



Федеральное агентство по рыболовству  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Калининградский государственный технический университет»  
(ФГБОУ ВО «КГТУ»)

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по НР  
Н.А. Кострикова  
18.05.2023 г.

Рабочая программа дисциплины  
программы подготовки научных и научно-педагогических кадров  
в аспирантуре ФГБОУ ВО «КГТУ»

## **ОСНОВЫ ТРИБОЛОГИИ И ТРИБОТЕХНИКИ**

**Группа научных специальностей  
2.5 Машиностроение**

**Научная специальность**

**2.5.2. МАШИНОВЕДЕНИЕ**

**Отрасль науки: технические науки**

Институт морских технологий, энергетики и строительства

РАЗРАБОТЧИК

Кафедра теории механизмов и машин и деталей машин

ВЕРСИЯ

1

ДАТА ВЫПУСКА

12.04.2023

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины «**Основы трибологии и триботехники**» является формирование у обучающегося комплекса профессиональных компетенций, обеспечивающих способность к анализу проблем трения и износа деталей машин и решению основных проблем современного машиностроения - коэффициента полезного действия, износостойкости, долговечности, обеспечение оптимальной смазки узлов трения и, в целом, эффективности, надежности и долговечности современных машин, механизмов и оборудования.

### **Задачами освоения дисциплины являются:**

- овладение знаниями, навыками и методами расчетов сил трения и износа с учетом современных достижений науки в этой области;
- освоение современных экспериментальных методик по определению износа и сил трения в механизмах и машинах;
- освоение современных достижений в области создания смазочных материалов, присадок и добавок к ним;
- умение представлять результаты в форме отчетов, рефератов, публикаций и докладов на конференциях и семинарах.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ПРОГРАММЫ АСПИРАНТУРЫ

Дисциплина «**Основы трибологии и триботехники**» относится к образовательному компоненту программы аспирантуры по научной специальности **2.5.2. Машиноведение**. Дисциплина направлена на подготовку аспирантов к научно-исследовательской деятельности, изучается на 3 курсе.

## 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате изучения дисциплины «**Основы трибологии и триботехники**» аспирант должен:

### **знать:**

- основы теории трения, износа и смазки;
- современные методы расчета сил трения в зависимости от скорости, давления, характера микронеровностей и смазки в контакте;
- методы расчета износа узлов трения;
- основные смазочные материалы, присадки и добавки к ним;

**уметь:**

- конструировать узлы трения с оптимальными характеристиками по трению и износу;
- принимать грамотные решения при выборе материалов для узлов трения машин и механизмов;
- выбирать оптимальные способы смазки и смазочные материалы.

**владеть:**

- навыками самостоятельной работы с литературой для поиска информации при выполнении проектных работ;
- методами экспериментального определения коэффициентов трения и износа;
- способами измерения и оценки характеристик микронеровностей.

#### **4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

##### **Тема 1. Основные направления развития трибологии**

Наноструктурный уровень трибологических процессов на основе атомно-силового фрикционного взаимодействия. Теплофизика быстропротекающих процессов трения.

Теоретические и экспериментальные исследования в области гидродинамической и контактно-гидродинамической смазки. Эффект избирательного переноса. Фреттинг-коррозия и виброизнос. Математическое моделирование трибологических процессов.

##### **Тема 2. Геометрические характеристики поверхностей трения**

Механические свойства поверхностных слоев. Топография поверхностей. Параметры шероховатости. Кривая опорной поверхности. Площади контакта шероховатых поверхностей. Методы измерения волнистости и шероховатости.

##### **Тема 3. Трение в механизмах и машинах**

Виды трения в узлах машин. Теория внешнего трения. Упругий и пластический контакты. Коэффициент трения и факторы, влияющие на него: нагрузка, температура, микрогеометрия поверхностей трения, физико-механические свойства твердых тел, смазка. переходные процессы от трения покоя к трению скольжения. Сухое трение. Трение при граничной смазке. Жидкостное трение. Диаграмма Герси-Штрибека. Трение качения и факторы, влияющие на сопротивление качению.

##### **Тема 4. Износ трущихся поверхностей**

Основные физические и химические процессы при износе. Виды износа. Усталостное и абразивное изнашивание. Основные характеристики износа и их расчет. Методы и средства экспериментальных исследований износа.

**Тема 5. Смазочные и триботехнические материалы**

Смазочные масла. Пластичные смазочные материалы. Твердые смазочные материалы. Твердосмазочные покрытия. Антифрикционные и фрикционные материалы. Керамические материалы. Поверхностные покрытия, увеличивающие износостойкость поверхностей.

**Тема 7. Обобщенные, физические представления о природе трения. Метод трибоэргодинамики**

Существо и необходимость обобщенного подхода. Термодинамический подход. Эргодинамика деформируемых тел. Обобщенные представления о пластической деформации. Структурная модель твёрдого тела. Физический смысл пластической деформации. Интегральный критерий повреждаемости. Обобщенные характеристики вида разрушения. Термодинамический анализ взаимной связи деформационных и энергетических характеристик процесса. Кинетические уравнения повреждаемости (деформационного упрочнения) и теплового эффекта пластической деформации (динамического возврата). Кинетическое уравнение пластической деформации. Исходные аксиомы трения. Номинальные и действительные трибосистемы. Системно – балансовый признак трения. Структурно – энергетическая интерпретация процесса трения. Термодинамическая модель трения. Уравнения энергетического баланса трения. Энергетическая интерпретация коэффициента трения Леонардо да Винчи. Общность уравнений энергетического баланса трения. Структурно-энергетическая диаграмма эволюции трущихся поверхностей.

**Тема 8. Совместимость трибосистем и элементы аксиоматики машинного трения**

Совместимость трущихся поверхностей. Оптимальные трибосистемы. Аксиоматичность феномена трения. Базовые аксиомы трения. Анализ машины как сложной трибонадсистемы. Количественные признаки натуральных (оптимальных) машин. Номинальная и действительная работоспособность машины. Принцип системной совместимости трибосистем в машине. Квантовые уровни совместимых трибосистем и совместимых машин. Системные критерии работоспособности оптимальных машин (трибосистем).

**5. ОБЪЕМ (ТРУДОЕМКОСТЬ ОСВОЕНИЯ)**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы (ЗЕТ), то есть 72 академических часа контактной работы (лекционных занятий, практических занятий) и 54 часа самостоятельной учебной работы аспиранта, связанной с текущей и промежуточной аттестацией по дисциплине. Изучается на 3 курсе.

Распределение трудоемкости освоения дисциплины по годам ОП, темам и видам учебной работы аспиранта приведено ниже.

Форма промежуточной аттестации – зачет, 3 год обучения.

Таблица 1 - Объем (трудоемкость освоения) в очной форме обучения и структура дисциплины

Номер и наименование темы, вид учебной работы	Объем учебной работы, ч				
	Контактная работа			СР	Всего
	Лекции	ЛЗ	ПЗ		
<b>3 год обучения, трудоемкость – 2 ЗЕТ (72 час.)</b>					
1. Введение. Основные понятия Основных направления развития трибологии	2	-	1	7	10
2. Некоторые свойства твёрдых тел и жидкостей	1	-	0,5	7	8,5
3. Формирование структуры деформированных металлов	2	-	1	7	10
4. Трение. Основные понятия	1	-	0,5	7	8,5
5. Износ. Основные понятия	2	-	1	7	10
6. Смазка. Основные понятия	1	-	1	7	9
7. Обобщенные, физические представления о природе трения. Метод трибоэргодинамики	2	-	0,5	7	9,5
8. Совместимость трибосистем и элементы аксиоматики машинного трения	1	-	0,5	5	6,5
<b>Учебные занятия</b>	<b>12</b>	<b>-</b>	<b>6</b>	<b>54</b>	<b>72</b>
<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>зачет</b>				
<b>Итого по дисциплине</b>					<b>72</b>

*ЛЗ - лабораторные занятия, ПЗ – практические занятия, СР – самостоятельная работа*

## 6. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

Таблица 2 – Объем (трудоемкость освоения) и структура ПЗ

Номер темы	Содержание практических занятий	Очная форма, ч.
1	Измерение коэффициента статического трения поверхностей различного качества и природы методом наклонной плоскости	1
2	Измерение коэффициента динамического трения поверхностей различного качества и природы методом наклонной плоскости	0,5
3	Лабораторные установки для изучения трения, изнашивания и смазки	1
4	Экспериментальные испытания подшипников скольжения	0,5
5	Анализ видов повреждаемости и износа при трении	1
6	Минеральные масла. Применение. Обозначение	1
7	Определение момента трения в подшипниках качения на установке 28М	0,5
8	Заводские (натурные) стенды и оборудование для испытания на трение, изнашивание и смазку	0,5
	<b>ИТОГО:</b>	<b>6</b>

## 7. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

Таблица 2 – Объем (трудоемкость освоения) и формы СР

№ п/п	Виды (содержание) СР	Кол-во часов Очная форма	Формы контроля (аттестации)

1	Введение. Основные понятия направления развития трибологии	7	Текущий контроль, опрос
2	Некоторые свойства твёрдых тел и жидкостей	7	Текущий контроль, опрос
3	Формирование структуры деформированных металлов	7	Текущий контроль, опрос
4	Трение. Основные понятия	7	Текущий контроль, опрос
5	Износ. Основные понятия	7	Текущий контроль, опрос
6	Смазка. Основные понятия	7	Текущий контроль, опрос
7	Обобщенные, физические представления о природе трения. Метод трибоэргодинамики	7	Текущий контроль, опрос
8	Совместимость трибосистем и элементы аксиоматики машинного трения	5	Текущий контроль, опрос
Итого		54	

**Научно-исследовательские, творческие работы и рефераты не предусмотрены учебным планом.**

## **8.УЧЕБНАЯ ЛИТЕРАТУРА И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ АСПИРАНТА**

### **Основная литература:**

1. Основы трибологии (трение, износ, смазка): учеб. для техн. вузов / А. В. Чичинадзе, Э. Д. Браун, Н. А. Буше; ред. А. В. Чичинадзе. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Машиностроение, 2001. - 664 с.

### **Дополнительная литература:**

1. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение: учебн. Для высших учебных заведений. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1990. – 528 с.

2. Дроздов, Ю.Н. Прикладная трибология (трение, износ, смазка в технических системах)/ Ю. Н. Дроздов, Е. Г. Юдин, А. И. Белов; под общ. ред. Ю. Н. Дроздова. - Москва: Эко-Пресс, 2010. - 604 с.

3. Мышкин, Н.К. Трибология. Принципы и приложения / Н. К. Мышкин, М. И. Петроковец; Ин-т механики металлополимер. систем им. В. А. Белого Нац. акад. наук Беларуси. - Гомель: ИММС НАНБ, 2002. - 310 с.

4. Маркова, Л. В. Трибодиагностика машин / Л. В. Маркова, Н. К. Мышкин; ИММС НАНБ. - Минск: Белорусская наука, 2005. - 251 с.

5. Крагельский, И.В. Основы расчетов на трение и износ] / И. В. Крагельский. - Москва: Машиностроение, 1977. - 526с.

6. Фёдоров, С.В. Современный энергетический анализ процесса трения: учеб. пособие / С. В. Федоров; Калинингр. гос. техн. ун-т. - Калининград: КГТУ, 2002. Ч. 1: Структурно-энергетическая интерпретация трения скольжения / КГТУ. – 2002. - 168 с.

7. Фёдоров, С.В. Современный энергетический анализ процесса трения: учеб. пособие по дисц. "Физика трения" для студ. спец. 120100 - Технология машиностроения / С. В. Фёдоров; Калинингр. гос. техн. ун-т. - Калининград: КГТУ, 2003. Ч. 2: Физические и количественные закономерности эволюции совместимых трибосистем. – 2003. - 244с.

8. Фёдоров, С.В. Физика трения в машинах: конспект лекций / С. В. Фёдоров; Калинингр. гос. техн. ун-т. - Калининград: ФГОУ ВПО "КГТУ", 2009. Ч. 1: Введение к анализу машинного трения. – 2009. - 47 с.

9. Справочник по триботехнике: в 3-х томах / под общ. ред. М. Хебды, А. В. Чичинадзе; Н. М. Алексеев, А. Вахал и др. - Москва: Машиностроение, 1989. Т.1: Теоретические основы. – 1989.- 397с.

10. Справочник по триботехнике: в 3-х томах /. - Москва : Машиностроение, 1989. Т.2: Смазочные материалы, техника смазки, опоры скольжения и качения. – 1989. - 416с.

11. ГОСТ 27674-88. Трение, изнашивание и смазка. Термины и определения (утв. Постановлением Госстандарта СССР от 31.03.1988.№ 950) (Справочно-правовая система «КонсультантПлюс»).

**Периодические издания:**

«Трение и износ»; «Tribology in Industry» и др.

**Учебно-методические пособия:**

1. Методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине "Трибология и триботехника" "Трение и износ пищевых машин" : для студ. спец. 170600 - Машины и аппараты пищ. пр-в / Калинингр. гос. техн. ун-т ; С. В. Фёдоров ; Калинингр. гос. техн. ун-т. - Калининград : КГТУ, 2002. - 45 с.

**9.ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Информационные технологии**

В ходе освоения дисциплины аспиранты используют возможности интерактивной коммуникации со всеми участниками и заинтересованными сторонами образовательного процесса, ресурсы и информационные технологии посредством электронной информационной образовательной среды университета. Аспирантам и научно-педагогическим работникам обеспечен доступ к ЭБС, наукометрическим базам данных и к полнотекстовым ресурсам, наукометрическим базам данных и к полнотекстовым ресурсам, справочно-правовой системе «ГАРАНТ», профессиональной справочной системе «Техэксперт».

**Веб-сайты с электронными ресурсами по специальности:**

1. Программное обеспечение (лицензионное), базы данных, информационно-справочные и поисковые системы: Консультант Плюс. Официальный сайт компании [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.consultant.ru/> свободный (дата посещения 24.01.2018).

2. Электронная библиотека научных публикаций «eLIBRARY.RU» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://elibrary.ru/>, свободный (дата посещения 24.01.2018).

Электронно-библиотечная система издательства «Лань» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/>, свободный (дата посещения 24.01.2018)

3. Электронно-библиотечная система издательства «Юрайт» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://https://biblio-online.ru>, свободный (дата посещения 24.01.2018)

## 10. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Для проведения занятий по дисциплине «**Основы трибологии и триботехники**», предусмотренной учебным планом подготовки аспирантов, имеется необходимая материально-техническая база, соответствующая действующим санитарным и противопожарным правилам и нормам: учебные аудитории, оборудованные комплектом мебели; комплект проекционного мультимедийного оборудования; компьютеры с доступом к сети Интернет; читальный зал с информационными ресурсами на бумажных и электронных носителях, библиотекой, архивом диссертаций и авторефератов. офисная оргтехника; электронные таблицы Excel MS Office; справочно-правовая система «ГАРАНТ», профессиональная справочная система «Техэксперт

Для аудиторных занятий по дисциплине используется материально-техническая база кафедры теории механизмов и машин и деталей машин, в том числе Лаборатория деталей машин, Лаборатория трибологии, Научно-исследовательская лаборатория (цокольное помещение), Зал курсового и дипломного проектирования (ауд. 464). В этих же помещениях проводятся индивидуальные консультации, текущий контроль и промежуточная аттестация. Указанные аудитории оснащены наборами наглядных пособий, имеется 14 компьютеров, подключенных к сети Интернет.

Для самостоятельной работы аспирантов используются общеуниверситетские ресурсы: читальные залы университетской библиотеки, расположенной в главном учебном корпусе, в которых имеется возможность выхода в Интернет, доступ в электронную информационно-образовательную среду организации (электронную библиотеку, профессиональные базы данных, информационно-справочные системы).

Учебно-лабораторное оборудование, используемое для осуществления образовательного процесса по дисциплине:

1. Работающие модели механизмов;
2. Лабораторная компьютеризованная установка «Ременные передачи»;
3. Стенд для исследования износа стальных канатов;
4. Стенд для испытания муфт;
5. Машина для испытаний на растяжение и сжатие;
6. Установка для снятия кинематических и динамических характеристик механизмов;
7. Наглядные учебные, учебно-методические и учебно-демонстрационные материалы (плакаты, таблицы, схемы, макеты).



## **11. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СИСТЕМА ОЦЕНИВАНИЯ И КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ**

Оценочные средства по дисциплине представляются в виде фонда оценочных средств (ФОС). Требования к структуре и содержанию ФОС по дисциплине определяются Положением по ФОС.

## **12. ОСОБЕННОСТИ ПРЕПОДАВАНИЯ И ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

Основными видами учебной деятельности в ходе изучения курса являются лекции, практические занятия и самостоятельная работа аспирантов, консультирование по отдельным темам дисциплины.

При разработке образовательной технологии организации учебного процесса основной упор сделан на соединение активной и интерактивной форм обучения. Интерактивная форма позволяет аспирантам проявить самостоятельность в освоении теоретического материала и овладении практическими навыками, формирует интерес и позитивную мотивацию к учебе.

При подготовке лекционного материала преподаватель обязан руководствоваться рабочей программой по дисциплине. При чтении лекций преподаватель имеет право самостоятельно выбирать формы и методы изложения материала, которые будут способствовать качественному его усвоению. При этом преподаватель в установленном порядке может использовать технические средства обучения, имеющиеся на кафедре и в вузе.

Практические занятия проводятся с целью приобретения навыков, необходимых в профессиональной деятельности аспиранта в области сохранения жизни и здоровья человека за моделирования систем и средств защиты информации.

Важным звеном во всей системе обучения является самостоятельная работа. В широком смысле под ней следует понимать совокупность всей самостоятельной деятельности аспирантов, как в отсутствие преподавателя, так и в контакте с ним. Она является одним из основных методов поиска и приобретения новых знаний, работы с литературой, а также выполнения предложенных заданий. Преподаватель призван оказывать в этом методическую помощь аспирантам и осуществлять руководство их самостоятельной работой.

Преподавателю необходимо контролировать степень усвоения аспирантами текущего материала, а также уровень остаточных знаний по уже изученным темам.

## **13. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

При изучении дисциплины аспирант должен добросовестно посещать лекции и практические занятия.

Учебным планом предусмотрена самостоятельная работа аспирантов. Эта работа предполагает:

- изучение лекционного материала;
- подготовка к практическим занятиям;
- самостоятельное изучение отдельных вопросов дисциплины по рекомендованной литературе и углубленную проработку некоторых тем, изложенных в лекциях;
- подготовка к промежуточному и текущему контролю.

Аспирант обязан в полном объеме использовать время самостоятельной работы, предусмотренное настоящей рабочей программой, для изучения соответствующих разделов дисциплины, и своевременно обращаться к преподавателю в случае возникновения затруднений при выполнении самостоятельной работы.

Содержание внеаудиторной самостоятельной работы и распределение объема на нее определяется по темам дисциплины согласно тематическому плану рабочей программы.

#### 14. СВЕДЕНИЯ О РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ И ЕЕ СОГЛАСОВАНИИ

Рабочая программа дисциплины «**Основы трибологии и триботехники**» представляет собой образовательный компонент программы по подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по научной специальности **2.5.2. Машиноведение**.

Автор программы – С.В. Федоров, д.т.н., профессор, профессор кафедры теории механизмов и машин и деталей машин.

Рабочая программа дисциплины рассмотрена и одобрена на заседании кафедры теории механизмов и машин и деталей машин (протокол № 7 от 12.04.2023 г.).

Заведующий кафедрой теории механизмов и машин и деталей машин  
\_\_\_\_\_ д. т. н., профессор, С.В. Федоров

Согласовано:

Начальник УПК ВНК

Н.Ю. Ключко

Заместитель директора по НиМД ИМТЭС

Е.С. Землякова