



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра Строительной механики

УТВЕРЖДАЮ  
Начальник учебно-методического управления

«29» июня 2023 г.

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

Основы триботехники

направление подготовки/специальность 23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства

направленность (профиль)/специализация образовательной программы Подъемно-транспортные,  
строительные, дорожные средства и оборудование

Форма обучения заочная

Санкт-Петербург, 2023

## 1. Цели и задачи освоения дисциплины (модуля)

Целью освоения дисциплины является приобретение обучающимися знаний основ теории трения и изнашивания деталей машин для решения основных проблем современного машиностроения – долговечности, износостойкости, повышения коэффициента полезного действия и в целом надёжности технологических машин и оборудования.

Задачами освоения дисциплины являются:

- изучить методы исследования сил трения, возникающих при работе механизмов; методы оценки величины коэффициента трения и износа; факторы, влияющие на коэффициент трения и развитие износа;
- изучить основные процессы изнашивания, его стадии и их характеристики;
- изучить конструкционные и технологические методы повышения износостойкости деталей;
- освоить основные методы расчёта и программирования при описании трения, изнашивания;
- научиться применять полученные теоретические знания при разработке и проектировании узлов трения механизмов, а также соответствующие конструкторско-технологические приёмы, обеспечивающие высокую надёжность механических систем в эксплуатации.

## 2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине, обеспечивающие достижение планируемых результатов освоения ОПОП
ОПК-1 Способен ставить и решать инженерные и научно-технические задачи в сфере своей профессиональной деятельности и новых междисциплинарных направлений с использованием естественнонаучных, математических и технологических моделей;	ОПК-1.4 Представляет физический (химический) процесс (явление), протекающий на объекте профессиональной деятельности, в виде уравнения(й)	<b>знает</b> основные термины и определения трибологии и триботехники, характеристики качества поверхности, классификацию и методы повышения долговечности узлов. <b>умеет</b> определять качество поверхности контактирующих деталей, зависимость от вида механической обработки; обозначать на чертеже. Умеет обосновывать целесообразность применения того или иного метода повышения долговечности узлов. <b>владеет</b> навыками оценки качества поверхности деталей в сопряжении; методами измерения волнистости и шероховатости поверхности деталей; навыками расчётной оценки долговечности узлов.

<p>ОПК-1 Способен ставить и решать инженерные и научно-технические задачи в сфере своей профессиональной деятельности и новых междисциплинарных направлений с использованием естественнонаучных, математических и технологических моделей;</p>	<p>ОПК-1.5 Осуществляет выбор физических и химических законов для решения задачи профессиональной деятельности</p>	<p><b>знает</b> положения теории трения и изнашивания, характер изменения коэффициента трения и влияющие на него факторы; режимы трения в подшипнике скольжения; стадии изнашивания; влияние физико-механических факторов на изнашивание деталей; обработку данных.</p> <p><b>умеет</b> пользоваться алгоритмом определения коэффициента трения скольжения и качения; определять контактные характеристики в сопряжении; оценивать износ деталей в сопряжении.</p> <p><b>владеет</b> навыками определения потерь на трение в подвижном соединении, интенсивности и скорости изнашивания в сопряжениях, методами выбора материалов пар трения и смазки трущихся поверхностей для обеспечения требуемого режима трения деталей в сопряжении.</p>
<p>ПК-2 Способен организовывать и осуществлять контроль технического состояния подъемно-транспортных, строительных и дорожных машин и оборудования с использованием средств технического диагностирования</p>	<p>ПК-2.4 Проводит оценку соответствия технического состояния подъемно-транспортных, строительных и дорожных машин и оборудования требованиям безопасности</p>	<p><b>знает</b> методы расчета износа сопряжений; роль взаимного влияния микронеровностей; влияние физико-механических факторов на изнашивание, виды трения и процессы, влияющие на износ деталей и рабочих органов машин.</p> <p><b>умеет</b> выбирать материалы пар трения и смазку трущихся поверхностей для обеспечения требуемого режима трения в сопряжении деталей.</p> <p><b>владеет</b> методами триботехнических испытаний на трение и износ поверхностей трения деталей и осуществлять приборный контроль результатов испытаний, владеет навыками осмотра технического состояния.</p>

### 3. Указание места дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Данная дисциплина (модуль) включена в Блок «Дисциплины, модули» Б1.О.20 основной профессиональной образовательной программы 23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства и относится к обязательной части учебного плана.

Для освоения дисциплины обучающиеся должны:

знать: основные законы физики, иметь представление об основах теории трения, свойствах твёрдых тел и жидкостей;

основные законы химии, иметь представление о свойствах твёрдых тел и жидкостей;

уметь: логически и последовательно излагать факты, объяснять причинно-следственные связи, используя общие и специальные понятия и термины;

владеть: навыками работы с учебной литературой и электронными базами данных.

№ п/п	Последующие дисциплины	Код и наименование индикатора достижения компетенции
1	Автотракторный транспорт	ПК-2.2, ПК-2.3
2	Эксплуатация подъемно-транспортных, строительных, дорожных средств и оборудования	УК-3.1, ПК-3.1, ПК-3.2, ПК-3.3
3	Надежность технических систем	УК-1.3, ПК-1.5, ПК-1.6
4	Детали машин и основы конструирования	УК-1.4, ОПК-1.4, ПК-2.1, ПК-4.2
5	Машины для землеройных работ	УК-2.3, УК-2.5, ОПК-4.2
6	Гидропневмопривод	ПК-4.1, ПК-4.4, ПК-4.5
7	Выполнение, подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы	УК-1.1, УК-1.2, УК-1.3, УК-1.4, УК-1.5, УК-1.6, УК-2.1, УК-2.2, УК-2.3, УК-2.4, УК-2.5, УК-3.1, УК-3.2, УК-3.3, УК-3.4, УК-4.1, УК-4.2, УК-4.3, УК-4.4, УК-5.1, УК-5.2, УК-5.3, УК-6.1, УК-6.2, УК-6.3, УК-7.1, УК-7.2, УК-7.3, УК-7.4, УК-8.1, УК-8.2, УК-8.3, УК-8.4, УК-9.1, УК-9.2, УК-9.3, УК-10.1, УК-10.2, УК-10.3, УК-10.4, УК-10.5, УК-11.1, УК-11.2, УК-11.3, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3, ОПК-1.4, ОПК-1.5, ОПК-1.6, ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-2.3, ОПК-3.1, ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.1, ОПК-4.2, ОПК-4.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5, ОПК-5.1, ОПК-5.2, ОПК-5.3, ОПК-6.1, ОПК-6.2, ОПК-6.3, ОПК-6.4, ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-1.4, ПК-1.5, ПК-1.6, ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-2.3, ПК-2.4, ПК-2.5, ПК-3.1, ПК-3.2, ПК-3.3, ПК-4.1, ПК-4.2, ПК-4.3, ПК-4.4, ПК-4.5, ОПК-7.1, ОПК-7.2, ОПК-7.3, ПК(Ц)-1.1, ПК(Ц)-1.2, ПК(Ц)-1.3, ПК(Ц)-1.4, ПК(Ц)-1.5, ПК(Ц)-1.6

**4. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся**

Вид учебной работы	Всего часов	Из них часы на практическую подготовку	Курс	
			1	2
<b>Контактная работа</b>	16		2	14
Лекционные занятия (Лек)	8	0	2	6
Практические занятия (Пр)	8	0		8
<b>Иная контактная работа, в том числе:</b>	1,5			1,5
консультации по курсовой работе (проекту), контрольным работам (РГР)	1			1
контактная работа на аттестацию (сдача зачета, зачета с оценкой; защита курсовой работы (проекта); сдача контрольных работ (РГР))	0,25			0,25
контактная работа на аттестацию в сессию (консультация перед экзаменом и сдача	0,25			0,25
<b>Часы на контроль</b>	8,75		0	8,75
<b>Самостоятельная работа (СР)</b>	117,75		34	83,75
<b>Общая трудоемкость дисциплины (модуля)</b>				
<b>часы:</b>	144		36	108
<b>зачетные единицы:</b>	4		1	3



3.1.	Классификация видов изнашивания. Механическое, коррозионное, усталостное, водородное и абразивное изнашивание.	2	1	1				11,7 5	13,75	ОПК-1.4, ОПК-1.5, ПК-2.4
3.2.	Изнашивание деталей машин, цепных передач и методы повышения их износостойкости.	2	1	1				8	10	ОПК-1.4, ПК-2.4
3.3.	Конструкционные и технологические методы повышения износостойкости деталей. Заключение по курсу.	2	1	1				12	14	ОПК-1.4, ОПК-1.5, ПК-2.4
4.	4 раздел. 4-й раздел: Иная контактная работа									
4.1.	Иная контактная работа.	2							1,25	ОПК-1.4, ОПК-1.5, ПК-2.4
5.	5 раздел. 5-й раздел: Контроль									
5.1.	Экзамен	2							9	ОПК-1.4, ОПК-1.5, ПК-2.4

#### 5.1. Лекции

№ разд	Наименование раздела и темы лекций	Наименование и краткое содержание лекций								
1	Введение в теорию трения и изнашивания. Историческая справка. Свойства поверхностных слоёв и их структура.	Введение в теорию трения и изнашивания. Историческая справка. Свойства поверхностных слоёв и их структура. Введение в теорию трения/изнашивания. Роль ведущих учёных. Механические свойства поверхностных слоёв. Структура поверхностных слоёв.								
5	Расчёт коэффициента трения. Факторы, влияющие на коэффициент трения. Переход от трения покоя к трению скольжения.	Расчёт коэффициента трения. Факторы, влияющие на коэффициент трения. Переход от трения покоя к трению скольжения. Переход от трения покоя к трению скольжения. Улучшенный подшипник скольжения.								
6	Трение при граничной смазке. Механизм смазочного действия при граничном/жидкостном трении и нагружение зоны контакта.	Трение при граничной смазке. Механизм смазочного действия при граничном/жидкостном трении и нагружение зоны контакта. Трение при наличии смазки. Диаграмма Герси-Штрибека. Эффективное смазывание зацеплений смазкой. Жидкостное трение. Приборный контроль адгезии и качества жидкой смазки.								
7	Трение качения, его природа, факторы влияющие на сопротивление качению.	Трение качения, его природа, факторы влияющие на сопротивление качению. Трение качения; позитивная и негативная роль смазки; органическая смазка.								

8	Классификация видов изнашивания. Механическое, коррозионное, усталостное, водородное и абразивное изнашивание.	Классификация видов изнашивания. Механическое, коррозионное, усталостное, водородное и абразивное изнашивание. Основные процессы изнашивания. Классификация видов изнашивания. Механическое, усталостное и абразивное изнашивание. Изнашивание инструмента при лезвийной обработке деталей и при обдирке поверхностей. Этапы изнашивания. Назначение гарантийных сроков ремонта, профилактики и замены деталей на новые.
9	Изнашивание деталей машин, цепных передач и методы повышения их износостойкости.	Изнашивание деталей машин, цепных передач и методы повышения их износостойкости. Изнашивание деталей машин и методы повышения их износостойкости. Окислительное изнашивание, изнашивание при пластической деформации. Коррозионное изнашивание. Эрозионное изнашивание. Изнашивание при фреттинг-коррозии. Контактная прочность и трещинообразование поверхностей. Водородное и усталостное изнашивание. Влияние смазки на величину контактных напряжений. Трещинообразование. Разрушение поверхностей качения, стыковых соединений, износ цепных передач и звездочек.
10	Конструкционные и технологические методы повышения износостойкости деталей. Заключение по курсу.	Конструкционные и технологические методы повышения износостойкости деталей. Заключение по курсу. Конструкционные и технологические методы повышения износостойкости деталей. Выбор материалов и правила сочетания материалов пар трения. Обеспечение требуемого режима трения. Учет температурных деформаций. Защита от загрязнения и варианты смазывания узлов трения. Химико-термическая обработка деталей. Гальванические покрытия. Получение рациональной формы шероховатости поверхностей трения. Заключение по курсу.

## 5.2. Практические занятия

№ разд	Наименование раздела и темы практических занятий	Наименование и содержание практических занятий
2	Топография поверхности. Параметры шероховатости. Кривая опорной поверхности Аббота.	Методы измерения волнистости и шероховатости. Расчет контактных деформаций и параметров Ra, Rz. Топография поверхности. Параметры шероховатости. Кривая опорной поверхности Аббота. Зависимость шероховатости и волнистости поверхности от вида обработки.
3	Контактная деформация выступов. Площади контакта шероховатых тел. Методы измерения волнистости и шероховатости.	Площади контакта шероховатых тел. Методы измерения волнистости и шероховатости и износа. Расчет контактных деформаций. Расчет контактных деформаций. Площади контакта шероховатых тел. Методы измерения волнистости и шероховатости.
4	Виды трения в узлах машин. Теория внешнего трения. Упругий и пластический контакты.	Виды трения в узлах машин. Теория внешнего трения. Упругий и пластический контакты. Виды трения в узлах механизмов и машин. Внешнее и внутреннее трение. Упругий и пластический контакты. «Сухое» трение. Граничное трение. Жидкостное и полужидкостное трение. Режимы трения в подшипнике скольжения. Трение качения. Способы подвода смазки.
6	Трение при граничной смазке. Механизм смазочного действия	Анализ развития износа при сухом контакте. Расчет сил трения в сухом контакте.



	при граничном/жидкостном трении и нагружении зоны контакта.	
8	Классификация видов изнашивания. Механическое, коррозионное, усталостное, водородное и абразивное изнашивание.	Нелинейная компьютерная аппроксимация износа при чётном числе точек наблюдения. Расчет на усталостный износ.
9	Изнашивание деталей машин, цепных передач и методы повышения их износостойкости.	Нелинейная компьютерная аппроксимация износа при нечётном числе точек наблюдения. Расчет на абразивный износ.
10	Конструкторские и технологические методы повышения износостойкости деталей. Заключение по курсу.	Конструкторско-технологические методы повышения износостойкости трибосопряжений и надёжности. Пути достижения повышения износостойкости трибосопряжений и пар трения.

### 5.3. Самостоятельная работа обучающихся

№ разд	Наименование раздела дисциплины и темы	Содержание самостоятельной работы
1	Введение в теорию трения и изнашивания. Историческая справка. Свойства поверхностных слоёв и их структура.	Подготовка к занятию по изучению свойств и структур сплавов. Компоненты, фазы и структурные составляющие сплавов железа с углеродом.
2	Топография поверхности. Параметры шероховатости. Кривая опорной поверхности Аббота.	Подготовка к практическому занятию по определению расчетных параметров Ra, Rz. Макрогеометрические отклонения; волнистость поверхности; шероховатость поверхности. Основные характеристики микрогеометрии в соответствии с ГОСТ.
3	Контактная деформация выступов. Площади контакта шероховатых тел. Методы измерения волнистости и шероховатости.	Подготовка к практическому занятию. Показатели качества поверхности. Качество поверхности деталей характеризуется микро- и макрогеометрией поверхности. Система дефектов - слабых мест поверхности детали - является основной, на которой, начиная с самых малых деформаций, развиваются микротрещины.
4	Виды трения в узлах машин. Теория внешнего трения. Упругий и пластический контакты.	Подготовка к занятию о явление внешнего трения. Внешнее трение, двойственность природы трения, трение первого рода, трение второго рода, трение третьего рода.

5	Расчёт коэффициента трения. Факторы, влияющие на коэффициент трения. Переход от трения покоя к трению скольжения.	Подготовка к практическому занятию. Коэффициент трения покоя (статический коэффициент трения). Коэффициент трения скольжения. Коэффициент трения покоя, коэффициент трения скольжения, трение покоя, трение скольжения.
6	Трение при граничной смазке. Механизм смазочного действия при граничном/жидкостном трении и нагружение зоны контакта.	Подготовка к практическому занятию. Трение без смазочного материала. Молекулярные силы при отсутствии промежуточной вязкой прослойки (влаги, загрязнения, смазочного материала и т.п.) вызывают на участках контакта адгезию.
7	Трение качения, его природа, факторы влияющие на сопротивление качению.	Подготовка к занятию о явление трения качения. Трение качения, или трение второго рода, — это трение движения двух соприкасающихся твердых тел. Трение качения с проскальзыванием, или трение третьего рода, — это трение движения двух соприкасающихся твердых тел при одновременном качении и скольжении.
8	Классификация видов изнашивания. Механическое, коррозионное, усталостное, водородное и абразивное изнашивание.	Подготовка к практическому занятию. Усталостная теория изнашивания. Изучение материала лекций, а также практического занятия для выполнения КР. Усталостная теория изнашивания базируется на молекулярно-механической теории трения. Пятно контакта испытывает многократное воздействие (тепловое, механическое) других пятен контакта. В результате в материале образуется трещина, и происходит его разрушение.
9	Изнашивание деталей машин, цепных передач и методы повышения их износостойкости.	Подготовка к практическому занятию. Абразивный износ, его природа. Изучение материала лекций, а также практического занятия для продолжения выполнения КР. Износ происходит из-за материала (или минерала) искусственного или естественного происхождения, разрушающий поверхности трения в зоне подвижного контакта; путём царапания, резания или скобления.
10	Конструкционные и технологические методы повышения износостойкости деталей. Заключение по курсу.	Подготовка к практическому занятию. Оптимальные методы подбора пар трения, трибосопряжений, выполнение КР. Рассмотреть многочисленные подвижные сопряжения кулачковых механизмов, варианты расчётов конструктивных особенностей и динамики работы кулачковых механизмов.

## 6. Методические материалы для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)

В рамках самостоятельной работы по изучению дисциплины обучающимся необходимо: повторить законспектированный на лекционном занятии материал и дополнить его с учетом рекомендованной по данной теме литературы; при самостоятельном изучении теоретической темы сделать конспект, используя рекомендованные в РПД источники; выполнить практические задания в рамках изучаемой темы.

## 7. Оценочные материалы для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)

### 7.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения дисциплины

№ п/п	Контролируемые разделы дисциплины (модуля)	Код и наименование индикатора контролируемой компетенции	Вид оценочного средства
1	Введение в теорию трения и изнашивания. Историческая справка. Свойства поверхностных слоёв и их структура.	ОПК-1.4, ОПК-1.5, ПК-2.4	Теоретические вопросы.
2	Топография поверхности. Параметры шероховатости. Кривая опорной поверхности Аббота.	ОПК-1.4, ОПК-1.5, ПК-2.4	Теоретические вопросы.
3	Контактная деформация выступов. Площади контакта шероховатых тел. Методы измерения волнистости и шероховатости.	ОПК-1.4, ОПК-1.5, ПК-2.4	Теоретические вопросы.
4	Виды трения в узлах машин. Теория внешнего трения. Упругий и пластический контакты.	ОПК-1.4, ОПК-1.5, ПК-2.4	Теоретические вопросы. Практические задания.
5	Расчёт коэффициента трения. Факторы, влияющие на коэффициент трения. Переход от трения покоя к трению скольжения.	ОПК-1.4, ОПК-1.5, ПК-2.4	Теоретические вопросы. Практические задания.
6	Трение при граничной смазке. Механизм смазочного действия при граничном/жидкостном трении и нагружение зоны контакта.	ОПК-1.4, ОПК-1.5, ПК-2.4	Теоретические вопросы. Практические задания.
7	Трение качения, его природа, факторы влияющие на сопротивление качению.	ОПК-1.4, ОПК-1.5, ПК-2.4	Теоретические вопросы. Практические задания.
8	Классификация видов изнашивания. Механическое, коррозионное, усталостное, водородное и абразивное изнашивание.	ОПК-1.4, ОПК-1.5, ПК-2.4	Теоретические вопросы.
9	Изнашивание деталей машин, цепных передач и методы повышения их износостойкости.	ОПК-1.4, ПК-2.4	Теоретические вопросы.
10	Конструкционные и технологические методы повышения износостойкости деталей. Заключение по курсу.	ОПК-1.4, ОПК-1.5, ПК-2.4	Теоретические вопросы.
11	Иная контактная работа.	ОПК-1.4, ОПК-1.5, ПК-2.4	
12	Экзамен	ОПК-1.4, ОПК-1.5, ПК-2.4	

7.2. Типовые контрольные задания или иные материалы текущего контроля успеваемости, необходимые для оценки знаний, умений и навыков и (или) опыта профессиональной деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения дисциплины

Самостоятельные работы (СР)

(для проверки сформированности индикатора достижений компетенций (ОПК-1.4, ОПК-1.5, ПК-2.4)

1. Анализ шероховатости и волнистости поверхностей деталей, расчет параметров.
2. Определение коэффициента трения покоя с написанием компьютерной программы, конус трения.
3. Анализ и подбор стендов и приборов для трибоиспытаний и контроля, патентный поиск.
4. Анализ развития износа деталей при сухом контакте и последующая обработка данных.
5. Расчет деталей на износ при возвратно-поступательном и качательном движениях, кулачковые механизмы.
6. Построение графической зависимости в оценке изменений вероятности безотказной работы с увеличением времени наработки; подбор закона распределения, для описания отказов различных деталей и систем.

Самостоятельные работы выполняются на практических занятиях по заданиям составленным преподавателем.

Тестовые задания выполняются студентами при защите самостоятельной работы.

Тестовые задания

1. Что такое трибология и триботехника?
2. Что такое «Антифрикционность»?
3. Что такое «Третье тело»?
4. Триада И.В. Крагельского? (три последовательных этапа).
5. Что такое изнашивание и износ?
6. Трение покоя, движения, скольжения, качения, верчения?
7. Как рассчитать коэффициент трения покоя?
8. Как построить на компьютере коэффициент трения покоя в оболочке MathCad с учётом взаимной ориентации шероховатостей тела и контртела?
9. Что такое «Латентный период» граничной смазки по Харди?
10. Что такое «Интенсивность изнашивания»?
11. Что такое «Скорость изнашивания»?
12. Основные виды смазок?
13. Циркуляционное, ресурсное и одноразовое проточное смазывание?
14. Способы подвода смазки в сопряжение?
15. Вязкость, индекс вязкости, кинематическая вязкость?
16. Динамическая вязкость?
17. Типы присадок к смазочным материалам?
18. Седиментация и синергетика?
19. Адгезия и когезия?
20. Приведите примеры трибологических законов: по Шарлю Кулону, по Дерягину Б.В., по Гийому Амонтону.
21. Геометрическое изображение связи силы трения и нагрузки.
22. Номинальная, контурная и фактическая площади контакта/трения?
23. Специфика «насыщенного контакта»?
24. Формулы для определения параметров шероховатостей Ra и Rz.
25. Как построить кривую опорной поверхности Аббота?
26. Как рассчитать величину сближения/внедрения сферического индентора при вдавливании его в пластическое полупространство?
27. В чём эффекты Ребиндера?
28. Что такое гидрофильность и гидрофобность?
29. Изобразите и поясните динамическую модель Ван-дер-Поля для фрикционных автоколебаний.
30. Опишите суть качения упругих круглых тел.

31. Изобразите модели Кельвина-Фойгта, Максвелла и Прандтля.
32. Что такое «Реология» и модели Гука, Ньютона и Сен-Венана?
33. Механизм предварительного смещения твёрдых тел при внешнем трении.
34. Закон «сухого» трения в теории Хайкина-Кайдановского и Ишлинского-Крагельского.
35. Фреттинг и его упругий контакт.
36. Опишите тест «Вал-втулка».
37. Суть и значение приработки деталей.
38. Варианты уравнений для нелинейного описания процессов трения/изнашивания.
39. Суть кривой Герси-Штрибека.
40. Примеры конструктивного и технологического улучшения пар трения.

7.3. Система оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю) при проведении текущего контроля успеваемости

<p>Оценка «отлично» (зачтено)</p>	<p>знания:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам дисциплины, а также по основным вопросам, выходящим за пределы учебной программы;</li> <li>- точное использование научной терминологии, систематически грамотное и логически правильное изложение ответа на вопросы;</li> <li>- полное и глубокое усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной рабочей программой по дисциплине (модулю)</li> </ul> <p>умения:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- умеет ориентироваться в теориях, концепциях и направлениях дисциплины и давать им критическую оценку, используя научные достижения других дисциплин</li> </ul> <p>навыки:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- высокий уровень сформированности заявленных в рабочей программе компетенций;</li> <li>- владеет навыками самостоятельно и творчески решать сложные проблемы и нестандартные ситуации;</li> <li>- применяет теоретические знания для выбора методики выполнения заданий;</li> <li>- грамотно обосновывает ход решения задач;</li> <li>- безупречно владеет инструментарием учебной дисциплины, умение его эффективно использовать в постановке научных и практических задач;</li> <li>- творческая самостоятельная работа на практических/семинарских/лабораторных занятиях, активно участвует в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий</li> </ul>
---------------------------------------	---

<p>Оценка «хорошо» (зачтено)</p>	<p>знания: - достаточно полные и систематизированные знания по дисциплине; - усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной рабочей программой по дисциплине (модулю)</p> <p>умения: - умеет ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях дисциплины и давать им критическую оценку; - использует научную терминологию, лингвистически и логически правильно излагает ответы на вопросы, умеет делать обоснованные выводы; - владеет инструментарием по дисциплине, умение его использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач</p> <p>навыки: - самостоятельная работа на практических занятиях, участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий; - средний уровень сформированности заявленных в рабочей программе компетенций; - без затруднений выбирает стандартную методику выполнения заданий; - обосновывает ход решения задач без затруднений</p>
<p>Оценка «удовлетворительно» (зачтено)</p>	<p>знания: - достаточный минимальный объем знаний по дисциплине; - усвоение основной литературы, рекомендованной рабочей программой; - использование научной терминологии, стилистическое и логическое изложение ответа на вопросы, умение делать выводы без существенных ошибок</p> <p>умения: - умеет ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по дисциплине и давать им оценку; - владеет инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в решении типовых задач; - умеет под руководством преподавателя решать стандартные задачи</p> <p>навыки: - работа под руководством преподавателя на практических занятиях, допустимый уровень культуры исполнения заданий; - достаточный минимальный уровень сформированности заявленных в рабочей программе компетенций; - испытывает затруднения при обосновании алгоритма выполнения заданий</p>
<p>Оценка «неудовлетворительно» (не зачтено)</p>	<p>знания: - фрагментарные знания по дисциплине; - отказ от ответа (выполнения письменной работы); - знание отдельных источников, рекомендованных рабочей программой по дисциплине;</p> <p>умения: - не умеет использовать научную терминологию; - наличие грубых ошибок</p> <p>навыки: - низкий уровень культуры исполнения заданий; - низкий уровень сформированности заявленных в рабочей программе компетенций; - отсутствие навыков самостоятельной работы; - не может обосновать алгоритм выполнения заданий</p>

7.4. Теоретические вопросы и практические задания для проведения промежуточной аттестации обучающихся, необходимые для оценки знаний, умений и навыков и (или) опыта профессиональной деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

#### 7.4.1. Теоретические вопросы для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Примерные теоретические вопросы для проведения промежуточной аттестации обучающихся

1. Приведите определения и их примеры: внешнее и внутреннее трения, поверхность трения, сила трения, коэффициент трения, вращающий момент.
2. Приведите определения и их примеры: трение покоя, трение движения, трение скольжения, трение качения, трение качения с проскальзыванием, трение верчения.
3. Приведите определения и их примеры: трение без смазочного материала, трение со смазочным материалом, граничное и жидкостное трение.
4. Приведите определения изнашивания и их примеры: механическое, абразивное, гидро- и газоабразивное, гидроэрозионное, усталостное, кавитационное, окислительное.
5. Приведите определения и их примеры: фреттинг, изнашивание при заедании, коррозионно-механическое изнашивание, электроэрозионное изнашивание, при схватывании поверхностей.
6. Приведите определения и их примеры: износ, скорость изнашивания, интенсивность изнашивания, износостойкость.
7. Приведите определения и их примеры: перенос металла, заедание, задир, царапание, отслаивание, выкрашивание, шелушение, расслоение, растрескивание.
8. Приведите определения и их примеры: приработка, смазка, смазывание, смазочный материал, газовая смазка, жидкостная смазка, пластичная (консистентная) смазка, твердая смазка.
9. Приведите определения и их примеры: гидродинамическая смазка, гидростатическая смазка, газостатическая смазка, вязкость, присадка, поверхностно-активные вещества (ПАВ).
10. Отличительные особенности определений макроотклонения, волнистости и шероховатости поверхности детали. Понятие о субмикрощероховатости поверхности твердого тела.
11. Методы измерения шероховатости поверхности: щуповой, оптический, растровый, светового и теневого свечения, микроинтерференционный, метод слепков, сканированием, растровым микроскопом (контактным и бесконтактным методом).
12. Устройство и принцип действия профилометра и профилографа. Методы построения профилограммы, её анализ и обработка данных.
13. Параметры шероховатости поверхности, получаемые на профилограмме: средняя линия, базовая длина, среднее арифметическое отклонение профиля, высота неровностей профиля по десяти точкам, наибольшая высота неровностей профиля, средний шаг местных выступов профиля, средний шаг неровностей профиля, глубина впадин.
14. Измерение шероховатости поверхности, характеристика параметров шероховатости по полученной профилограмме. Методика построения кривой опорной поверхности.
15. Понятие о площадках контакта пар трения. Периодический профиль, случайный профиль, отклонения профиля шероховатости поверхности тела. Средняя линия профиля. Линии выступов и впадин профиля. Наибольшая высота неровностей.
16. Рациональный характер гребешков шероховатости.
17. Волнистость поверхности. Средняя линия профиля волнистости. Высота волнистости. Средний шаг волнистости.
18. Типы направление неровностей (схематичное изображение): параллельный, перпендикулярный, перекрещивающийся, произвольный, кругообразный, радиальный, точечный. Цель применения и примеры видов регулярных микрорельефов на поверхностях деталей.
19. Условное обозначение шероховатости поверхности деталей на рабочих чертежах.
20. Виды трения и их характеристика. Двойственная природа трения, описанная законом Кулона. Атомно-молекулярная теория внешнего трения Б.В. Дерягина. Определения коэффициента трения твёрдых тел расчётным путём.
21. Трение скольжения и качения. Трение качения с проскальзыванием. Коэффициент трения скольжения. Сила трения скольжения.
22. Сухое и граничное трение. Жидкостное трение. Полусухое трение. Внутреннее трение. Трение покоя. Коэффициент трения покоя. Построение годографа для коэффициента трения покоя.
23. Законы трения (законы Кулона). Угол трения покоя  $\varphi$ . Коэффициент трения скольжения. Конус трения покоя. Значения коэффициентов трения покоя и скольжения в сухом и смазанном состояниях (пример).
24. Понятие о коэффициенте сцепления автомобильной шины с дорогой. Значения коэффициента в зависимости от скорости автомобиля, состояния шины и дорожного покрытия

(пример). Коэффициент трения скольжения шин (при заблокированных колесах).

25. Трение качения. Коэффициент трения качения (пример). Определение движущей силы, необходимой для качения цилиндра (колеса). Коэффициент сопротивления качению шин автомобиля (пример).

26. Коэффициент полезного действия механизмов и машин (пример). Определение механического КПД машины при последовательном соединении механизмов. Преобразование вращающего момента трансмиссией автомобиля (пример). Факторы, влияющие на КПД машины.

27. Движение тела по наклонной плоскости.

28. Пример автоколебаний системы.

29. Гидродинамический режим трения в подшипниках скольжения. Образование жидкостного трения в подшипнике скольжения. Стабилизация сохранения масляной плёнки в подшипнике скольжения.

30. Сущность гидродинамической теории смазки на примере трения цапфы радиусом  $rc$  и длиной  $l$  в подшипнике скольжения при ее концентричном вращении.

31. Обеспечение постоянства смазывания пластичными смазками зоны контакта зубьев и в кулачковых механизмах.

32. Варианты работы фрикционных тормозных систем.

33. Работа фрикционных муфт и автосцепных механизмов.

34. Режимы течения сред. Кинематическая и динамическая вязкость.

35. Системы устранения износа валиков/цапф.

36. Способы быстрого устранения износа подшипников скольжения.

37. Способы быстрого устранения износа направляющих станков.

38. Повышение срока службы деталей фрикционного гасителя колебаний «втулка-фрикционный клин/сухарь/».

39. Способ повышения работы асфальтобетонного покрытия дорог без быстрого появления канав от катящихся шин автомобилей.

40. Классификации видов изнашивания и их характеристика.

41. Избирательный перенос в узлах трения.

42. Обеспечение существенного уменьшения напряжений в поверхностных слоях деталей, образующих пары трения, с использованием специальной смазки.

43. Варианты сохранения пластичных смазок в зубчатых зацеплениях при разном их пространственном расположении.

44. Приборный контроль адгезии и качества пластичных смазок.

45. Приборный контроль качества и адгезии жидких смазок.

46. Примеры конструктивного обеспечения надёжности работы пар трения.

47. Примеры технологического обеспечения надёжности работы пар трения.

48. Влияние процентного содержания химических элементов в структуре материала на износостойкость и прочностные качества деталей.

49. Варианты математического описания нелинейного характера развития износа с использованием компьютерных программ.

50. Основы оценки и прогнозирования работы трибосопряжений.

#### 7.4.2. Практические задания для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Тема 1: Нелинейное описание процесса изнашивания при нечётном числе точек наблюдения (например, 7 в функции наработки (например, часы или дни). Решение и запись программы делается в оболочке MathCad. Исходные статистические данные выдаёт преподаватель. Студент записывает компьютерную программу и строит график, отражающий характер развития износа.

Тема 2. Нелинейное описание процесса изнашивания при чётном числе точек наблюдения (например, 8 в функции наработки (например, часы или дни). Решение и запись программы делается в оболочке MathCad. Исходные статистические данные выдаёт преподаватель. Студент записывает компьютерную программу и строит график, отражающий характер развития износа.

Тема 3. Нелинейная аппроксимация статистических данных по теме 1 с использованием сплайн-интерполяции.

Тема 4. Сглаживание процесса изнашивания по полученным данным об износе с использованием регрессионного анализа в виде отрезков полиномов второй степени для темы 1.

Тема 5. Сглаживание процесса изнашивания по полученным данным об износе с



использованием полиномиальной регрессии для темы 2.

Тема 6. Применение обработки статистических данных об отказах изнашивающихся деталей с применением экспоненциального закона для расчёта вероятности безотказной работы следующего вида:  $P(t) = \exp(-\lambda t)$ . Конкретные параметры для интенсивности отказов  $\lambda$  и величин наработки  $t$  задаёт преподаватель, а компьютерную программу пишет студент.

#### 7.4.3. Примерные темы курсовой работы (проекта) (при наличии)

Рациональный подбора пар трения у различных механизмов (кулачковых, кривошипно-ползунного механизма). Задача формулируется так: обеспечить примерно одинаковую наработку до наступления регламентированного конструктором предельного износа сразу для всех пар трения в механизме. Нужный результат достичь только конструктивным приёмом. Общая наработка до появления срока замены пар трения должна составлять 500-2000 часов непрерывной работы механизма. Следует одновременно учитывать допуски на изготовление деталей, темп развития износа поверхностей трения и установленные предельные допуски, руководствуясь в этом плане некоторой известной справочной априорной информацией. Заданы исходные размеры и допуски. Используя полученные данные, строим графики и сравниваем их с техническими требованиями на эксплуатацию данного механизма, используя компьютерную оболочку MathCad. Путем технически грамотного подбора материалов пар трения по твердости, шероховатости и структуре, обеспечиваем требуемый цикл их безаварийной работы. Задание для КР брать у преподавателя данной дисциплины.

#### 7.5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта профессиональной деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций

Процедура проведения промежуточной аттестации и текущего контроля успеваемости регламентируется локальным нормативным актом, определяющим порядок организации и проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся. Процедура оценивания формирования компетенций при проведении текущего контроля приведена в п.7.3. Типовые контрольные задания или иные материалы текущего контроля приведены в п.7.2. Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в форме экзамена. В экзаменационный билет включено два теоретических вопроса и практическое задание, соответствующие содержанию формируемых компетенций. Экзамен проводится в устной форме. Для подготовки по экзаменационному билету отводится 40 минут.

#### 7.6. Критерии оценивания сформированности компетенций при проведении промежуточной аттестации

Критерии оценивания	Уровень освоения и оценка			
	Оценка «неудовлетворительно»	Оценка «удовлетворительно»	Оценка «хорошо»	Оценка «отлично»
	«не зачтено»	«зачтено»		

	<p>Уровень освоения компетенции «недостаточный». Компетенции не сформированы. Знания отсутствуют, умения и навыки не сформированы</p>	<p>Уровень освоения компетенции «пороговый». Компетенции сформированы. Сформированы базовые структуры знаний. Умения фрагментарны и носят репродуктивный характер. Демонстрируется низкий уровень самостоятельности практического навыка.</p>	<p>Уровень освоения компетенции «продвинутый». Компетенции сформированы. Знания обширные, системные. Умения носят репродуктивный характер, применяются к решению типовых заданий. Демонстрируется достаточный уровень самостоятельности устойчивого практического навыка.</p>	<p>Уровень освоения компетенции «высокий». Компетенции сформированы. Знания аргументированные, всесторонние. Умения успешно применяются к решению как типовых, так и нестандартных творческих заданий. Демонстрируется высокий уровень самостоятельности, высокая адаптивность практического навыка</p>
знания	<p>Обучающийся демонстрирует: -существенные пробелы в знаниях учебного материала; -допускаются принципиальные ошибки при ответе на основные вопросы билета, отсутствует знание и понимание основных понятий и категорий; -непонимание сущности дополнительных вопросов в рамках заданий билета.</p>	<p>Обучающийся демонстрирует: -знания теоретического материала; -неполные ответы на основные вопросы, ошибки в ответе, недостаточное понимание сущности излагаемых вопросов; -неуверенные и неточные ответы на дополнительные вопросы.</p>	<p>Обучающийся демонстрирует: -знание и понимание основных вопросов контролируемого объема программного материала; -знания теоретического материала -способность устанавливать и объяснять связь практики и теории, выявлять противоречия, проблемы и тенденции развития; -правильные и конкретные, без грубых ошибок, ответы на поставленные вопросы.</p>	<p>Обучающийся демонстрирует: -глубокие, всесторонние и аргументированные знания программного материала; -полное понимание сущности и взаимосвязи рассматриваемых процессов и явлений, точное знание основных понятий, в рамках обсуждаемых заданий; -способность устанавливать и объяснять связь практики и теории, -логически последовательные, содержательные, конкретные и исчерпывающие ответы на все задания билета, а также дополнительные вопросы экзаменатора.</p>

<p>умения</p>	<p>При выполнении практического задания билета обучающийся продемонстрировал недостаточный уровень умений. Практические задания не выполнены. Обучающийся не отвечает на вопросы билета при дополнительных наводящих вопросах преподавателя.</p>	<p>Обучающийся выполнил практическое задание билета с существенными неточностями. Допускаются ошибки в содержании ответа и решении практических заданий. При ответах на дополнительные вопросы было допущено много неточностей.</p>	<p>Обучающийся выполнил практическое задание билета с небольшими неточностями. Показал хорошие умения в рамках освоенного учебного материала. Предложенные практические задания решены с небольшими неточностями. Ответил на большинство дополнительных вопросов.</p>	<p>Обучающийся правильно выполнил практическое задание билета. Показал отличные умения в рамках освоенного учебного материала. Решает предложенные практические задания без ошибок. Ответил на все дополнительные вопросы.</p>
<p>владение навыками</p>	<p>Не может выбрать методику выполнения заданий. Допускает грубые ошибки при выполнении заданий, нарушающие логику решения задач. Делает некорректные выводы. Не может обосновать алгоритм выполнения заданий.</p>	<p>Испытывает затруднения по выбору методики выполнения заданий. Допускает ошибки при выполнении заданий, нарушения логики решения задач. Испытывает затруднения с формулированием корректных выводов. Испытывает затруднения при обосновании алгоритма выполнения заданий.</p>	<p>Без затруднений выбирает стандартную методику выполнения заданий. Допускает ошибки при выполнении заданий, не нарушающие логику решения задач. Делает корректные выводы по результатам решения задачи. Обосновывает ход решения задач без затруднений.</p>	<p>Применяет теоретические знания для выбора методики выполнения заданий. Не допускает ошибок при выполнении заданий. Самостоятельно анализирует результаты выполнения заданий. Грамотно обосновывает ход решения задач.</p>

Оценка по дисциплине зависит от уровня сформированности компетенций, закрепленных за дисциплиной, и представляет собой среднее арифметическое от выставленных оценок по отдельным результатам обучения (знания, умения, владение навыками).

Оценка «отлично»/«зачтено» выставляется, если среднее арифметическое находится в интервале от 4,5 до 5,0.

Оценка «хорошо»/«зачтено» выставляется, если среднее арифметическое находится в интервале от 3,5 до 4,4.

Оценка «удовлетворительно»/«зачтено» выставляется, если среднее арифметическое находится в интервале от 2,5 до 3,4.

Оценка «неудовлетворительно»/«не зачтено» выставляется, если среднее арифметическое находится в интервале от 0 до 2,4.

## 8. Учебно-методическое и материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

### 8.1. Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

№ п/п	Автор, название, место издания, издательство, год издания учебной и учебно-методической литературы	Количество экземпляров/электронный адрес ЭБС
<b><u>Основная литература</u></b>		
1	Чмиль В. П., Чмиль Ю. В., Автотранспортные средства, Санкт-Петербург: Лань, 2022	<a href="https://e.lanbook.com/book/210593">https://e.lanbook.com/book/210593</a>
2	Харламов Ю. А., Вишневский Д. А., Жильцов А. П., Основы триботехники, Липецк: Липецкий государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2018	<a href="http://www.iprbookshop.ru/88791.html">http://www.iprbookshop.ru/88791.html</a>
<b><u>Дополнительная литература</u></b>		
1	Густов Ю. И., Триботехника строительных машин и оборудования, Москва: Московский государственный строительный университет, ЭБС АСВ, 2011	<a href="http://www.iprbookshop.ru/16326.html">http://www.iprbookshop.ru/16326.html</a>
<b><u>Учебно-методическая литература</u></b>		
1	Чмиль В. П., Теория механизмов и машин, Санкт-Петербург: Лань, 2022	<a href="https://e.lanbook.com/book/264521">https://e.lanbook.com/book/264521</a>

Обучающиеся из числа инвалидов и лиц с ОВЗ обеспечиваются печатными и (или) электронными образовательными ресурсами в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья.

### 8.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (модуля)

Наименование ресурса сети «Интернет»	Электронный адрес ресурса
Основы триботехники	<a href="https://moodle.spbgasu.ru/enrol/index.php?id=1332">https://moodle.spbgasu.ru/enrol/index.php?id=1332</a>
Лужнов, Ю.М. Основы триботехники: уч. пособие/Ю.М. Лужнов, В.Д. Александров: под ред. Ю.М. Лужнова. – М.: МАДИ, 2013. – 136 с.	<a href="http://lib.madi.ru/fel/fel1/fel13E121.pdf">http://lib.madi.ru/fel/fel1/fel13E121.pdf</a>
Войнов К.Н. Триботехника и надежность механических систем: Уч.-метод. пособие. –СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2014. – 74 с.	<a href="https://books.ifmo.ru/file/pdf/1653.pdf">https://books.ifmo.ru/file/pdf/1653.pdf</a>

### 8.3. Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем

Наименование	Электронный адрес ресурса
Электронно-библиотечная система издательства "IPRsmart"	<a href="http://www.iprbookshop.ru/">http://www.iprbookshop.ru/</a>
Система дистанционного обучения СПбГАСУ Moodle	<a href="https://moodle.spbgasu.ru/">https://moodle.spbgasu.ru/</a>
Электронная библиотека Ирбис 64	<a href="http://ntb.spbgasu.ru/irbis64r_plus/">http://ntb.spbgasu.ru/irbis64r_plus/</a>
Электронно-библиотечная система издательства "Лань"	<a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>
Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU	<a href="https://www.elibrary.ru/">https://www.elibrary.ru/</a>

### 8.4. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения

Наименование	Способ распространения (лицензионное или свободно распространяемое)
SciLab версия 6.0.1	Свободно распространяемое

Math Cad версия 15	Сублицензионное соглашение на использование продуктов "РТС" с ООО"Софт Лоджистик" договор №20716/SPB9 2010 г. Лицензия бессрочная
КОМПАС-3D Машиностроение и строительства	Договор № АСЗ-23-00025 от 30.01.2023 г. Лицензия бессрочная

#### 8.5. Материально-техническое обеспечение дисциплины

##### Сведения об оснащённости учебных аудиторий и помещений для самостоятельной работы

Наименование учебных аудиторий и помещений для самостоятельной работы	Оснащённость оборудованием и техническими средствами обучения
59. Учебные аудитории для проведения лекционных занятий	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, комплект мультимедийного оборудования (персональный компьютер, мультимедийный проектор, экран, аудиосистема), доска, экран, комплект учебной мебели, подключение к компьютерной сети СПбГАСУ, выход в Интернет.
59. Компьютерный класс	Компьютерный класс - рабочие места с ПК (стол компьютерный, системный блок, монитор, клавиатура, мышь), стол рабочий, подключение к компьютерной сети СПбГАСУ, выход в Internet.
59. Помещения для самостоятельной работы	Помещение для самостоятельной работы (читальный зал библиотеки, ауд. 217): ПК-23 шт., в т.ч. 1 шт.- ПК для лиц с ОВЗ (системный блок, монитор, клавиатура, мышь) с подключением к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду СПбГАСУ.
59. Учебные аудитории для проведения практических занятий, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации	Учебная аудитория для проведения практических занятий, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации – комплект мультимедийного оборудования (персональный компьютер, мультимедийный проектор, экран, аудиосистема), доска, комплект учебной мебели, подключение к компьютерной сети СПбГАСУ, выход в Интернет.

Для инвалидов и лиц с ОВЗ обеспечиваются специальные условия для получения образования в соответствии с требованиями нормативно-правовых документов.