задач по изучаемой теме на практических занятиях;
- б) отчет по выполненным лабораторным работам;
- в) летучий устный или письменный опрос студентов во время лекции по изучаемому материалу.

Оценочные средства для промежуточной аттестации студентов по итогам освоения дисциплины:

- вопросы к аттестациям

Вопросы к первой рубежной аттестации

1. Теория надежности
2. Надежность
3. Безотказность
4. Долговечность
5. Ремонтопригодность

6. Сохраняемость
7. Исправное состояние
8. Неисправное состояние
9. Работоспособное состояние
10. Неработоспособное состояние
11. Предельное состояние
12. Отказом
13. Событием
14. Дефект
15. Ремонт
16. Восстановление
17. Показатель надежности
18. Единичный показатель надежности
19. Комплексный показатель надежности
20. Расчетный показатель надежности
21. Экспериментальный показатель надежности
22. Эксплуатационный показатель надежности
23. Экстраполированный показатель надежности
24. Нарботка

Вопросы ко второй рубежной аттестации

1. Время восстановления
2. Ресурс
3. Срок службы
4. Срок сохраняемости
5. Остаточный ресурс
6. Назначенный ресурс
7. Назначенный срок службы
8. Назначенный срок хранения
9. Классификация отказов
10. Случайное событие
11. Событие
12. События являются несовместными
13. Непрерывной случайной величиной является
14. Понятие закона распределения.
15. Законом распределения
16. Закон распределения вероятностей
17. Плотностью распределения кривой распределения
18. Законы распределения вероятностей случайных величин
19. Нормальный закон распределения
20. Нормальный закон распределения (закон Гаусса)
21. Безотказность

22.Вероятность безотказной работы

23.Вероятность отказа

Вопросы к зачету:

1. Теория надежности
2. Надежность
3. Безотказность
4. Долговечность
5. Ремонтпригодность
6. Сохраняемость
7. Исправное состояние
8. Неисправное состояние
9. Работоспособное состояние
10. Неработоспособное состояние
11. Предельное состояние
12. Отказом
13. Событием
14. Дефект
15. Ремонт
16. Восстановление
17. Показатель надежности
18. Единичный показатель надежности
19. Комплексный показатель надежности
20. Расчетный показатель надежности
21. Экспериментальный показатель надежности
22. Эксплуатационный показатель надежности
23. Экстраполированный показатель надежности
24. Нарботка
25. Время восстановления
26. Ресурс
27. Срок службы
28. Срок сохраняемости
29. Остаточный ресурс
30. Назначенный ресурс
31. Назначенный срок службы
32. Назначенный срок хранения
33. Классификация отказов
34. Случайное событие
35. Событие
36. События являются несовместными
37. Непрерывной случайной величиной является
38. Понятие закона распределения.

- 39. Законом распределения
- 40. Закон распределения вероятностей
- 41. Плотностью распределения кривой распределения
- 42. Законы распределения вероятностей случайных величин
- 43. Нормальный закон распределения
- 44. Нормальный закон распределения (закон Гаусса)
- 45. Безотказность
- 46. Вероятность безотказной работы
- 47. Вероятность отказа

Пример билета к первой рубежной аттестации

**ГРОЗНЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЯНОЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

им. академика М.Д. Миллионщикова

БИЛЕТ №1 к первой рубежной аттестации

Дисциплина ***Надежность и диагностика технологических систем***

Институт энергетики специальность ТМ семестр ____

- 1. Теория надежности
- 2. Надежность
- 3. Безотказность
- 4. Долговечность

УТВЕРЖДАЮ:

« ____ » _____ 2020 Зав. кафедрой «ТМ» _____ /М.Р.Исаева/

Пример билета ко второй рубежной аттестации

**ГРОЗНЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЯНОЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

им. академика М.Д. Миллионщикова

БИЛЕТ №5 ко второй рубежной аттестации

Дисциплина ***Надежность и диагностика технологических систем***

Институт энергетики специальность ТМ семестр ____

- 1. Время восстановления
- 2. Ресурс
- 3. Срок службы
- 4. Срок сохраняемости

УТВЕРЖДАЮ:

« ____ » _____ 2020 Зав. кафедрой «ТМ» _____ /М.Р.Исаева/

Пример билета к зачету

**ГРОЗНЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЯНОЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

им. академика М.Д. Миллионщикова

БИЛЕТ №1 к зачету

Дисциплина ***Надежность и диагностика технологических систем***
Институт энергетики специальность ТМ семестр _____

1. Нормальный закон распределения (закон Гаусса)
2. Безотказность
3. Вероятность безотказной работы
4. Вероятность отказа

УТВЕРЖДАЮ:

« ____ » _____ 2020 Зав. кафедрой «ТМ» _____ /М.Р.Исаева/

7.4. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкалы оценивания.

6. Таблица 7

Планируемые результаты освоения компетенции	Критерии оценивания результатов обучения				Наименование оценочного средства
	менее 41 баллов (неудовлетворительно)	41-60 баллов (удовлетворительно)	61-80 баллов (хорошо)	81-100 баллов (отлично)	
ОПК-5. Способен использовать основные закономерности, действующие в процессе изготовления машиностроительных изделий требуемого качества, заданного количества при наименьших затратах общественного труда.					
Знать: основные закономерности, действующие в процессе изготовления машиностроительных изделий требуемого качества;	Фрагментарные знания	Неполные знания	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания	Сформированные систематические знания	Вопросы к аттестациям, рефераты, вопросы к зачету и к экзамену, отчеты по лабораторным и практическим заданиям
уметь: эффективно использовать материалы, оборудования, инструменты, технологической оснастки, средств автоматизации и программ выбора и расчетов параметров технологических процессов;	Частичные умения	Неполные умения	Умения полные, допускаются небольшие ошибки	Сформированные умения	
владеть: навыками использования основных закономерностей, действующих в процессе изготовления машиностроительных изделий требуемого качества, заданного количества при наименьших затратах общественного труда.	Частичное владение навыками	Несистематическое применение навыков	В систематическом применении навыков допускаются пробелы	Успешное и систематическое применение навыков	

7.5. Критерии оценивания текущей, рубежной и промежуточной аттестации

Пример практической работы

По дисциплине «Надежность и диагностика технологических систем»

Тема: Показатели качества и технического уровня машин

Определить:

- 1. Показатели надёжности машин*
- 2. Основные факторы физического старения машин*
- 3. Изнашивание деталей и узлов машин*
- 4. Прочностные характеристики материалов деталей и элементов машины*

Ход работы:

При выборе машин для определенного вида работ (земляных, дорожных, путевых и др.), при разработке или модернизации серийной конструкции, при определении конкурентоспособности машиностроительной продукции необходимо иметь представления о ее качестве, о ее техническом и эксплуатационном уровне. Качество машины характеризуется широким спектром свойств, которые обуславливают ее пригодность удовлетворять требованиям потребителя в соответствии с показателями. В этой совокупности свойств имеются как единичные характеристики, позволяющие судить только об одном параметре машины, так и комплексные, которые охватывают несколько параметров машины.

В общем случае для оценки уровня продукции машиностроения, в том числе погрузочно-разгрузочных, путевых, дорожно-строительных машин и оборудования, используют Единую систему конструкторской документации (ЕСКД), составляя карту ее технического уровня и качества. Показатели, определяющие качество и эффективность машин можно условно разделить на следующие группы:

- 1) технико-экономические показатели, характеризующие эффективность машин по основным техническим параметрам (мощность, производительность, энерго- и материалоемкость, выработка и др.);
- 2) Конструктивные показатели, которые характеризуют качество и свойства конструкции машины (надежность, унификация и стандартизация элементов конструкции и др.);

3) Эксплуатационные показатели, характеризующие работу машины в производственных условиях (типоразмерность, мобильность, проходимость, универсальность и др.);

4) Технологические показатели, которые характеризуют трудоёмкость изготовления деталей и узлов, а также сборки и разборки машины.

Из всех показателей характеризующих качество и технико-экономическую эффективность машин наиболее значимыми являются «показатели надёжности». В работе [1] профессор В. И. Баловнев с коллегами оценил значимость более 30 показателей машин по коэффициенту их весомости на базе экспериментальных данных. Наибольший коэффициент весомости имеет надёжность, что свидетельствует о её роли в обеспечении работоспособности машин различного назначения.

Работоспособность машин

Показатели надёжности машин

Надёжность – это свойство машины сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих её способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования.

Надёжность является комплексным свойством, которое оценивают по четырем показателям – безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости (или по сочетанию этих свойств).

Безотказность – это свойство машины сохранять работоспособность непрерывно в течение некоторого времени или некоторой наработки.

Долговечность – это свойство машины непрерывно сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта.

(*Предельное состояние* – состояние машины, при котором её дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна, либо восстановление её работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно).

В отличие от безотказности долговечность характеризуется продолжительностью работы машины по суммарной наработке,

прерываемой периодами для восстановления её работоспособности в плановых и неплановых ремонтах и при техническом обслуживании. Отметим, что для невосстанавливаемых изделий, понятия долговечности и безотказности практически совпадают.

Ремонтопригодность – это приспособленность машины к предупреждению и обнаружению причин возникновения отказов и повреждений, а также поддержанию и восстановлению работоспособности путём проведения технического обслуживания и ремонта. Отметим, что с усложнением технических систем, всё труднее найти причины отказов (в сложных системах время поиска занимает более 50 % общего времени восстановления работоспособности). Важность этого показателя определяется огромными затратами на ремонт машин.

Сохраняемость – это свойство машины сохранять показатели безотказности, долговечности и ремонтпригодности после хранения и транспортирования. Отметим существенные значения этого показателя для деталей, узлов и механизмов, находящихся на хранении в комплекте запчастей.

Объекты (машины) подразделяют на:

- невосстанавливаемые;
- восстанавливаемые.

Надёжность машины характеризуется следующими состояниями: исправное, неисправное, работоспособное и неработоспособное.

Исправное состояние – состояние машины, при котором она соответствует всем требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской документации.

Неисправное состояние – состояние машины, при котором она не соответствует хотя бы одному из требований нормативно-технической и (или) конструкторской документации.

Работоспособное состояние – состояние машины, при котором она способна выполнять заданные функции, соответствующие требованиям нормативно-технической и конструкторской документации (*нормативно-техническая документация* – стандарты, технические условия и прочая документация).

Таким образом, неработоспособное состояние является непременно неисправным. Но неисправное состояние не обязательно неработоспособное (например, повреждение капота или крыла автомобиля). Различают неисправности, не приводящие к отказам, и неисправности, ведущие к отказам.

Показатели надёжности разделяют в соответствии с упомянутыми свойствами на показатели: безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости.

Показатели надёжности могут быть единичными (т.е. характеризующими одно свойств, составляющих надёжность) и комплексными, относящихся к нескольким свойствам объекта.

К единичным показателям относятся показатели безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости.

К комплексным показателям надёжности машин относятся коэффициенты готовности, технического использования, а также удельные суммарные трудоёмкости ремонта или Т.О. Как правило, они относятся к сложным системам и автоматическим комплексам.

Коэффициент технического использования ($K_{т.и}$) – это отношение математического ожидания времени работоспособного состояния на некоторый период эксплуатации к сумме математических ожиданий времени работоспособного состояния и всех простоев для ремонтов и технического обслуживания.

$$K_{т.и} = \frac{T}{T + \sum_{i=1}^n (T_p + T_{т.о})_i},$$

где T – суммарное время пребывания в работоспособном состоянии;

T_p – время ремонта;

$T_{т.о}$ – время техобслуживания.

Коэффициент готовности (K_T) – вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме периодов, в которых эксплуатация не предусматривается. Коэффициент определяют, как отношение математических ожиданий времени нахождения в работоспособном состоянии к математическим ожиданиям суммы этого времени и времени внеплановых ремонтов.

$$K_T = \frac{T}{T + \sum_{i=1}^m T_{внi}},$$

где – суммарное время внепланового восстановления.

К основным понятиям в теории надёжности относится отказ.

Отказ – это событие, которое заключается в нарушении работоспособности машины.

Наработка – это продолжительность (или объём) работы машины.

Наработка машины от начала эксплуатации до предельного состояния называется *ресурсом*.

В отличие от ресурса *срок службы* – это календарная продолжительность эксплуатации машины от начала эксплуатации до наступления предельного состояния.

Под предельным состоянием понимают состояние машины, при котором дальнейшая эксплуатация должна быть прекращена (вследствие изменения заданных параметров ниже установленных пределов, нарушения требований безопасности и др.).

Как уже отмечалось, показатель надёжности – это количественная характеристика одного или нескольких свойств, определяющих надёжность машины.

В качестве основных показателей надёжности дорожных машин и их узлов используют следующие характеристики:

$$T_{\gamma}$$

– гамма-процентный ресурс

– средний ресурс до капитального

$$T_K$$

ремонта

(или до

$$T_C$$

списания

);

– коэффициент технического использования $K_{т.и}$ и готовности $K_{г}$.

В свою очередь эти показатели связаны с другими характеристиками:

- 1) вероятностью безотказной работы $P(t)$ – вероятность того, что в пределах заданной наработки (t) отказ не возникнет;
- 2) наработкой на отказ t_n ;
- 3) наработкой до отказа элементов t_d .

Наработка до отказа – математическое ожидание наработки до отказа невозстанавливаемого изделия.

Средняя наработка на отказ – отношение наработки восстанавливаемого объекта к математическому ожиданию числа его отказов в течении этой наработки.

Интенсивность отказов

$$\lambda(t)$$

показатель надёжности невозстанавливаемых изделий, равный отношению среднего числа отказавших в единицу времени объектов к числу объектов, оставшихся работоспособными (этот показатель более чувствителен, чем вероятность безотказной работы, особенно для изделий высокой надёжности).

$$\lambda(t) = n(t) / (N(t) \Delta t)$$

$$N(t) = N_0 - n(t)$$

где

N_0 – общее число элементов;

n – число отказавших элементов.

Гамма-процентный ресурс – наработка, в течении которой объект не достигнет предельного состояния с заданной

γ

вероятностью (%)

Гамма-процентный ресурс определяют из выражения

$$P(T_\gamma) = \frac{\gamma}{100} = 1 - F(T_\gamma),$$

$P(T_\gamma)$

где $P(T_\gamma)$ – вероятность того,

T_γ

что за ресурс

объект не достигнет предельного состояния;

$$F(T_y)$$

— вероятность

достижения предельного состояния.

Основные факторы физического старения машин

В процессе эксплуатации машины со временем под действием разнообразных факторов происходит ухудшение её функциональных и других свойств (т.е. старение машины) вплоть до момента, когда она становится непригодной для дальнейшего использования по назначению.

Различают две формы старения:

- 1) моральное старение, которое состоит в том, что со временем технико-экономические характеристики машины становятся хуже исходных, которыми она располагала на момент поступления потребителю;
- 2) физическое старение, которое является результатом воздействия на машину и её элементы температуры, окружающей среды, механических нагрузок и радиации.

Основной причиной морального старения является появление на рынке более совершенных машин, обеспечивающих повышение технико-экономических и других показателей. Следует отметить, что моральное старение не вызывает отказа машины в отличие от физического старения.

Именно физическое старение, обусловленное воздействием на машину упомянутых факторов, является причиной отказов, т.е. переходов машины в неработоспособное состояние.

Физическое старение (ФС) является результатом воздействия времени, окружающей среды и механических нагрузок, радиации и др.

Вследствие ФС наблюдается ухудшение технических характеристик (точности, быстродействия, экономичности, безопасности). Критерием физического старения является, как правило, показатель технического состояния, поддающийся контролю, например, расход топлива в единицу времени, уровень шума и вибрации, состав выбрасываемых в атмосферу вредных веществ и др.

Именно физическое старение способствовало возникновению ремонтного производства. Оно (ФС) сдерживается современными техническим обслуживанием и ремонтом.

Нарушение работоспособности машины и её элементов регламентируются нормативно-технической документацией. Причины нарушения работоспособности и перехода машины в неработоспособное состояние могут быть самыми разными. Для выявления причин возникновения отказов и их влияния на надёжность машин, отказы целесообразно классифицировать по ряду основных признаков.

По критерию отказы разделяют на функциональные и параметрические. *Отказ функционирования* приводит к частичному или полному прекращению выполнения функций элементов или машины в целом. Очень часто отказ функционирования связан с поломками деталей или узлов машины.

Параметрический отказ приводит к выходу значений параметров или характеристик машины или её элементов за допускаемые пределы. Как правило, подобные отказы не ограничивают возможности функционирования машины, но исходя, из требований нормативно-технической документации машина считается, неработоспособной.

По причинам возникновения отказы разделяют на конструкционные, технологические и эксплуатационные. *Конструкционные отказы* могут быть обусловлены ошибками на этапе конструирования. К ним относятся непродуманная (неудачная) конструкция сборочной единицы, неверно подобранная посадка в подвижных и неподвижных соединениях, ошибочно выбранный материал, несоответствие расчётных данных по прочности и износостойкости деталей и узлов машины нагрузочным режимам при эксплуатации.

Технологические отказы связаны с нарушениями требований технологии на этапе изготовления машины. К ним можно отнести дефекты в материале деталей, необнаруженные контролем нарушения центрирования и соосности, параллельности и перпендикулярности осей при механической обработке деталей; несоблюдение условий химико-термической, термической и другой обработки деталей; отступления от технических условий сборки сборочных единиц и машины в целом и др.

Эксплуатационные отказы могут быть обусловлены нарушением режимов работы или правил эксплуатации машины. Это могут быть проявления нагрузок, превышающих установленные пределы, невысокий уровень технического обслуживания, ошибочный выбор горюче-смазочных материалов, низкое качество запасных частей и др.

Конструкционные и технологические отказы выявляются в основном в приработочный период. Об этом свидетельствует график зависимости потока отказов (среднего числа отказов $\lambda(t)$ за единицу времени) от времени наработки, представленный на рисунке 2.1. Видно, что в период приработки поток отказов достаточно высок, затем на участке, соответствующем периоду нормальной эксплуатации, он практически не меняется, а затем при $t > t_{\text{экспл}}$ поток резко возрастает из-за резкого увеличения износа деталей в узлах трения машины, что делает её эксплуатацию нерациональной.

По условиям возникновения и развития отказы разделяют на *внезапные* и *постепенные*.

Наиболее опасными для машины являются *внезапные отказы*, которые характеризуются резким (скачкообразным) ухудшением одного или нескольких параметров машины. Как правило, они возникают в результате случайного внезапного воздействия внешних факторов, превышающих допустимые нормы, или грубых нарушений условий эксплуатации (ударов, перегрузок, поломок и прочее). Вследствие этого элементы машины теряют свои свойства, необходимые для нормальной эксплуатации машины, или же разрушаются.

Постепенные отказы характеризуются постепенным ухудшением одного или нескольких параметров машины, обусловленного процессами старения деталей, узлов и элементов машины. Как правило, развитие постепенных отказов можно предупредить с помощью системы технического обслуживания и ремонта машины.

По данным профессора Каракулева А. В. в средней по сложности отечественной машине отказ появляется через 15...20 дней эксплуатации, для устранения которого требуется в среднем 50...70 чел-час. труда квалифицированных специалистов.

В основе нарушений работоспособности машин, в основе их физического старения лежат процессы изнашивания поверхностей деталей и узлов машин, а также процессы изменения свойств материалов деталей, конструкции и узлов машин при их эксплуатации.

Изнашивание деталей и узлов машин

Изнашивание (износ) – это процесс постепенного изменения геометрических размеров и формы элементов машины (рабочих органов, ходового оборудования, сопряженных деталей и др.) при трении.

Трение и износ оказывают существенное влияние на надёжность машины. С потерями на трение связано значительное повышение энергоёмкости земляных работ при разработке грунта землеройными и землеройно-транспортными машинами, а также существенное ухудшение энергетических характеристик различных транспортирующих машин. При эксплуатации отказы машин, связанные с изнашиванием ее деталей и элементов, более часты, чем отказы, обусловленные потерей прочности. Во многом это связано со спецификой проектирования отечественных машин: как правило, ответственные детали машин обязательно рассчитывают на прочность, но ни одно подвижное сопряжение не проверяют на износостойкость. В лучшем случае возможность влияния износа на прочность и долговечность сопрягаемых деталей закладывается на стадии проектирования в виде коэффициентов, увеличивающих запас их прочности.

Такой подход объясняется сложностью механических, физических и химических явлений при трении, и отсутствием четких (математически выверенных) зависимостей характеристик трения и износа от различных факторов (технологических, конструктивных, материаловедческих, эксплуатационных).

Вместе с тем, проблема трения и изнашивания является одной из ведущих в машиностроении. Ей уделяется большое внимание, как на исследовательском уровне, так и на практике. Многие параметры трения стандартизированы ещё в советские времена (ГОСТ 27674 – 88). Различают трение скольжения, трение качения и трение качения с

проскальзыванием. К основным характеристикам трения относятся коэффициент трения и скорость скольжения (разность скоростей деталей в точках их касания в подвижном сопряжении). К основным характеристикам изнашивания относятся скорость изнашивания (отношение массового, линейного или объёмного износа ко времени) и интенсивность изнашивания (отношение износа к пути трения). Свойство материала оказывать сопротивление изнашиванию называют *износостойкостью*.

При *трении скольжения* скорости контактирующих деталей в точках касания могут различаться по величине и направлению, по величине или по направлению. Этот вид трения связан с максимальным износом сопряженных деталей и наибольшей энергоёмкостью процесса трения. В частности червячная пара, в которой реализовано трение скольжения, имеет наименьший К.П.Д. ($\eta \approx 0,75$) из всех зубчатых передач. Вместе с тем, в машинах используют положительный эффект трения скольжения, а именно возможность реализации больших сил трения при относительно малых нормальных силах. Например, этот эффект используют в тормозных системах, в фрикционных передачах и др.

При *трении качения* скорости контактирующих деталей одинаковы и по величине, и по направлению. Этот вид трения имеет наибольшее распространение в машинах в связи с минимальным износом деталей и низкой энергоёмкостью процесса. Он реализуется в подшипниках качения, в парах колесо-рельс, ролик-лента и др.

При *трении качения с проскальзыванием* перемещение деталей осуществляется одновременно с качением и скольжением. Этот вид трения реализуется в различных парах трения, поскольку по энергетическим характеристикам и износу занимает промежуточное положение между трением скольжения и трением качения. В частности, трение качения с проскальзыванием, которое реализовано в зубчатых (цилиндрических, конических) передачах, обеспечивает значительно меньшие потери на трение по сравнению с червячной передачей.

Вместе с тем, вид трения не является постоянной характеристикой узла трения. Даже для правильно сконструированного и изготовленного узла трения в зависимости от многих эксплуатационных факторов вид трения может меняться и, как правило, его изменение сопровождается снижением или потерей работоспособности узла. Можно привести

несколько примеров. При загрязнении подшипников качения трение качения переходит в трение скольжения их промежуточных тел (роликов или шариков) по поверхности одного из колец или в трение скольжения подшипника по поверхности гнезда. Еще пример: при движении колёс по рельсам трение качения колеса по рельсу переходит в трение качения с проскальзыванием в паре обод колеса-рабочая поверхность рельса и в трение скольжения в паре реборда колеса- боковая поверхность головки рельса.

Большое влияние (как отрицательное, так и положительное) оказывает на работоспособность узлов трения наличие смазочного материала в зоне трения.

Если для узлов трения, таких как зубчатые и цепные передачи, подшипники качения и скольжения и прочее, планируется (на этапе проектирования узла) их смазывание смазочными материалами, то отсутствие или ограничение смазки может вызвать резкое увеличение коэффициента трения и интенсивный износ сопряженных деталей вплоть до выхода из строя узла. Как правило, в таких узлах реализуют режим граничной смазки, который характеризуется наличием на контактирующих поверхностях тонкой масляной пленки.

Многие узлы трения (пары колесо-рельс, ролик-лента, шкив-лента и др.) должны эксплуатироваться без смазки, поскольку передача движения между элементами пары осуществляется за счёт сил трения. Поэтому попадание в сопряжение смазочного материала резко ухудшает работоспособность узла. Аналогичный отрицательный эффект имеет место при попадании смазки в рабочую зону тормозных устройств традиционного типа.

Трение в многочисленных сопряжениях узлов и механизмов машин, фрикционное воздействие разрабатываемых материалов на элементы рабочих органов и ходовых устройств приводят к их износу, что сопровождается снижением работоспособности машины в целом, вплоть до достижения предельного состояния.

Износ является сложным процессом, зависящим от многих внешних и внутренних факторов. Из многочисленных видов износа наиболее часто на практике встречается механическое изнашивание, которое в свою очередь разделяют на абразивное, гидроабразивное, газоабразивное, эрозионное, усталостное и кавитационное изнашивание. Следует отметить, что это

разделение в известной мере условно, поскольку на практике чаще всего встречается комбинация различных видов изнашивания. Тем не менее, основными видами изнашивания деталей и узлов при эксплуатации машины в нормальных условиях (не экстремальных) являются абразивное и усталостное изнашивание.

Наибольшему износу подвергаются поверхности элементов рабочих органов машин, которые взаимодействуют с перерабатываемым или разрабатываемым материалом, а также элементы ходового оборудования. К ним относятся режущие элементы рабочих органов дорожно-строительных и других машин (ножи, зубья и отвалы бульдозеров и грейдеров, зубья, ножи и режущие кромки экскаваторов и скреперов, долота, зубила, сверла и другое сменное рабочее оборудование одноковшовых экскаваторов, лопасти шнеков и фрез распределителей дорожно-строительных машин и асфальтоукладчиков), а также детали и элементы ходовых устройств (протекторы пневмошин, звенья и катки гусениц, обода колес на рельсах) и многое другое. Эти элементы в основном подвергаются абразивному изнашиванию, что влечет за собой существенное (на 50...100 %) повышение энергоемкости рабочего процесса.

Для примера порядка величин износа можно привести изнашивание рабочих органов бульдозера. При сроке службы их ножей, составляющем 200...350 часов, величина абразивного износа (по ширине) достигает 40...50 мм при средней скорости износа по толщине около 10 мкм/ч при работе на суглинистых грунтах II – IV категорий. При работе на промерзших суглинистых грунтах скорости изнашивания возрастает в три и более раз. Уже при линейном износе 14...15 мм удельное сопротивление резанию увеличивается в 1,5 раза при росте расхода мощности и снижении производительности машины. Однако отметим, что даже при катастрофическом износе рабочих органов машина продолжает оставаться в работоспособном состоянии.

Совершенно иное влияние оказывает износ деталей силовых передач и других сопряжений на работоспособность машины. При увеличении износа деталей в подвижных сопряжениях растут зазоры, вызывая усиление динамических нагрузок, ухудшение условий смазывания в зоне трения и в конечном итоге выход из строя узла трения.

При анализе трения и изнашивания в подвижных сопряжениях следует различать базовые (пассивные) и активные детали. Базовые детали сборочной единицы, к которым относятся корпуса различных редукторов и коробок передач, конструкционные и другие элементы машин, служат для удержания активных деталей в требуемом положении и воспринимают возникающие нагрузки. Их старение проявляется, как правило, в изменении положения в пространстве опорных поверхностей, в короблении привалочных поверхностей и прочее. Как правило, наработка базовой детали сборочной единицы до предельного состояния является планируемой межремонтной наработкой самой сборочной единицы.

Долговечность активных деталей, подвергающихся изнашиванию, значительно ниже, чем базовых, поскольку активные детали воспринимают и передают крутящие моменты, другие силовые нагрузки, циклические напряжения и прочее. Рабочие поверхности этих деталей (валов и осей, зубчатых колёс, поршней и цилиндров и др.) находятся во фрикционном взаимодействии с рабочими поверхностями других деталей, работая в условиях переменных механических нагрузок.

Как уже отмечалось, износ является сложным процессом, на который оказывают влияние механические, физические и химические факторы, сопровождающие трение элементов сопряжений. Для прогнозирования величины износа деталей в узлах трения машин важно знать характер зависимости износа от времени наработки, т.е. динамику процесса износа. По данным профессора Баловнева В. И. все виды этих зависимостей можно описать несколькими моделями, характерными для различных типов сопряжений (рисунок 2.2). Первая модель (кривая 3) характеризует линейную зависимость износа от времени. Она характерна для абразивного изнашивания рабочих элементов машин для земляных работ.

Вторая модель (кривая 2) имеет ярко выраженный период приработки с последующим периодом с постоянной скоростью изнашивания, что характерно для подшипников скольжения, шарнирных соединений и др.

Третья модель (кривая 5) отличается монотонно убывающей скоростью изнашивания, что характерно для зубчатых колес.

Четвертая модель (кривая 1) характеризуется монотонностью повышающейся скоростью изнашивания. И, наконец, наиболее общая модель (кривая 4, носящая имя Лоренца) включает три основных периода или стадии:

I – период приработки ($0 - t_{\text{пр}}$), для которого характерен резкий рост износа (до величины $I_{\text{пр}}$) с образованием большого числа продуктов изнашивания, загрязняющих смазку, и с повышением температуры в зоне трения; II – период нормальной (стабильной) эксплуатации узла трения ($t_{\text{пр}} - t_{\text{экспл}}$) с установившейся скоростью изнашивания; III – период критического (катастрофического) изнашивания, в результате которого растут зазоры в сопряжении, вызывая дополнительные динамические нагрузки и ухудшение условий смазывания трущихся поверхностей, а по достижении некоторой критической (предельной) величины износа возникают ударные нагрузки на детали, резкое повышение температуры, заедание и в конечном счете выход из строя узла трения.

Таким образом для периода нормальной эксплуатации узла трения характерна практически постоянная скорость изнашивания поверхностей сопряженных деталей, которая графически определяется углом наклона α прямой ($t_{\text{пр}} - t_{\text{экспл}}$) по формуле

$$v = \operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{I_{\text{экспл}} - I_{\text{пр}}}{t_{\text{экспл}} - t_{\text{пр}}}$$

.

Срок службы деталей в узле трения можно определить с учётом времени приработки по формуле

$$t'_{\text{экспл}} = t_{\text{пр}} + (I_{\text{экспл}} - I_{\text{пр}}) / v$$

.

Однако использовать эту формулу для практических расчетов сложно, поскольку все составляющие являются случайными величинами, зависящими от многих параметров.

Больше всего для инженерных расчетов подходит метод аналогий, согласно которому оценка срока службы рассчитываемой детали базируется на известном сроке службы детали-аналога,

эксплуатирующейся в машинах изучаемого вида. Согласно этому подходу, срок службы рассчитываемой детали можно определить по формуле

$$t = t_a K_a / K_p$$

где t_a – срок службы детали аналога;

K_a – коэффициент учета влияния конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов на износ детали-аналога

$$K_a = K_{a1} K_{a2} \dots K_{an} ;$$

K_p – срок службы разрабатываемой детали

$$K_p = K_{p1} K_{p2} \dots K_{pn}$$

Коэффициенты K_a и K_p ($i = 1, \dots, n$) характеризуют влияние на износ основных факторов, включая материал деталей вид термической и химико-термической обработки, вид изнашивания, смазочный материал и многое другое.

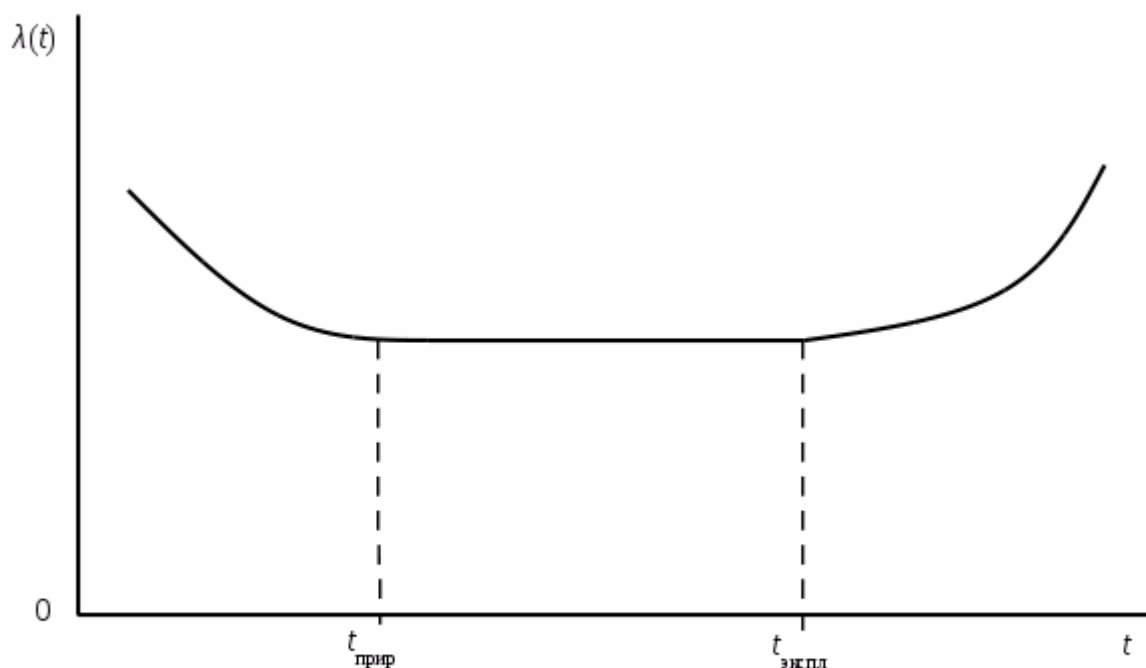


Рисунок 2.1 – Зависимость потока отказов от времени наработки

В настоящее время накоплен довольно обширный банк данных по конкретным узлам трения и влиянию на износ наиболее существенных конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов. Это позволяет решить ряд практических задач с помощью метода аналогий. Кроме того, при оценке ресурса и работоспособности узла трения ответственной задачей является установление предела допустимой величины износа детали ($[I]_{\max} \geq I_{\text{эспл}}$). Важность поиска оптимальной величины предельного износа обусловлены с одной стороны неоправданным уменьшением срока службы деталей при ее занижении, а с другой – повышение текущих затрат за счет увеличения аварийных ремонтов при завышении. Следует отметить, что в настоящее время имеется несколько критериев оценки величины предельного износа в зависимости от вида узла трения и типа сопряжения: по потере прочности детали, по нарушению зацепления деталей в передаче, по потере подвижности в шарнирных соединениях и др.

Оценку надежности деталей при изнашивании производят, рассматривая схему возникновения отказа при достижении предельно допустимых величин износа $[I]_{\max}$ и используя вероятностный подход к решению этой задачи.

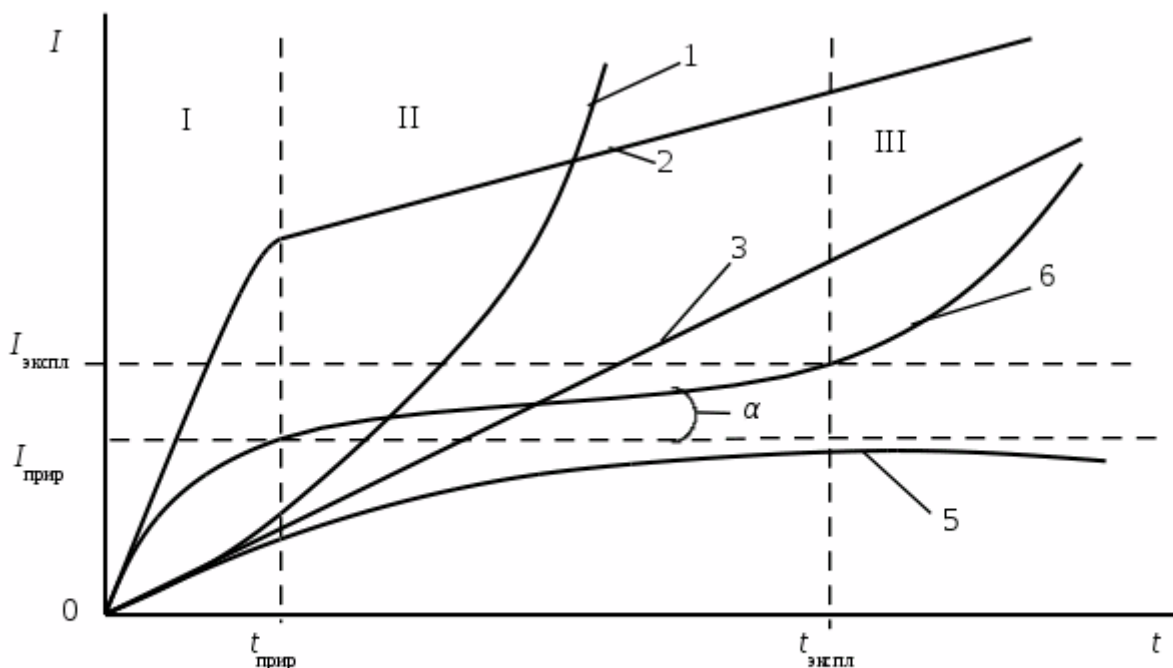


Рисунок 2.2 – Зависимость износа I от времени наработки t : $t_{\text{прир}}$ – время приработки; $t_{\text{экспл}}$ – время эксплуатации

Прочностные характеристики материалов деталей и элементов машины

Помимо изнашивания поверхностей деталей и элементов узлов машин, старение выражается в снижении исходных показателей деформационной способности и прочностных характеристик материалов, из которых они изготовлены, и возникновению отказов. Воздействие внешних факторов (нагрузок, среды, температуры и прочее) приводит к необратимым изменениям структуры и свойств материалов, что в свою очередь отражается на работоспособности деталей и элементов из них.

Наиболее существенным фактором, влияющим на отказы деталей и элементов машин, являются силовые нагрузки, которые вызывают необратимые изменения физико-механических характеристик материалов.

Мало заметными, но весьма ощутимыми по своему воздействию на материалы являются усталостные явления, протекающие в материалах деталей, которые подвергаются циклическим нагрузкам. *Усталостью материала* называют процесс накопления повреждений под действием переменных напряжений. Если эти напряжения периодически превышают определенную для данных условий величину (предел выносливости), в материале постепенно накапливаются микротрещины, которые, развиваясь

и ослабляя сечение, вызывают появление трещин недопустимых размеров или полное разрушение детали или конструкции.

Количественно усталостный процесс можно описать зависимостью, связывающей максимальное напряжение σ в материале детали при ее нагружении с числом циклов нагружения N . В полулогарифмических координатах она имеет вид прямой с изломом (рисунок 2.3) и называется кривой усталости. Плотность накопленных повреждений и соответственно ресурс детали зависят от числа циклов и нагружения, которое в свою очередь определяется величиной действующих в материале напряжений и пределом выносливости. Как правило, для определения условий эксплуатации детали существует стационарный режим нагружения, при котором предел выносливости (σ_0) является постоянной величиной и характеризует максимальные напряжения, при котором не возникает разрушения детали при длительной эксплуатации. Число N_0 (точка перелома кривой) называют *базовым числом циклов* ($N_0 \approx 10^7$). Если величина действующего напряжения σ не превышает σ_0 , то ресурс детали составляет неограниченное число циклов. Если же напряжения, действующие при нагружении больше σ_0 , по кривой усталости можно определить ресурс детали, т.е. число циклов нагружения до ее разрушения. Например, на рисунке 2.3, при увеличении напряжения с σ_2 до σ_1 ресурс детали уменьшается с N_2 до N_1 циклов.

Если же циклическим напряжениям сопутствуют коррозионные процессы воздействия (высоких температур, радиации), предел выносливости может значительно уменьшиться, а в ряде случаев он может вовсе отсутствовать. Значительно снижается предел выносливости для деталей, бывших в эксплуатации и затем восстановленных одним из известных методов.

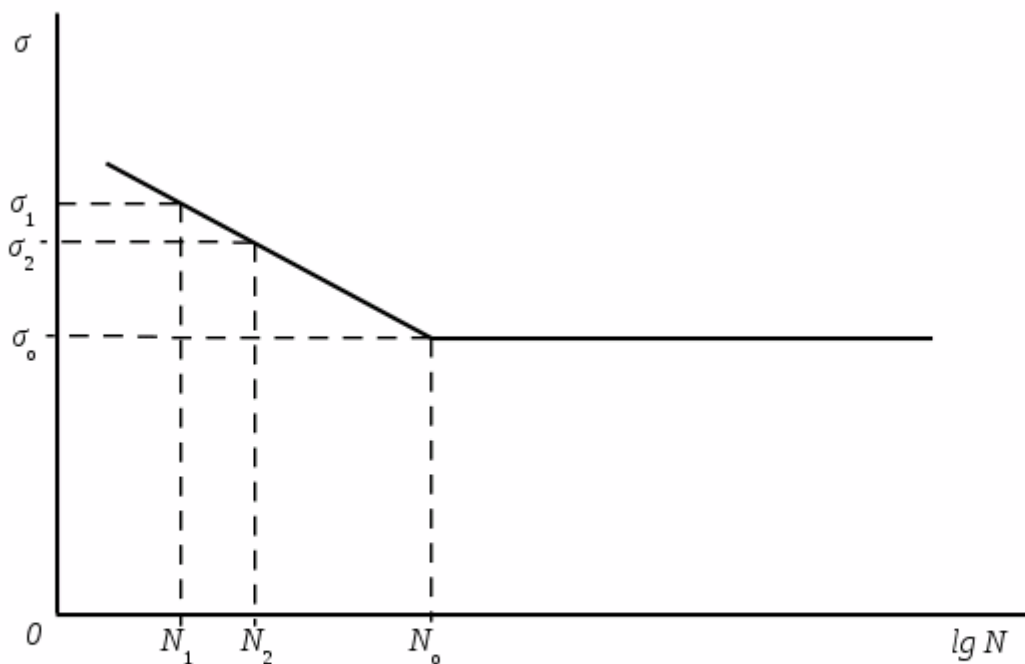


Рисунок 2.3 – Зависимость напряжений в материале деталей от числа циклов нагружения

На рисунке 2.4 приведены кривые усталости материалов, которые были испытаны на воздухе, в масле и в воде (т.е. в коррозионноактивной среде). Видно, что даже масло оказывает отрицательное влияние на прочностные характеристики (так называемый «эффект Ребшнера»). Следует отметить, что фактор усталости в расчетах проработан наиболее детально

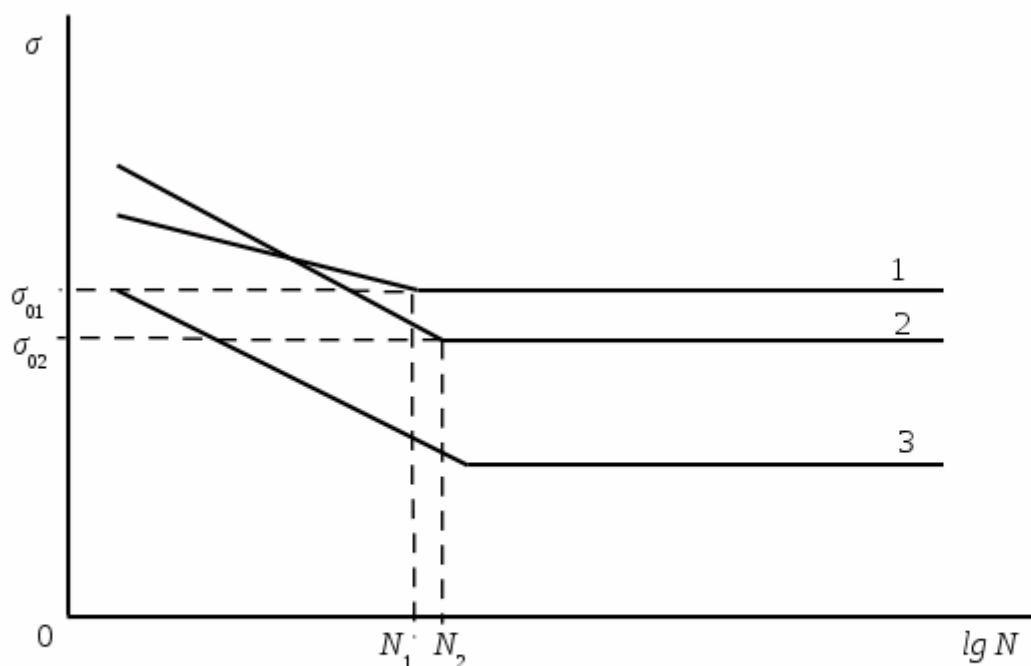


Рисунок 2.4 – Кривая усталости стальных деталей при напряжениях в различных средах: 1 – на воздухе; 2 – в масле; 3 – в воде.

В качестве примера достаточно привести проверочные расчеты, которые проводят для различных передач (курсовой проект по дисциплине «Детали машин и основы конструирования»). Они на учете роли усталостных процессов, поскольку допускаемые напряжения (контактные и изгибные), которые выбирают для проверки правильности кинематических расчетов, определяют именно по кривым усталости.

Помимо усталостных разрушений при эксплуатации машин отказы их деталей и элементов могут возникать по другим причинам. Для ряда материалов, из которых изготавливают детали и элементы машин, наиболее значимым фактором отказа являются хрупкие разрушения. Хрупкие разрушения могут быть основной причиной выхода из строя деталей из хрупких материалов при воздействии больших динамических (чаще ударных) нагрузок. Кроме того, для ряда конструкционных сталей (с примесями азота) в условиях эксплуатации при низких температурах происходит так, называемое *низкотемпературное охрупчивание*. При эксплуатации машин в условиях повышенной радиации имеет место *радиационное охрупчивание*, резко снижающее долговечность деталей и узлов машины.

Низкотемпературное и радиационное охрупчивание является одной из основных причин выхода из строя конструкций и деталей, изготовленных из большинства полимерных композиционных материалов. В условиях низких температур ($T \leq -40^\circ \text{C}$) и повышенного уровня радиации полимерные матрицы композиционных материалов теряют пластичность и становятся хрупкими, что существенно ограничивает их применение в узлах машин.

При высоких длительных нагрузках (или даже перегрузках) у деталей и конструкций из пластичных материалов, могут наблюдаться пластические деформации, которые могут причиной отказа металлоконструкций машин. Эффект ползучести, который представляет собой процесс непрерывной пластической деформации, протекающей с малой скоростью при длительном нагружении, может быть причиной отказа конструкций из незакаленных и высокоотпущенных сталей, а также из композиционных материалов на основе термопластичных полимерных матриц.

Как уже отмечалось, одной из основных причин преждевременного выхода из строя деталей и конструкций машин являются коррозионные процессы, протекающие в материалах под влиянием окружающей среды. Особенно существенную роль может оказать коррозия в сочетании с другими факторами воздействия на материалы деталей и конструкций. В частности, резкое снижение работоспособности и сохранения ресурса машин вызывает воздействие на сопряжение детали в узлах трения абразивно-агрессивных сред.

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

8.1. Основная литература

1 Бочкарев, С.В. Диагностика и надёжность автоматизированных тех-нологических систем: учебное пособие для вузов / С. В. Бочкарев, А. И. Цап-лин, А. Г. Схиртладзе. - Старый Оскол: Изд-во ТНТ, 2017. - 615 с.

2 Воскобоев, В.Ф. Надёжность технических систем и техногенный риск: учебное пособие для вузов. Ч.1 : Надёжность технических систем / В. Ф. Воскобоев. - М.: Альянс:Путь, 2015; 2008. - 199 с.

3 Диагностика и надёжность автоматизированных систем : учебник для вузов / Б. М. Бржозовский, А. А. Игнатьев, В. В. Мартынов, А. Г. Схиртладзе; Под ред. Б. М. Бржозовского. - Старый Оскол: Изд-во ТНТ, 2015; 2012. - 351 с.

4 Кравченко, Е.Г. Надёжность технических систем в машиностроении : учебное пособие для вузов / Е. Г. Кравченко, А. Г. Схиртладзе. - Старый Оскол: Изд-во ТНТ, 2016. - 152 с.

5 Надёжность и диагностика технологических систем : учебник для ву-зов / Ю. А. Бондаренко, М. А. Федоренко, А. А. Погонин, Т. М. Санина. - Старый Оскол: Изд-во ТНТ, 2016. - 212 с.

6 Долгин, В.П. Надёжность и диагностика технических си-стем [Электронный ресурс]: Учебное пособие / Долгин В.П., Харченко А.О. - М.: Вузовский учебник, НИЦ ИНФРА-М, 2015. - 167 с. // ZNANIUM.COM : электронно-библиотечная система. — Режим доступа: <http://www.znanium.com/catalog.php>, ограниченный. — Загл. с экрана.

7 Рыков, В.В. Надёжность и диагностика технических систем и техно-генный риск [Электронный ресурс]: Учебное пособие / Рыков В.В., Иткин В.Ю. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2017. - 192 с. // ZNANIUM.COM : электронно-библиотечная система. — Режим доступа: <http://www.znanium.com/catalog.php>, ограниченный. — Загл. с экрана.

8.2. Дополнительная литература

1 Дедков, В.К. Обеспечение надёжности технических объектов по ста-диям их жизненного цикла / В. К. Дедков, А. И. Татуев. - М.: Машинострое-ние: Машиностроение-Полёт, 2010. - 215 с.

2 Шишмарев, В.Ю. Надёжность технических систем : учебник для ву-зов / В.Ю. Шишмарев. - М.: Академия, 2010. - 304 с.

3 Юркевич, В.В. Надёжность и диагностика технологических систем : учебник для вузов / В. В. Юркевич, А. Г. Схиртладзе. - М.:

Академия, 2011. -296с.

4.ГОСТ 27.002-2015. Надежность в технике (ССНТ). Термины и определения.— Введ.2017-03-01.-М.: Из-востандартов,2017.— 25 с.

1. ГОСТ 27.301-95. Надежность в технике. Расчет надежности. Основ-ныеположения.—Введ. 1997-01-01.-М.: Из-востандартов,1997.— 18 с.

2. ГОСТ 27.310-95. Надежность в технике. Анализ видов, последствий икритичности отказов. Основные положения. — Введ. 1997-01-01. - М.: Из-востандартов,1996.—20с.

7. Естественно-научныйобразовательныйпорталфедеральногопортала «Российское образование» [Электронный ресурс]. — Режим доступа:<http://en.edu.ru>,свободный. —Загл.сэкрana.

8.НаучнаяэлектроннаябиблиотекаeLIBRARY[Электронныйресурс]. —Режимдоступа:<http://elibrary.ru/defaultx.asp>,свободный.—Загл.сэкрana.

9.Научная электронная библиотека IPRbooks [Электронный ресурс]. — Режимдоступа:<http://www.iprbookshop.ru>,свободный.—Загл.сэкрana.

10.НаучнаяэлектроннаябиблиотекаZNANIUM.COM:электронно-библиотечная система. —Режим доступа :<http://znanium.com>, свободный. — Загл.сэкрana.

При осуществлении образовательного процесса рекомендуется использование информационно-справочной системы онлайн-доступа к полному собранию технических нормативно-правовых актов РФ, аутентичному официальной базе <http://gostrf.com>. Все электронные копии представленных в ней документовмогутраспространяться безкаких-либоограничений

9. Материально-техническое обеспечение дисциплины

1. Измерительные инструменты.
2. Режущие инструменты
3. Комплект демонстрационных материалов по материаловедению
4. Комплект демонстрационных материалов по курсу «Литейное производство»
5. Комплект демонстрационных материалов по курсу «Технологические процессы машиностроительного производства»
6. Фрезерные и шлифовальные работы: Иллюстрированное Ф86 учебное пособие - 31 плакат
7. Токарное дело: Иллюстрированное учебное пособие – 36 плакатов
8. Слесарное дело: Иллюстрированное учебное пособие – 30 плакатов.
9. **Твердомер** предназначен для проведения неразрушающего контроля качества изделий из металлов и их сплавов путём определения их твёрдости при проведении лабораторных работ (или научных исследований) с целью оценки качества их термообработки.
10. **Электронный термостат** предназначен для термостатирования (поддержания постоянной температуры с точностью до 0,1 градусов Цельсия) различных ванн жидкими теплоносителями при проведении научных исследований (или лабораторных работ).
11. **Муфельная печь** предназначена для нагрева разнообразных материалов (в том числе металлов) до температуры 1300 градусов Цельсия и выдержке при этой температуре в течение необходимого времени. Используется при проведении лабораторных работ (или научных исследований) для: - термической обработки металлов и их сплавов (отжиг, закалка, отпуск, нормализация и старение); - выплавки и выжига восковых моделей из литейных форм; - обжига литейных форм и керамики и т.п.
12. **Маятниковый копер** предназначен для определения ударной вязкости металлов и их сплавов при проведении лабораторных работ (или научных исследований).
13. **Модель промежуточного ковша МНЛЗ** (машины непрерывного литья заготовок) предназначена для физического моделирования гидродинамики расплава металла в промковше МНЛЗ с целью оптимизации удаления неметаллических включений из разливаемого металла.
14. Микроскоп bresserlcdmicro 5mp
15. CNC 3040 3Axis гравировальный фрезерный станок, 3-осевая фрезерная гравировальная машина
16. Универсальный токарный станок Prota SPD-1000P
17. Сварочный инвертор Foxweld Мастер 202 3269 для ручной дуговой сварки
18. Сверлильный станок Калибр СС-13/400А

11. Дополнения и изменения в рабочей программе на учебный год

Дополнения и изменения в рабочие программы вносятся ежегодно перед началом нового учебного года по форме. Изменения должны оформляться документально и вносятся во все учтенные экземпляры.

Составитель:

доц. кафедры

«ТМ и ТП»



/Л.Х-А. Саипова/

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой

«ТМ и ТП»



/ Н.Д. Айсунгуров/

Зав. выпускающей кафедрой «ТМ и ТП»



/ Н.Д. Айсунгуров/

Директор ДУМР



/ М.А. Магомаева /

освоению дисциплины «Надежность и диагностика технологических систем»

1. Методические указания для обучающихся по планированию и организации времени, необходимого для освоения дисциплины.

Изучение рекомендуется начать с ознакомления с рабочей программой дисциплины, ее структурой и содержанием разделов (модулей), фондом оценочных средств, ознакомиться с учебно-методическим и информационным обеспечением дисциплины.

Дисциплина «Надежность и диагностика технологических систем» состоит из 8 связанных между собою тем, обеспечивающих последовательное изучение материала.

Обучение по дисциплине «Надежность и диагностика технологических систем» осуществляется в следующих формах:

1. Аудиторные занятия (лекции, практические/семинарские занятия).
2. Самостоятельная работа студента(подготовка к лекциям, практическим/лабораторным занятиям, тестам/рефератам/докладам/эссе, и иным формам письменных работ, выполнение анализа кейсов, индивидуальная консультация с преподавателем).
3. Интерактивные формы проведения занятий(коллоквиум, лекция-дискуссия, групповое решение кейса и др.формы).

Учебный материал структурирован и изучение дисциплины производится в тематической последовательности. Каждому практическому/ семинарскому занятию и самостоятельному изучению материала предшествует лекция по данной теме. Обучающиеся самостоятельно проводят предварительную подготовку к занятию, принимают активное и творческое участие в обсуждении теоретических вопросов, разборе проблемных ситуаций и поисков путей их решения. Многие проблемы, изучаемые в курсе, носят дискуссионный характер, что предполагает интерактивный характер проведения занятий на конкретных примерах.

Описание последовательности действий обучающегося:

При изучении курса следует внимательно слушать и конспектировать материал, излагаемый на аудиторных занятиях. Для его понимания и качественного усвоения рекомендуется следующая последовательность действий:

1. После окончания учебных занятий для закрепления материала просмотреть и обдумать текст лекции, прослушанной сегодня, разобрать рассмотренные примеры (10–15 минут).
2. При подготовке к лекции следующего дня повторить текст предыдущей лекции, подумать о том, какая может быть следующая тема(10 -15 минут).
3. В течение недели выбрать время для работы с литературой в библиотеке (по 1 часу).
4. При подготовке к практическому/ семинарскому занятию повторить основные понятия по теме, изучить примеры. Решая конкретную ситуацию, -предварительно понять, какой теоретический материал нужно использовать. Наметить план решения, попробовать на его основе решить 1 -2 практические ситуации (лаб.работы).

2. Методические указания по работе обучающихся во время проведения лекций.

Лекции дают обучающимся систематизированные знания по дисциплине, концентрируют их внимание на наиболее сложных и важных вопросах. Лекции обычно излагаются в традиционном или в проблемном стиле. Для студентов в большинстве случаев в проблемном стиле. Проблемный стиль позволяет стимулировать активную познавательную деятельность обучающихся и их интерес к дисциплине, формировать творческое мышление, прибегать к противопоставлениям и сравнениям, делать

обобщения, активизировать внимание обучающихся путем постановки проблемных вопросов, поощрять дискуссию.

Во время лекционных занятий рекомендуется вести конспектирование учебного материала, обращать внимание на формулировки и категории, раскрывающие суть того или иного явления, или процессов, выводы и практические рекомендации.

Конспект лекции лучше подразделять на пункты, соблюдая красную строку. Этому в большой степени будут способствовать вопросы плана лекции, предложенные преподавателям. Следует обращать внимание на акценты, выводы, которые делает преподаватель, отмечая наиболее важные моменты в лекционном материале замечаниями «важно», «хорошо запомнить» ит. п. Можно делать это и с помощью разноцветных маркеров или ручек, подчеркивая термины и определения.

Целесообразно разработать собственную систему сокращений, аббревиатур и символов. Однако при дальнейшей работе с конспектом символы лучше заменить обычными словами для быстрого зрительного восприятия текста.

Работая над конспектом лекций, необходимо использовать не только основную литературу, но и ту литературу, которую дополнительно рекомендовал преподаватель. Именно такая серьезная, кропотливая работа с лекционным материалом позволит глубоко овладеть теоретическим материалом.

Тематика лекций дается в рабочей программе дисциплины.

3. Методические указания обучающимся по подготовке к практическим/семинарским занятиям.

На практических/семинарских занятиях приветствуется активное участие в обсуждении конкретных ситуаций, способность на основе полученных знаний находить наиболее эффективные решения поставленных проблем, уметь находить полезный дополнительный материал по тематике семинарских занятий.

Студенту рекомендуется следующая схема подготовки к семинарскому занятию:

1. Ознакомление с планом практического/семинарского занятия, который отражает содержание предложенной темы;
2. Проработать конспект лекций;
3. Прочитать основную и дополнительную литературу.

В процессе подготовки к практическим занятиям, необходимо обратить особое внимание на самостоятельное изучение рекомендованной литературы. При всей полноте конспектирования лекции в ней невозможно изложить весь материал из-за лимита аудиторных часов. Поэтому самостоятельная работа с учебниками, учебными пособиями, научной, справочной литературой, материалами периодических изданий и Интернета является наиболее эффективным методом получения дополнительных знаний, позволяет значительно активизировать процесс овладения информацией, способствует более глубокому усвоению изучаемого материала, формирует у студентов отношение к конкретной проблеме. Все новые понятия по изучаемой теме необходимо выучить наизусть и внести в глоссарий, который целесообразно вести с самого начала изучения курса;

4. Ответить на вопросы плана практического/семинарского занятия;
5. Выполнить домашнее задание;
6. Проработать тестовые задания и задачи;
7. При затруднениях сформулировать вопросы к преподавателю.

Результат такой работы должен проявиться в способности студента свободно ответить на теоретические вопросы практикума, выступать и участвовать в коллективном обсуждении вопросов изучаемой темы, правильно выполнять практические задания и иные задания, которые даются в фонде оценочных средств дисциплины.

4. Методические указания обучающимся по организации самостоятельной работы.

Цель организации самостоятельной работы по дисциплине «Надежность и диагностика технологических систем» - это углубление и расширение знаний в области «Технологии машиностроения»; формирование навыка и интереса к самостоятельной познавательной деятельности.

Самостоятельная работа обучающихся является важнейшим видом освоения содержания дисциплины, подготовки к практическим занятиям и к контрольной работе. Сюда же относятся и самостоятельное углубленное изучение тем дисциплины. Самостоятельная работа представляет собой постоянно действующую систему, основанную на образовательном процессе и носит исследовательский характер, что послужит в будущем основанием для написания выпускной квалификационной работы, практического применения полученных знаний.

Организация самостоятельной работы обучающихся ориентируется на активные методы овладения знаниями, развитие творческих способностей, переход от поточного индивидуализированного обучения к обучению с учетом потребностей и возможностей личности.

Правильная организация самостоятельных учебных занятий, их систематичность, целесообразное планирование рабочего времени позволяет студентам развивать умения и навыки в усвоении систематизации приобретаемых знаний, обеспечивать высокий уровень успеваемости в период обучения, получить навыки повышения профессионального уровня.

Подготовка к практическому занятию включает, кроме проработки конспекта и презентации лекции, поиск литературы (по рекомендованным спискам и самостоятельно), подготовку заготовок для выступлений по вопросам, выносимым для обсуждения по конкретной теме. Такие заготовки могут включать цитаты, факты, сопоставление различных позиций, собственные мысли. Если проблема заинтересовала обучающегося, он может подготовить реферат и выступить с ним на практическом занятии. Практическое занятие - это, прежде всего, дискуссия, обсуждение конкретной ситуации, то есть предполагает умение внимательно слушать членов малой группы и модератора, а также стараться высказать свое мнение, высказывать собственные идеи и предложения, уточнять и задавать вопросы коллегам по обсуждению.

При подготовке к контрольной работе обучающийся должен повторять пройденный материал в строгом соответствии с учебной программой, используя конспект лекций и литературу, рекомендованную преподавателем. При необходимости можно обратиться за консультацией и методической помощью к преподавателю.

Самостоятельная работа реализуется:

- непосредственно в процессе аудиторных занятий - на лекциях, практических занятиях;
- в контакте с преподавателем вне рамок расписания на консультациях по учебным вопросам, в ходе творческих контактов, при ликвидации задолженностей, при выполнении индивидуальных заданий и т.д.
- в библиотеке, дома, на кафедре при выполнении обучающимся учебных и практических задач.

Виды СРС и критерии оценок

(по балльно-рейтинговой системе ГГНТУ, СРС оценивается в 15 баллов)

1. Реферат
2. Доклад

Темы для самостоятельной работы прописаны в рабочей программе дисциплины. Эффективным средством осуществления обучающимся самостоятельной работы является электронная информационно-образовательная среда университета, которая

обеспечивает доступ к учебным планам, рабочим программам дисциплин (модулей), практик, к изданиям электронных библиотечных систем.