

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**С. В. Федоров**

## **Трибология**

Учебно-методическое пособие – локальный электронный  
методический материал по изучению дисциплины для студентов,  
обучающихся в бакалавриате по направлениям подготовки  
15.03.01 Машиностроение, 15.03.02 Технологические машины и оборудование

Калининград  
Издательство КГТУ  
2023

Рецензенты

доктор технических наук, профессор кафедры инжиниринга технологического оборудования ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» Ю.А. Фатыхов;  
канд. тех. наук, доцент, доцент кафедры теории механизмов и машин и деталей машин Н.А. Середа

Федоров, С. В.

Трибология: учеб.-метод. пособие по изучению дисциплины для студентов бакалавриата по направлениям подготовки 15.03.01 Машиностроение, 15.03.02 Технологические машины и оборудование / С. В. Федоров. – Калининград: ФГБОУ ВО «КГТУ», 2023. – 29 с.

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины подготовлено в соответствии с учебными планами, рабочими программами модулей и предназначено для бакалавров направлений подготовки 15.03.01 Машиностроение, 15.03.02 Технологические машины и оборудование.

Учебно-методическое пособие содержит материалы по изучению дисциплины, включающие тематический план занятий с перечнем ключевых вопросов для каждой лекции, рекомендуемой литературой, методическими указаниями и вопросами для самоконтроля. Представлены методические указания по самостоятельной работе студентов очной и заочной форм обучения.

Табл. 3, список лит. – 12 наименования

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины «Трибология» рекомендовано к использованию в качестве локального электронного методического материала для использования в учебном процессе методической комиссией института морских технологий энергетики и строительства 25 октября 2023 г., протокол № 12

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины «Трибология» рекомендовано к использованию в качестве локального электронного методического материала для использования в учебном процессе методической комиссией института агроинженерии и пищевых систем 30 ноября 2023 г., протокол № 09

УДК 621.891

© Федеральное государственное  
бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Калининградский государственный  
технический университет», 2023 г.  
© Федоров С. В., 2023 г.

## Оглавление

Введение .....	4
1 Тематический план лекционных занятий .....	8
2 Методические рекомендации по изучению дисциплины .....	8
Тема 1. Введение. Основные понятия. ....	9
Тема 2. Некоторые свойства твёрдых тел и жидкостей. ....	9
Тема 3. Формирование структуры деформированных металлов. ....	9
Тема 4. Трение .....	10
Тема 5. Износ .....	10
Тема 6. Смазка .....	11
Тема 7. Обобщенные, физические представления о природе трения. Метод трибоэродинамики .....	11
Тема 8. Совместимость трибосистем и элементы аксиоматики машинного трения.....	12
3. Тематический план практических занятий.....	12
4. Методические указания по самостоятельной работе студентов .....	12
5. Методические указания по самостоятельной работе студентов заочного обучения .....	13
Заключение.....	13
Список литературы.....	14
ПРИЛОЖЕНИЯ .....	16
ПРИЛОЖЕНИЕ А Задания и контрольные вопросы к практическим работам .	16
ПРИЛОЖЕНИЕ Б _Рекомендации по научной литературе, применяемой для подготовки презентаций .....	21
ПРИЛОЖЕНИЕ В __Образец оформления титульного листа отчета по практическим работам .....	26
ПРИЛОЖЕНИЕ Г _Контрольные вопросы на зачет по дисциплине.....	27

## Введение

Дисциплина «Трибология» входит в ОПОП ВО по направлениям подготовки 15.03.01 Машиностроение, 15.03.02 Технологические машины и оборудование и изучается студентами очной в третьем семестре и заочной форм обучения в пятом семестре. Целью освоения дисциплины является закрепление, обобщение, углубление и расширение знаний, полученных при изучении базовых дисциплин, приобретение новых знаний и формирование умений и навыков, необходимых для изучения специальных инженерных дисциплин и для последующей инженерной деятельности.

Основные задачи изучения дисциплины:

- освоение способности участвовать в работе над инновационными проектами, используя базовые методы исследовательской деятельности;
- умение проверять техническое состояние и остаточный ресурс технологического оборудования, организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт оборудования.

В результате изучения дисциплины студент должен:

- **знать** место трибологии в системе технических и практических знаний; основные законы и модели трения, изнашивания и смазки; принцип оптимизации свойств трибосистемы при создании машин, обладающих свойством энерго- и материалоемкости;
- **уметь** конструировать узлы трения машин общего назначения в соответствии с техническими требованиями и заданием, использовать стандарты и справочную литературу, назначать материалы для узлов трения машин, исходя из требований конструкции и эксплуатации;
- **владеть** навыками поиска, анализа и обобщения новых разработок, использования современных знаний для проектирования узлов трения для надёжных и долговечных технических систем (машин).

Дисциплина «Трибология» опирается на компетенции, знания, умения и навыки, полученные на предыдущем уровне, при освоении программы бакалавриата, а также на дополнительные общепрофессиональные, профессиональные компетенции, полученные при изучении таких дисциплин как «Математика», «Физика», «Теоретическая механика», «Сопротивление материалов», «Инженерная и компьютерная графика», «Материаловедение», «Технология конструкционных материалов», «Информационные технологии», «Методы научных исследований».

Знания и навыки, полученные при освоении дисциплины «Трибология», позволят успешно изучать профессиональные дисциплины «Основы проектирования», «Основы технологии машиностроения», «Подъёмно-транспортные и грузозачные устройства», «Технология машиностроения»,

«Основы методологии проектирования и конструирования пищевого оборудования», «Технологическое оборудование и оснастка», «Расчёт и конструирование машин и аппаратов пищевых производств», а также могут быть непосредственно использованы в последующей профессиональной деятельности будущего специалиста.

Для оценки результатов освоения дисциплины используются:

- оценочные средства текущего контроля успеваемости;
- оценочные средства для промежуточной аттестации по дисциплине.

К оценочным средствам текущего контроля успеваемости относятся:

- задания и контрольные вопросы к практическим занятиям (для всех форм обучения);
- тестовые задания по темам дисциплины;

К оценочным средствам для промежуточной аттестации, проводимой в форме зачета, по дисциплине «Трибология» для студентов очной формы обучения, относятся результаты текущего контроля успеваемости. В случае, если студент отсутствовал на занятиях, ему предлагаются контрольные вопросы по дисциплине и участие в семинаре с подготовкой презентации на заданную тему.

Для студентов заочной формы обучения для получения зачета следует выполнить контрольную работу.

По результатам освоения дисциплины выставляется оценка «зачтено» или «не зачтено» с учетом следующих основных параметров:

- 1) полнота и правильность выполнения практического занятия и презентации семинара;
- 2) аккуратность оформления (соответствие правилам оформления текстового документа);
- 3) способность квалифицированно отвечать на вопросы по теме практического занятия;
- 4) соблюдение установленных сроков подготовки и выполнения практического занятия и презентации.

Несоответствие одному из параметров 1, 3, 4 является основанием для незачета.

*Тестовые задания по отдельным темам* дисциплины используются для текущего контроля освоения дисциплины. Тестирование студентов проводится на практических занятиях. На каждый тестовый вопрос приведены четыре варианта ответа, включая один правильный. Оценивание осуществляется по следующим критериям: «зачтено» – не менее 70 % правильных ответов на заданные вопросы; «не зачтено» – менее 70 % правильных ответов.

*Контрольные вопросы к практическим занятиям* приведены в учебно-методическом пособии по выполнению практических работ, наряду с формулировкой целей, описанием оборудования, требованиями техники

безопасности, порядком выполнения работ и необходимой справочной информацией для каждой работы. Для студентов очной формы обучения предусмотрено выполнение восьми практических работ. Студенты заочной формы обучения выполняют три практические работы на выбор преподавателя. К практикуму допускаются только студенты, прошедшие вводный инструктаж по технике безопасности.

Выполнение каждой из практических работ предусматривает четкую формулировку цели работы, изучение методических указаний, выполнение измерений и обработку их результатов. По окончании работы студенты предварительно знакомят преподавателя с протоколами замеров и испытаний и получают его согласие на оформление отчета, которое осуществляется во внеаудиторное время. Отчеты о практических работах оформляются в соответствии с требованиями стандартов для текстовых документов.

Контрольные вопросы требуют аргументированных ответов в ходе защиты отчетов по практическим работам. Отчеты принимаются только у студентов, лично участвовавших в выполнении работ. На защите отчетов студентам необходимо продемонстрировать знание общего устройства испытательной установки, понимание существа проведенных измерений и умение интерпретировать полученные результаты. Студенты, защитившие отчеты по всем практическим работам, получают оценку «зачтено». Задания и контрольные вопросы к практическим работам представлены в Приложении А.

Оценка по зачету может осуществляться и по следующему структурированному принципу («зачтено», «не зачтено») и является экспертной, зависит от уровня освоения студентом учебного материала, наличия и сущности ошибок, допущенных при ответе, и выставляется в соответствии с критериями, указанными в таблице 1.

Таблица 1 – Система и критерии выставления оценки промежуточной аттестации

Система оценок Критерий	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
	«не зачтено»	«зачтено»		
Системность и полнота знаний в отношении изучаемых объектов	Обладает частичными и разрозненными знаниями, которые не может научно связывать между собой (только некоторые из них может связывать между собой)	Обладает минимальным набором знаний, необходимым для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает набором знаний, достаточным для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает полной знаний и системным взглядом на изучаемый объект

Система оценок Критерий	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
	«не зачтено»	«зачтено»		
Работа с информацией	Не в состоянии находить необходимую информацию, либо в состоянии находить отдельные фрагменты информации в рамках поставленной задачи	Может найти необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, интерпретировать и систематизировать необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, систематизировать необходимую информацию, а также выявить новые, дополнительные источники информации в рамках поставленной задачи
Научное осмысление изучаемого явления, процесса, объекта	Не может делать научно корректных выводов из имеющихся у него сведений, в состоянии проанализировать только некоторые из имеющихся у него сведений	В состоянии осуществлять научно корректный анализ предоставленной информации	В состоянии осуществлять систематический и научно корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные задачи данные	В состоянии осуществлять систематический и научно корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные поставленной задачи данные, предлагает новые ракурсы поставленной задачи
Освоение стандартных алгоритмов решения профессиональных задач	В состоянии решать только фрагменты поставленной задачи в соответствии с заданным алгоритмом, не освоил предложенный алгоритм, допускает ошибки	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом, понимает основы предложенного алгоритма	Не только владеет алгоритмом и понимает его основы, но и предлагает новые решения в рамках поставленной задачи

Студенты, не имевшие пропусков занятий в течение семестра, получившие допуск к зачету, в том числе положительную оценку по результатам защиты практических работ и презентации получают зачетную оценку «зачтено» автоматически.

В данном учебно-методическом пособии представлены методические материалы по изучению дисциплины, включающие тематический план занятий с перечнем ключевых вопросов для каждой лекции, целевой установкой, рекомендуемой литературой, методическими указаниями и вопросами для

самоконтроля. Изложены методические указания к самостоятельной работе студентов. В приложениях – задания и контрольные вопросы к практическим работам; образец оформления титульного листа отчета по этим работам; зачетные вопросы по дисциплине.

## **1 Тематический план лекционных занятий**

<b>Номер темы</b>	<b>Название темы</b>
Тема 1	Введение. Основные понятия
Тема 2	Некоторые свойства твёрдых тел и жидкостей
Тема 3	Формирование структуры деформированных металлов
Тема 4	Трение
Тема 5	Износ
Тема 6	Смазка
Тема 7	Обобщенные, физические представления о природе трения. Метод трибоэргодинамики
Тема 8	Совместимость трибосистем и элементы аксиоматики машинного трения

Темы 1 и 2, обозначенные в таблице 1, рассматриваются на одном лекционном занятии.

## **2 Методические рекомендации по изучению дисциплины**

Приступая к изучению дисциплины «Трибология», следует обратить серьезное внимание на основные понятия, изложенные в стандарте ГОСТ 27674-88 - Трение, изнашивание и смазка Термины и определения; актуальные проблемы современной трибологии, изложенные в программах последних мировых конгрессов по трибологии. Помимо уяснения и осмысления этих объективностей потребуются также актуализация понятий, знакомых из ранее изученных курсов, – сила, момент, мощность, напряжение, деформация, прочность. Кроме того, для понимания существа лекционного материала необходимо уверенное владение единицами измерения физических величин и их взаимосвязями. При изучении дисциплины важно добиться знания и правильного применения общетехнических терминов. Для успешного освоения дисциплины в рамках указанных аспектов и восприятия логики излагаемых сведений следует систематически вести и регулярно просматривать конспект лекций, а также внимательно изучать соответствующие разделы в рекомендованных литературных источниках.

Лекционные занятия проводятся с целью дать студентам базовые сведения о законах и принципах в области трения, износа и смазки в машинных системах. При чтении лекций материал делится на разделы и подразделы для обеспечения логической взаимосвязи и последовательности изложения. Первичные представления, полученные на лекции, должны

позволить студенту ориентироваться в нужном направлении для дальнейшего самостоятельного поиска и изучения необходимой информации, в том числе по литературным источникам и интернет-ресурсам.

Ниже представлено содержание лекционных занятий.

### **Тема 1. Введение. Основные понятия.**

Цель и задачи дисциплины. Место дисциплины в структуре образовательной программы. Планируемые результаты освоения дисциплины. Трибология. Триботехника. Значимость трибологии и триботехники. История развития науки о трении. Классификация трения. Первые законы трения.

*Целевая установка:* Уяснить глобальность феномена трения; термодинамическую «простоту» и механо-физико-химическую сложность феномена трения; междисциплинарность знаний о трении и многообразие аспектов приложений знаний о трении; экономические и экологические аспекты трибологии; историческую этапность знаний о трении, изнашивании и смазке.

*Рекомендуемая литература:* [1, с. 15–24, 39-44; 643-653; 8, с. 3-47 и др.].

**Вопросы для самопроверки (см. Приложение Г.)**

### **Тема 2. Некоторые свойства твёрдых тел и жидкостей.**

Почему твёрдое тело твёрдое. Размер атомов и изображение сил между ними. Кристаллическая структура твёрдых тел. Полиморфизм. Свободная поверхность. Дефекты кристаллического строения и их общее свойство. Макроструктура твёрдых тел (поликристаллы). Иерархия структурных уровней твёрдых тел. Аморфные структуры твёрдых тел. Структура резины. Структура пластиков и полимеров. Структура дерева. Жидкое состояние. Газовое состояние.

*Целевая установка:* Уяснить основной принцип материаловедения, изучающего свойства материальных тел - свойства зависят от особенностей структуры, а структура определяет свойства.

*Рекомендуемая литература:* [1, с. 94-110; 2, с. 7-24, 418-422 и др.].

**Вопросы для самопроверки (см. Приложение Г.)**

### **Тема 3. Формирование структуры деформированных металлов.**

Деформация. Виды деформаций. Диаграмма растяжения металлических материалов. Прочность. Пластичность. Механизмы пластической деформации. Наклёп (деформационное упрочнение). Разрушение. Возврат и рекристаллизация металлов. Холодное и горячее деформирование.

*Целевая установка:* Уяснить основные понятия о феномене упруго-пластической деформации и разрушения твердых тел.

*Рекомендуемая литература:* [2, с. 68-87 и др.].

## **Вопросы для самопроверки (см. Приложение Г.)**

### **Тема 4. Трение**

Классификация видов трения. Внутреннее трение. Вязкость. Статическое трение. Закономерности статического трения. Измерение статического коэффициента трения. Измерение динамического коэффициента трения. Двучленный закон трения. Молекулярно–механическая теория трения. Деформационно–адгезионная теория трения. Закон аддитивности трения. Формирование контактов и их взаимодействие в процессе перемещения поверхностей трения. Фрикционные связи. Классификация фрикционных пар. Основные характеристики фрикционных связей. Принцип «третьего тела». Схватывание. Основные представления о схватывании. Этапы схватывания. Главные задачи управления схватыванием поверхностей. Тепловая динамика трения. Температурные вспышки при трении. Взаимная связь трения и износа (состояния контакта) с температурами трения. Принцип суммирования температур трения. Влияние главных эксплуатационных параметров на изменение коэффициента трения. Реальная поверхность твердого тела. Характеристики микрогеометрии поверхностей твёрдых тел. Профилограф, профилометр. Кривая опорной поверхности. Форма поверхностных шероховатостей. Природа металлических поверхностей, используемых в машиностроении. Модель площадей контакта двух поверхностей, сложенных вместе. Некоторые методы анализа поверхности. Метод косо́го сечения. Оптический метод. Электронная микроскопия. Отражающая или рефлекторная микроскопия.

*Целевая установка:*

*Рекомендуемая литература:* [1, с. 15-204, 352-406 и др.].

## **Вопросы для самопроверки (см. Приложение Г.)**

### **Тема 5. Износ**

Основные понятия и определения. Классификация износостойкости. Стандартная классификация видов изнашивания трибопар. Водородное изнашивание. Изнашивание при избирательном переносе. Вторичные структуры. Приспосабливаемость. Нормальный износ и явление повреждаемости пар трения. Методика расчётов на износ. Энергетические методы (уравнения) оценки и прогноза оценки износа и износостойкости. Триботехника лабораторного анализа и оценки трения и износа.

*Целевая установка:* Уяснить сущность понятия о разрушении трущихся поверхностей, многообразие классификационных видов изнашивания и

повреждаемости при трении, ознакомиться с основными лабораторными методами оценки износа.

*Рекомендуемая литература:* [1, с. 205–269, 407-446, 571-593; 3, с. 225-268 и др.].

**Вопросы для самопроверки (см. Приложение Г.)**

### **Тема 6. Смазка**

Функционально-физический принцип смазки. Типы смазки. Гидродинамическая смазка. Температурный критерий работоспособности смазывающих масел. Минеральные масла. Классификация. Функциональные присадки и антифрикционные добавки. Критерий работоспособности. Антифрикционные материалы подшипников гидродинамического трения. Аэродинамическая (газовая) смазка. Эластогидродинамическая смазка. Граничная смазка. Смазка предельного давления. Моделирование коммерческих смазок. Консистентная (пластическая) смазка. Твёрдые типы смазок на основе слоистых материалов.

*Целевая установка:*

*Рекомендуемая литература:* [1, с. 270-351; 3, с. 197-210 и др.].

**Вопросы для самопроверки (см. Приложение Г.)**

### **Тема 7. Обобщенные, физические представления о природе трения.**

#### **Метод трибоэргодинамики**

Существо и необходимость обобщённого подхода. Термодинамический подход. Эргодинамика деформируемых тел. Обобщённые представления о пластической деформации. Структурная модель твёрдого тела. Физический смысл пластической деформации. Интегральный критерий повреждаемости. Обобщённые 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.

*Целевая установка:*

*Рекомендуемая литература:* [1, с. 223-225; 6 и 7, с. по интересу с учетом содержания].

**Вопросы для самопроверки (см. Приложение Г.)**

### **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).

*Целевая установка:*

*Рекомендуемая литература:* [1, с.447-491; 6 и 7, с. по интересу с учетом содержания].

**Вопросы для самопроверки (см. Приложение Г.)**

### **3. Тематический план практических занятий**

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

### **4. Методические указания по самостоятельной работе студентов**

Самостоятельная работа студентов, помимо освоения лекционного материала и подготовки к практическим занятиям по дисциплине

«Трибология», связана с последующим слушанием в 5 семестре материала, выполнением курсового проекта по дисциплине «Детали машин и основы конструирования». Правильное понимание будущей деятельности предполагает опережающее осмысление понятия трения, проработку и усвоение лекционного материала и материалов практических занятий, подготовку отчетов о лабораторных работах с перспективой на будущее понимание машины как совокупности трибологических систем.

## **5. Методические указания по самостоятельной работе студентов заочного обучения**

Специфика заочного обучения состоит в существенном преобладании самостоятельной работы в структуре учебного процесса. В связи с этим студентам необходимо ориентироваться на постоянное взаимодействие с рекомендованными учебно-методическими материалами, имеющимися в библиотеке КГТУ и размещенными в ЭИОС. При этом контакт с преподавателем, помимо аудиторных занятий в период сессии, предусмотрен в форме очных консультаций, а также посредством ЭИОС и электронной почты.

Информация по выполнению контрольной работы сконцентрирована в соответствующем учебно-методическом пособии.

### **Заключение**

В учебно-методическом пособии по изучению дисциплины «Трибология» дан тематический план лекционных занятий, включающий рекомендуемую литературу и вопросы для закрепления теоретического материала. Сформирован тематический план практических занятий, представлены цель и задачи выполняемых практических работ с контрольными вопросами для их защиты.

## Список литературы

### 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: учеб. для высших учебных заведений. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва: 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. Федоров; 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. Федоров; 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. – 397 с.

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

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. Федоров; Калинингр. гос. техн. ун-т. – Калининград: КГТУ, 2002. – 45 с.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### ПРИЛОЖЕНИЕ А

#### Задания и контрольные вопросы к практическим работам

Практическая работа № 1. *Измерение коэффициента статического трения поверхностей различного качества и природы методом наклонной плоскости.*

Цель работы. Сформировать навык в определении величин коэффициентов статического трения различных поверхностей.

Задание. Ознакомиться с методом измерения коэффициентов статического трения с использованием наклонной плоскости, моделирование лабораторного эксперимента наклонной плоскости. Определить коэффициент статического трения для различных поверхностей.

Контрольные вопросы:

1. Что такое коэффициент статического трения?
2. В чем суть условия равновесия при наличии трения?
3. Как определяется коэффициент трения по Парану?
4. Объясните такое понятие как конус трения?
5. Докажите, что метод наклонной плоскости измерения статического коэффициента трения применим в реальной инженерной практике.
6. Каким способом можно уменьшить величину коэффициента статического трения?

Практическая работа № 2. *Измерение коэффициента динамического трения поверхностей различного качества и природы методом наклонной плоскости.*

Цель работы. Сформировать навык в определении величин коэффициентов динамического трения различных поверхностей.

Задание. Ознакомиться с методом измерения коэффициентов динамического трения с использованием наклонной плоскости, моделирование лабораторного эксперимента наклонной плоскости. Определить коэффициент динамического трения для различных поверхностей.

Контрольные вопросы:

1. Что такое коэффициент динамического трения?
2. Каково отличие статического коэффициента трения от динамического?
3. Докажите теоретически, что коэффициент динамического трения меньше коэффициента статического трения.
4. Что, по физическому смыслу, представляет собой разница между коэффициентами статического и динамического коэффициентов трения?

5. Каким способом можно уменьшить величину коэффициента динамического трения?

Практическая работа № 3. *Лабораторные установки для изучения трения, изнашивания и смазки.*

Цель работы. Сформировать умение анализировать конструкцию лабораторной установки для изучения трения, изнашивания, смазки.

Задание. Изучить состав привода и исполнительного органа в предложенных лабораторных установках, анализ рабочих органов установок.

Контрольные вопросы:

1. Каковы основные схемы контакта трения, используемые в лабораторных установках?
2. Каковы основные тенденции в создании лабораторных установок по исследованию трения, износа и смазки?
3. Каковы преимущества лабораторного эксперимента перед натурным?
4. Какие два основных вида трения исследуются в лабораторном эксперименте?
5. Какова структура любой лабораторной машины трения?
6. Перечислите ряд типов лабораторных машин трения?

Практическая работа № 4. *Экспериментальные испытания подшипников скольжения.*

Цель работы. Сформировать навык в исследовании режимов трения и определить параметры, характеризующие потери на трение при работе подшипников скольжения.

Задание. Изучить работу подшипника скольжения в режиме жидкостного трения. Определить коэффициент трения в зависимости от удельной нагрузки. Построить графики зависимости  $f=f(p)$  на основании теоретической зависимости и по опытным данным.

Контрольные вопросы:

- 1 Зарисовать простейшую конструкцию подшипника скольжения.
- 2 Достоинства и недостатки подшипника скольжения.
- 3 Область применения подшипников скольжения.
- 4 Какие материалы применяют для изготовления подшипников скольжения?
- 5 Чем отличаются гидродинамический и гидростатический режимы трения?
- 6 Какие условия необходимы для возникновения гидродинамического режима трения в подшипнике скольжения?
  1. Какой режима трения предпочтителен при работе подшипника скольжения?
  2. Какие виды смазки применяются для подшипников скольжения?

Практическая работа № 5. *Анализ видов повреждаемости и износа при трении.*

Цель работы. Приобретение навыков идентификации видов повреждаемости и износа при трении реальных поверхностей и анализа возможных причин появления данного типа изнашивания.

Задание. Ознакомиться с современными классификациями видов повреждаемости и изнашивания пар трения; изучить характерных особенностей различных видов разрушения поверхностей пар трения.

Контрольные вопросы:

1. Перечислите виды изнашивания в соответствии с ГОСТ 27674-88.
2. Опишите возможный внешний вид повреждаемости или износа поверхности трения, какой-либо детали технической системы.
3. Чем отличаются особые условия возникновения фреттинг-износа, гидроабразивного износа, кавитационного износа и износа по причине схватывания?
4. Что является причиной задира и заедания при трении? В каких парах трения возможны задиры и заедание?
5. Как можно определить по внешнему виду поверхностей трения попадание твердых частиц в смазку?
6. Если шариковый или роликовый подшипник имеют небольшие смещения в их опорах при работе, к какому виду повреждения поверхностей это может привести?
7. Как активная окружающая среда может влиять на работоспособность узлов трения пищевых машин?

Практическая работа № 6. *Минеральные масла. Применение. Обозначение.*

Цель работы. Сформировать навык в расшифровке обозначений смазочных масел.

Задание. Изучить классификацию смазочных масел, виды агрегатного состояния масел.

Контрольные вопросы:

1. Какой вид трения (смазки) является наиболее предпочтительным из всех видов трения (смазки)? Почему?
2. Как смазочные материалы различаются по агрегатному состоянию?
3. Какими функциональными свойствами должны обладать масла?
4. Как классифицируются масла по происхождению.
5. Как классифицируются масла по способу получения?
6. Как классифицируются масла по назначению?
7. Какими основными свойствами должны обладать смазочные масла?
8. Что такое товарные масла? Чем они отличаются от базовых нефтяных масел?

9. Какими характеристиками должны обладать смазочные масла?
10. Что такое функциональные присадки и как они классифицируются?
11. Для чего используются антифрикционные добавки?
12. Как классифицируются смазочные масла по области их применения?
13. Для чего используются моторные масла?
14. Как классифицируются моторные масла в зависимости от специфики их эксплуатации и конструкции двигателя?
15. Как классифицируются моторные масла в зависимости от условий их применения?
16. По какому параметру подбирают моторные масла?
17. По какому критерию оценивают предельную способность моторных масел?
18. Почему разрушение смазочной пленки в гидродинамике приводит к задиру трущихся поверхностей?
19. Как можно контролировать на практике предаварийное состояние (задир) в ДВС?

Практическая работа № 7. *Определение момента трения в подшипниках качения на установке 28М.*

Цель работы. Сформировать навык в исследовании момента трения в подшипниках качения.

Задание. Определить момент трения в подшипниках качения и вычислить приведенный коэффициент трения в подшипниках качения.

Контрольные вопросы:

1. Конструкция подшипника качения.
2. Достоинства и недостатки подшипников качения.
3. Область применения подшипников качения.
4. Виды смазочных материалов, применяющихся для подшипников качения.
5. Классификация подшипников качения.
6. Маркировка подшипников качения.
7. Материалы, применяющиеся для изготовления подшипников качения.

Контрольные вопросы:

Практическая работа № 8. Семинар с презентацией. *Заводские (натурные) стенды и оборудование для испытания на трение, изнашивание и смазку.*

Цель работы. Изучить конструкции натурных стендов по трению, изнашиванию и смазке. Сформировать навык в оформлении презентации по теме доклада.

Задание. Выбрать тему работы и подготовить доклад по ней.

Темы презентаций:

1. Тестер устойчивости к наклону.
2. Четырех-шариковый тестер износа фирмы Shell.
3. Тестер трансмиссионного масла на установке четырех-зубчатых колес.

4. Тестер трения и износа колебательного типа.
5. EMCOR-машина трения для оценки антикоррозионных свойств пластичной смазки.
6. Индикатор скольжения Таннерта
7. Тестер износа при фреттинге (Reichert).
8. Кольцевой тест испытания на трение скольжения.
9. Испытание на вымывание водой смазки.
10. Тестер для испытания пластичной смазки подшипников качения (FAG-FE9).
11. Тестер для испытания пластичной смазки подшипников качения (SKF-ROF).
12. Тестер износа и трения подшипников качения (FAG-FE 8)
13. Тестер подшипников качения SNR-FEB 2
14. Тестер смазки подшипников качения FAG
15. Низкотемпературный тестер крутящего момента
16. Низкотемпературное испытание на крутящий момент rig-ASTM
17. Тестер крутящего момента подшипника качения
18. Испытание подшипника колеса
19. Тестер шума подшипников качения
20. Высокотемпературный цепной тестер
21. Тестер приводной цепи
22. Высокотемпературный тестер подшипников качения
23. Тестер масла для червячных передач
24. Тестер газовых клапанов
25. Тестер водяного клапана (верхняя часть)

Вопросы формируются по результатам доклада студента по теме работы и задаются слушателями этого доклада (преподавателем и студентами).

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

### Рекомендации по научной литературе, применяемой для подготовки презентаций

---

**И.А. Буяновский**, д-р техн. наук (ИМАШ РАН им. А.А. Благонравова)

## 100 работ по трибологии

### Уважаемые читатели!

На протяжении нескольких последних тысячелетий, которые отсчитывает история трибологии, было опубликовано не 100 работ. Достаточно вспомнить, что метод перемещения статуй с помощью деревянных саней, под полозья которых лили масло, был "опубликован" на стене пирамиды Ти в Саккаре (Египет) в 2400 г. до н.э., а метод снижения сопротивления перемещению боевой колесницы с помощью использования колеса — на древнем знамени Урука в 3000 г. до н.э. Несомненно, далеко не все публикации трибологов прошлых лет дошли до нас — ведь красивая фраза Булгакова: "Рукописи не горят!" была и остается всего лишь красивой фразой. Совсем недавно, в 1968 г., были обнаружены Мадридские кодексы гениального Леонардо да Винчи, в которых описаны многие его открытия в области трибологии, но ведь это была случайная находка. А сколько работ неизвестных гениев остаются скрытыми от нас!

Современные трибологи могут не опасаться, что их работы останутся недоступными для читателей, поскольку появился журнал "**Трение и смазка в машинах и механизмах**". Но появилась другая проблема — число публикаций по этой тематике экспоненциально возрастает.

Только за 2000—2005 гг. в мире было опубликовано порядка 45000 статей, монографий, справочников по трибологии. Встают два вопроса: как найти нужную работу и какая именно работа нужна. Наличие Интернета в известной мере облегчает первую задачу. Но только в определенной степени. Для того чтобы отбирать, надо знать, что искать. Поэтому мы отобрали 100 работ по трибологии, с которыми рекомендуем вам ознакомиться. Принцип отбора — работы, которые с нашей точки зрения помогут читателю оценить возможности трибологии как в прошлом, так и в наши дни. Разумеется, такой отбор не может не отразить субъективные пристрастия составителей, но мы старались быть объективными. Это было совсем непросто. Просто было начинать. Без дискуссий в этот спи-

сок поместили первую в нашей стране обобщающую монографию Д.В. Конвисарова. Но после нее было опубликовано столько работ, что отбор каждой последующей работы вызывал бурные дискуссии. Чтобы упростить задачу, первоначально предполагалось, что каждый триболог в нашем списке должен быть представлен только одной работой. Но как можно в одной работе отразить все научные интересы таких блистательных и разносторонних ученых, как М.М. Хрущов, И.В. Крагельский, Б.И. Костецкий, Р.М. Матвеевский, Л.И. Бершадский, да и многих других?! Поэтому ряд исследователей пришлось представить несколькими работами. Словом, трудно сказать, насколько нам удалось реализовать свое намерение. Список составили в хронологическом порядке. По понятным причинам в первую очередь в него включили публикации русскоязычных авторов.

- **Леонардо да Винчи**. Избранные естественно-научные произведения. М.: Изд-во АН СССР, 1955, 1028 с.
- **Amontons G.** De la resistance cause dans les machines // *Memories de l'Academie Royale*, 1699. Pp. 203-222.
- **Coulomb C.A.** Theorie des Machines Simples // *Memories de Mathematique et de Physique de l'Academie Royal*, 1785. Tome X. a Paris MDCCLXXXV. Pp. 161-342.
- **Петров Н.П.** Трение в машинах. Влияние на него смазывающей жидкости (из "Инженерного журнала" 1883 г.). С.-Петербург: Типография Е. Суворина, 1883.
- **Tower B.** First Report on Friction Experiments (Friction of Lubricated Bearings). *Proc. Institution Mech. Engrs.*, London, 1883. Pp. 632-659.
- **Thurston R.H.** A Treatise on Friction and Lost Work in Machinery and Millwork. New York: Willey (7<sup>th</sup> and final edition 1903), 1885.
- **Reynolds O.** On the Theory of Lubrication and its Application to Mr. Beauchamp Tower's Experiments Including an Experimental Determination of the Viscosity of Olive Oil // *Phyl. Trans. Roy Soc*, 1886, vol. 177. Pp. 157-234.
- **Hardy W.D., Doubleday I.** Boundary Lubrication — The Paraffin Series. *Proc. Roy Soc, Lond.*, A, 100, 1922. Pp. 550-574.

- **Конвисаров Д.В.** Износ металлов. М.: ОНТИ, 1938. 304 с.
- **Дерягин Б.В.** Трение и смазочное действие. М.: ВХО им. Менделеева, 1938, 32 с.
- **Арчбютт Л., Дилей Р.М.** Трение, смазка и смазочные материалы / пер. с англ. Изд. 2-е перераб. и доп. Б.В. Лосиковым, С.Э. Крейном и Г.Е. Журавлёвым. М.-Л.: Гостоптехиздат, 1940, 824 с.
- **Хрущев М.М.** Исследования приработки подшипниковых сплавов и цапф. М.—Л.: Изд-во АН СССР, 1946. 146 с.
- **Петрусевич А.И.** Качество поверхности и прочность материалов при контактных напряжениях. М.: Изд. АН СССР, 1946, 46 с.
- **Зайцев А.К.** Основы учения о трении, износе и смазке машин. В 4-х частях. М.: Машгиз, 1947; ч. 1—220 с; ч. 2 - 256 с; ч. 3 - 164 с; ч. 4 - 277 с.
- **Кузнецов В.Д.** Физика твердого тела. В 5-ти томах: т. 4. Томск: Полиграфиздат, 1947, 542 с.
- **Bowden F.P., Tabor D.** The Friction and Lubrication of Solids. Part I, Oxford: Clarendon Press, 1950, 544 p.; Part II. Oxford: Clarendon Press, 1964 (Боуден Ф.Р., Тейбор Д. Трение и смазка. М.: Машгиз, 1960, 101 с; они же: Трение и смазка твердых тел. М.: Машиностроение, 1968, 543 с).
- **Дьячков А.К.** Подшипники скольжения жидкостного трения. М.: Машгиз, 1955, 152 с.
- **Крагельский И.В., Чушилко Г.Е., Чичинадзе А.В.** Процессы трения в тормозах авиаколес. Подбор фрикционных пар. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 220 с.
- **Крагельский И.В., Щедров В.С.** Развитие науки о трении. М.: Изд-во АН СССР, 1958, 234 с.
- **Семёнов А.П.** Схватывание металлов. М.: Машгиз, 1958, 223 с.
- **Коровчинский М.В.** Теоретические основы работы подшипников скольжения. М.: Машгиз, 1959, 403 с.
- **Хрущев М.М., Бабичев М.А.** Исследование изнашивания металлов. М.: Изд-во АН СССР, 1960, 351 с.
- **Крагельский И.В.** Трение и износ. М.: Машгиз, 1962, 480 с.
- **Лихтман В.И., Шукин Е.Д., Ребиндер П.А.** Физико-химическая механика металлов. М.: Изд-во АН СССР, 1962, 303 с.
- **Дерягин Б.В.** Что такое трение?: 2-е издание — М.: Изд-во АН СССР, 1963, 221 с.
- **Ахматов А.С.** Молекулярная физика граничного трения. М.: ГИФМЛ, 1963, 472 с.
- **Дьяченко П.Е., Толкачёва Н.Н., Андреев Г.А., Карпова Т.М.** Площадь фактического контакта соприкасающихся поверхностей; М.: Изд-во АН СССР, 1962.
- **Rabinowitz E.** Friction and Wear of Materials. New York: J. Wiley, 1965, 224 p.
- **Dowson D., Higginson G.R.** Elastohydrodynamic lubrication: The fundamentals of roller and gear lubrication. Oxford: Pergamon Press, 1966, 207 p.
- **Cameron A.** Principles of Lubrication. London: Longman, 1966, 692 p.
- **Голего Н.Л.** Схватывание в машинах и методы его устранения. Киев, Техника, 1966, 311 с.
- **Рыжов Э.К.** Контактная жесткость деталей машин. М.: Машиностроение, 1966, 311 с.
- **Чичинадзе А.В.** Расчет и исследование внешнего трения при торможении. М.: Наука, 1967, 232 с.
- **Гаркунов Д.Н., Крагельский И.В., Поляков А.А.** Избирательный перенос в узлах трения. М.: Транспорт, 1969, 109 с.
- **Пинегин С.В.** Контактная прочность и сопротивление качению. М.: Машиностроение, 1969. 244 с.
- **Дёмкин Н.Б.** Контактное шероховатых поверхностей. М.: Наука, 1970, 228 с.
- **Костецкий Б.И.** Трение, смазка и износ в машинах. Киев: Технжа, 1970, 396 с.
- **Матвеевский Р.М.** Температурная стойкость граничных смазочных слоев и твердых смазочных покрытий при трении металлов и сплавов. М.: Наука, 1971, 227 с.
- **Костецкий Б.И., Натансон М.Э., Бершадский Л.И.** Механохимические процессы при граничном трении. М.: Наука, 1972, 170 с.
- **Бартенев Г.М., Лаврентьев В.В.** Трение и износ полимеров. Л.: Химия, 1972, 240 с.
- **Голего Н.Л., Алябьев А.Я., Шевеля В.В.** Фреттинг-коррозия металлов. Киев: Технжа, 1974, 272 с.
- **Постников С.Н.** Электрические явления при трении и резании. Горький: Волго-Вятское кн. изд-во, 1975. 280 с.
- **Любарский И.М., Палатник Л.С.** Металлофизика трения. М.: Металлургия, 1976, 176 с.
- **Силин А.А.** Трение и его роль в развитии техники. М.: Наука, 1976, 175 с.
- **Moore D.F.** Principles and Applications of Tribology. Oxford—New York—Toronto—Sydney—Paris: Pergamon Press, 1975 (Мур Д. Основы и применения трибоники. М.: Мир, 1978, 487 с).
- **Белый В.А., Свиридюк А.И., Петраковец М.И., Савкин В.Г.** Трение и износ материалов на основе полимеров. Минск: Наука и техника, 1976, 432 с.

Страницы истории

- **Костецкий Б.И., Носовский И.Г., Караулов А.К., Бершадский Л.И.** и др. Поверхностная прочность материалов при трении. Киев: Техника, 1976, 292 с.
- **Пинегин С.В.** Трение качения в машинах и приборах. М.: Машиностроение, 1976, 264 с.
- **Григорьев М.А., Пономарёв Н.Н.** Износ и долговечность автомобильных двигателей. М.: Машиностроение, 1976, 245 с.
- **Коднир Д.С.** Контактная гидродинамика смазки машин. М.: Машиностроение, 1976, 303 с.
- **Михин Н.М.** Внешнее трение твердых тел. М.: Наука, 1977, 221 с.
- **Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С.** Основы расчетов на трение и износ. М.: Машиностроение, 1977, 526 с.
- **Шпеньков Г.П.** Физико-химия трения. Минск: Изд-во БГУ, 1978, 205 с; 2-е изд.: Минск: Университетское, 1991, 397 с.
- **Трение, износ, смазка:** справочник / под ред. И.В. Крагельского и В.В. Алисина. М.: Машиностроение. В 2-х томах. Т. 1, 1978, 400 с; Т. 2, 1979, 358 с.
- **Dowson D.** History of Tribology. London — NY: Longman, 1979, 677 p.
- **Литвинов В.Н., Михин Н.М., Мышкин Н.К.** Физико-химическая механика избирательного переноса при трении. М.: Наука, 1979, 185 с.
- **Марченко Е.А.** О природе разрушения поверхностей металлов при трении. М.: Наука, 1979, 117 с.
- **Гологан В.Ф., Аждер В.В., Жавгурияну В.Н.** Повышение долговечности деталей машин износостойкими покрытиями. Кишинёв: Штиинца, 1979, 111 с.
- **Чичинадзе А.В., Браун Э.Д., Гинзбург А.Г., Игнатьева З.В.** Расчет, испытания и подбор фрикционных пар. М.: Наука, 1979, 267 с.
- **Czichos H.** Tribology: A system approach to the science and technology of friction, lubrication and wear. Amsterdam-Oxford-New York, 1978 (Чихос Х. Системный анализ в трибонике. М.: Мир, 1982, 351 с).
- **Fleischer G., Groger H., Thum H.** Verschleiss und Zuferlussigkeit. Berlin, Verlag Technik. 1980, 244 p.
- **Буше Н.А., Копытько В.В.** Совместимость трущихся поверхностей. М.: Наука, 1981, 127 с.
- **Захаров С.М., Никитин А.П., Загорянский Ю.А.** Подшипники коленчатых валов тепловых дизелей. М.: Транспорт, 1981, 181 с.
- **Никитин А.К., Ахвердиев К.С., Остроухое Б.И.** Гидродинамическая теория смазки и расчет подшипников скольжения, работающих в стационарном режиме. М.: Наука, 1981, 318 с.
- **Buckley D.H.** Surface effects in adhesion, friction, wear and Lubrication. Amsterdam-Oxford-New York, 1981, 360 p. (Бакли Д. Поверхностные явления при трении и фрикционном взаимодействии. М.: Машиностроение, 1986, 360 с).
- **Браун Э.Д., Евдокимов Ю.А., Чичинадзе А.В.** Моделирование трения и изнашивания в машинах. М.: Машиностроение, 1982, 191 с.
- **Гриб В.В.** Решение триботехнических задач численными методами. М.: Наука, 1982, 112 с.
- **Грудев А.П., Зильберт Ю.В., Тилик В.Т.** Трение и смазка при обработке металлов давлением. М.: Металлургия, 1982, 312 с.
- **Рыбакова Л.М., Куксёнова Л.И.** Структура и износостойкость металла. М.: Машиностроение, 1982, 209 с.
- **Комбалов В.С.** Оценка триботехнических свойств контактирующих поверхностей. М.: Наука, 1983, 136 с.
- **Геккер Ф.Р.** Динамика машин, работающих безсмазочных материалов в узлах трения. М.: Машиностроение, 1983, 280 с.
- **Порохов В.С.** Трибологические методы испытания масел и присадок. М.: Машиностроение, 1983, 183 с.
- **Polzer G., Meissner F.** Grundlagen zu Reibung und Verschleiss. Leipzig: VEB Deutscher Verlag fur Grundstoffindustrie, 1983 (Польцер Г., Майснер Ф. Основы трения и изнашивания. М.: Машиностроение, 1984, 264 с).
- **Heinicke G.** Tribochemistry. Berlin: Alademie-Verlag-Berlin, 1984 (Хайнике Г. Трибохимия. М.: Мир, 1987, 584 с).
- **Дроздов Ю.Н., Павлов В.С., Пучков В.Н.** Трение и износ в экстремальных условиях. М.: Машиностроение, 1986, 224 с.
- **Кончиц В.В., Мешков В.В., Мышкин Н.К.** Триботехника электрических контактов. Минск: Наука и техника, 1986, 256 с.
- **Suh N.P.** Tribophysics. Englewood Cliffs: Prentis Hall, 1986.
- **Кершенбаум В.Я.** Механотермическое формирование поверхностей трения, М.: Машиностроение, 1987, 230 с.
- **Горячева И.Г., Добычин М.Н.** Контактные задачи в трибологии. М.: Машиностроение, 1988, 254 с.
- **Школьников В.М., Шехтер Ю.Н., Фуфаев А.А.** и др. Масла и составы против износа автомобилей. М.: Химия, 1988, 96 с.
- **Матвеевский Р.М., Лашхи В.Л., Буяновский И.А.** и др. Смазочные материалы. Антифрикционные и противозносные свойства. Методы испытаний: Справочник. М.: Машиностроение, 1989, 202 с.



•  
**Справочник по триботехнике** / под ред. М. Хебды и А.В. Чичинадзе. М.: Машиностроение, Т. 1, 1989, 400 с; Т. 2, 1990, 416 с; Т. 3, 1992, 730 с.

• **Шульц В.В.** Форма естественного износа деталей машин и инструмента. Л.: Машиностроение, 1990, 208 с.

• **Галахов М.А., Усов П.П.** Дифференциальные и интегральные уравнения математической теории трения. М.: Наука, 1990.

• **Зозуля В.Д., Шведков Е.Л., Ровинский Д.Я., Браун Э.Д.** Словарь-справочник по трению, износу и смазке деталей машин. 2-е изд., перераб. и доп.

Киев: Наукова думка, 1990, 264 с.

• **Бершадский Л.И.** Структурная термодинамика трибосистем. Киев: Знание, 1990. 31 с.

• **Ludema K.C., Bayer R.G.** Tribological Modeling for Mechanical Designers. ASTM, Philadelphia, 1991, p. 185.

• **Когаев В.П., Дроздов Ю.Н.** Прочность и износостойкость деталей машин. М.: Высшая школа, 1991, 319 с.

• **Заславский Ю.С.** Трибология смазочных материалов. М.: Химия, 1991, 240 с.

• **Карасик И.И.** Методы трибологических испытаний в национальных стандартах стран мира. М.: Центр "Наука и техника", 1993, 325 с.

• **Пешги Ю.В.** Газовая смазка. М.: МВТУ, 1993, 381 с.

• **Трибология: Исследования и приложения: опыт США и стран СНГ** / под ред. В.А. Белого, К.

Лудемы, Н.К. Мышкина. М.: Машиностроение, 1993, 454 с.

• **Энциклопедия машиностроения.** Детали машин. Конструкционная прочность. Трение и смазка.

Т. IV-I / Д.Н. Решетов, А.П. Гусенков, Ю.Н. Дроздов и др. / под общ. ред. Д.Н. Решетова, 1995, 864 с.

(Сер. Машиностроение. Энциклопедия / под ред.

К.В. Фролова).

• **Szczerek M.** Metodologiczne problemy systematyzacji eksperymentalnych badan tribologicznych. Radom:

Inst. Technologii Eksploatacji, 1997, 245 p.

• **Plaza S.** Fyzykochemia procesow tribologicznych. Lodz: Wydawnictwo Uniwersytetu Lodzkiego, 1997, 346 p.

• **Шустер Л.Ш.** Адгезионное взаимодействие твердых металлических тел. Уфа: Изд-во Тилем", 1999, 199 с.

• **Основы трибологии (трение, износ, смазка)**

/ под ред. А.В. Чичинадзе: Учебник для технических вузов. 1-е изд. М.: Центр "Наука и техника", 1995,

778 с; 2-е изд. М.: Машиностроение, 2001, 664 с.

• **Богданович П.Н., Прущак В.Я.** Трение и износ в машинах: учебник для технических вузов. Минск: Вышэйшая школа, 1999. 374 с.

• **Brushan V.** Principles and applications of tribology. N.Y.: Willey, 1999.

• **Сорокин Г.М.** Трибология сталей и сплавов. М.: Недра, 2000, 317 с.

• **Фукс Г.И.** Проблемы граничной смазки.

- М.:  
"Техника" ООО "Тума групп", 2001, 192 с.
- **Горячева И.Г.** Механика трения и взаимодействия. М.: Наука, 2001, 478 с.
  - **Scherge M. and Gorb S.** Biological macro- and Nanotribology. NanoScience and Technology, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2001, 320 p.
  - **Погодаев Л.И., Кузьмин В.Н., Дудко П.П.** Повышение надежности трибосопряжений. С.-Петербург: Академия транспорта РФ, 2001, 304 с.
  - **Fudnamentals of Tribology and Bridging the Gap Between the Macro and Micro / Nanoscales / Ed. By V. Bhushan.** NATO Sciencs: Series II: Mathematics, Physics and Chemistry, 2001, 970 p.
  - **Мышкин Н.К., Петраковец М.И.** Трибология. Принципы и приложения. Гомель: ИММС НАНБ, 2002, 310 с.
  - **Буяновский И.А., Фукс И.Г., Шабалина Т.П.** Граничная смазка: этапы развития трибологии. М.: Изд-во "Нефть и газ", 2002, 230 с.
  - **Bhushan V.** Introduction to tribology. N.Y.: J. Willey, 2002, 700 p.
  - **Чичинадзе А.В., Берлинер Э.М., Браун Э.Д. и др.** Трение, износ и смазка (Трибология и триботехника). М.: Машиностроение, 2003. 576 с.
  - **Колесников В.И.** Теплофизические процессы в металлополимерных трибосистемах. М.: Наука, 2003, 279 с.
  - **Лужнов Ю.М.** Сцепление колес с рельсами (природа и закономерности). М.: Интекст, 2003, 144 с.
  - **Фёдоров С.В.** Основы трибоэргодинамики и физико-химические предпосылки теории совместности. Калининград. Изд-во КГТУ, 2003. 400 с.
  - **Петров В.М.** Применение модификаторов в
- узлах машин для решения триботехнических задач.  
С.-Петербург: Изд-во СПбГПУ, 2004, 282 с.
- **Surface Modification and Mechanisms: Friction, Stress and Reaction Engineering / Ed by G.E. Totten, Hong Liang.** New York, Basel: Marcel Dekker Inc., 2004, 756 p.
  - **Маркова Л.В., Мышкин Н.К.** Трибодиагностика машин. Минск: Бел. Наука, 2005, 251 с.

**ПРИЛОЖЕНИЕ В**  
**Образец оформления титульного листа отчета по практическим работам**

Федеральное агентство по рыболовству  
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»  
Институт морских технологий, энергетики и строительства  
Кафедра теории механизмов и машин и деталей машин

Практические работы по дисциплине

**«Трибология»**

ПР.24.15.03.01(02).ПЗ

Студент \_\_\_\_\_

группа – МС

Руководитель \_\_\_\_\_

проф. Федоров С.В.

Калининград 202....

## ПРИЛОЖЕНИЕ Г

### Контрольные вопросы на зачет по дисциплине

(применяются, если студент не выполнил контактную работу с преподавателем)

1. Предмет Трибологии и Триботехники. Актуальность.
2. Трибосистема. Как Вы её себе представляете?
3. Коэффициент трения. Статический и динамический.
4. Модель трения.
5. Механическая и молекулярная природа трения.
6. Двойственность трения.
7. Проблема энергосбережения или зачем инженеру нужно знать строение и структуру твёрдых тел и их атомные характеристики.
8. Трансформационные процессы при трении. Сущность.
9. Взаимная связь макро- и микро-характеристик энергетических процессов при трении.
10. Энерго- и материалосберегающие принципы.
11. Виды трения.
12. Трение жидкостей. Вязкость.
13. Сухое и граничное трение. Различие.
14. Виды контакта при трении. Фактическая площадь контакта.  
Аддитивность трения.
15. Реальная инженерная поверхность и её характеристики.
16. Профилограмма поверхности. Кривая опорной поверхности и её смысл.
17. Деформационно-адгезионная модель трения.
18. Природа металлических поверхностей, используемых в инженерии (машиностроении).
19. Внутреннее и внешнее трение.
20. Молекулярно-механическая модель трения.
21. Фрикционные связи.
22. Тепловая динамика трения. Температурные вспышки при трении.
23. Диалектика возникновения тепла трения.
24. Энергетическая модель трения.
25. Влияние различных факторов на трение (коэффициент трения).
26. Износ. Виды износа.
27. Саморегулирование при трении. Вторичные структуры.
28. Структурно-энергетическая диаграмма трущихся поверхностей.
29. Смазка. Функции смазки.
30. Гидродинамическая смазка. Основные принципы.
31. Аэродинамическая смазка. Сущность. Перспективы.
32. Эластогидродинамическая смазка. Область существования.  
Сущность.
33. Смешанное трение. Кривая Герси-Штрибека.

34. Граничная смазка. Сущность.
35. Граничная смазка. Принцип «молекулярного ворса», металлическое мыло.
36. Консистентная смазка. Область применения.
37. Смазка предельного давления. Сущность. Эффект действия.
38. Моделирование смазочного действия.
39. Температурный критерий оценки смазочных свойств.
40. Классификация смазочных масел.
41. Требуемые характеристики для смазочных масел.
42. Функциональные присадки и антифрикционные добавки смазочных масел.
43. Назначение моторных масел. Их деление по условиям применения и функциональному назначению.
44. Классификация моторных масел по эксплуатационному признаку.
45. Основные классификационные признаки подбора промышленных масел.
46. Правила маркировки моторных масел, принятые в СССР и SAE.
47. Системный анализ и аспекты работоспособности технических систем (узлов трения).
48. Паспортизация узлов трения.
49. Планово-предупредительная система ремонта и эксплуатация узлов трения (технических систем).
50. Принцип системной совместимости узлов трения в пищевых технических системах.
51. Анализ повреждаемости узлов трения.
52. Основные правила эксплуатации узлов трения.
53. Трибологические мероприятия по экономии энергии.
54. Основные пути оптимизации работоспособности пищевых машин.

Локальный электронный методический материал

Сергей Васильевич Федоров

ТРИБОЛОГИЯ

*Редактор И. В. Голубева*

Уч.-изд. л. 2,1. Печ. л. 1,8.

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Калининградский государственный технический университет».  
230022, Калининград, Советский проспект, 1