

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
БОРИСОГЛЕБСКИЙ ФИЛИАЛ  
(БФ ФГБОУ ВО «ВГУ»)

**МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**  
**Физика контактного взаимодействия**

**1. Код и наименование направления подготовки:**

15.03.01 Машиностроение

**2. Профиль подготовки:**

Технологии, оборудование и автоматизация машиностроительных производств

**3. Квалификация (степень) выпускника:**

Бакалавр

**4. Форма обучения:**

Очная, заочная

**5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:**

Кафедра прикладной математики, информатики, физики и методики их преподавания

**6. Составитель(и):**

Благодарный В.В., кандидат технических наук, доцент.

## 7. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Ведение конспекта лекций должно сопровождаться графическими построениями, раскрывающими основные положения и методы курса. Заголовки тем и разделов должны быть выделены, чертежи и схемы выполнены карандашом. Новые термины и определения следует давать с пояснениями, общепринятыми сокращениями или аббревиатурой, которые позволяют сократить запись. Пропущенные лекции должны быть переписаны. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на консультации или практическом занятии.
Практические и лабораторные занятия	В процессе освоения дисциплины студенты выполняют лабораторные работы, результаты наблюдений оформляют в отдельной тетради. При защите лабораторных работ студент отвечает на вопросы, касающиеся теории и методики проведения эксперимента, обработки экспериментальных данных.
Подготовка к экзамену	При подготовке к экзамену необходимо ориентироваться на конспекты лекций, рекомендуемую литературу, отработанные методы решения задач и приобретенные навыки анализа и проверки выполненных решений.

## 8. Методические материалы для обучающихся по освоению теоретических вопросов дисциплины

№		
1	История как наука	Предмет истории, её функции и место в системе наук. Историческое движение и его составляющие категории. Исторический факт. Теория как методологическая интерпретация. Исторические понятия в составе терминологии как инструментарий исторической науки. Междисциплинарные подходы в современных исторических исследованиях
2		

п/п	Тема лекции	Рассматриваемые вопросы
1.1	Введение.	Явления трения и контактного взаимодействия тел. История механики контактного взаимодействия и физики трения. Классификация трения.
1.2	Качественное описание контактного взаимодействия – нормальный контакт без адгезии	Кристаллическая структура твёрдых тел. Краткий обзор механических свойств кристаллов. Полиморфизм. Свободная поверхность. Дефекты кристаллического строения и их общие свойства. Макроструктура твёрдых тел (поликристаллы). Аморфные структуры твёрдых тел. Простые контактные задачи. Качественные методы оценки контактов с трехмерными упругими телами.
1.3	Качественное описание контактного взаимодействия – нормальный контакт с адгезией	Физическая природа сил адгезии. Адгезия между телами с искривленной поверхностью. Качественные оценки сил адгезии между упругими телами. Влияние шероховатости поверхности на адгезию. Клейкая лента. Силы Ван-дер-Ваальса и их влияние на поверхностный слой материалов.
1.4	Строгое рассмотрение контактных явлений без адгезии и с адгезией	Деформации упругого полупространства под влиянием поверхностных сил. Теория контактного взаимодействия Герца. Контакт упругих тел с искривленной поверхностью. Контакт твердого тела с упругим полупространством.

		Теория нормального контактного взаимодействия с адгезией Джонсона.
1.5	Контакты между шероховатыми поверхностями	Модель Гринвуда и Вильямсона. Пластическая деформация шероховатостей. Электрические контакты. Тепловые контакты. Механическая жесткость контактов. Уплотнения. Шероховатость и адгезия.
1.6	Касательная контактная задача. Закон Кулона. Тепловые процессы в контактах	Деформация упругого полупространства под действием сосредоточенной и распределенной силы. Касательная контактная задача без проскальзывания. Касательная контактная задача без проскальзывания с учетом микропроскальзывания. Контактное взаимодействие упругих тел при качении. Распределение напряжений в контакте качения. Закон Кулона. Трение покоя и трение скольжения. Угол трения. Зависимость коэффициента трения от различных условий: продолжительности контакта, нормальной силы, шероховатости поверхности контакта, скорости скольжения. Теория Боудена и Тейбора. Зависимость коэффициента трения от температуры. Температурные вспышки в микроконтакте. Термомеханическая неустойчивость.
1.7	Фрикционные автоколебания.	Причины фрикционных автоколебаний в их проявлении в технике. Неустойчивость, обусловленная зависимостью коэффициента трения от скорости скольжения и в системе с распределенной упругостью. Критическое затухание и оптимальное подавление скрипа. Активное подавление фрикционных колебаний (скрипа). Влияние фрикционных колебаний на прочность деталей.
1.8	Трибологические системы со смазкой	Гидродинамическая теория смазки. Вязкая адгезия. Реология смазочных материалов. Граничная смазка. Эластогидродинамическая смазка. Твердые смазки. Вязкоупругие свойства эластомеров. Релаксация напряжений и диссипация энергии в вязкоупругом материале.
1.9	Изнашивание	Абразивное изнашивание. Адгезионное изнашивание. Износ как перенос материала из зоны трения. Условия для трения с минимальным износом. Износ эластомеров. Влияние ультразвуковых колебаний на силу трения. Влияние фрикционных колебаний на износ деталей.

### Вопросы к экзамену по дисциплине

1. Абразивное изнашивание. Адгезионное изнашивание. Износ как перенос материала из зоны трения.
2. Влияние фрикционных колебаний на прочность деталей. Причины фрикционных автоколебаний в их проявлении в технике.
3. Вязкоупругие свойства эластомеров. Релаксация напряжений и диссипация энергии в вязкоупругом материале.
4. Дефекты кристаллического строения и их общие свойства. Макроструктура твердых тел (поликристаллы). Аморфные структуры твердых тел.
5. Деформации упругого полупространства под влиянием поверхностных сил. Теория контактного взаимодействия Герца. Контакт упругих тел с искривленной поверхностью.
6. Деформация упругого полупространства под действием сосредоточенной и распределенной силы. Касательная контактная задача при отсутствии проскальзывания.
7. Деформация упругого полупространства под действием сосредоточенной и распределенной силы. Касательная контактная задача с учетом микропроскальзывания.

8. Зависимость коэффициента трения от различных условий: продолжительности контакта, нормальной силы, шероховатости поверхности контакта, скорости скольжения. Теория Боудена и Тейбора.
9. Зависимость коэффициента трения от температуры. Температурные вспышки в микроконтакте. Термомеханическая неустойчивость.
10. Зависимость коэффициента трения от температуры. Температурные вспышки в микроконтакте. Термомеханическая неустойчивость.
11. Закон Кулона. Трение покоя и трение скольжения. Угол трения. Физическая природа сил трения: механическое сопротивление, действие электромагнитных сил. Коэффициент трения.
12. Контакт твердого тела с упругим полупространством. Теория нормального контактного взаимодействия с адгезией Джонсона.
13. Контактные взаимодействия упругих тел при качении. Распределение напряжений в месте контакта тел при качении.
14. Кристаллическая структура твёрдых тел. Виды кристаллов и их механические свойства. Полиморфизм. Свободная поверхность.
15. Критическое затухание и оптимальное подавление скрипа. Активное подавление фрикционных колебаний (скрипа).
16. Модель контактного взаимодействия Гринвуда и Вильямсона. Пластическая деформация шероховатостей. Электрические контакты. Тепловые контакты.
17. Молекулярно–механическая теория трения. Деформационно–адгезионная теория трения. Закон аддитивности трения.
18. Неустойчивость, обусловленная зависимостью коэффициента трения от скорости скольжения и в системе с распределенной упругостью.
19. Особенности проявления трения и контактного взаимодействия между телами. Развитие механики контактного взаимодействия и физики трения. Классификация трения.
20. Причины фрикционных автоколебаний в их проявление в технике.
21. Простые контактные задачи. Качественные методы оценки контактов с трехмерными упругими телами.
22. Релаксация напряжений и диссипация энергии в вязкоупругом материале. Реологические модели эластомеров. Модель резины. Изменение модуля сдвига эластомеров.
23. Силы межмолекулярного взаимодействия. Силы Ван-дер-Ваальса и их влияние на поверхностный слой материалов. Клейкая лента.
24. Стандартная классификация видов изнашивания трибопар. Водородное изнашивание. Изнашивание при избирательном переносе.
25. Термодинамическая модель трения. Уравнения энергетического баланса трения. Энергетическая интерпретация коэффициента трения Леонардо да Винчи.
26. Трибологические системы со смазкой. Гидродинамическая теория смазки. Вязкая адгезия. Реология смазочных материалов.
27. Трибологические системы со смазкой. Граничная смазка. Эластогидродинамическая смазка. Твердые смазки.
28. Условия для трения с минимальным износом. Износ эластомеров. Влияние ультразвуковых колебаний на силу трения.
29. Физическая природа сил адгезии. Адгезия между телами с искривленной поверхностью. Качественные оценки сил адгезии между упругими телами. Влияние шероховатости поверхности на адгезию.
30. Фрикционные колебания и способы борьбы с ними. Влияние фрикционных колебаний на износ деталей.
31. Электрические контакты. Тепловые контакты. Механическая жесткость контактов. Уплотнения. Шероховатость и адгезия.

## 9. Методические материалы для обучающихся по подготовке к практическим/лабораторным занятиям

п/п	Тема занятия	Рассматриваемые вопросы
-----	--------------	-------------------------

<b>Практические занятия</b>		
2.1	Введение.	Классификация видов трения.
2.2	Качественное описание контактного взаимодействия – нормальный контакт без адгезии	Простые контактные задачи. Качественные методы оценки контактов с трехмерными упругими телами.
2.3	Качественное описание контактного взаимодействия – нормальный контакт с адгезией	Физическая природа сил адгезии. Адгезия между телами с искривленной поверхностью. Качественные оценки сил адгезии между упругими телами.
2.4	Строгое рассмотрение контактных явлений без адгезии и с адгезией	Деформации упругого полупространства под влиянием поверхностных сил.
2.5	Контакты между шероховатыми поверхностями	Пластическая деформация шероховатых поверхностей.
2.6	Касательная контактная задача. Закон Кулона. Тепловые процессы в контактах	Деформация упругого полупространства под действием сосредоточенной и распределенной силы. Трение покоя и трение скольжения. Теория Боудена и Тейбора.
2.7	Фрикционные автоколебания.	Влияние фрикционных колебаний на прочность деталей.
2.8	Трибологические системы со смазкой	Гидродинамическая теория смазки.
2.9	Изнашивание	Расчет ожидаемой интенсивности изнашивания режущих инструментов.
<b>Лабораторные работы</b>		
3.1	Введение.	Лабораторные установки для изучения трения, изнашивания и смазки.
3.2	Качественное описание контактного взаимодействия – нормальный контакт без адгезии	Определение момента трения в подшипниках качения на установке 28М.
3.3	Качественное описание контактного взаимодействия – нормальный контакт с адгезией	Испытания подшипников скольжения на установке ДМ-29М.
3.4	Строгое рассмотрение контактных явлений без адгезии и с адгезией	Измерение коэффициента динамического трения поверхностей различного качества и природы методом наклонной плоскости.
3.5	Контакты между шероховатыми поверхностями	Заводские (натурные) стенды и оборудование для испытания на трение, изнашивание и смазку.
3.6	Касательная контактная задача. Закон Кулона. Тепловые процессы в контактах	Испытание болтового соединения, работающего на сдвиг на установке ДМ –23М.
3.7	Фрикционные автоколебания.	Определение к.п.д. и исследования температурного поля червячного редуктора на установке ДМ 41.
3.8	Трибологические системы со смазкой	Исследование режима масляного голодания при трении.
3.9	Изнашивание	Анализ видов повреждаемости и износа при трении.

## **10. Тематика рефератов/докладов/эссе, методические рекомендации по выполнению контрольных и курсовых работ, иные материалы**

### **Темы рефератов**

1. Явления трения и контактного взаимодействия тел.
2. История механики контактного взаимодействия и физики трения.
3. Классификация трения.

4. Кристаллическая структура твёрдых тел.
5. Физическая природа сил адгезии. Адгезия между телами
6. Деформации упругого полупространства под влиянием поверхностных сил.
7. Теория контактного взаимодействия Герца.
8. Деформация упругого полупространства под действием сосредоточенной и распределенной силы.
9. Зависимость коэффициента трения от различных условий.
10. Причины фрикционных автоколебаний в их проявление в технике.
11. Гидродинамическая теория смазки.
12. Абразивное изнашивание.
13. Адгезионное изнашивание.