

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Санкт-Петербургский институт машиностроения (ЛМЗ-ВТУЗ)**

**Кафедра «ТРИБОТЕХНИКА»**

**ПРОЕКТ**

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор ПИМаш по УР, профессор

\_\_\_\_\_ Ю.М. Зубарев

“    ” \_\_\_\_\_ 2007 г.

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

**по дисциплине "Техническая эксплуатация и надёжность промышленного оборудования"**

**для специальности**

**150302 "ТРИБОТЕХНИКА "**

С.-Петербург, 2007

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями  
Государственного образовательного стандарта для специальности 150302  
«ТРИБОТЕХНИКА»

Программу составил д.т.н., профессор \_\_\_\_\_ Л.В. Ефремов

Программа утверждена на заседании кафедры «ТРИБОТЕХНИКА»,

протокол № \_\_\_\_\_ “ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2007 г.

Заведующий кафедрой, д.т.н. профессор \_\_\_\_\_ М.А. Скотникова

Программа одобрена учебно-методической комиссией технологического  
факультета \_\_\_\_\_

# **1 Цель, задачи дисциплины и ее место в учебном процессе**

## **1.1 Цель преподавания дисциплины**

Целью преподавания дисциплины "Техническая эксплуатация и надёжность промышленного оборудования" является обучение студентов основам обеспечения надёжности техники во период технической эксплуатации с помощью нормирования системы технического обслуживания и ремонта (ТОР) машин и мониторинга их технического состояния на основе вероятностного моделирования процессов деградации эксплуатационных характеристик машин, включая процессы изнашивания узлов трения.

## **1.2 Задачи изучения дисциплины**

Для достижения указанной цели студенты должны:

изучить принципы планирования системы ТОР при разработке нормативной документации,

освоить методы мониторинга технического состояния (диагностирования) машин в процессе эксплуатации.

уметь решать задачи по п.п. 1.2.1 и 1.2.2 на основе специальных методов прогнозирования показателей надёжности (и прежде всего - долговечности),

при решении задачи по п. 1.2.3 учитывать как физическую, так и вероятностную природу процессов деградации состояния элементов машин, входящих в состав ПО. К таким процессам в первую очередь относится изнашивание узлов трения, что имеет прямое отношение к науке о триботехнике.

## **1.3 Место дисциплины в учебном процессе**

Дисциплина "Техническая эксплуатация и надёжность промышленного оборудования" относится к дисциплинам, завершающих процесс профессиональной подготовки студентов, которая, в частности, базируется на блоке следующих дисциплин:

- Общие гуманитарные и социально-экономические дисциплины (ГСЭ.00) - основы управления производством, маркетинг, менеджмент, экономика.
- Математика (ЕН.01) - вероятность и статистика; элементарная теория вероятности; математические основы теории вероятности; статистические методы обработки экспериментальных данных.
- Информатика (ЕН.02) - общая характеристика процессов сбора, передачи, обработки и накопления информации; технические и программные средства реализации информационных процессов; модели решения функциональных и вычислительных задач,
- Метрология, стандартизация и сертификация (ОПД.04) - характеристика средств измерения; оценка погрешностей при измерениях; электромеханические и электронные измерительные приборы; системы автоматического контроля и управления; техническая диагностика.
- Машиноведение - конструкции машин; обслуживание систем, регулирование. техническое диагностирование и испытания
  - Физико-химические процессы при трении;
  - Механика деформирования и контактирования твердых тел;
  - Методы моделирования процессов в трибосистемах;
  - Основы теории смазки и смазочные материалы;
  - Основы автоматизированного проектирования;
  - Основы теории трения и изнашивания;
  - Современные технологии повышения износостойкости рабочих поверхностей деталей и др.

## **2 Структура и объем дисциплины**

Структура и объем дисциплины определены учебными планами для смешанной (С) формы обучения.

В состав дисциплины входят следующие основные разделы:

Тема 1. Основные понятия о технической эксплуатации промышленного оборудования

Тема 2. Эксплуатационная надежность машин

Тема 3. Нормирование система TOP на основе моделирования процессов деградации элементов машин

Тема 4. Мониторинг (диагностика) состояния машин при техническом обслуживании и ремонте .

Для освоения указанных разделов дисциплины учебным планом предусматриваются следующие виды занятий:

- Лекции,
- Лабораторные занятия,
- Курсовое проектирование,
- Самостоятельная работа
- Вид аттестации – экзамен.

### 3 Распределение часов

Распределение часов по семестрам. Форма обучения С (Осенний семестр).

Таблица 1

Вид занятий	Семестр		Всего
	11		
Лекции	51		51
Курсовой проект	есть		0
Лабораторные работы	17		17
Самостоятельная работа	34		34
Экзамен	есть		0
Зачет	нет		0
Аудиторные занятия	102		102

Распределение часов по разделам. Форма обучения С,  
(Только осенний семестр).

Таблица 2

Вид занятий	Раздел				итого
	1	2	3	4	
Лекции	12	13	13	13	51
Лабораторные работы	2	5	6	4	17
Самостоятельная работа	4	10	12	8	34
Аудиторные занятия	18	28	31	25	102

## 4 СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 4.1 Тематика лекций

**Введение.** Предмет и задачи курса. Цели и задачи технической эксплуатации в повышении эффективности коммерческой эксплуатации промышленного оборудования. Значение курса для подготовки специалистов по трибологии. Объем и содержание курса. Связь дисциплины с общенаучными, общеинженерными и специальными дисциплинами.

**Тема 1.** Основные понятия о технической эксплуатации промышленного оборудования

Промышленное оборудование относится к основным средствам народного хозяйства с помощью которых обеспечивается коммерческая эффективность всех отраслей промышленности и транспорта. Промышленное оборудование любого предприятия или транспортного средства состоит из таких элементов, как сооружения, машины, механизмы и устройства. При этом экономические показатели машин зависят не только от функциональных показателей их использования, но и от уровня эксплуатационной надежности комплектующих элементов (деталей и узлов). В данной дисциплине все проблемы повышения надежности целесообразно в основном рассматривать применительно к узлам трения машин, подверженных изнашиванию.

Проблема обеспечения высокого уровня надежности машины должна решаться на всех стадиях его жизненного цикла, т.е. при проектировании, изготовлении, монтаже на объекте, эксплуатации и ремонте.

При проектировании и изготовлении машины эта проблема решается путем разработки грамотных конструктивно-технологических мер, которые изучались в рамках других дисциплин.

В этой дисциплине рассматриваются методы и средства обеспечения надежности в сфере технической эксплуатации, которая включает в себя процессы технического использования, технического обслуживания и ремонта. В первую очередь настоящая дисциплина направлена на организацию и управление двух технологических процессов – технического обслуживания и ремонта (ТОР) техники. Они образуют в своей совокупности производственный процесс, который имеет своей целью поддержание (за счет технического обслуживания) машин в исправном и работоспособном (за счет выполнения ремонтов) состоянии в течении всего срока службы до списания. В лекции по дисциплине даются признаки различия понятий и техническом обслуживании и ремонте.

Согласно законам философии, любой производственный процесс вообще и ТОР, в частности, должен содержать в себе три элемента:

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

Если в коммерческой эксплуатации машина является средством воздействия на предмет (результат) труда, например на объем выработанной энергии двигателем, то в процессе технической эксплуатации машина сама становится предметом (объектом), на который направлен труд коллектива людей для восстановления требуемого качества машины.

В дисциплине рассматриваются две взаимосвязанные проблемы организации технической эксплуатации машины.

Первая проблема – организация работ по контролю и поддержанию исправного состояния машины в соответствии с выбранной стратегией ремонтов (ТОР).

Вторая проблема – выбор методов и средств диагностики (мониторинга) технического состояния элементов машины (включая узлы трения).

Решение первой проблемы зависит от условий эксплуатации (класса) машины и степени ее влияния на безопасность эксплуатации объекта конечного использования (ОКИ), например автомобиля, корабля, цеха предприятия и пр..

Эта задача сводится к выбору стратегии и системы ТОР машины. Для ответственных машин (высших классов) следует выбирать систему планово-предупредительных ремонтов (ППР), согласованную с ремонтными циклами ОКИ. Для наименее ответственных машин (например, оборудования бытового назначения) работы по ТОР обычно выполняются по состоянию или по мере возникновения отказов. Имеется оборудование промежуточного класса, где применяются смешанные системы ТОР.

В данном разделе дисциплины излагаются основные термины и определения по тематике ТОР. В частности даются понятия о ремонтном цикле, видах плановых ремонтов (текущий, средний или капитальный) и их основных показателях (периодичность, трудоемкость, стоимость).

Вторая проблема заключается в выборе и применении методов и средств безразборной диагностики (мониторинга) машины, что позволяет уточнять (прогнозировать) фактические сроки и объемы ремонтов по сравнению с нормативами ППР и получать за счет этого экономический эффект без снижения вероятности безотказной работы. При изучении этого вопроса в четвертом разделе содержания дисциплины особое внимание будет уделено выбору диагностических параметров и их допустимых значений, а так же повышению точности и достоверности средств и методов измерений. Ввиду большого разнообразия признаков деградации машин эту проблему целесообразно решать в сочетании с творческой инициативой студентов.

## **Тема 2. Эксплуатационная надежность машин**

Фундаментальной основой решения проблем, указанных в предыдущем разделе, является теория надежности [], в которой учитывается как



вероятностная, так и физическая сущность процессов деградации элементов машин, включая изнашивания узлов трения.

Основные понятия и определения теории надежности. Базовыми при обосновании системы ТОР являются понятия о таких событиях, как повреждения и отказы деталей и узлов. Доказывается, что для планирования ТОР с целью предупреждения отказов важнейшее значение имеет изучение статистической информации о повреждениях и их вероятностное моделирование. Эту задачу предлагается решать на основе классификации повреждений и отказов. С точки зрения скорости изменения состояния объектов они условно подразделяются на постепенные и внезапные события. При рассмотрении последствий отказов повреждения разделяются на допустимые и недопустимые. Отметим, что такая классификация позволяет осознано подходить к решению проблемы обеспечения безотказной работы машин за счет планирования ТОР путем моделирования процессов изнашивания деталей.

При изучении надежности деталей и узлов машин важнейшее значение имеет понятие о предельном состоянии для любого деградационного процесса. Это понятие лежит в основе оценки таких параметров долговечности деталей, как срок службы или ресурс объекта. Под ресурсом поднимется продолжительность работы объекта от начала эксплуатации до наступления предельного состояния. Другим важнейшим положением изучения деградационных процессов, включая изнашивание, является их безусловный вероятностный характер. Под влиянием явно нестабильных технологических и эксплуатационных факторов (разброс износостойкости материала, нестабильность нагрузки, различия в качестве обслуживания и прочее) наблюдается значительное рассеивание (50 и более процентов) скорости изнашивания, поле которого накрывает теоретическую детерминированную картину износа и приводит к необходимости использования вероятностных показателей. К ним в первую очередь относятся вероятность не достижения предельного состояния и гамма - процентный ресурс. Эти показатели в данной дисциплине определяются с использованием соответствующих методов расчета параметров теоретических законов распределения вероятностей по исходным данным эмпирического распределения.

В этой дисциплине для оценки долговечности узлов трения применяются не только (и не столько) нормальный закон, но и другие двухпараметрические законы распределения. Как показала практика, наилучшее согласие с эмпирическими выборками случайных событий имеют закон распределения Вейбулла и логнормальное распределение. В отличие от показателей долговечности, прогнозируемых по данным о постепенных видах повреждений, показатели безотказности определяются как правило с помощью системы сбора информации о фактических внезапных отказах по данным из сферы эксплуатации машин. К показателям, которые характеризуют безотказность деталей и узлов, относится вероятность безотказной работы. Уровень безотказности машин в целом в большинстве случаев можно оценить по таким показателям, как наработка на отказ и коэффициент готовности. Формулы для расчета этих показателей базируются на экспоненциальном законе распределения вероятности.

Комплексные показатели надежности предназначены для оценки надежности машины в целом за весь срок ее службы с учетом затрат времени на все виды ТОР. Наиболее распространенным комплексным показателем является коэффициент технического использования, который характеризует долю времени фактической работы машины к календарному времени эксплуатации за весь срок службы. При этом календарное время представляет собой сумму фактической работы машины, всех затрат времени на ТОР и работы по устранению последствий отказов. Кроме количественной оценки для повышения надежности необходимо собирать и изучать информацию об основных конструктивно-технологических недостатках машин.

Сбор и обработка информации от отказах машин представляет собой сложную проблему, которая решается в каждой отрасли промышленности и транспорта по своему. Основные направления использования результатов анализа надежности техники заключается не только в разработка нормативов ТОР, но и в принятии совместных с поставщиками машин решений по повышению качества техники, определения и устранение причин отказов.

**Тема 3.** Нормирование система ТОР на основе моделирования процессов деградации элементов машин

В этом разделе дисциплины дается методика нормирования основных показателей ТОР (видов, периодичности и трудоемкости работ), которые рассматривались в первом разделе содержания дисциплины, на основе построения вероятностных моделей деградационных процессов с применением статистических законов, которые рассматривались во втором разделе. В частности для процессов изнашивания вероятностная модель может быть построена с использованием закона Вейбулла или логнормального закона.

Кроме закона распределения вероятностей для формирования вероятностной модели необходимо задать вид функции изменения состояния объекта и допустимый уровень предельного состояния (например, износа). При изучении этого вопроса студенты должны освоить алгоритмы и программы расчета на ЭВМ параметров вероятностной модели, а затем - назначенного ресурса и вероятности обнаружения рассматриваемого вида износа после заданной наработки.

Если такие модели построить для всех основных видов повреждений и элементов машины, то это позволит более корректно сформировать ремонтный цикл машины и содержание работ по видам ремонта.

Для выполнения практических занятий в процессе изучения этой проблемы имеется полное методическое и программное обеспечение.

**Тема 4.** Мониторинг (диагностика) состояния машин при техническом обслуживании и ремонте

Цели и задачи контроля технического состояния судовой техники при эксплуатации и ремонте машин. Три направления работ по контролю технического состояния: функциональный контроль, дефектация и техническая диагностика. Их назначение и отличия друг от друга. Роль контроля технического состояния для обеспечения надежности.

Понятие о диагностических параметрах (ДП) и их классификация. Обобщенные и частные ДП. Номинальные, допустимые и предельные значения ДП. Зоны работоспособности машины.

Методика прогнозирования технического состояния с использованием ЭВМ. Получение исходных данных об изменении диагностического параметра со временем. Методика и программа расчета параметров характеристики изменения диагностического параметра и остаточного ресурса.

Методы и средства технической диагностики (ТД) и их классификация. Штатные, специальные, универсальные и специализированные средства ТД. Устройство средств ТД и их основные элементы.

Описание методов ТД: параметрического, инструментального. по герметичности замкнутых полостей, электрические и электромагнитные, виброакустические, теплоизмерительные, по содержанию продуктов износа в масле и газах и другие. Особенности ТД двигателей внутреннего сгорания и других машин, механизмов и устройств. Примеры разработки приборного, методического и программного обеспечения новых методов диагностирования.

Требования к контролепригодности техники. Перспективы развития ТД в совокупности с компьютерными технологиями.

Распределение часов по темам лекций для формы обучения С дано в табл.3.

Таблица 3

Тема					Итого
Введение	1	2	3	4	
1	10	14	16	10	51

#### 4.2 Лабораторные работы

**Тема Р1.** Статистическая обработка информации о случайных событиях

Задание Р1-1. Расчет основных статистических моментов нецензурированной выборки случайных событий

Задание Р1-2. Построение эмпирических распределений вероятности для нецензурированной и цензурированной выборок случайных событий

Задание Р1-2. Расчет параметров теоретических распределений и показателей долговечности по данным эмпирического распределения вероятности

**Тема Р2.** Прогнозирование технического состояния узла трения по результатам диагностирования машины

Задание Р2-1. Формирование векторов исходной информации о текущем и предельном состоянии объекта

Задание Р2-2. Графический метод приближенной оценки остаточного ресурса

Задание Р2-3. Расчетная оценка остаточного ресурса на ЭВМ

**Тема Р3.** Диагностирование технического состояния сложного объекта на примере демпфера крутильных колебаний дизеля

Задание Р3-1. Расчетно-аналитическое обоснование диагностических параметров и методики их измерений

Задание Р3-2. Статистическая обработка спектрограмм и оценка параметров резонансных колебаний

Задание Р3-3. Оценка остаточного ресурса и технического состояния демпфера по результатам диагностирования

Распределение часов лабораторных работ для формы обучения С дано в табл.4.

Таблица 4

Задания по темам лабораторных работ									Итого
Тема Р1 4 ч. в том числе			Тема Р2 4 ч. в том числе			Тема Р3 9 ч. в том числе			
Р1-1	Р1-2	Р1-3	Р2-1	Р2-2	Р2-3	Р3-1	Р3-2	Р3-3	
1	2	1	2	2	1	4	3	2	

### 4.3 Курсовой проект

В рамках данной дисциплины студенты должны разработать курсовой проект на тему «Моделирование и мониторинг изнашивания детали (указать) при эксплуатации машины (указать)».

Примерное содержание курсового проекта дано в табл. 5.

Таблица 5

Раздел курсового проекта	Листов
Введение	1
Первый. раздел. Описание объекта исследования	7 в т.ч.
1.1 Основные характеристики машины	1
1.2 Конструкция и условия работы узла трения	3
1.3 Ремонтный цикл машины и распределение ее элементов по видам ремонта	3
Второй. раздел. Оценка долговечности узла трения машины	10 в т.ч.
2.1 Исходные данные и методика исследования	4
2.2 Построение опытного распределения вероятностей.	2
2.3 Расчет параметров распределения и гамма -процентного ресурса.	3
2.4 Оценка соответствия ресурса узла трения параметрам ремонтного цикла машины	1
Третий. раздел. Анализ методов повышения износостойкости детали	4
Четвертый. раздел. Узловой вопрос. Мониторинг изнашивания детали при эксплуатации машины	10
Итого страниц (ориентировочно)	30

**Пояснительная записка курсового проекта должна содержать:**

- А. Титульный лист
- В. Аннотация

- C. Оглавление (см. Выше),
- D. Основной текст с указанными разделами,
- E. Список использованной литературы.

**Графическая часть курсового проекта должна содержать:**

- A. Эскиз цилиндровой втулки или дизеля
- B. Схема ремонтного цикла машины и его элементов,
- C. Графики опытного и теоретического распределения,
- D. Иллюстрации по узловому вопросу проекта

В качестве исследуемого объекта студент может применить машину и деталь, выбранную по собственной инициативе из литературы или проектной документации. Вторым вариантом выбора объекта исследования – использование двигателя внутреннего сгорания (дизеля) по учебному пособию для курсового проектирования. Для прогнозирования ресурса исследуемой детали машины в качестве исходных данных может быть применена выборка измерений износов во времени, получаемая с помощью генератора случайных чисел (по специальной программе на ЭВМ).

## **5 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ**

### **5.1 Основная литература**

*Вентцель Е.С. Теория вероятностей: учебник для ВТУЗов . М, ГИ Физ-Мат.литературы, 1962-563с*

*Ефремов Л.В. Практикум по расчетам надежности судовой техники: Учеб. пособие. — Мурманск: Мурманский государственный технический университет, 1999.— 16 с.*

*Ефремов Л.В. Практика инженерного анализа надежности судовой техники. Л.: Судостроение, 1980. 178 с.*

*Ефремов Л.В. Теория и практика исследований крутильных колебаний силовых установок с применением компьютерных технологий. — СПб.: Наука, 2007. 276 с.*

*Методы и средства технической диагностики судовых технических средств / Л.В. Ефремов .-М., 1992.-40 с.:ил.- (Рыбн. хозво. Сер. Эксплуатация флота. Судостроение: Обзорная информация / ВНИЭРХ; Вып.6).*

*Надежность в технике. Термины и определения. ГОСТ27.002-83-М, ГК СССР по стандартам, 1983-3*

*Проников А.С. Надежность машин. М.;Машиностроение, 1978.-590с*

*Ефремов Л.В. Курсовое проектирование по дисциплине «Техническая эксплуатация и надёжность промышленного оборудования». Учебное пособие. СПб.: ЛМЗ-ВТУЗ, 2007. ??? с. . (в разработке).*

## **5.2Дополнительная литература**

*Васильев Б.В., Кофман Д.Н., Эренбург С.Г. Диагностирование технического состояния судовых дизелей. -М.: Транспорт, 1982,*

*Гальянов А.П. Технология и организация судоремонта в рыбной промышленности. М.: Агропромиздат, 1988.- 420 с.*

*ДИЗЕЛИ. Справочник. Изд. 3-е, перераб. и доп. Под общей ред. В.А. Ваншейдта, Н.Н. Иванченко, Л. К. Коллерова Л. Машиностроение, 1977. 480 с*

*Ефремов Л. В., Черняховский Э. Р. Надежность и вибрация дизельных установок промысловых судов. М.: Пищевая промышленность, 1980.*

*Ремонт судовых машин и механизмов. Методические указания к практическим занятиям студентов и курсантов по спец. 1402 и 240500 - Мурманск.: МГТУ, 1997.-79 с.*

*Руководство по техническому надзору за судами в эксплуатации/Регистр СССР .-Л.: Транспорт. 1985.-415 с.*

*Рябинин И.А., Киреев Ю.Н. Надежность судовых электроэнергетических систем и судового электрооборудования: Учебник для вузов. — Л.: Судостроение, 1974. —264 с.*

*Техническая диагностика. Методические указания и контрольные задания по спец. 0525.- Мурманск.МВИМУ, 1989.-39 с.*

*Фока А.А. Техническое обслуживание судна в рейсе. Справочник механика. - М.:Транспорт.1985.-320 с.*

## **5.3Электронные издания и материалы**

Для проведения лекционных и лабораторных занятий в Интернете создается электронное издание некоторых материалов на сайте Ефремова Л.В. <http://levlefre.narod.ru/>

## **6 Техническое оснащение рабочих мест обучения**

Для проведения лекционных занятий требуется аудитория, оснащенная компьютерным проектором и переносным ПК (ноутбуком типа Пентиум 4) для демонстрации сложных лекционных материалов (презентаций, слайдов, чертежей, ауди- и видео фрагментов, кинофрагментов и др.

Для проведения практических и лабораторных занятий, а так же НИРС требуется класс с пятью персональными компьютерами типа Пентиум 4

Персональные компьютеры должны быть оснащены лицензионными оболочками следующих системных программ:

Microsoft Windows XP;

Microsoft Office (включая Microsoft Office Excel, Microsoft Office Word, Microsoft Office PowerPoint и др.) ;

Adobe Acrobat (для создания и чтения файлов с расширением PDF);.

CorelDRAW Graphics Suite (включая CorelDRAW, Corel PHOTO-PAINT, Corel CAPTURE);

Математический редактор Mathcad 14 ,

CyberLink PowerDVD для просмотра кинофильмов,

Автоматизированный переводчик с трех языков, например - PROMT 98.