

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и  
дизайна»  
(СПбГУПТД)

УТВЕРЖДАЮ  
Директор ВШТЭ



## Рабочая программа дисциплины

**Б1.В.ДВ.01.02** Трение, износ и смазка в машинах и оборудовании химических производств

Учебный план: \_\_\_\_\_ ФГОС3++z150302.22-1\_22-15.plx

Кафедра:  Общей и неорганической химии

Направление подготовки:  
(специальность) 15.03.02 Технологические машины и оборудование

Профиль подготовки: Оборудование химических производств  
(специализация)

Уровень образования: бакалавриат

Форма обучения: заочная

### План учебного процесса

Семестр (курс для ЗАО)	Контактная работа обучающихся		Сам. работа	Контроль, час.	Трудоё мкость, ЗЕТ	Форма промежуточной аттестации	
	Лекции	Практ. занятия					
3	УП	8	8	88	4	3	Зачет
	РПД	8	8	88	4	3	
Итого	УП	8	8	88	4	3	
	РПД	8	8	88	4	3	

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 15.03.02 Технологические машины и оборудование, утверждённым приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 09.08.2021 г. № 728

Составитель (и):

Кандидат технических наук, Проректор

Федорова О.В.

От кафедры составителя:

Заведующий кафедрой общей и неорганической химии

Луканина Т.Л.

От выпускающей кафедры:

Заведующий кафедрой

Евдокимов А.Н.

Методический отдел:

Смирнова В.Г.

## 1 ВВЕДЕНИЕ К РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ ДИСЦИПЛИНЫ

**1.1 Цель дисциплины:** Сформировать компетенции обучающегося в области науки о трении и изнашивании твердых тел в узлах трения различных машин, механизмов и оборудования.

### 1.2 Задачи дисциплины:

1. Рассмотреть физические основы механизма трения, его последствия и способы минимизации износа.
2. Изучить физико-химические и физико-механические характеристики, строение твердых тел и их поверхностных слоёв; макро- и микрогеометрию поверхностей, виды и механизмы трения и изнашивания; теоретические основы расчета: фактической площади контакта, сближения, фактического давления, сил и коэффициентов трения, интенсивности изнашивания
3. Продемонстрировать особенности изнашивания по топографии изношенной поверхности твердого тела.
4. Научить предлагать эффективные методы борьбы с данным видом изнашивания на стадии конструирования узла трения.

### 1.3 Требования к предварительной подготовке обучающегося:

Предварительная подготовка предполагает создание основы для формирования компетенций, указанных в п. 2, при изучении дисциплин:

- Химия
- Материаловедение
- Физика
- Детали машин
- Сопrotивление материалов
- Технология конструкционных материалов

## 2 КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

<b>ПК-3: Способен обеспечивать монтаж и наладку химического оборудования при испытаниях и сдаче в эксплуатацию новых узлов и деталей оборудования; организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт</b>
--

<b>Знать:</b> основные законы физики и химии, соответствующие процессам трения и износа.
--

<b>Уметь:</b> проводить эксперименты по исследованию процессов трения и износа.
---

<b>Владеть:</b> основными методами теоретического и экспериментального исследования процесса трения.
--

### 3 РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Наименование и содержание разделов, тем и учебных занятий	Семестр (курс для ЗАО)	Контактная работа		СР (часы)	Инновац. формы занятий
		Лек. (часы)	Пр. (часы)		
Раздел 1. Свойства поверхностей деталей	3				
Тема 1. Геометрические свойства поверхностных слоев, номинальный профиль. Параметры шероховатости		1		8	ИЛ
Тема 2. Макроотклонения от номинального профиля, причины отклонения, геометрические характеристики, параметры кривой опорной поверхности. Кривая опорной поверхности. Площади контакта шероховатых тел		1	2	7	
Тема 3. Модели шероховатой поверхности. Технологическая. Эксплуатационная		0,5		10	
Раздел 2. Трение в машинах и изнашивание деталей					
Тема 4. Виды и механизмы внешнего трения твердых тел. Теория внешнего трения. Переход от трения покоя к трению скольжения		1		9	ИЛ
Тема 5. Сила трения и коэффициент трения. Расчет коэффициента трения. Факторы, влияющие на коэффициент трения: нагрузка, температура в зоне контакта, микрогеометрия поверхности, физико-механические свойства твердых тел		1	3	7	
Тема 6. Трение качения. Коэффициент трения качения, коэффициент сопротивления качению. Факторы влияющие на сопротивление качению		0,5		10	
Раздел 3. Методы повышения износостойкости деталей машин					

Тема 7. Виды и механизмы изнашивания твердых тел. Классификация видов изнашивания. Разрушение поверхностей качения. Усталостное и абразивное изнашивание	0,5	3	8	ИЛ
Тема 8. Материаловедческие, технологические, конструкционные и эксплуатационные методы повышения износостойкости. Методы повышения износостойкости деталей машин целлюлозно-бумажного производства. Методы и средства триботехнических испытаний	0,5		9	
Раздел 4. Смазка узлов трения				
Тема 9. Общие требования к смазочным материалам в целлюлозно-бумажной промышленности. Классификация смазочных материалов. Граничная смазка. Полужидкостная смазка. Твердая смазка	1		10	ИЛ
Тема 10. Методы смазывания (подачи смазочного материала в место контакта). Циркуляционное смазывание, смазывание масляным туманом, смазывание погружением, смазывание кольцом. Смазывание твердым покрытием	1		10	
Итого в семестре (на курсе для ЗАО)	8	8	88	
Консультации и промежуточная аттестация (Зачет)	0,25			
<b>Всего контактная работа и СР по дисциплине</b>		16,25	88	

#### 4 КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Курсовое проектирование учебным планом не предусмотрено

#### 5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

##### 5.1 Описание показателей, критериев и системы оценивания результатов обучения

##### 5.1.1 Показатели оценивания

Код компетенции	Показатели оценивания результатов обучения	Наименование оценочного средства
ПК-3	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Демонстрирует знания законов трения, параметров износа поверхности изделий, методов контроля и способы предотвращения износа.</li> <li>2. Рассчитывает величину, интенсивность, скорость износа, подбирает вид смазки и способ смазки трибопар.</li> <li>3. Применяет методику обработки профилограмм и определяет основные характеристики микрогеометрии.</li> <li>4. Показывает навыки построения опорной кривой профиля и определения параметров ее аппроксимации.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Вопросы устного собеседования</li> <li>2. Практико-ориентированные задания</li> </ol>

### 5.1.2 Система и критерии оценивания

Шкала оценивания	Критерии оценивания сформированности компетенций	
	Устное собеседование	Письменная работа
Зачтено	Обучающийся показывает всестороннее и глубокое знание основных терминов и определений триботехники, свободно ориентируется в основных понятиях, терминах и определениях; усвоил основную и знаком с дополнительной литературой; может объяснить основные методы и средства диагностики повышенного износа, принципы их устранения; обладает навыками оценивания качества работающих масел и их значение для последующей профессиональной деятельности; проявляет творческие способности в использовании учебного материала.	Обучающийся демонстрирует правильное понимание условия задачи, владение навыками его анализа, выбора нужных законов и формул для ее решения. Умеет применять математический аппарат для реализации плана решения задачи. Получил правильный ответ и может его интерпретировать.
Не зачтено	Обучающийся не имеет достаточного уровня знания дисциплины; не может сформулировать основные термины и определения трибологии; плохо ориентируется в основных понятиях и определениях; плохо знаком с основной литературой; допускает при ответе на зачете существенные ошибки и не может устранить их даже под руководством преподавателя.	Обучающийся не может проанализировать условие задачи, наметить план ее решения, отказывается от ответа

### 5.2 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

#### 5.2.1 Перечень контрольных вопросов

№ п/п	Формулировки вопросов
Курс 3	
1	Физическая природа трения. Адгезия и когезия.
2	Зависимость сил адгезии и когезии от чистоты (гладкости) сопрягаемых поверхностей. Макро - и микропогрешности поверхностей трения.
3	Понятие о волнистости и шероховатости поверхности. Шероховатость технологическая и эксплуатационная, равновесная и неравновесная.
4	Параметры, принимаемые для оценивания шероховатости.
5	Адсорбция поверхностно-активных веществ. Эффект П. А. Ребиндера.
6	Понятие о силе трения движения, неполной силе покоя, наибольшей силе покоя (сцеплении).
7	Понятие о сухом, жидкостном, граничном, полусухом, полужидкостном трении, а также трение со смазочным материалом и без смазочного материала.
8	Зависимости Амонтона - Кулона для определения сил трения скольжения и качения.
9	Основные положения закона трения скольжения.
10	Стадии и закономерности развития трения.
11	Понятие изнашивания, износа, интенсивности и скорости изнашивания, износостойкости, предельного износа.
12	Факторы, обуславливающие изнашивание в машинах целлюлозно-бумажного производства.
13	Элементарные процессы изнашивания.
14	Сущность и виды абразивного изнашивания. Особенность абразивного изнашивания мягких материалов.
15	Пути повышения износостойкости при абразивном изнашивании.
16	Сущность окислительного изнашивания. Меры борьбы.
17	Виды коррозии коррозионно-механическое изнашивание. Пути уменьшения коррозии.
18	Кавитационное изнашивание, сущность и механизм проявления, пути уменьшения.
19	Схватывание, сущность, целевые проявления, формы схватывания: натир, зазор, заедание, прилипание.
20	Процессы, происходящие при усталостном выкрашивании.

21	Мера изнашивания. Факторы, влияющие на интенсивность изнашивания.
22	Природа граничной, жидкостной, полужидкостной смазки.
23	Закономерности жидкостного трения скорости потоков и давление в смазочном слое.
24	Зависимость приведенного коэффициента трения в подшипнике жидкостного трения от вязкости масла, скоростных и геометрических параметров подшипника.
25	Диаграмма Герси-Штенберга, определяющая области граничного, жидкостного и смешанного трения.
26	Общие требования к смазочным материалам. Классификация смазочных материалов.
27	Выбор типа смазочного материала в зависимости от условий работы узлов трения.
28	Структура жидких смазочных материалов (масел), основа масел, функциональные присадки и антифрикционные добавки.
29	Влияние вязкости на функциональные свойства масел. Зависимость вязкости от температуры.
30	Моторные, трансмиссионные, индустриальные масла. Масла для силовых гидравлических передач
31	Пластичные смазки. Свойства. Классификация по составу и по назначению.
32	Структура пластичных смазок, ее формирование и регулирование.
33	Требования к свойствам и характеристикам пластических смазок. Принцип подбора и применения пластических смазок.
34	Методы смазывания (подачи смазочного материала в место контакта).
35	Циркулирующая смазка. Назначение, конструкция и принцип работы систем циркуляционной смазки.
36	Системы нейтрализованной смазки пластичными и жидкими смазочными материалами.
37	Системы смазки масляным туманом.
38	Роль трибологии и триботехники в решении проблем безопасности, экологии и экономики.

### 5.2.2 Типовые тестовые задания

Не предусмотрено

### 5.2.3 Типовые практико-ориентированные задания (задачи, кейсы)

1. Рассчитать радиус кривизны вершин выступов для случая, когда поперечная профилограмма имеет горизонтальное увеличение  $\gamma_g=400$  и вертикальное  $\gamma_v=1000$ . Расстояние между линией вершин и линией впадин  $R_{\max}=42$  мм. Для семи наиболее высоких выступов находим ширину их сечения на расстоянии  $0,06R_{\max}=2,5$  мм от вершин  $d_{pi}=6;8;5,5;6;12;7,5;6,3$  мм.

2. Рассчитать величину контурной площади контакта двух стальных поверхностей

Исходные данные:  $R_{a1}=R_{a2}=1,6$  мкм;  $H_{v1}=10$  мкм;  $H_{v2}=20$  мкм;  $R_{v1}=100$  мкм;  $R_{v2}=150$  мкм;  $E_1=E_2=2 \cdot 10^4$  кгс/мм<sup>2</sup>;  $A_a=2500$  мм<sup>2</sup>;  $\mu_1=\mu_2=0,3$ ;  $H_1=H_2=100$  кгс/мм<sup>2</sup>;  $P_a=1$  кгс/мм<sup>2</sup>.

3. Рассчитать ресурс (гамма-процентный ресурс  $T_\gamma$ ) изнашивающейся детали при заданной вероятности безотказной работы изделия  $P(t)$  для значений  $P(t)$  от 0,9 до 0,9999.

Исходные данные.

1. Износ детали  $U$  подчиняется линейным закономерностям изнашивания (1).

2. Номинальные (средние) режимы работы:  $\nu_{ср}=16$  кгс/см<sup>2</sup> и  $v_{ср}=2$  м/с.

Из анализа спектров нагрузок, которые могут иметь место при эксплуатации, известно, что они подчиняются нормальному закону распределения и в пределах зоны ба имеют колебания:  $\nu = 16 \pm 4,5$ , т. е.  $\sigma_\nu = 1,5$  кгс/см<sup>2</sup>;  $v = 2 \pm 0,6$ , т. е.  $\sigma_v = 0,2$  кгс/см<sup>2</sup>.

3. Испытания образцов при средних режимах эксплуатации показали, что за 100 ч работы средний износ был 2 мкм, т. е.  $\nu_{ср} = 2 \cdot 10^{-2}$  мкм/ч.

Следует подчеркнуть, что эти данные могут быть получены и расчетным путем, например по формулам проф. И. В. Крагельского (см. гл. 3). При испытаниях достаточно получить только средние значения,

4. Среднее значение  $k$  получим из условия  $\nu_{ср} = k \nu_{ср}$ ;  $2 \cdot 10^{-2} = k \cdot 16 \cdot 10^{-2}$ , откуда

$$k = 6,25 \cdot 10^{-4}$$

5. Размер детали  $a_0$  выполняется с точностью  $\pm 3$  мкм, т. е.  $\sigma_0 = 1$  мкм.

6. Из условия функционирования изделия определен максимально допустимый износ  $U_{\max} = 10$  мкм. Этот износ рассчитан по отношению к номинальному размеру  $a_0$ , поэтому при определении  $T_{ср}$  следует принимать  $a_0 = 0$ .

4. Оценить, скорость изнашивания зубьев зубчатой передачи с эвольвентным зацеплением  $z_1=z_2=18$ ;  $m=6$  мм;  $a_w=20$ ;  $d_{a1}=d_{a2}=120$  мм;  $d_{b1}=d_{b2}=101,5$  мм;  $a_w=108$  мм (изнашивается при содержании  $q_0 = 1\%$  абразива в смазке); кварцевая пыль  $R=0,03$  мм;  $\sigma = 25$  кгс/мм<sup>2</sup> Материал сталь 40X;  $H_{B1} = H_{B2} = 300 - 320$ ;  $\delta_1=\delta_2=12\%$   $t = 1,5$ .

Частота вращения 300 об/мин.

### 5.3 Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, владений (навыков и (или) практического опыта деятельности)

#### 5.3.1 Условия допуска обучающегося к промежуточной аттестации и порядок ликвидации академической задолженности

Проведение промежуточной аттестации регламентировано локальным нормативным актом СПбГУПТД «Положение о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся»

#### 5.3.2 Форма проведения промежуточной аттестации по дисциплине

Устная  + Письменная  + Компьютерное тестирование  Иная

#### 5.3.3 Особенности проведения промежуточной аттестации по дисциплине

В течение семестра выполняется контрольная работа.

Студенты на зачете отвечают на два теоретических вопроса и решают одну практическую задачу. Время на подготовку составляет 30 минут. Преподаватель вправе задать несколько дополнительных вопросов. При решении практического задания предоставляется возможность пользования справочными таблицами и калькуляторами.

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 6.1 Учебная литература

Автор	Заглавие	Издательство	Год издания	Ссылка
<b>6.1.1 Основная учебная литература</b>				
Громаковский, Д. Г., Шигин, С. В.	Физические основы, механика и технические приложения трибологии	Самара: Самарский государственный технический университет, ЭБС АСВ	2018	<a href="http://www.iprbooks.hop.ru/91137.html">http://www.iprbooks.hop.ru/91137.html</a>
<b>6.1.2 Дополнительная учебная литература</b>				
Густов, Ю. И.	Триботехника строительных машин и оборудования	Москва: Московский государственный строительный университет, ЭБС АСВ	2011	<a href="http://www.iprbooks.hop.ru/16326.html">http://www.iprbooks.hop.ru/16326.html</a>
О.В. Федорова, О.С. Андранович	Основы трибологии и триботехники [Текст] : учебно-методическое пособие для проведения лабораторных работ для студентов всех форм обучения	М-во образования и науки РФ, ВШТЭ СПбГУПТД. - СПб. : ВШТЭ СПбГУПТД	2018	<a href="http://nizrp.narod.ru/metod/kafobshineorgh/2018_12_16_01.pdf">http://nizrp.narod.ru/metod/kafobshineorgh/2018_12_16_01.pdf</a>
А.В.Александров, А.А. Гаузе, В.Н. Гончаров	Оборудование ЦБП. [Текст]. Ч. I. Основное оборудование для производства целлюлозы : учеб. пособие	М-во образования и науки РФ, СПбГТУРП. – СПб.: СПбГТУРП	2014	<a href="http://www.nizrp.narod.ru/metod/kafmavsys/1.pdf">http://www.nizrp.narod.ru/metod/kafmavsys/1.pdf</a>
В.Н. Гончаров, А.А. Гаузе, М.В. Аввакумов	Основы теории и расчета оборудования для подготовки бумажной массы. [Текст]. Ч. 2. Рубительные машины : учеб. пособие	М-во образования и науки РФ, СПбГТУРП. – СПб.: СПбГТУРП	2012	<a href="http://nizrp.narod.ru/rubitmash.htm">http://nizrp.narod.ru/rubitmash.htm</a>
Ю.А. Азовцев, Н.А. Баркова, А.А. Гаузе	Вибрационная диагностика роторных машин и оборудования целлюлозно-бумажных комбинатов [Текст] : учеб. пособие	М-во образования и науки РФ, СПбГТУРП. – СПб. : СПбГТУРП	2014	<a href="http://nizrp.narod.ru/metod/kafmavsys/2.pdf">http://nizrp.narod.ru/metod/kafmavsys/2.pdf</a>

### 6.2 Перечень профессиональных баз данных и информационно-справочных систем



Электронно-библиотечная система IPRbooks [Электронный ресурс]. URL: <http://www.iprbookshop.ru/>  
Электронно-библиотечная система «Айбукс» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ibooks.ru/>  
Электронная библиотека ВШТЭ СПб ГУПТД [Электронный ресурс]. URL: <http://nizrp.narod.ru>

### 6.3 Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения

MicrosoftWindows 8

MicrosoftOfficeProfessional 2013

### 6.4 Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Аудитория	Оснащение
Лекционная аудитория	Мультимедийное оборудование, специализированная мебель, доска
Учебная аудитория	Мультимедийное оборудование, специализированная мебель, доска
Б-306	Вытяжные шкафы, весы аналитические, комплект посуды для количественного анализа и водоподготовки, вакуумный сушильный шкаф, электрические плитки, спектрофотометры и фотоколориметры ФЭК 56-М, КФК-2, КФК-3, Юнико 1201, СФ-2000, рН – метры марки ИПЛ – 301, хроматограф Цвет 100, высокочастотные титраторы, концентратомер КН-1, прибор для капиллярного электрофореза «Капель 3»