

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

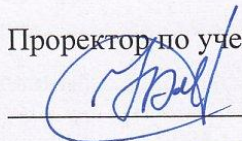
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования

**«УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АВИАЦИОННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра *Двигатели внутреннего сгорания*

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе



Зарипов Н.Г.

« 02 » 09 2015 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

**УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**«МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХПОТЕРЬ, ТРЕНИЯ И ИЗНОСА В ПДВС»**

Уровень подготовки: **высшее образование – подготовка кадров высшей квалификации**

Направление подготовки научно-педагогических кадров высшей квалификации (аспирантура)

**13.06.01 Электро- и теплотехника**  
(код и наименование направления подготовки)

Направленность подготовки

**Тепловые двигатели**  
(наименование программы подготовки)

Квалификация (степень) выпускника

**Исследователь. Преподаватель-исследователь**

Форма обучения

**очная**

Уфа 2015

## Оглавление

1. Место дисциплины в структуре образовательной программы.....	3
2. Перечень результатов обучения .....	4
3. Содержание и структура дисциплины (модуля) .....	4
4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов .....	9
5. Фонд оценочных средств .....	10
6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля).....	25
7. Образовательные технологии .....	25
8. Методические указания по освоению дисциплины.....	26
9 . Материально-техническое обеспечение дисциплины .....	27
10. Адаптация рабочей программы для лиц с ОВЗ.....	27

## 1. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Моделирование мехпотерь, трения и износа в ПДВС» является дисциплиной по выбору *вариативной* части.

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки научно-педагогических кадров высшей квалификации (аспирантура) **13.06.01 – Электро- и теплотехника** направленность (профиль) «**Тепловые двигатели**», утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 30 июля 2014 г. N 878 и приказа Министерства образования и науки Российской Федерации от 30.04.2015 № 464 «О внесении изменений в федеральные государственные образовательные стандарты высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации)». Является неотъемлемой частью основной образовательной профессиональной программы (ОПОП).

**Целью освоения дисциплины** является формирование систематизированных знаний о роли трибологии и триботехники в сложных технических системах, моделирование процессов трения и изнашивания узлов поршневых ДВС.

### Задачи:

- изучение теоретических основ упругого контакта твердых металлических тел;
- изучение напряжений и деформаций в зонах упругого и пластического контакта;
- установление функциональной связи коэффициента внешнего трения с физико-механическими свойствами материалов контактирующих тел, геометрией поверхностей соприкосновения и давления их сжатия;
- установление функциональных связей изнашивания с физико-механическими свойствами материалов контактирующих тел, геометрией поверхностей соприкосновения, давления их сжатия и температурой;
- моделирование узлов трения ДВС;
- ознакомление с проблемами оптимизации конструирования и расчета узлов трения с учетом смазки, технологии обработки деталей таких узлов, условий эксплуатации и т.д.

### Входные компетенции:

№	Компетенция	Код	Уровень освоения, определяемый этапом формирования компетенции*	Название дисциплины (модуля), практики, научных исследований, сформировавших данную компетенцию
1	Владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности	ОПК-1	Базовый	Прочность и долговечность энергетических машин

### Исходящие компетенции:

№	Компетенция	Код	Уровень освоения, определяемый этапом формирования компетенции	Название дисциплины (модуля), практики, научных исследований для которых данная компетенция является входной
1	Способность к самостоятельному выявлению проблем при конструировании, проектировании, производстве и эксплуатации сопряжений в тепловых двигателях	ПК-1	Базовый	научно-исследовательская практика; научные исследования; ГИА

	и других объектах теплотехнического назначения.			
2	- способность к математическому и компьютерному моделированию мех.потерь, трения и износа в тепловых двигателях и других объектах теплотехнического назначения.	ПК-2	Базовый	научно-исследовательская практика; научные исследования; ГИА

## 2. Перечень результатов обучения

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование элементов следующих компетенций.

Планируемые результаты обучения по дисциплине:

№	Формируемые компетенции	Код	Знать	Уметь	Владеть
1	Способность к самостоятельному выявлению проблем при конструировании, проектировании, производстве и эксплуатации сопряжений в тепловых двигателях и других объектах теплотехнического назначения.	ПК-1	- современное состояние науки в области трения и износа;  - современный уровень качества узлов трения в тепловых двигателях  - проблемы оптимизации конструирования и расчета узлов трения с учетом смазки, технологии обработки деталей таких узлов, условий эксплуатации.	- выявлять, формулировать и сравнивать между собой возможные варианты решения проблем снижения потерь на трение иповышения износостойкости тепловых двигателей.  - проектировать узлы трения на основе системного подхода.	- навыками количественной оценки резервов снижения потерь на трение иповышения износостойкости тепловых двигателей.
2	- способность к математическому и компьютерному моделированию мех.потерь, трения и износа в тепловых двигателях и других объектах теплотехнического назначения.	ПК-2	- современные пакеты прикладных программ, их возможности, особенности применения.	- выбирать и применять пакеты прикладных программ, наиболее подходящие для решения конкретных задач.	- навыками использования выбранных пакетов прикладных программ.  - расчетами сопряжений деталей машин на износ.  - методами проектирования и расчета триботехнических систем.

## 3. Содержание и структура дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 7 зачетных единиц (252 часа).

## Трудоемкость дисциплины по видам работ

Вид работы	Трудоемкость, час.	
	3 семестр	4 семестр
Лекции (Л)	6	4
Практические занятия (ПЗ)	8	6
Лабораторные работы (ЛР)	–	–
КСР	–	–
Курсовая проект работа (КР)	–	–
Расчетно - графическая работа (РГР)	–	–
Самостоятельная работа (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников и учебных пособий, подготовка к лабораторным и практическим занятиям, коллоквиумам, рубежному контролю и т.д.)	85	98
Подготовка и сдача экзамена	–	36
Подготовка и сдача зачета	9	–
Вид итогового контроля (зачет, экзамен)	Зачет	Экзамен

Содержание разделов и формы текущего контроля

№	Наименование и содержание раздела	Количество часов						Литература, рекомендуемая аспирантам*	Виды интерактивных образовательных технологий**
		Аудиторная работа				СРС	Всего		
		Л	ПЗ	ЛР	КСР				
1	<p><i>Введение. Характеристики трущихся поверхностей.</i></p> <p>Геометрические характеристики поверхностей и шероховатость тел. Макроотклонения формы и размеров, волнистость, микронеровности и субмикронеровности. Опорная кривая. Шероховатость приработанных поверхностей. Комплексная характеристика шероховатости.</p>	1	2	–	–	20	23	Р.6.1. № 1	<i>Проблемное обучение</i>
2	<p><i>Свойства поверхностных слоев.</i></p> <p>Физико-механические и химические свойства поверхностных слоев. Искажения строения поверхностного слоя твердых тел. Наклеп. Остаточные напряжения. Сдвиг электродного потенциала. Адсорбция и хемосорбция. Модель поверхностных слоев реальных твердых тел. Правило положительного градиента механических свойств.</p>	1	–	–	–	25	26	Р.6.1. № 4	<i>Проблемное обучение</i>
3	<p><i>Контактирование твердых тел.</i></p> <p>Понятие фрикционной связи. Единичная фрикционная связь. Виды нарушения фрикционных связей: упругое оттеснение материала, пластическое оттеснение, микрорезание, адгезионное и когезионное разрушения. Фактическая, контурная и номинальная площади касания. Упругий ненасыщенный и насыщенный контакты. Пластический ненасыщенный и насыщенный контакты. Математические модели площадей касания для различных контактов в зависимости от физико-механических свойств материалов контактирующих поверхностей, шероховатости и волнистости.</p>	1	2	–	–	25	28	Р.6.1. № 1	<i>Проблемное обучение</i>

4	<p><i>Взаимодействие твердых тел при трении. Внешнее и внутреннее трение.</i></p> <p>Принципиальные отличия внешнего трения от внутреннего. Выполнение правила положительного градиента механических свойств. Зависимость силы внешнего трения от относительного перемещения трущихся тел. Коэффициент внешнего трения. Молекулярно-механическая природа фрикционного взаимодействия. Магнитное, гравитационное и электрическое взаимодействие между атомами и молекулами веществ, находящихся в контактной зоне. Прочность на срез адгезионных связей. Понятие «третьего тела». Основные уравнения силы трения. Расчет коэффициент внешнего трения. Математические модели величины коэффициента внешнего трения для упругого и пластического, ненасыщенного и насыщенного контактов в зависимости от физико-механических свойств материалов контактирующих тел, шероховатости и характеристик молекулярного (адгезионного) взаимодействия.</p>	1	4	–	–	30	34	Р.6.1. № 4	<i>Проблемное обучение</i>
5	<p><i>Изнашивание трущихся поверхностей. Виды изнашивания.</i></p> <p>Коррозионно-механический износ. Адгезионное изнашивание. Усталостное (кумулятивное) изнашивание. Кумулятивная (усталостная) теория изнашивания. Физическая модель износа. Основное уравнение для расчета изнашивания. Расчет изнашивания твердых тел. Математические модели изнашивания упругого и пластического контактов. Изнашивание криволинейных и плоских (волнистых) поверхностей.</p>	2	4	–	–	40	46	Р.6.1. № 1	<i>Проблемное обучение</i>
6	<p><i>Расчет износа сопряжений. Условие касания в</i></p>	2	2	–	–	30	34	Р.6.1. № 3	<i>Проблемное</i>



	<p><i>сопряжениях.</i> Износ сопряжения. Скорость изнашивания. Условие касания в сопряжениях при заданном и произвольном направлениях возможного сближения. Расчет износа сопряжений. Использование условия касания. Расчетные зависимости для некоторых сопряжений. Расчет предельных состояний по износу. Максимально допустимые износы. Предельные величины износа многозвенных механизмов. Расчет надежности сопряжений по износу. Показатели надежности. Прогнозирование износа сопряжений. Влияние износа на выходные параметры машины. Схема расчета машины на надежность.</p>								<i>обучение</i>
7	<p><i>Некоторые факторы повышения долговечности и надежности работы трущихся поверхностей.</i> Выбор материалов. Понятие совместимости трущихся поверхностей. Руководящие правила при выборе материалов для пар трения скольжения. Смазка деталей машин. Классификация смазочных материалов и методов их подвода. Критерии для выбора марки и способа смазки. Технологические и конструктивные методы повышения износостойкости деталей машин. Жесткость, податливость и специальная конфигурация деталей как факторы повышения износостойкости пар трения. Классификация и технологические возможности упрочняющей поверхностной обработки деталей машин.</p>	2	–	–	–	13	15	Р.6.1. № 5	<i>Проблемное обучение</i>

Занятия, проводимые в интерактивной форме, составляют 25% от общего количества аудиторных часов по дисциплине «Моделирование мехпотерь, трения и износа в ПДВС».



## Практические занятия

№ занятия	№ раздела	Тема	Кол-во часов
1	1	Определение показателей качества поверхностей трения.	2
2	3	Определение площадей касания двух поверхностей.	2
3	4	Расчет потерь на трение в подшипниках скольжения ДВС.	2
4	4	Расчет потерь на трение в цилиндро-поршневой группе ДВС.	2
5	5	Расчет изнашивания ПС и ЦПГ ДВС.	2
6	5	Численное исследование механических потерь ДВС в зависимости от скоростного режима	2
7	6	Численное исследование механических потерь ДВС в зависимости от нагрузочного режима	2

### 4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов

#### Тема 1 Введение. Характеристики трущихся поверхностей.

Вопросы для самостоятельного изучения:

1. Макроотклонения формы и размеров, волнистость, микронеровности и субмикронеровности.

#### Тема 2 Контакттирование твердых тел.

Вопросы для самостоятельного изучения:

1. Искажения строения поверхностного слоя твердых тел.
2. Наклеп.
3. Остаточные напряжения.
4. Сдвиг электродного потенциала.
5. Адсорбция и хемосорбция.

#### Тема 3 Контакттирование твердых тел.

Вопросы для самостоятельного изучения:

1. Математические модели площадей касания для различных контактов в зависимости от физико-механических свойств материалов контактирующих поверхностей, шероховатости и волнистости.

#### Тема 4 Взаимодействие твердых тел при трении. Внешнее и внутреннее трение.

Вопросы для самостоятельного изучения:

1. Магнитное, гравитационное и электрическое взаимодействие между атомами и молекулами веществ, находящихся в контактной зоне.

#### Тема 5 Изнашивание трущихся поверхностей. Виды изнашивания.

Вопросы для самостоятельного изучения:

1. Математические модели изнашивания упругого и пластического контактов.
2. Изнашивание криволинейных и плоских (волнистых) поверхностей.

#### Тема 6 Расчет износа сопряжений. Условие касания в сопряжениях.

Вопросы для самостоятельного изучения:

1. Предельные величины износа многозвенных механизмов.
2. Расчет надежности сопряжений по износу.
3. Показатели надежности.
4. Прогнозирование износа сопряжений.

5. Влияние износа на выходные параметры машины.

**Тема 7** *Некоторые факторы повышения долговечности и надежности работы трущихся поверхностей.*

• Вопросы для самостоятельного изучения:

1. Факторы повышения износостойкости пар трения.
2. Классификация и технологические возможности упрочняющей поверхностной обработки деталей машин.

## 5. Фонд оценочных средств

Оценка уровня освоения дисциплины осуществляется в виде текущего и промежуточного контроля успеваемости аспирантов университета, и на основе критериев оценки уровня освоения дисциплины.

Контроль представляет собой набор заданий и проводится в форме контрольных мероприятий по оцениванию фактических результатов обучения аспирантов и осуществляется ведущим преподавателем.

Объектами оценивания выступают:

- учебная дисциплина (активность на занятиях, своевременность выполнения различных видов заданий, посещаемость всех видов занятий по аттестуемой дисциплине и пр.);
- степень усвоения теоретических знаний;
- уровень овладения практическими умениями и навыками по всем видам учебной работы;
- результаты самостоятельной работы.

Активность обучающегося на занятиях оценивается на основе выполненных работ и заданий, предусмотренных ФОС дисциплины.

Оценивание проводится преподавателем независимо от наличия или отсутствия обучающегося (по уважительной или неуважительной причине) на занятии. Оценка носит комплексный характер и учитывает достижения обучающегося по основным компонентам учебного процесса за текущий период.

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции (или ее части)	Уровень освоения, определяемый этапом формирования компетенции	Наименование оценочного средства*
1	<i>Введение. Характеристики трущихся поверхностей.</i>	<i>ПК-1</i>	<i>Базовый</i>	<i>T</i>
2	<i>Свойства поверхностных слоев.</i>	<i>ПК-1</i>	<i>Базовый</i>	<i>T</i>
3	<i>Контактирование твердых тел.</i>	<i>ПК-1</i>	<i>Базовый</i>	<i>T</i>
4	<i>Взаимодействие твердых тел при трении. Внешнее и внутреннее трение.</i>	<i>ПК-1</i>	<i>Базовый</i>	<i>T</i>
5	<i>Изнашивание трущихся поверхностей. Виды изнашивания</i>	<i>ПК-1</i>	<i>Базовый</i>	<i>T</i>
6	<i>Расчет износа сопряжений. Условие касания в сопряжениях.</i>	<i>ПК-1</i>	<i>Базовый</i>	<i>T</i>
7	<i>Некоторые факторы повышения долговечности и</i>	<i>ПК-1</i>	<i>Базовый</i>	<i>T</i>

	<i>надежности работы тру- щихся поверхностей.</i>			
--	---	--	--	--

### 5.1. Вопросы к зачету

1. Основные разделы трибологии.
2. Основные понятия и определения триботехники.
3. Погрешности изготовления деталей.
4. Показатели качества поверхности.
5. Физико-механические свойства поверхностных слоев.
6. Строение поверхностного слоя.
7. Три площади контакта.
8. Номинальная площадь контакта и номинальное давление.
9. Контурная площадь контакта и контурное давление.
10. Фактическая площадь контакта и фактическое давление.
11. Отличие внешнего трения от внутреннего.
12. Зависимость силы трения от относительного перемещения.
13. Молекулярно-механическая природа фрикционного взаимодействия.
14. Упругий контакт.
15. Упругий ненасыщенный контакт.
16. Упругий насыщенный контакт.
17. Пластический контакт.
18. Пластический ненасыщенный контакт.
19. Пластический насыщенный контакт.
20. Правило положительного градиента сдвигового сопротивления.
21. Понятие третьего тела.
22. Виды и режимы трения.
23. Сухое трение.
24. Трение при граничной смазке.
25. Трение при полужидкостной смазке.
26. Трение при жидкостной смазке.
27. Диаграмма Герси-Штрибека.

Оценка “зачтено” предполагает твердое знание и понимание основных вопросов программы; правильные и конкретные, без грубых ошибок, ответы на поставленные зачетные вопросы при устранении неточностей и несущественных ошибок в освещении отдельных положений при наводящих вопросах экзаменатора; наличие незначительных ошибок в чтении и изображении схем и графиков; использование в необходимой мере в ответах на вопросы материалов всей рекомендуемой литературы. Зачет выставляется, если аспирант:

- владеет основным объемом знаний в рамках программы курса;
- усвоил основные понятия и категории;
- ориентируется в основных проблемах дисциплины;
- умеет анализировать изученный материал;
- проявил элементы творчества в самостоятельной работе;
- активно работал на практических занятиях;
- ориентируется в литературе, рекомендованной к прочтению.

Оценка “не зачтено” предполагает неправильный ответ хотя бы на один из основных зачетных вопросов, грубые ошибки в ответе, непонимание сущности излагаемых вопросов; неуверенные и неточные ответы на дополнительные вопросы. Зачет не может быть выставлен, если аспирант:

- не знает основных понятий, категорий, терминов;
- не вышел за пределы отрывочных представлений;
- не выполнил задания практических занятий, игнорировал самостоятельную работу;
- не справился с контрольными заданиями.

## 5.2. Вопросы к экзамену

1. Основные закономерности процессов контактного взаимодействия скользящих поверхностей.
2. Механизм и виды изнашивания.
3. Единичная фрикционная связь.
4. Основные виды фрикционных связей.
5. Механическое изнашивание.
6. Абразивное изнашивание.
7. Ударно-абразивное изнашивание.
8. Изнашивание при пластическом деформировании.
9. Изнашивание при хрупком разрушении.
10. Усталостное изнашивание (питтинг).
11. Изнашивание при фреттинге.
12. Молекулярно-механическое изнашивание.
13. Схватывание I-го рода.
14. Схватывание II-го рода.
15. Коррозионно-механическое изнашивание.
16. Окислительное изнашивание.
17. Фреттинг-коррозионное изнашивание.
18. Эрозионное изнашивание.
19. Кавитационное изнашивание.
20. Факторы, влияющие на интенсивность изнашивания.
21. Диаграмма изнашивания деталей.
22. Шероховатость приработанных поверхностей.
23. Методы измерения износов.
24. Смазочные материалы.

Критерии оценки:

Оценка **“отлично”** - глубокие исчерпывающие знания всего программного материала, понимание сущности и взаимосвязи рассматриваемых процессов и явлений, твердое знание основных положений смежных дисциплин: логически последовательные, содержательные, полные, правильные и конкретные ответы на все вопросы экзаменационного билета, дополнительные вопросы членов экзаменационной комиссии при грамотном чтении и четком изображении схем и графиков; использование в необходимой мере в ответах на вопросы материалов всей рекомендуемой литературы.

Оценка **“хорошо”**- твердые и достаточно полные знания всего программного материала, правильное понимание сущности и взаимосвязи рассматриваемых процессов и явлений; последовательные, правильные, конкретные ответы на поставленные вопросы при свободном устранении замечаний по отдельным вопросам; грамотное чтение и четкое изображение схем и графиков.

Оценка **“удовлетворительно”**- твердое знание и понимание основных вопросов программы; правильные и конкретные, без грубых ошибок, ответы на поставленные вопросы при устранении неточностей и несущественных ошибок в освещении отдельных положений при наводящих вопросах экзаменатора; наличие ошибок в чтении и изображении схем и графиков; при ответах на вопросы основная рекомендованная литература использована недостаточно.

Оценка **“неудовлетворительно”**- неправильный ответ хотя бы на один из основных вопросов, грубые ошибки в ответе, непонимание сущности излагаемых вопросов; неуверенные и неточные ответы на дополнительные вопросы.

## 5.3. Вопросник минимальных знаний

Вопросник минимальных знаний является промежуточным этапом для допуска к экзамену.

### 1. В чем заключается суть науки трибологии?

Трибология – наука о контактном взаимодействии твердых тел при их относительном движении, охватывающая весь комплекс вопросов трения, изнашивания и смазывания машин.

## **2. Что такое триботехника?**

Триботехника – это техническая наука о практическом применении трибологии при проектировании, изготовлении, испытании и эксплуатации трибологических систем (узлов трения и деталей машин, приборов и аппаратов, а также инструментов в технологических производствах). В некоторых странах вместо термина триботехника употребляют термин трибоника.

## **3. Перечислите разделы трибологии.**

- а) Основы износостойкости при трении;
- б) конструктивные методы повышения долговечности и надежности работы трущихся деталей;
- в) технологические способы повышения долговечности трущихся пар деталей;
- г) вопросы эксплуатации машин.

## **4. Что такое трение покоя?**

Трение покоя – трение двух тел при микроперемещениях до перехода к относительному движению.

## **5. Что такое предварительное смещение?**

Предварительное смещение – относительное микроперемещение двух твердых тел при трении в пределах перехода от состояния покоя к относительному движению.

## **6. Что такое наибольшая сила трения покоя?**

Наибольшая сила трения покоя – сила трения покоя, любое превышение которой ведет к возникновению движения.

## **7. Что такое внешнее трение?**

Внешнее трение – явление сопротивления относительному перемещению, возникающее между двумя телами в зонах соприкосновения поверхностей по касательным к ним, сопровождаемое преобразованием энергии (диссипацией).

## **8. Что такое внутреннее трение?**

Внутреннее трение – явление сопротивления относительному перемещению частей одного и того же тела

## **9. Что такое сила трения?**

Сила трения – сила сопротивления при относительном перемещении одного тела по поверхности другого под действием внешней силы, направленной по касательной к общей границе между этими телами и направленная в противоположную сторону от внешней силы.

## **10. Что такое коэффициент трения?**

Коэффициент трения – отношение силы трения двух тел к нормальной силе, прижимающей эти тела друг к другу.

## **11. Что такое коэффициент сцепления?**

Коэффициент сцепления – отношение наибольшей силы трения покоя двух тел к нормальной относительно поверхностей трения силе, прижимающей тела друг к другу.

## **12. Что такое трение движения?**

Трение движения – трение двух тел, находящихся в относительном движении.

## **13. Перечислите виды трения движения.**

- а) трение скольжения;
- б) трение качения;
- в) трение верчения.

## **14. Что такое скорость скольжения?**

Скорость скольжения – разность скоростей двух тел в точках касания при их относительном перемещении.

## **15. Что является трением без смазочного материала?**

Трение без смазочного материала – трение двух тел при отсутствии на поверхности трения введенного смазочного материала любого вида.

## **16. Что такое поверхность трения?**

Поверхность трения – поверхность тела, участвующего в трении.

### **17. Что такое изнашивание?**

Изнашивание – процесс разрушения и отделения материала с поверхности твердого тела и накопления его остаточной деформации при трении, проявляющейся в постепенном изменении размеров и формы тела.

### **18. Что такое износ?**

Износ – результат изнашивания, определяемый в условных единицах. Может выражаться в единицах длины, объема или массы на пройденный путь или время работы узла трения.

### **19. Что такое износостойкость?**

Износостойкость – свойство материала оказывать сопротивление изнашиванию в определенных условиях трения, оцениваемого величиной, обратной скорости изнашивания или интенсивности изнашивания, равной отношению износа к соответствующей длине пути трения:

$$U = 1 / I_h.$$

### **20. Что такое адсорбция?**

Адсорбция – концентрация жидких или газообразных веществ (адсорбатов) на поверхностях твердых тел (адсорбентов), происходящая в результате взаимодействия полей адсорбента и адсорбата. В зависимости от взаимодействия могут образовываться слои различной толщины: от мономолекулярного слоя до мультимолекулярного.

### **21. Что такое смазочный материал?**

Смазочный материал – материал, вводимый на поверхности трения для уменьшения силы трения и износа.

### **22. Что такое смазка?**

Смазка – действие смазочного материала, вводимого на поверхности трения для уменьшения силы трения и (или) интенсивности изнашивания.

### **23. Что такое смазывание?**

Смазывание – подведение смазочного материала к поверхности трения.

### **24. Что такое наклеп?**

Наклеп – это деформационное упрочнение материала пластическим деформированием при его нагружении за пределом текучести.

### **25. В чем заключается правило положительного градиента механических свойств?**

Увеличение прочности поверхностных слоев с возрастанием глубины, при соблюдении которого выполняются условия внешнего трения.

### **26. Перечислите виды геометрических погрешностей.**

- а) макрогеометрические отклонения;
- б) волнистость поверхности;
- в) шероховатость поверхности.

### **27. Что такое волнистость поверхности?**

Волнистость поверхности – совокупность более или менее регулярно чередующихся возвышенностей и впадин с шагом волны, значительно превышающим ее высоту ( $S_v / H_v > 40$ ).

### **28. Что такое шероховатость поверхности?**

Шероховатость поверхности – совокупность неровностей, представляющих из себя выступы и впадины с относительно малым расстоянием между ними, образующих рельеф поверхности.

### **29. Что такое профилограмма шероховатости?**

Профилограмма шероховатости – графическое изображение реального профиля в определенном масштабе, полученное по данным измерений шероховатости профилометром.

### **30. Перечислите показатели качества поверхности.**

- а)  $R_a$  - среднее арифметическое отклонение профиля от средней линии;
- б)  $R_z$  - высота неровностей профиля по 10-ти точкам;
- в)  $R_{max}$  - наибольшая высота неровностей профиля;
- г)  $r$  - средний радиус кривизны вершин выступов;
- д)  $S_m$  - средний шаг неровностей;
- е)  $S$  - средний шаг в пределах одного выступа;
- ж) Опорная кривая профиля (параметры  $\nu$  и  $b$ );



з) Комплексная характеристика шероховатости  $\Delta$ .

**31. Что такое номинальная площадь контакта?**

Номинальная площадь контакта  $A_n$  представляет собой площадь, по которой соприкасались бы тела, имея они идеально гладкую поверхность в случае плоских контактов

**32. Что такое контурная площадь контакта?**

Контурная площадь контакта  $A_c$  является суммой элементарных площадок  $\Delta A_c$ , ограниченных контуром, в пределах которого существуют фактические пятна контакта.

**33. Что такое фактическая площадь контакта?**

Фактическая площадь контакта  $A_f$  есть сумма элементарных площадок контакта  $\Delta A_f$ , возникающих в результате деформаций отдельных неровностей.

**34. Перечислите возможные деформации выступов.**

- а) упругая;
- б) упруго-пластическая без упрочнения;
- в) упруго-пластическая с упрочнением.

**35. В чем сходство внешнего и внутреннего трения?**

Внешнее и внутреннее трение твердых тел всегда сопровождается преобразованием кинетической энергии в тепло, то есть они являются диссипативными процессами.

**36. В чем принципиальные отличия внешнего и внутреннего трения?**

Принципиальных отличий два:

1) при внешнем трении контакт твердых тел всегда происходит в отдельных «пятнах», площадках фактического касания, количество и размер которых зависит от нагрузки и на которых протекает весь сложный комплекс явлений, обуславливающих природу внешнего трения. При внутреннем трении поверхность касания непрерывна и не зависит от нагрузки;

2) при внешнем трении все процессы взаимодействия соприкасающихся поверхностей протекают в тонком поверхностном слое толщиной порядка несколько миллиметров. При внутреннем трении диссипативные процессы протекают по всей толщине материала.

**37. Каково необходимое условие для обеспечения внешнего трения?**

Различие между прочностью молекулярных связей и прочностью нижележащих слоев, а именно выполнение правила положительного градиента сдвигового сопротивления каждого из трущихся тел по глубине, согласно которому прочность материала пары трения должна возрастать от поверхности касания вглубь материала.

**38. В чем заключается молекулярно-механическая теория трения?**

Сила трения обусловлена двумя составляющими:

а) сопротивлениями, возникающими в результате деформирования поверхностных слоев контактирующих тел внедрившимися микронеровностями (механическая составляющая силы трения);

б) сопротивлениями, возникающими в результате преодоления межатомных и межмолекулярных связей (молекулярная составляющая силы трения):

$$F = F_a + F_m,$$

**39. Перечислите виды взаимодействия твердых тел при контакте.**

а) Упругий контакт, подразделяющийся на упругий ненасыщенный контакт и на упругий насыщенный контакт;

б) пластический контакт, подразделяющийся на пластический ненасыщенный контакт и на пластический насыщенный контакт.

**40. Чем ненасыщенный контакт отличается от насыщенного контакта?**

В ненасыщенном контакте число контактирующих неровностей меньше числа неровностей, расположенных на контурной площади касания, а в насыщенном – равно.

**41. Чем упругий контакт отличается от пластического?**

При упругом контакте напряжения на этом контакте не превышают предел текучести, а в пластическом – превышают.

**42. Перечислите основные методы для осуществления положительного градиента сдвигового сопротивления.**

- а) Формирование пленок при трении из окружающей среды;

- б) нанесение покрытий и смазок;
- в) разрыхление поверхностного слоя;
- г) повышение твердости подложки.

**45. Что такое «третье» тело?**

Третье тело – рабочий слой или зона фрикционного взаимодействия контактирующих тел, в которой расположены фрикционные связи, а также заполняющие пространство между ними смазка (загрязнения) и продукты износа.

**44. Перечислите режимы трения при трении скольжения.**

- а) Сухое трение;
- б) граничная смазка;
- в) полужидкостная смазка;
- г) жидкостная смазка (гидростатическая или гидродинамическая);

**45. В чем особенность граничной смазки?**

При граничной смазке поверхности сопряженных тел разделены слоем смазочного материала весьма малой толщины (от толщины одной молекулы до 0,1 мкм).

**46. В чем особенность полужидкостной смазки?**

При полужидкостной смазке нормальная нагрузка уравнивается нормальной составляющей сил взаимодействия поверхностей на площадках их контакта и силами гидродинамического давления в смазочном слое.

**47. В чем особенность жидкостной смазки?**

При жидкостной смазке поверхности трения разделены слоем жидкости под давлением, которое полностью уравнивает внешнюю нагрузку.

**48. Что такое адгезия?**

Адгезия (прилипание) – возникновение молекулярной связи между поверхностными слоями соприкасающихся разнородных тел, являясь результатом межмолекулярного взаимодействия, ионной или металлической связи.

**49. Что такое когезия?**

Когезия – частный случай адгезии – взаимодействие соприкасающихся однородных тел.

**50. Перечислите основные виды изнашивания.**

- а) Механическое;
- б) молекулярно-механическое;
- в) коррозионно-механическое;
- г) термомеханическое.

**51. Перечислите три периода в изнашивании деталей машин.**

- а) Период приработки;
- б) период стабильного или нормального изнашивания;
- в) период предельного изнашивания.

**52. Перечислите методы измерения износов.**

- а) Метод искусственных баз или метод лунок;
- б) метод наложения макропрофилограмм;
- в) метод спектрального анализа;
- г) метод радиоактивных изотопов.

**53. Перечислите функции, которые должен выполнять смазочный материал.**

- а) уменьшать трение, тем самым уменьшая сопротивление движению;
- б) уменьшать износ и предотвращать задиры трущихся поверхностей;
- в) отводить тепло от трущихся поверхностей;
- г) защищать поверхности деталей от коррозионного воздействия внешней среды;
- д) уплотнять зазоры между сопряженными деталями;
- е) удалять из зоны трения продукты износа, коррозии и загрязнения.

Критерии оценки:

Для оценки допуска к экзамену студентам предлагаются тестовые билеты с 10 вопросами из вопросника минимальных знаний.

Оценка «зачтено» выставляется, если студент дает правильные ответы не менее, чем на 6 вопросов (60% правильных ответов).

Оценка «незачтено» выставляется, если студент дает правильные ответы менее, чем на 6 вопросов (60% правильных ответов).

#### 5.4. Тесты для промежуточной аттестации

1. Какие существуют виды трения со смазочным материалом?

- а) **граничное**
- б) абразивное
- в) **полужидкостное**
- г) адсорбционное

2. Какие существуют типы трения движения?

- а) **скольжения**
- б) **верчения**
- в) кручения
- г) закручивания

3. Показатель качества поверхности S описывает ...

- а) путь пройденный профилографом
- б) **средний шаг в пределах одного выступа**
- в) он является одним из параметров опорной кривой
- г) базовую длину профилограммы

4. Для чего используют правило положительного градиента сдвигового сопротивления?

- а) для проверки прочности детали
- б) **для обеспечения внешнего трения**
- в) для расчета параметров шероховатости поверхностей
- г) данное правило не используется в теории трения

5. Что из ниже перечисленного относится к основным видам изнашивания?

- а) **механическое изнашивание**
- б) радиационно-химическое изнашивание
- в) **коррозионно-механическое изнашивание**
- г) термо-молекулярное изнашивание

6. Что такое трение покоя?

- а) трение двух тел в состоянии покоя
- б) трение при установившемся движении
- в) **трение двух тел при микроперемещениях до перехода к относительному движению**
- г) трение в момент приложения нагрузки

7. Что такое коэффициент трения?

- а) отношение нормальной силы, действующей на тела, к силе трения, возникающей при движении
- б) **отношение силы трения двух тел к нормальной силе, прижимающей эти тела друг к другу**
- в) произведение силы трения и нормальной силы, действующих на два тела
- г) нет верного ответа

8. Как называется отношение наибольшей силы трения покоя двух тел к нормальной относительно поверхностей трения силе, прижимающей тела друг к другу?

- а) коэффициент трения

б) **коэффициент сцепления**

в) сила трения

г) сила трения покоя

9. Как называется действие смазочного материала, вводимого на поверхности трения для уменьшения силы трения и интенсивности изнашивания?

а) адсорбция

б) смазывание

в) **смазка**

г) набивка смазочного материала

10. Назовите погрешности от идеальной формы реальных деталей.

а) **макрогеометрические отклонения**

б) **волнистость поверхности**

в) допуск размера

г) **шероховатость поверхности**

11. Назовите существующие показатели качества поверхности.

а) **среднее арифметическое отклонение профиля от средней линии  $Ra$**

б) **высота неровностей профиля по десяти точкам  $Rz$**

в) глубина внедрения неровностей  $h$

г) твердость поверхности  $HB$

12. Что учитывает комплексная характеристика шероховатости  $\Delta$ ?

а) глубину внедрения неровностей

б) **остроту выступов неровностей**

в) **распределение шероховатого слоя по высоте профиля**

г) твердость поверхности

13. Какие площади контакта поверхностей применяют в теории трения?

а) **контурную**

б) **номинальную**

в) физическую

г) **фактическую**

14. При воздействии каких факторов происходит увеличение фактической площади контакта?

а) при повышении твердости поверхности

б) **при увеличении нагрузки**

в) с повышением упругих характеристик

г) **при уменьшении шероховатости**

15. При воздействии каких факторов происходит уменьшение фактической площади контакта?

а) **с увеличением предела текучести материала**

б) при увеличении нагрузки

в) **с повышением упругих характеристик**

г) при уменьшении шероховатости

16. Назовите возможные случаи деформации выступов.

а) **упругая деформация**

б) **упруго-пластическая без упрочнения**

в) **упруго-пластическая с упрочнением**

г) чисто пластическая

17. Из каких составляющих состоит коэффициент трения в соответствии с молекулярно-механической теории трения?

- а) динамическая составляющая
- б) **механическая составляющая**
- в) **молекулярная составляющая**
- г) химическая составляющая

18. Какой вид изнашивания происходит при малых амплитудах колебательных относительных перемещений?

- а) абразивное изнашивания
- б) коррозия
- в) **фреттинг-коррозия**
- г) вибрационная кавитация

19. Перечислите меры, которые могут привести к исчезновению явления "визга тормозов" в парах трения.

- а) **увеличение жесткости системы**
- б) **повышение скорости скольжения**
- в) изменение направление движения
- г) **подбор материала для пар трения**

20. Назовите существующие методы измерения износов.

- а) **метод радиоактивных изотопов**
- б) метод радионуклидов
- в) **метод лунок**
- г) **метод наложения профилограмм**

21. Графическое изображение реального профиля поверхности, выполненное в определенном масштабе называется ...

- а) шероховатостью
- б) **профилограммой**
- в) профилометром
- г) профайлом

22. По какой формуле определяется параметр *Среднее арифметическое отклонение профиля от средней линии*  $Ra$ ?

а)  $Ra = \frac{1}{l} \int_0^l y(x) dx$

б)  $Ra = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx$

в)  $Ra = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$

$$\text{г) } \boxed{Ra = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|}$$

23. По какой формуле определяется параметр *Высота неровностей профиля по десяти точкам Rz?*

$$\text{а) } Rz = \frac{1}{10} \left( \sum_{i=1}^5 |y_{Pi}| + \sum_{i=1}^5 |y_{Vi}| \right)$$

$$\text{б) } Rz = \frac{1}{10} \left( \sum_{i=1}^5 y_{Pi} + \sum_{i=1}^5 y_{Vi} \right)$$

$$\text{в) } \boxed{Rz = \frac{1}{5} \left( \sum_{i=1}^5 |y_{Pi}| + \sum_{i=1}^5 |y_{Vi}| \right)}$$

$$\text{г) } Rz = \frac{1}{5} \left( \sum_{i=1}^5 y_{Pi} + \sum_{i=1}^5 y_{Vi} \right)$$

24. По какой формуле определяется параметр *Комплексная характеристика шероховатости Δ?*

$$\text{а) } \Delta = \frac{R \max}{rb^{(v+1)}}$$

$$\text{б) } \Delta = \frac{R \max}{rb^v}$$

$$\text{в) } \Delta = \frac{R \max}{rb^{1/(2v+1)}}$$

$$\text{г) } \boxed{\Delta = \frac{R \max}{rb^{1/v}}}$$

25. Какой функцией аппроксимируется начальный участок опорной кривой профиля?

$$\text{а) } tp = bx^{1/v}$$

$$\text{б) } \boxed{tp = bx^v}$$

$$\text{в) } tp = bx^{v+1}$$

$$\text{г) } tp = bx^{2v+1}$$

26. Как называется процесс разрушения и отделения материала с поверхности тела, проявляющийся в постепенном изменении размеров и формы этого тела?

а) износ

б) **изнашивание**

- в) износостойкость
- г) трение

27. Какой из перечисленных режимов трения является основным в подшипниках скольжения коренных и шатунных шеек коленчатых валов?

- а) сухое трение
- б) граничная смазка
- в) полужидкостная смазка
- г) **жидкостная смазка**

28. Какие смазочные материалы преимущественно используют в подшипниках качения?

- а) газообразные
- б) **жидкие**
- в) **пластичные**
- г) твердые

29. Какой показатель масла является важным для обеспечения гидродинамического режима жидкостного трения?

- а) температура вспышки
- б) температура застывания
- в) **вязкость**
- г) задиростойкость

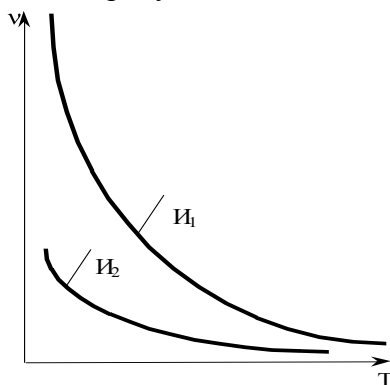
30. Какой показатель масла является важным для предотвращения схватывания поверхностей?

- а) температура вспышки
- б) температура застывания
- в) вязкость
- г) **задиростойкость**

31. Что показывается индекс вязкости моторного масла?

- а) величину вязкости масла при температуре  $0^{\circ}\text{C}$
- б) величину вязкости масла при температуре  $100^{\circ}\text{C}$
- в) **скорость изменения вязкости масла от температуры**
- г) минимальную вязкость масла

32. У какого из масел, показанных на рисунке, индекс вязкости больше?



- а)  $I_1 > I_2$
- б)  **$I_1 < I_2$**
- в)  $I_1 = I_2$ , так как индекс вязкости не зависит от температуры
- г) в данном случае индекс вязкости не имеет смысла



33. При наклепе снижается:

- а) пластичность**
- б) усталостная прочность
- в) ударная вязкость**
- г) предел текучести

34. Явлением сопротивления движению, возникающему между двумя телами в зонах соприкосновения поверхностей и по касательной к ним называется:

- а) наибольшая сила трения покоя
- б) внешнее трение**
- в) внутреннее трение
- г) предварительное смещение

35. Наименьшей площадью контакта между поверхностями является:

- а) номинальная площадь контакта
- б) контурная площадь контакта
- в) фактическая площадь контакта**
- г) другое

36. Для избегания "скачков" при сухом трении применяются следующие меры:

- а) увеличивают жесткость системы**
- б) увеличивают прочность системы
- в) понижают скорость скольжения
- г) повышают скорость скольжения**

37. Режим жидкостного трения по конструктивному исполнению делится на:

- а) режим гидродинамического трения**
- б) режим гидростатического трения**
- в) режим газодинамического трения
- г) режим газостатического трения**

38. Назовите разделы триботехники:

- а) трибология
- б) трибомеханика**
- в) трибофизика**
- г) трибохимия**

39. Назовите виды трения:

- а) сухое
- б) полужидкостная смазка
- в) граничная смазка
- г) со смазочным материалом**

40. Что такое трибология?

- а) наука о контактном взаимодействии твердых тел при их относительном движении**
- б) наука, изучающая взаимодействие поверхностей с химически активной средой
- в) наука, изучающая физические аспекты взаимодействия контактируемых поверхностей при трении
- г) наука, изучающая механику взаимодействия контактируемых поверхностей при трении

41. Виды молекулярно-механического изнашивания:

- а) изнашивание схватыванием**
- б) фреттинг-коррозионное изнашивание

- в) адгезионное изнашивание
- г) кавитационное изнашивание

42. Во избежание «скачков» при сухом трении применяют следующие меры:

- а) увеличивают жесткость системы
- б) повышают скорость скольжения
- в) подбирают материал для пар трения такой, чтобы коэффициент трения

незначительно возрастал на этапе предварительного смещения

- г) добавляют масло

43. Деформация упругого материала пластическим деформированием за пределом текучести:

- а) наклёп
- б) налет
- в) налив
- г) непрямо́й нахлѐст

44. Процесс разрушения поверхностных слоёв трущихся тел, которое приводит к уменьшению тел в направлении перпендикулярном поверхности трения, это ...

- а) адгезия
- б) адсорбция
- в) изнашивание
- г) диффузия

45. Возникновение молекулярной связи между поверхностными слоями соприкасающихся разнородных тел, это...

- а) адгезия
- б) адсорбция
- в) изнашивание
- г) диффузия

46. ... материал – это минерал естественного или искусственного происхождения, зерна которого имеют достаточную прочность и обладающего способностью резанья.

- а) абразивный
- б) адгезионный
- в) диффузионный
- г) износостойкий

47. Этот вид изнашивания заключается в изменении размеров и форм детали в результате изменения её микрообъемов.

- а) окислительное изнашивание
- в) абразивное изнашивание
- г) изнашивание вследствие пластической деформации
- д) усталостное изнашивание

Критерии оценки:

Для проведения промежуточной аттестации по различным темам дисциплины формируются тестовые билеты (как правило, по 10 вопросов в каждом билете).

Оценка «зачтено» выставляется, если студент дает правильные ответы не менее, чем на 6 вопросов (более 60% правильных ответов).

Оценка «незачтено» выставляется, если студент дает правильные ответы менее, чем на 6 вопросов (менее 60% правильных ответов).

### 5.5. Задачи для промежуточной аттестации

Задача 1. Дан радиальный подшипник скольжения с цилиндрической расточкой. Нагрузка на подшипник  $W=3,75 \cdot 10^5$  Н; диаметр шейки вала  $d=0,5$  м; длина вкладыша подшипника  $l=0,5$  м; угол охвата  $\alpha=120^\circ$ ; частота вращения вала  $\omega=314$  с<sup>-1</sup>; относительный зазор  $\psi=0,003$ ; температура смазки в системе  $t_o=40$  °С; сорт смазки Тп-22; теплоемкость смазки  $c=1980$  Дж/(кг·°С); плотность смазки  $\rho=872$  кг/м<sup>3</sup>; давление масла на входе в смазочный слой  $p_e=0,2 \cdot 10^5$  Па. Подача смазки осуществляется в рабочую зону подшипника через верхнюю половину вкладыша. Определить потери мощности на трение в подшипнике. Правильный ответ –  $N=142,85$  кВт.

Данные в задаче могут варьироваться для разных вариантов расчета.

Критерии оценки:

Оценка “отлично” – алгоритм решения задачи верен и результат сошелся с ответом.

Оценка “хорошо” – алгоритм решения задачи верен, но ошибка сделана в вычислениях.

Оценка “удовлетворительно” – в решении задачи выбрано правильное направление, но в целом алгоритм решения не верен.

Оценка “неудовлетворительно” – задание полностью не выполнено.

## 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

### 6.1 Основная литература

1. Загайко, С. А. Основы теории трения и изнашивания [Электронный ресурс] / С. А. Загайко; ГОУ ВПО УГАТУ. – Уфа: УГАТУ, 2011.

### 6.2 Дополнительная литература

1. Мышкин, Н. К. Трение, смазка, износ: физические основы и технические приложения трибологии / Н. К. Мышкин, М. И. Петроковец - М.: Физматлит, 2007. – 368 с.

2. Пенкин, Н. С. Основы трибологии и триботехники [Электронный ресурс]: учебное пособие / Н. С. Пенкин, А. Н. Пенкин, В. М. Сербин - Москва: Машиностроение, 2008 - 208 с.

3. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / Под ред. А. В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 2003. – 576 с.

4. Загайко, С.А. Расчет механических потерь в двигателях внутреннего сгорания / Уч. пособие. – Уфа: УГАТУ, 2006.

### 6.3. Интернет-ресурсы (электронные учебно-методические издания, лицензионное программное обеспечение)

1. Шустер, Л.Ш. Триботехника в реновации: учебное пособие / Л.Ш. Шустер; Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – Уфа: УГАТУ, 2008. – 118 с.

2. Еникеев, Р. Д. Двигатели внутреннего сгорания: основные термины и русско-английские соответствия: [учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям 552700 и 651200 -"Энергомашиностроение", специальности 101200 -"Двигатели внутреннего сгорания"] / Р. Д. Еникеев, Б. П. Рудой - М.: Машиностроение, 2004. – 384 с.

3. Комбалов, В. С. Методы и средства испытаний на трение и износ конструкционных и смазочных материалов [Электронный ресурс]: справочник / В. С. Комбалов; под ред. К. В. Фролова, Е. А. Марченко - Москва: Машиностроение, 2007. – 384 с.

## 7. Образовательные технологии

Для достижения наиболее эффективных результатов освоения дисциплины при реализации различных видов учебной работы применяются информационные технологии (использование компьютерных тестирующих средств оценки уровня знаний обучаемых, использование мультимедийного сопровождения лекций, электронных мультимедийных учебных пособий и др.) и интерактивные методы и технологии обучения (проблемные лекции, лекции-визуализации, технология

проблемного обучения, технология развития критического мышления, групповая работа), с учетом содержания дисциплины и видов занятий, предусмотренных учебным планом.

## **8. Методические указания по освоению дисциплины**

Основной теоретический материал дисциплины «*Основы теории трения и изнашивания*» излагается в лекционном курсе. Ниже приводятся методические рекомендации по изучению теоретического материала всех лекций дисциплины. Дисциплина состоит из двух связанных между собой блоков (разделов): раздел 1 - «Основы контактного взаимодействия» и раздел 2 - «Основы теории трения и изнашивания».

В *теме № 1* рассматриваются принципы построения расчетной модели, определяющие уравнения задачи – уравнения равновесия; уравнения совместимости перемещений; краевые условия; связь между основными факторами и перемещениями; интегральные уравнения упругого контакта тел. Показывается решение интегральных уравнений упругого контакта на основе численных методов: представление ядра интегрального уравнения с помощью функций влияния; замена интегральных уравнений конечной системой алгебраических уравнений; рассмотрение условий контакта, при которых система алгебраических уравнений является линейной. Даются рекомендации по выбору методов решения. Дается определение функций влияния: определение составляющей функции влияния, обусловленной общей деформацией тела; определение составляющей функции влияния, обусловленной контактной деформацией поверхностного слоя.

Далее рассматриваются характеристики трущихся поверхностей, а именно: геометрические характеристики поверхностей и шероховатость реальных тел; макроотклонения формы и размеров, волнистость, микронеровности и субмикронеровности; опорная кривая; шероховатость приработанных поверхностей, а также комплексная характеристика шероховатости поверхностей.

*Тема № 2* посвящена свойствам поверхностных слоев. В ней рассматриваются физико-механические и химические свойства поверхностных слоев, искажения строения поверхностного слоя твердых тел, наклеп, остаточные напряжения, сдвиг электродного потенциала, адсорбция и хемосорбция. Рассматривается модель поверхностных слоев реальных твердых тел, а также правило положительного градиента механических свойств.

*Тема №3* посвящена контактированию твердых тел. Рассматривается понятие фрикционной связи, единичной фрикционной связи. Показаны виды нарушения фрикционных связей: упругое отеснение материала, пластическое отеснение, микрорезание, адгезионное и когезионное разрушения. В заключении лекции рассмотрено понятие множественного контакта и расчет площади касания.

Далее тема посвящена рассмотрению трех площадей контакта: фактическая, контурная и номинальная площади касания. Пояснены упругий ненасыщенный и насыщенный контакты. Подробно рассматриваются пластический ненасыщенный и насыщенный контакты, а также математические модели площадей касания для различных контактов в зависимости от физико-механических свойств материалов контактирующих поверхностей, шероховатости и волнистости.

В *теме № 4* освещены вопросы взаимодействия твердых тел при трении, принципиальное различие внешнего и внутреннего трения, выполнение правила положительного градиента механических свойств, зависимость силы внешнего трения от относительного перемещения трущихся тел, а также расчет коэффициента внешнего трения.

Подробно разъясняется молекулярно-механическая природа фрикционного взаимодействия. Приводится модель относительного скольжения внедренной единичной неровности пятна касания твердых тел. Рассматривается магнитное, гравитационное и электрическое взаимодействие между атомами и молекулами веществ, находящихся в контактной зоне, а также ковалентные, ионные и металлические межатомные связи.

Рассматривается прочность на срез адгезионных связей и дается понятие «третьего тела». Приводятся основные уравнения силы трения и расчет коэффициент внешнего трения.

В теме также даются математические модели величины коэффициента внешнего трения для упругого и пластического, ненасыщенного и насыщенного контактов в зависимости от физико-

механических свойств материалов контактирующих тел, шероховатости и характеристик молекулярного (адгезионного) взаимодействия.

В *теме № 5* рассматривается изнашивание трущихся поверхностей и виды изнашивания: коррозионно-механический износ; адгезионное изнашивание; усталостное (кумулятивное) изнашивание. Приводится кумулятивная (усталостная) теория изнашивания.

Дается физическая модель износа, а также основное уравнение для расчета изнашивания и расчет изнашивания твердых тел.

Приводятся математические модели изнашивания упругого и пластического контактов, изнашивание криволинейных и плоских (волнистых) поверхностей и даются упрощенные формулы для их расчета.

В *теме № 6* рассматривается расчет износа сопряжений и условие касания в сопряжениях. Подробно объясняется механизм износа сопряжения, скорость изнашивания, условие касания в сопряжениях при заданном и произвольном направлениях возможного сближения. Приводится расчет износа сопряжений и использование условия касания, а также расчетные зависимости для некоторых сопряжений. Дается расчет предельных состояний по износу.

В лекции даются максимально допустимые износы и предельные величины износа многозвенных механизмов, а также расчет надежности сопряжений по износу. Рассматриваются показатели надежности пар трения, прогнозирование износа сопряжений и влияние износа на выходные параметры машины. Дается схема расчета машины на надежность.

В *теме № 7* рассматриваются некоторые факторы повышения долговечности и надежности работы трущихся поверхностей: выбор материалов; понятие совместимости трущихся поверхностей; руководящие правила при выборе материалов для пар трения скольжения; смазка деталей машин.

Рассматривается классификация смазочных материалов и методов их подвода, а также критерии для выбора марки и способа смазки. Приводятся технологические и конструктивные методы повышения износостойкости деталей машин.

Разбирается влияние жесткости, податливости и специальной конфигурация деталей на повышения износостойкости пар трения. Рассматривается классификация и технологические возможности упрочняющей поверхностной обработки деталей машин.

## **9 . Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Для проведения лабораторных работ и при самостоятельной работе аспирантов требуются IBM-совместимые персональные компьютеры (класса Pentium III, IV и выше) с установленными на них операционной системой семейства Windows.

С целью своевременного определения уровня знаний и умений аспирантов на кафедре ДВС организована система контроля, предусматривающая как текущий, так и рубежный контроль на всех практических занятиях.

Аспирант может использовать портал кафедры (<http://www.dvs.ugatu.ac.ru>), ему предоставляется весь разработанный методический материал для открытого и свободного изучения.

## **10. Адаптация рабочей программы для лиц с ОВЗ**

В соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации от 14 августа 2013 г. № 697 «Об утверждении перечня специальностей и направлений подготовки, при приеме на обучение по которым поступающие проходят обязательные предварительные медицинские осмотры (обследования) в порядке, установленном при заключении трудового договора или служебного контракта по соответствующей должности или специальности» обучение лиц с ограниченными возможностями здоровья по данному направлению подготовки не предусмотрено.



ЛИСТ

согласования рабочей программы

Направление подготовки: 13.06.01 Электро- и теплотехника  
код и наименование

Направленность подготовки (программа): Тепловые двигатели  
наименование

Дисциплина: Моделирование мехпотерь, трения и износа в ПДВС

Учебный год 2015/2016

РЕКОМЕНДОВАНА заседанием кафедры Двигатели внутреннего сгорания  
наименование кафедры

протокол № 9 от "08" 08 20 15.  
Заведующий кафедрой Еникеев Р.Д.  
подпись расшифровка подписи

Исполнители:  
Доцент каф. ДВС Загайко С.А.  
должность подпись расшифровка подписи

СОГЛАСОВАНО:

Заведующий кафедрой<sup>1</sup>  
двигателей внутреннего сгорания Р.Д. Еникеев

Председатель НМС по УГСН 13.00.00 Электро- и теплотехника

протокол № 1А от "28" 08 20 15 г.

Ф.Р. Исмагилов  
личная подпись расшифровка подписи

Библиотека Т.В. Дмитриева 28.08.15  
личная подпись расшифровка подписи дата

Начальник отдела аспирантуры Фаттахов Р.К. 31.08.15  
личная подпись расшифровка подписи дата

Рабочая программа зарегистрирована в ООПМА и внесена в электронную базу данных  
Начальник И.А.Лакман 31.08.15  
личная подпись расшифровка подписи дата

<sup>1</sup> Согласование осуществляется с выпускающими кафедрами (для рабочих программ, подготовленных на кафедрах, обеспечивающих подготовку для других направлений и специальностей)

**Дополнения и изменения в рабочей программе учебной дисциплины  
на 20\_\_/20\_\_ уч. год**

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета (директор института, филиала)

\_\_\_\_\_ ФИО

(подпись)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

В рабочую программу по дисциплине \_\_\_\_\_

для направления \_\_\_\_\_

направленность (программа) \_\_\_\_\_

вносятся следующие изменения:

.....

.....

ПЕРЕСМОТРЕНА на заседании кафедры \_\_\_\_\_

наименование кафедры

протокол № \_\_\_\_\_ от " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2015 г.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

подпись                      расшифровка подписи

Научный руководитель магистерской программы<sup>2</sup> \_\_\_\_\_

подпись                      расшифровка подписи

ОДОБРЕНА на заседании НМС по УГСН \_\_\_\_\_

протокол № \_\_\_\_\_ от " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Председатель \_\_\_\_\_

личная подпись                      расшифровка подписи

СОГЛАСОВАНО:

Заведующий кафедрой<sup>3</sup>

\_\_\_\_\_

наименование кафедры

личная подпись

расшифровка подписи

дата

Библиотека<sup>4</sup> \_\_\_\_\_

личная подпись

расшифровка подписи

дата

Дополнения и изменения внесены в базу данных рабочих программ дисциплин

Начальник ООПМА \_\_\_\_\_

личная подпись

расшифровка подписи

дата

<sup>2</sup> Только направлений подготовки магистров

<sup>3</sup> Согласование осуществляется с выпускающими кафедрами (для рабочих программ, подготовленных на кафедрах, обеспечивающих подготовку для других направлений подготовки научно-педагогических кадров высшей квалификации)

<sup>4</sup> Только при внесении изменений в список литературы