

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное агентство по образованию
Южно-Уральский государственный университет
Кафедра «Автомобильный транспорт»

621.89(07)
П804

ОСНОВЫ ТРИБОТЕХНИКИ

Рабочая программа, методические указания
и контрольные задания

Челябинск
Издательство ЮУрГУ
2008

УДК 621.891(075.8)
П804

*Одобрено
учебно-методической комиссией автотракторного факультета.*

Рецензент Караваяев В.Г.

П804 Основы триботехники: рабочая программа, методические указания и контрольные задания / составители В.Н. Прокопьев, Н.А. Усольцев, Е.А. Задорожная. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. – 21 с.

Методические указания являются руководством при изучении дисциплины «Основы триботехники». Содержат рабочую программу дисциплины, варианты исходных данных для семестрового задания, темы рефератов и список необходимой литературы.

Методические указания предназначены для студентов всех форм обучения специальностей 190601 – «Автомобили и автомобильное хозяйство» и 190603 – «Сервис транспортных и технологических машин и оборудования (автомобильный транспорт)».

УДК 621.891(075.8)

© Издательство ЮУрГУ, 2008.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Дисциплина «Основы триботехники» изучается студентами специальностей 190601 – «Автомобили и автомобильное хозяйство» и 190603 – «Сервис транспортных и технологических машин и оборудования (автомобильный транспорт)» в течение одного семестра.

По учебному плану специальности 190601 на изучение дисциплины отводится для дневной формы обучения 45 часов аудиторных занятий, в том числе лекционных 30 часов, лабораторно-практических 15 часов. Для заочной формы обучения – 12, 8 и 4 часов, соответственно.

Цель дисциплины – сформировать у студентов систему знаний по проблемам трения, износа и смазки трибосопряжений машин, вооружить будущих инженеров теоретическими знаниями и практическими навыками, необходимыми для грамотной эксплуатации автотранспорта и анализа причин износа основных трибосопряжений автомобиля.

Согласно ГОС «Требования к минимуму содержания и уровню подготовки лиц, успешно завершивших обучение по направлению 653300 «Эксплуатация наземного транспорта и транспортного оборудования» выпускник должен в результате усвоения дисциплины «Триботехника»:

- иметь представление о методах расчета трения шероховатых тел, механизмах износа, о теориях усталостного, абразивного изнашивания, о теориях нулевого и измеримого износа, о теории Фляйшера, а также уметь пользоваться инженерными методиками расчета износа;
- иметь представление о состояниях и перспективах развития теории гидродинамической смазки; о свойствах и правилах подбора материалов для опор скольжения; об основах проектирования и методиках расчета гидродинамических опор; о процессах в смазочном слое;
- знать и уметь использовать: результаты теоретического расчета и анализа основных параметров сложнагруженных опор скольжения ДВС автомобиля; результаты теоретического прогноза износа узлов трения; конструкционные факторы и эксплуатационные мероприятия, снижающие износ основных трибосопряжений ДВС; пакет прикладных программ «Орбита» гидродинамического расчета опор скольжения коленчатого вала ДВС; результаты анализа смазки сложнагруженных опор жидкостного трения;
- иметь навыки в гидродинамическом расчете опор скольжения ДВС, в подборе материалов опор и установочного диаметрального зазора, в прогнозировании и расчете износа.

2. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина «Основы триботехники» изучается в процессе слушания и усвоения лекционного материала, выполнения практических и лабораторных работ, а для заочной формы обучения дополнительно в самостоятельном углубленном изучении одной из предложенных тем и написании реферата.

Практические занятия преследуют цель выработать у студентов навыки применения полученных теоретических знаний для расчета и выбора основных параметров опор жидкостного трения автомобильного двигателя и прогнозирования их износа. Кроме этого практические занятия способствуют подготовке студентов к выполнению семестрового задания, знакомят с практикой применения методик расчета опор скольжения, разработанных на кафедре «Автомобильный транспорт». Анализ результатов расчета основных параметров опор скольжения конкретных автомобильных двигателей позволяет глубже понять связь между условиями эксплуатации автомобиля и надежностью опор скольжения.

Лабораторные работы выполняются студентами самостоятельно и преследуют цель экспериментального изучения процессов трения, а также различных режимов работы опоры скольжения, абразивного и усталостного износа и сопоставления теоретических моделей явлений с результатами опытов.

Семестровое задание состоит из двух частей и выполняется студентами самостоятельно в установленные сроки. При этом могут использоваться результаты практических занятий, конспект лекций, методики и программы расчета опор скольжения и литературные источники информации.

Лабораторные работы и семестровое задание, а для заочной формы обучения и реферат, защищаются студентами. Защита проходит в форме индивидуального собеседования.

Перед сдачей экзамена проверить полученные знания студент может самостоятельно, воспользовавшись тестовой программой.

Изучение данной дисциплины базируется на следующих курсах общей и специальной подготовки: физика, математика, химия, информатика, гидравлика, детали машин, эксплуатационные материалы, теоретическая механика

3. РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Рабочая программа соответствует государственному образовательному стандарту направления 653300 «Эксплуатация наземного транспорта и транспортного оборудования».

В табл. 1 приведены наименования тем с указанием количества часов, отводимых на их изучение. Для заочной формы обучения данные приведены в скобках. Далее дано подробное содержание тем, рекомендуемая литература и соответствующие методические указания.

Разделы дисциплины, виды и объем занятий

Номер раздела, темы	Наименование разделов, тем дисциплины	Объем в часах по видам работ			
		Всего	Лекции	Практ. занятия	Лабор. работы
1	Введение. Основные понятия	2(0,5)	2(0,5)		
2	Контактирование поверхностей твердых тел при трении и их свойства	6(1)	4(1)		2
3	Молекулярно-механическая теория трения	4(1)	2(1)		2
4	Теория усталостного изнашивания	4(1)	2(1)		2
5	Абразивное изнашивание	4(1)	4(1)		
6	Теории изнашивания	2(0,5)	2(0,5)		
7	Метод износа сопряжений по А.С. Проникову. Принципы подбора материалов для узлов трения	2(0,5)	2(0,5)		
8	Смазка трибосопряжений	6(1)	4(1)		2
9	Классическая теория смазочного слоя	4(2,5)	2(0,5)	2(2)	
10	Гидродинамическая задача смазки сложнонагруженной радиальной опоры скольжения	6(0,5)	4(0,5)		2
11	Модель опоры бесконечной длины и модель короткой опоры	5(2,5)	2(0,5)	2(2)	1
Итого		45(12)	30(8)	4(4)	11

Тема 1. Введение. Основные понятия

Содержание темы. Триботехника, предмет и объект ее изучения. Место триботехники в трибологии. Обобщенная трибологическая модель. Экономические причины появления науки о трении и износе. Узлы трения в машинах и механизмах, их классификация. Понятие трения. Внутреннее трение. Внешнее трение. Краткая историческая справка. Условия осуществления внешнего трения. Правило положительного градиента механических свойств поверхности твердого тела по глубине. Основные факторы, влияющие на знак градиента механических свойств поверхности трения. Режимы трения. Диаграмма Герси-Штрибека. Понятие изнашивания и износа. Единицы измерения. Виды изнашивания [1–4].

Методические указания. Обратит внимание на сложность и многогранность современной науки о трении. Показать, что триботехника затрагивает в основном прикладные вопросы создания и эксплуатации узлов трения. Рассмотреть потери в технике от трения и износа. Дать определение трения, рассмотреть его виды и историю развития науки о трении. Особое внимание уделить рассмотрению необходимого условия для осуществления внешнего трения. На примере диаграммы Герси-Штрибека показать изменение режимов трения в зависимости от условий работы узла трения. Дать определение изнашивания и износа, показать их связь с трением, рассмотреть единицы измерения и основные виды изнашивания.

Тема 2. Контактное взаимодействие поверхностей твердых тел при трении и их свойства

Содержание темы. Номинальная, контурная и фактическая площади контакта шероховатых тел. Основные геометрические характеристики поверхностей твердых тел. Пятна фактического контакта и их модели. Сферическая модель выступа микронеровности. Определение радиуса кривизны вершины микровыступа по профилограмме. Кривая опорной поверхности. Методика построения кривой опорной поверхности и аппроксимация начального участка опорной кривой степенной зависимостью. Определение параметров аппроксимирующей зависимости. Технологическая и эксплуатационная шероховатость. Механизм воспроизведения эксплуатационной шероховатости. Общая картина процессов при трении. Причина отличия свойств поверхностных слоев твердых тел от свойств основного материала. Адсорбция, и ее результат. Состояние поверхностных слоев деталей узлов трения после механической обработки. Эффект Ребиндера. Магмаплазменная модель контакта при трении Тиссена, ее основные выводы. Структура поверхности твердого тела при его трении со смазкой. Понятие «третьего тела». Факторы, влияющие на фрикционное взаимодействие твердых тел. Фрикционная связь. Модель фрикционной связи. Пять видов фрикционной связи. Основные закономерности процессов контактного взаимодействия скользящих поверхностей [1, 2, 5–9].

Методические указания. Уяснить, что контакт реальных твердых тел происходит по отдельным пятнам фактического касания. Знать основные геометрические характеристики поверхностей трения. Уметь строить сферическую модель фактического пятна контакта. Понимать и уметь строить кривую опорной поверхности и определять параметры аппроксимирующей зависимости. Различать технологическую и эксплуатационную шероховатость, понимать механизма воспроизведения равновесной шероховатости.

Особое внимание обратить на сложность и многообразие механических, физических и химических процессов в зоне трения. Знать причину адсорбции и ее результат. Понимать эффект Ребиндера, магмаплазменную модель Тиссена. Уметь сформулировать понятие «третье тело». Уяснить понятие фрикционной связи и ее виды. Знать основные закономерности процессов контактного взаимодействия скользящих поверхностей.

Тема 3. Молекулярно-механическая теория трения

Содержание темы. Физическая модель возникновения сил внешнего трения. Молекулярная (адгезионная) и механическая (деформационная) составляющие силы трения, их количественные соотношения. Молекулярная составляющая силы трения, ее суть. Вывод формулы для молекулярной составляющей силы трения (биномиальный закон молекулярного трения), смысл коэффициентов. Механическая составляющая силы трения. Виды деформирования поверхностного слоя пары трения. Коэффициент трения при пластическом и упругом деформировании на

единичной фрикционной связи. Коэффициент гистерезисных потерь. Решение Герца о внедрении жесткой сферы в упругое полупространство. Расчет суммарного коэффициента трения для единичного контакта. Глубина действия молекулярных и механических сил. Формулы для расчета суммарного коэффициента трения при упругом и пластическом контакте. Минимум коэффициента трения. Расчет коэффициента трения шероховатых поверхностей. Модель шероховатости поверхности при взаимодействии с гладкой в процессе трения. Подход к выводу расчетных формул. Формулы для расчета внешнего трения шероховатых тел. Четыре вида контактов – четыре расчетных случая [2, 5, 6].

Методические указания. Понимать физическую модель двойственной природы сил трения. Уметь объяснить суть молекулярной и механической составляющих сил трения. Знать биномиальный закон молекулярного трения. Различать виды деформирования поверхностного слоя, коэффициент трения при пластическом и упругом деформировании на единичной фрикционной связи. Уметь объяснить различие в глубине действия молекулярных и механических сил трения.

Уметь записать формулу для расчета суммарного коэффициента трения при упругом и пластическом контакте. Понимать смысл минимума коэффициента трения. Знать модель шероховатости поверхности, ориентироваться в подходе к выводу расчетных формул. Знать составляющие в формулах расчета внешнего трения шероховатых тел для четырех расчетных случаев.

Тема 4. Теория усталостного изнашивания

Содержание темы. Физическая модель износа. Механизм накопления повреждений в поверхностном слое тела трения. Характеристики изнашивания. Интегральная линейная интенсивность изнашивания, массовая объемная и энергетическая интегральные характеристики, их связь с линейной. Удельная интенсивность изнашивания. Расчет интегральной линейной интенсивности изнашивания. Основная расчетная схема. Подход к выводу расчетных формул при упругом и пластическом контактах. Эквивалентная шероховатость. Влияние смазочных материалов на процесс изнашивания. Действие поверхностно-активных присадок, коррозионных активных веществ на интенсивность изнашивания [2, 5–8].

Методические указания. Обратит внимание на суть физических процессов, лежащих в основе механизма изнашивания. Знать характеристики изнашивания. Понимать подход к выводу расчетных формул интенсивности изнашивания и знать смысл параметров и коэффициентов расчетных формул. Запоминание формул не обязательно. Знать влияние смазочных материалов на процесс изнашивания.

Тема 5. Абразивное изнашивание

Содержание темы. Понятие абразива и абразивного изнашивания. Виды абразивного изнашивания. Физическая модель абразивного износа о неподвижно закрепленные частицы абразива. Простейшая математическая модель абразивного износа о неподвижно закрепленные частицы. Износ поверхностей трения под действием свободного (незакрепленного) абразива. Три случая абразивного износа трущихся сопряжений. Условие дробления абразива. Преимущественный вид абразивного износа для различных узлов трения. Основные предпосылки, лежащие в основе модели абразивного износа о свободные частицы. Формула для расчета скорости абразивного изнашивания, три группы факторов, их смысл. Анализ модели и возможности уменьшения износа [6, 8, 10, 11].

Методические указания. Знать понятие абразива, абразивного изнашивания и виды абразивного изнашивания. Понимать физическую модель абразивного износа и уметь записать модель абразивного изнашивания о неподвижно закрепленные частицы. Уметь различать три случая абразивного износа о свободные частицы абразива, знать условие дробления частицы абразива в зазоре. Уметь пользоваться формулой для расчета скорости абразивного изнашивания, знать смысл величин. Обратит внимание на анализ модели и возможности уменьшения износа.

Тема 6. Теории изнашивания

Содержание темы. Теория прогнозирования износа деталей машин фирмы IBM. Нулевой и измеримый износ. Суть нулевого износа. Методика прогнозирования нулевого износа. Модель измеримого износа. Два типа износа. Методика прогнозирования измеримого износа. Энергетическая теория износа Фляйшера. Гипотеза Тросса. Основная концепция теории Фляйшера. Мнимая плотность энергии трения, и ее связь с линейной интегральной интенсивностью изнашивания. Вывод основного уравнения износа. Анализ номограммы «мнимая плотность энергии – удельная сила трения – линейная интегральная интенсивность изнашивания» [6, 7].

Методические указания. Уяснить смысл нулевого и измеримого износа. Знать суть нулевого износа. Уметь прогнозировать нулевой износ. Два типа измеримого износа. Особенности прогнозирования измеримого износа. Знать суть энергетической теории износа Фляйшера и гипотезы Тросса. Знать смысл параметров основного уравнения износа.

Тема 7. Метод износа сопряжений по А.С. Проникову. Принципы подбора материалов для узлов трения

Содержание темы. Понятие износа сопряжения. Классификация сопряжений. Условие касания. Случай износа поверхностей вращения деталей, имеющих малоизнашивающиеся направляющие. Случай износа поверхностей вращения при незаданном направлении сближения. Пример расчета абразивного износа конической пяты. Принципы подбора материалов для узлов трения. Требования к материалам узлов трения. Классификация узлов трения по функциональным признакам. Основные требования к триботехническим характеристикам материалов узлов трения [2, 5, 6].

Методические указания. Знать особенности износа поверхностей узла трения. Уметь различать узлы трения согласно классификации. Уяснить причины построения эпюр износа для двух случаев: при заданном и не заданном направлении сближения поверхностей трения. Ознакомиться с примером применения метода А.С. Проникова. Знать требования к материалам узлов трения. Ознакомиться с классификацией узлов трения по функциональным признакам и на основе этой классификации уметь формулировать триботехнические требования к материалам узлов трения.

Тема 8. Смазка трибосопряжений

Содержание темы. Назначение смазки. Основные способы смазки и смазочные материалы. Методы теоретического исследования процессов смазки. Модель смазочного материала, принятая в классической гидродинамике. Механизм образования несущего смазочного слоя между поверхностями трения. Гидростатическая, гидродинамическая смазка. Эффект клина. Условие равновесия элемента смазки в несущем слое. Формула для распределения скоростей плоского течения смазочной жидкости в клиновидном зазоре. Распределение скоростей плоского течения смазки в радиальном зазоре. Гидродинамическая опора (ГДО). Установочный зазор в ГДО как один из основных эксплуатационных факторов. Выбор его величины. Температурный диапазон надежной работы ГДО. ГД давление. ГД реакция смазочного слоя. Границы несущей области смазочного слоя. Распределение ГД давлений по длине плоского смазочного клина. Источники и распределители смазки в опоре. Выбор их расположения [4, 9, 11–13].

Методические указания. Раскрыть суть назначения смазки. Рассмотреть основные способы смазки и смазочные материалы. Показать роль теоретического исследования процессов смазки и рассмотреть суть теоретических методов. Особое внимание уделить механизму образования несущего смазочного слоя между поверхностями трения. Рассмотреть отличия гидростатической и гидродинамической смазки. На основе условия равновесия элемента смазки в несущем слое вывести формулу для распределения скоростей плоского течения смазочной жидкости в клиновидном зазоре. Рассмотреть переход к формуле распределения скоро-

стей в радиальном зазоре. Привести пример гидродинамической опоры, основные геометрические характеристики радиальной опоры скольжения. Рассмотреть установочный зазор и его вывод в зависимости от назначения ГДО. Показать влияние температуры на надежную работу ГДО. Рассмотреть ГД давление и реакцию смазочного слоя. Получить формулу для расчета распределения ГД давлений по длине плоского смазочного клина. Показать границы несущего слоя и пояснить условия их ограничивающие. Раскрыть назначение источников и распределителей смазки, дать рекомендации по выбору их расположения.

Тема 9. Классическая теория смазочного слоя

Содержание темы. Основопологающие допущения. Базовые уравнения ГД задачи смазки. Обобщенное уравнение Рейнольдса для поля давлений в смазочном слое. Граничные условия для давлений [4, 11, 14].

Методические указания. Кратко затронуть вопрос истории развития классической теории смазочного слоя. Раскрыть физическую суть и сформулировать основные допущения. Уметь записывать базовые уравнения ГД задачи смазки: законы сохранения импульса, массы и энергии. Знать порядок получения обобщенного уравнения Рейнольдса для поля ГД давлений в смазочном слое. Понимать и уметь записывать граничные условия для давлений.

Тема 10. Гидродинамическая задача смазки сложнонагруженной радиальной опоры скольжения

Содержание темы. Модель опоры конечной длины. Геометрия смазочного слоя. Функция зазора. Уравнение Рейнольдса для давлений в смазочном слое радиальной опоры. Составляющие главного вектора сил ГД давлений, их определение. Уравнение движения центра масс шипа. Уравнение теплового баланса в смазочном слое. Алгоритм итерационного решения прямой ГД задачи. Расчетные характеристики смазочного слоя [11, 14–16].

Методические указания. Дать понятие сложнонагруженной опоры (СОЖТ). Параметры, характеризующие нагруженность СОЖТ. Шатунные и коренные опоры коленчатого вала ДВС – примеры СОЖТ. Рассмотреть систему координат модели опоры конечной длины и основные параметры. Дать понятие идеальной геометрии смазочного слоя. Отклонения реальной геометрии опоры от идеальной. Возможные причины отклонений. Обратит внимание на необходимость учета отклонений формы шипа и подшипника от идеальной (номинальной по чертежу). Уяснить способ учета погрешностей формы в поперечном сечении радиальной опоры скольжения. Привести формулу для функции зазора. Разъяснить дополнительные упрощения для сложнонагруженной опоры скольжения. Форма обобщенного уравнения Рейнольдса для давлений с учетом этих упрощений. Рассмотреть элементарную силу гидродинамического давления (ГДО) и ее нормальную и касательную проекции, на основе этого записать мгновенные проекции главного век-

тора сил ГДД. Привести проекции главного вектора к безразмерному виду. Рассмотреть схему сил, действующих на шип в СОЖТ. Записать уравнения для проекций поступательного движения центра масс шипа. Особенности тяжело нагруженных опор ДВС. Дополнительное допущение. Записать систему уравнений движения центра масс шипа с учетом допущения. Привести систему уравнений к безразмерному виду. Необходимые начальные условия. Методы интегрирования системы уравнений. Траектория движения центра масс шипа. Формулы для ее расчета. Дать понятие среднеинтегральной температуры смазки в смазочном слое. Допущение об изотермичности течения смазки в СОЖТ. Обратит внимание на смысл уравнения теплового баланса – упрощенного уравнения сохранения тепловой энергии. Формулы для расчета составляющих уравнения теплового баланса. Вид формул в безразмерном виде. Формула для расчета прироста температуры за период нагружения. Дать формулы для расчета расхода смазки через торцы опоры и дать понятие коэффициента торцового расхода смазки. Показать последовательность решения прямой ГД задачи. Дискретизация задачи по времени. Дать условие окончания итерации. Пакет прикладных программ «Орбита» – реализация алгоритма решения прямой гидродинамической задачи. Обратит внимание на смысл понятия «прямая задача». Перечислить расчетные характеристики (выходные параметры) модели СОЖТ.

Тема 11. Модель опоры бесконечной длины и модель короткой опоры

Содержание темы. Методы решения уравнения Рейнольдса. Аналитические модели расчета ГДО. Модель опоры бесконечной длины. Модель короткой опоры. Расчет характеристик смазочного слоя короткой опоры [4, 14, 15, 17, 18].

Методические указания. Обратит внимание на возможность решения задачи расчета гидродинамической опоры скольжения в полной постановке только численным или численно-аналитическим методом. Рассмотреть два предельных случая и сформулировать модели опоры бесконечной длины и модель короткой опоры, имеющих аналитические решения. Дать методики расчета ГДД для модели бесконечной длины и более подробно – для модели короткой опоры, выделив основные характеристики смазочного слоя короткой опоры.

4. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ И ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

Лабораторная работа №1. Экспериментальное и теоретическое определение основных параметров равновесной шероховатости (2 часа).

Лабораторная работа №2. Изучение молекулярно-механического трения при сухом и граничном режимах (2 часа).

Лабораторная работа №3. Экспериментальное и теоретическое изучение износа при качении с проскальзыванием в условиях режима сухого трения (2 часа)

Лабораторная работа №4. Экспериментальное и теоретическое изучение абразивного износа ГДО (2 часа).

Лабораторная работа №5. Экспериментальное и теоретическое построение эпюры ГД давлений ГДО (2 часа).

Лабораторная работа №6. Экспериментальное и теоретическое изучение потерь на трение в ГДО (1 час).

Практическая работа №1. Обратная ГД задача короткой опоры. Выдача семестрового задания (2 часа).

Практическая работа №2. Прямая ГД задача сложнагруженной опоры ДВС. Пакет прикладных программ «Орбита». Выдача семестрового задания (2 часа).

5. СЕМЕСТРОВОЕ ЗАДАНИЕ

Выполнение семестрового задания преследует цель расширения и закрепления знаний в области гидродинамических расчетов опор скольжения. Семестровое задание состоит из 2-х задач:

1. Обратная гидродинамическая задача «Качественный анализ работы подшипников коленчатого вала ДВС». По заданному положению шипа в подшипнике и известных скорости вращения, температуре смазки, геометрических размеров шипа и подшипника, скорости движения шипа по линии центров и достаточном количестве подаваемой смазки требуется восстановить силу, действующую на шип и рассчитать основные гидродинамические параметры несущего смазочного слоя. Расчеты студентами осуществляются самостоятельно по специальной методике. Данная задача может быть решена с применением микрокалькулятора или на ПЭВМ, при этом требования к оформлению семестрового задания остаются одинаковыми.

2. Прямая гидродинамическая задача «Исследование динамики сложнагруженных опор жидкостного трения (СОЖТ)».

В ходе выполнения задания исследуется влияние входных характеристик (геометрии подшипника, температуры смазки, давления подачи смазочной жидкости и т.д.) на динамику СОЖТ.

Исследование СОЖТ производится с помощью пакета прикладных программ «Орбита», разработанного на кафедре «Автомобильный транспорт». Все расчеты выполняются в вычислительном центре кафедры, используя сервисную оболочку, которая осуществляет доступ к прикладным программам, дает возможность скопировать программу расчета требуемой конфигурации, подготовить исходные данные и произвести расчет по выбранной программе.

Расчет проводится за один цикл (один оборот коленчатого вала ДВС). Основными расчетными параметрами являются: наименьшая за цикл нагружения толщина смазочного слоя, наибольшее гидродинамическое давление, средняя величина минимальной толщины смазочного слоя, средняя величина гидродинамического давления, средняя величина расхода смазки через опору, средняя величина мощности потерь при движении шипа, расчетная температура смазки, траектория движения центров шипа и подшипника. С помощью этих гидродинамических параметров оценивается совершенство конструкции опоры с позиции износостой-

кости, прочности, задиростойкости, а в конечном итоге – безотказности и долговечности.

Выводы по данной задаче должны отражать влияние входных параметров на характеристики опоры. Обязательным является вывод о характере работы СОЖТ и ее износе.

Семестровое задание выполняется на листах белой бумаги формата А4, графики на масштабной бумаге, рисунки должны быть четкими с пояснениями. Семестровое задание должно содержать: титульный лист, аннотацию, содержание, введение, основную часть, выводы или заключение, список источников информации.

Варианты исходных данных

1. Обратная гидродинамическая задача.

Для данной части семестрового задания исходными данными являются опоры коленчатого вала автомобиля ЗИЛ-130. Используется масло АС-8, его динамическая вязкость при температурах 50 °С и 100 °С составляет 0,0351 и 0,0069 Па·с соответственно. Для данной части семестрового задания способ подвода масла к опорам и его распределение не рассматривается и считается, что масла подается достаточно для обеспечения жидкостного режима трения. Основные геометрические размеры опор коленчатого вала, режима работы приведены в табл. 2.

Таблица 2

Варианты исходных данных

№	Наименование параметра	Шифр	Номер варианта				
			1	2	3	4	5
0	Диаметры опор коленчатого вала, мм	К	74,5	74,5	74,5	74,5	74,5
		Ш	65,5	65,5	65,5	65,5	65,5
1	Величина диаметральных зазоров $2h_0$, мм	К	0,050	0,064	0,078	0,092	0,106
		Ш	0,032	0,041	0,047	0,054	0,062
2	Длина опоры B , мм	К	15	20	25,7	31	36
		Ш	17	22	27	30	32,75
3	Обороты коленчатого вала n , об/мин	К, Ш	1100	1500	1900	2500	3200
4	Температура, °С	К, Ш	100	105	110	114	125
	Вязкость, Па·с· 10^{-4}		69	61	53	49	39
5	Величина безразмерной скорости поступательного движения шипа $d\chi/dt$	К, Ш	0,05	0,25	0,5	0,75	1,0
6	Относительный эксцентриситет χ	К, Ш	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9

Вариант исходных данных состоит из двух букв и пяти цифр, например:

$$\begin{array}{cccccc}
 K & 2 & 3 & 2 & 5 & 1 & \chi \\
 \uparrow & \uparrow & \uparrow & \uparrow & \uparrow & \uparrow & \uparrow \\
 N: & 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6
 \end{array}$$

где K – коренная опора; 2 – $2h_0 = 0,064$ мм ($N = 1$); 3 – $B = 25,7$ мм ($N = 2$); 2 – $n = 1500$ об/мин ($N = 3$); 5 – $t = 125$ °С, $\mu = 0,0039$ Па·с ($N = 4$); 1 – $\frac{d\chi}{dt} = 0,05$ ($N = 5$) и последняя χ – относительный эксцентриситет – варьируемый параметр.

2. Прямая гидродинамическая задача

Исходными данными являются опоры коленчатого вала двигателей различных типов автомобилей. В табл. 3 представлены варианты типов двигателей.

Таблица 3

Варианты исходных данных (А) к семестровому заданию №2

Группа автомобилей	Двигатель	Вариант А
Легковые	М-1500	А1
	М-2000	А2
	BMW-2000	А3
	ЗМЗ-406	А4
Грузовые	ЗМЗ-511	А5
	ЗИЛ-130	А6
	ЗИЛ-133	А7
	ЗИЛ-375	А8
	ФОРД-534	А9
	ЯМЗ-236	А10
	ЯМЗ-238	А11
	КамАЗ-740	А12
	КамАЗ-744	А13
	УРАЛ	А14
Вседорожные автомобили и тракторы	6ДМ-21	А15
	8ДМ-21	А16
	СМД-60	А17
	СМД-80	А18
	8ДВТ-330	А19
	УД6-250ТК	А20
	БМД-80	А21

Вторая часть исходных данных по исследованию СОЖТ для коренных и шатунных подшипников представлена в табл. 4.

Таблица 4

Варианты исходных данных (Б) к семестровому заданию №2

№	Задание	Шатунная опора	Коренные опоры					Все
			1	2	3	4	5	
1	Исследование нагруженности опор							Б1
2	Сравнение режимов работы двигателя (N_{\max} , M_{\max})	Б2	Б3	Б4	Б5	Б6	Б7	
3	Влияние давления подачи смазки	Б8	Б9	Б10	Б11	Б12	Б13	
4	Влияние температуры подачи смазки	Б14	Б15	Б16	Б17	Б18	Б19	
5	Влияние геометрии подшипника							Б20
6	Влияние профилированности подшипника (канавки отверстия)	Б21	Б22	Б23	Б24	Б25	Б26	

Каждый студент получает задание, состоящее из двух вариантов А+Б, выполняет задание и предоставляет отчет, выполненный на листах А4.

Описание входных параметров для двигателей приведены в табл. 5.

Таблица 5

Описание входных параметров

№	Параметр	Ед.изм.	Обозначение
1	Диаметр шатунного подшипника	м	D
2	Диаметр коренного подшипника	м	D
3	Длина шатунного подшипника	м	B
4	Длина коренного подшипника	м	B
5	Диаметральный зазор в шатунном подшипнике	м	S
6	Диаметральный зазор в коренном подшипнике	м	S
7	Давление подачи масла в подшипник	МПа	P_0
8	Температура масла на входе в подшипник	°С	T_{cp}
9	Коэффициент динамической вязкости масла при 50 °С	Па·с	μ_{50}
10	Коэффициент динамической вязкости масла при 100 °С	Па·с	μ_{100}
11	Наличие канавки на поверхности подшипника (0/1/2-нет/кольцевая/частичная)	–	kn
11.1	Количество канавок на поверхности подшипника	шт.	knk
11.2	Углы начала канавок	град	dhg
11.3	Углы концов канавок	град	dkg
11.4	Ширина канавок	м	dzm
12	Признак наличия отверстия в шипе (0/1 – без отв./с отв.)	–	ko
12.1	Количество отверстий в шипе	шт.	no
12.2	Углы расположения отверстий	град	eot
12.3	Величины диаметров отверстий	м	bot
13	Площадь поршня	м ²	F_p
14	Радиус кривошипа	м	R
15	Длина шатуна	м	R_1

№	Параметр	Ед.изм.	Обозначение
16	Масса поступательно движущихся частей шатуна и поршня	кг	M_b
17	Масса вращательно движущихся частей КШМ	кг	M_{pg}
18	Частота вращения коленчатого вала	1/с	$\omega_1 h$
19	Угол между осями цилиндров	град	γ
20	Какой из блоков цилиндров V-обр.двигателя смещен вперед (-1 – левый; +1 – правый)	–	Ler
21	Порядок работы цилиндров двигателя		jl
22	Число колен вала	шт.	Nb
23	Углы заклинки кривошипов относительно первого	град	$DeltaZ$
24	Проекция статического момента переднего выносного противовеса на оси, связанные с передним кривошипом (на ось X, на ось Y)	кг·м	SpL
25	Проекция статического момента заднего выносного противовеса на оси, связанные с последним кривошипом (на ось X, на ось Y)	кг·м	SpR
26	Статические моменты шатунных шеек	кг·м	Shh
27	Статические моменты щек	кг·м	Sch
28	Проекция статических моментов нащечных противовесов на ось Z системы координат, связанную с кривошипом	кг·м	Sp
29	Проекция статических моментов нащечных противовесов на ось T системы координат, связанную с кривошипом	кг·м	Sp
30	Длина плеча переднего выносного противовеса	м	$Ap0$
31	Длина плеча заднего выносного противовеса	м	Apn
32	Осевые координаты точек приложения сил в пролетах	м	Ap
33	Избыточное давление газов в цилиндре двигателя	МПа	$Pgaz$

6. РЕФЕРАТИВНОЕ ЗАДАНИЕ

Проработка одной из тем способствует более углубленному пониманию студентом проблем и путей их решения в триботехнике. Реферативное задание рекомендуется для заочной формы обучения. Темы рефератов подобраны с учетом освещения важных проблем триботехники, которые не совсем полно раскрываются в лекционном курсе. Реферат должен содержать 10...15 рукописных (машинописных) страниц формата А4, содержание темы должно быть раскрыто достаточно полно. Реферат состоит из титульного листа, введения, основной части, выводов, списка источников информации.

Темы рефератов

1. Физико-химические свойства поверхностей деталей узлов трения. Пленки на металлических поверхностях [1, 2, 7, 8, 20, 27].
2. Механизм усталостного изнашивания поверхностей узлов трения, его проявление в узлах автомобиля [1, 2, 5, 6, 7, 20, 34].
3. Особенности изнашивания полимеров и резины в узлах трения автомобиля [1, 6–9, 20, 27].
4. Адгезионное изнашивание. Механизм износа. Проявление адгезионного износа в узлах трения автомобиля [1, 2, 5, 6, 7, 20, 23].
5. Водородное изнашивание. Механизм и проявление в ДВС. Меры борьбы с водородным изнашиванием [1, 2, 20, 27, 28].
6. Абразивное изнашивание. Механизм процесса, виды абразивного изнашивания, основные определяющие факторы. Меры снижения абразивного изнашивания узлов трения ДВС [1, 2, 5–8, 10, 11, 20, 22, 23, 27, 28].
7. Коррозионно-механическое изнашивание. Механизм, виды, основные факторы процесса изнашивания. Проявление в узлах трения автомобиля [1, 2, 5–8, 23, 27, 37, 44].
8. Явление избирательного переноса при трении и его практическое использование в узлах трения машин и механизмов, трибосопряжениях автомобилей [1, 2, 9, 20, 27].
9. Влияние режимов работы автомобильных двигателей на изнашивание элементов трибосопряжений [1, 7, 18, 19, 22–25, 31, 32, 34, 37, 38].
10. Основные факторы, определяющие интенсивность изнашивания трибосопряжений автомобильных двигателей. Виды изнашивания деталей ДВС [5, 7, 8, 22, 23, 31, 32, 34, 38, 44].
11. Особенности изнашивания деталей цилиндро-поршневой группы. Методы снижения износа [7, 8, 23, 31, 32, 44].
12. Особенности изнашивания шатунных опор коленчатого вала ДВС. Методы снижения износа.
13. Особенности изнашивания коренных опор коленчатого вала ДВС. Методы снижения износа [1, 7, 8, 13, 20–25, 31].
14. Режимы трения и изнашивания деталей газораспределительного механизма. Методы снижения износа [1, 7, 8, 13, 20, 38, 44].
15. Методы определения износа деталей ДВС (путем непосредственных измерений и по косвенным показателям) [7, 13, 18, 19, 22, 23, 37].
16. Смазка гидродинамических опор скольжения (шатунные и коренные опоры коленчатого вала ДВС). Ввод масла. Расположение питающих отверстий и маслораздаточных канавок, карманов [13, 18, 19, 21, 24–26, 31, 32].
17. Конструкционные материалы гидродинамических опор скольжения. Антифрикционные свойства материалов [2, 3, 7, 8, 20, 22–25, 28, 31, 32].
18. Регулирование зазора в гидродинамических опорах [12, 13, 14, 21, 22, 24, 25, 44].

19. Основные виды быстроходных и виброустойчивых гидродинамических подшипников. Их конструктивные особенности [12, 13, 18, 19, 34, 36].
20. Гидродинамические подшипники с плавающими втулками [12, 13].
21. Установочные зазоры в трибосопряжениях деталей двигателей. Методы обеспечения требуемых величин зазоров [12–14, 23–25, 31, 32].
22. Моторные масла. Их функциональные качества применительно к эксплуатации автомобильных двигателей [3, 8, 9, 12, 14, 22, 23, 38, 39, 40].
23. Практическое применение твердых смазочных материалов в трибосопряжениях автомобилей [1–3, 7–9, 12, 20–23, 27, 28].
24. Эксплуатационные требования к смазочным маслам трибосопряжений деталей ДВС. Их реализация и свойства [1–3, 8, 9, 12, 14, 15, 20, 23, 33].
25. Типы и свойства присадок к моторным маслам. Примеры их использования в автомобильных двигателях [7–9, 12, 14, 23, 27, 28, 33, 38].
26. Моторные масла. Их классификация по вязкости. Вязкостно-температурные свойства [7–9, 12, 14, 33, 38].
27. Автотракторные трансмиссионные масла. Их свойства и применение [9, 12, 14, 18, 19, 23, 38].
28. Влияние качества поверхностей деталей на эксплуатационные свойства автомобильных двигателей [1, 2, 6, 7, 12, 13, 18, 20, 41, 42].
29. Влияние микрогеометрии поверхностей деталей на эксплуатационные свойства трибосопряжений автомобильных двигателей. Оптимальная исходная шероховатость поверхности [1, 2, 5–9, 11, 27, 32, 36].
30. Параметры макрогеометрии и взаимного расположения элементов трибосопряжений. Их допустимые величины для деталей двигателей [1, 2, 7–9, 23–26, 31, 32, 44].
31. Методы моделирования абразивного изнашивания трибосопряжений [2, 5, 7, 8, 9, 11, 37, 38].
32. Моделирование процессов внешнего трения и изнашивания в тормозах [1, 5, 6, 8, 9, 27, 36, 37].
33. Оценка износа поршневых колец ДВС [1, 2, 5–9, 22–26, 31, 32, 44].
34. Смазывающие свойства тонких металлических пленок [1, 2, 7–9, 20, 27, 28, 36, 37].
35. Пластичные смазки и их основные показатели свойств. Ассортимент и применение в трибосопряжениях автомобиля [1, 2, 7–9, 12, 14, 23, 27].
36. Эрозионное изнашивание. Механизм процесса, условия возникновения и проявление в ДВС автомобиля [1, 2, 6, 7–9, 20, 27].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гаркунов, Д.Н. Триботехника: учебник для студентов вузов / Д.Н.Гаркунов. – М.: Машиностроение, 1989. – 328 с.*
2. Справочник по триботехнике: в 3т. / под общ. ред. М.Хебды, А.В.Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 1989. – Т. 1. – 400 с.*
3. Замятин, Ю.П. Введение в трибологию: учебное пособие / Ю.П.Замятин, Г.Н.Телегин, А.Ю.Замятин. – Рыбинск: МФ СЕЗАМУ. – РАТИ, 1992. – Ч.1. – 124 с.*
4. Чернавский, С.А. Подшипники скольжения / С.А.Чернавский. – М.: Машиностроение, 1963. – 243 с.*
5. Крагельский, И.В. Узлы трения машин: справочник / И.В.Крагельский, Н.М.Михин. – М.: Машиностроение, 1984. – 280 с.*
6. Крагельский, И.В. Основы расчетов на трение и износ / И.В.Крагельский, М.Н.Добычин, В.С.Камбалов. – М.: Машиностроение, 1977. – 526 с.*
7. Польцер, Г. Основы трения и изнашивания / Г.Польцер, Ф.Майсснер. – М.: Машиностроение, 1984. – 264 с.*
8. Трение, изнашивание и смазка: справочник: в 2-х кн. / под ред. И.В.Крагельского, В.В.Алисына. – М.: Машиностроение, 1978. – Кн. 1. – 400 с.*
9. Трение, изнашивание и смазка: справочник в 2-х кн. / под ред. И.В.Крагельского, В.В.Алисына. – М.: Машиностроение, 1979. – Кн. 2. – 358 с.*
10. Ямпольский, Г.Я. Абразивный износ трущихся сопряжений машин: трение и износ / Г.Я.Ямпольский. – М.: Машиностроение, 1981. – Т. 2. – 234 с.*
11. Икрамов, У.А. Расчетные методы оценки абразивного износа / У.А.Икрамов. – М.: Машиностроение, 1987. – 288 с.*
12. Справочник по триботехнике: в 3т. / под общ. ред. М.Хебды, А.В.Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 1990. – Т. 2. – 416 с.*
13. Орлов, П.И. Основы конструирования: справочно-методическое пособие: в 2-х кн. / П.И.Орлов. – М.: Машиностроение, 1988. – Кн. 2. – 544 с.*
14. Воскресенский, В.А. Расчет и проектирование опор скольжения / В.А.Воскресенский, В.И.Дьяков. – М.: Машиностроение, 1980. – 224 с.*
15. Коровчинский, М.В. Прикладная теория подшипников жидкостного трения / М.В.Коровчинский. – М.: Машгиз, 1954. – 186 с.
16. Прокопьев, В.Н. Компьютерное моделирование опор коленчатого вала автомобильных двигателей: учебное пособие для практических занятий и курсового проектирования / В.Н.Прокопьев, Ю.В.Рождественский. – Челябинск: Изд-во ЧГТУ, 1995. – 42 с.
17. Трибоанализ гидродинамических сложнагруженных опор скольжения двигателей внутреннего сгорания: пакет прикладных программ «Орбита» / В.Н.Прокопьев, Ю.В.Рождественский и др. – Челябинск: Изд-во ЧГТУ, 1990. – 73 с.
18. Подшипники скольжения. Расчет, проектирование, смазка / Н.Типей, В.Н.Константинеску и др. – Бухарест, 1964. – 158 с.

19. Камерон, А. Теория смазки в инженерном деле / А. Камерон. – М.: Машгиз, 1962. – 296 с.
20. Гаркунов, Д.Н. Триботехника / Д.Н. Гаркунов. – М.: Машиностроение, 1985. – 424 с.*
21. Решетов, Д.Н. Детали машин: учебник для вузов / Д.Н. Решетов. – М.: Машиностроение, 1974. – 655 с.*
22. Буше, Н.А. Трение, износ и усталость в машинах / Н.А. Буше. – М.: Транспорт, 1987. – 224 с.*
23. Гурвич, И.Б. Эксплуатационная надежность автомобильных двигателей / И.Б. Гурвич, П.Э. Сыркин. – М.: Транспорт, 1984. – 141 с.
24. Колчин, А.И. Расчет автомобильных и тракторных двигателей: учебное пособие для вузов / А.И. Колчин, В.П. Демидов. – М.: Выс. школа, 1980. – 400 с.
25. Чистяков, В.К. Динамика поршневых и комбинированных двигателей внутреннего сгорания: учебное пособие / В.К. Чистяков. – М.: Машиностроение, 1989. – 250 с.
26. Попык, К.Г. Динамика автомобильных и тракторных двигателей / К.Г. Попык. – М.: Машиностроение, 1970. – 327 с.
27. Трибология: исследования и приложения: опыт США и стран СНГ / под ред. В.А. Белого, К. Лудемы, Н.К. Мышкина. – М.: Машиностроение; Нью-Йорк: Аллертон Пресс, 1993. – 454 с.
28. Икрамов, У.А. Основы триботехники / У.А. Икрамов, М.А. Левитин. – Ташкент: Укитувчи, 1984. – 184 с.
29. Силин, А.А. Трение и его роль в развитии техники / А.А. Силин. – М.: Наука, 1983. – 176 с.
30. Расчет опорных подшипников скольжения: справочник / Е.И. Квитницкий и др. – М.: Машиностроение, 1979. – 70 с.
31. Двигатели внутреннего сгорания. Конструкция и расчет поршневых и комбинированных двигателей / под ред. А.С. Орлина. – М.: Машиностроение, 1972. – 464 с.
32. Двигатели внутреннего сгорания. Устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей / под ред. А.С. Орлина. – М.: Машиностроение, 1972. – 464 с.
33. Коровчинский, М.В. Теоретические основы работы подшипников скольжения / М.В. Коровчинский. – М.: Машгиз, 1959. – 403 с.
34. Костецкий, Б.И. Трение, смазка и износ в машинах / Б.И. Костецкий. – Киев: Техника, 1970. – 395 с.
35. Усков, М.К. Гидродинамическая теория смазки: этапы развития, современное состояние, перспективы / М.К. Усков, В.А. Максимов. – М.: Наука, 1985. – 143 с.
36. Теория и практика расчетов деталей машин на износ: сборник / под ред. И.В. Крагельского. – М.: Машиностроение, 1987. – 182 с.
37. Моделирование трения и изнашивания в машинах / Э.Д. Браун и др. – М.: Машиностроение, 1982. – 191 с.

38. Качество моторного масла и долговечность двигателей / М.А. Григорьев и др. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 231 с.
39. Коднир, Д.С. Контактная гидродинамика смазки деталей машин / Д.С. Коднир. – М.: Машиностроение, 1976. – 632 с.
40. Коднир, Д.С. Эластогидродинамический расчет деталей машин / Д.С. Коднир, Е.П. Жильников, Ю.И. Байбородов. – М.: Машиностроение, 1988. – 160 с.
41. Снеговский, Ф.П. Опоры скольжения тяжелых машин / Ф.П. Снеговский. – М.: Машиностроение, 1969. – 223 с.
42. Изотов, А.Д. Расчет нестационарно нагруженных подшипников / А.Д. Изотов. – Л.: Машиностроение, 1982. – 223 с.
43. Галахов, М.А. Расчет подшипниковых узлов / М.А. Галахов, А.И. Бурмистров. – М.: Машиностроение, 1988. – 272 с.
44. Крылов, К.А. Долговечность узлов трения самолетов / К.А. Крылов, М.Е. Хаймзон. – М.: Транспорт, 1976. – 182 с.

* Основная литература.