

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Максимов Алексей Борисович
Должность: директор департамента по образовательной политике
Дата подписания: 25.09.2023 16:46:22
Уникальный программный ключ:
8db180d1a3f02ac9e60521a5672742735c18b1d6

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ

И.о. декана транспортного факультета
М.Н. Лукьянов

“ 20 ” 2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Механика контактного взаимодействия и разрушения»

Направление подготовки

23.04.02 Наземные транспортно-технологические комплексы

Профиль

«Компьютерное моделирование и прочностной анализ транспортно-технологических комплексов»

Квалификация (степень) выпускника

Магистр

Форма обучения

Очная

Москва 2022 г.

1. Цели освоения дисциплины.

Основными целями освоения дисциплины «Механика контактного взаимодействия и разрушения» следует считать:

- подготовку магистра к деятельности, связанной с проектированием ответственных конструкций транспортно-технологических комплексов с применением концепций механики разрушения и современных экспериментальных и расчетных средств;
- подготовку специалистов, способных самостоятельно решать возникающие в инженерной практике задачи анализа и обоснования прочности, долговечности и ресурса транспортно-технологических комплексов при наличии в них концентраторов напряжений и повреждений в виде трещин, возникших как на стадии изготовления, так и на стадии эксплуатации.

К основным задачам освоения дисциплины «Механика контактного взаимодействия и разрушения» следует отнести:

- изучение методов и средств определения трещиностойкости сплавов и новых композитных материалов;
- ознакомление студентов с современными методами физики и механики разрушения твердого тела;
- изучение и практическое освоение принципов и методов: расчета прочности по критериям механики разрушения, анализа долговечности и продления ресурса;
- освоение методов проектирования ответственных конструкций по критерию исключения возможности катастрофического разрушения в результате роста магистральной трещины или накопления критического уровня рассеянных повреждений для заданного вида нагружения;
- ознакомление с основными принципами обеспечения техногенной безопасности критически важных объектов с применением концепций линейной и нелинейной механики разрушения.

2. Место дисциплины в структуре ООП магистратуры.

Дисциплина «Механика контактного взаимодействия и разрушения» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений Блока 1 основной образовательной программы магистратуры.

«Механика контактного взаимодействия и разрушения» взаимосвязана логически и содержательно-методически со следующими дисциплинами и практиками ООП:

- Технология конструирования и расчет наземных транспортных систем;
- Надежность и диагностика механических систем;
- Динамика транспортно-технологических комплексов

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

В результате освоения дисциплины у обучающихся формируются следующие компетенции и должны быть достигнуты следующие результаты обучения как этап формирования соответствующих компетенций:

Код компетенции	В результате освоения образовательной программы обучающийся должен обладать:	Перечень планируемых результатов
ПК-1	Способен организовывать разработку конструкций АТС и их компонентов	ИПК-1.1 Систематизирует инженерные данные с учетом технических требований ИПК-1.2 Определяет методики расчетов систем АТС и их компонентов ИПК-1.3 Анализирует влияние ключевых факторов на выходные характеристики АТС и их компонентов ИПК-1.4 Анализирует прочностные свойства материалов и прочностные свойства компонентов АТС, связанных особенностями конструкций ИПК-1.5 Анализирует лучшие практики разработки АТС и их компонентов

4. Структура и содержание дисциплины.

Общая трудоемкость дисциплины составляет **3** зачетных единицы, т.е. **108** академических часов (из них 64 часа – самостоятельная работа студентов).

На первом курсе в **первом** семестре выделяются **3** зачетные единицы, т.е. **108** академических часов (из них 64 часа – самостоятельная работа студентов).

Первый семестр: лекции – 1 час в неделю (14 часов), семинарские занятия – 2 часа в неделю (30 часов), форма контроля – экзамен.

Структура и содержание дисциплины «Механика контактного взаимодействия и разрушения» по срокам и видам работы отражены в Приложении 1.

Содержание разделов дисциплины.

Первый семестр

А. Введение и механизмы контактного взаимодействия

Трибология: трение, износ, смазка. Контактная задача. Механизмы контактного усталостного разрушения. Трибофатика: основные положения и модели разрушения. Коррозионное растрескивание под напряжением. Водородное охрупчивание. Модельные представления о микромеханизмах разрушения на уровне структурных элементов (зерен): транскристаллитный и межзеренный скол, вязкое разрушение (рост пор), разрушение при усталости (бороздчатый рельеф). Связь механики разрушения с физикой твердого тела. Усталость. Усталостный рост трещины. Механизмы роста усталостных трещин, кинетическая диаграмма циклической трещиностойкости. Влияние асимметрии и частоты цикла нагружения на распространение трещин. Механизмы закрытия трещины. Расчет долговечности поврежденных конструкций. Континуальные теории накопления повреждений и разрушения. Деформационное старение и коррозионное растрескивание материалов под нагрузкой

Б. Линейная и нелинейная механика разрушения.

Прочность конструкции при наличии трещин. Теория Гриффитса. Сингулярные задачи для тел с трещинами. Типы трещин. Регулярные и сингулярные составляющие напряжений в твердом теле с трещиной. Коэффициенты интенсивности напряжений (КИН). Асимптотические формулы в декартовых и полярных координатах. Методы расчета КИН, расчет коэффициента интенсивности напряжений на основе предельного перехода от коэффициента концентрации напряжений у вершины трещины-разреза и с помощью метода сечений. Интенсивность высвобождения энергии упругой деформации. Удельная работа разрушения. Энергетический критерий разрушения. Эквивалентность энергетического критерия разрушения Гриффитса и силового критерия Ирвина. Энергетические представления об интенсивности освобождающейся упругой энергии, работа при виртуальном приросте трещины. Экспериментальные методы в механике разрушения. Характеристики трещиностойкости конструкционных материалов. Предельное равновесие трещины при сложном напряженном состоянии. Наклонная трещина. Задача о направлении роста трещины. Предельное равновесие трещин при комбинированном нагружении. Критерий разрушения при сложном напряженном состоянии при комбинации различных типов смещения берегов трещины. Численные методы в механике разрушения. Зоны пластической деформации у вершины трещины. Деформационные критерии разрушения. Формы зоны пластической деформации. Модель тонкой пластической зоны. Конфигурации пластических зон у вершины трещины типа I в соответствии с критерием текучести Мизеса и изменение пластической зоны по толщине. Поправка Ирвина на пластическую деформацию у вершины трещины. Граница между

линейной и нелинейной механикой разрушения. Критерии нелинейной механики разрушения. Инвариантные интегралы в механике разрушения. Модель Дагдейла-Леонова-Панасюка узкой зоны пластической деформации перед вершиной трещины. Критерий критического раскрытия в вершине трещины. Теоретическое решение и сопоставление с критерием Гриффитса. Энергетический контурный J-интеграл. Контурная инвариантность J-интеграла. J-интеграл как интенсивность освобождающейся упругой энергии. HRR-сингулярность (Хатчинсон-Розенгрин-Райс) у вершины трещины. Взаимосвязь J-интеграла и раскрытия в вершине трещины. Методы расчета J-интеграла. Метод сечений в упругопластической механике разрушения. Устойчивый и неустойчивый рост трещины. Основы динамической механики разрушения. Критерии старта, распространения и остановки трещин. Методы повышения трещиностойкости. Условия устойчивого и неустойчивого роста трещины на основе условий равновесия элементов объема в окрестности вершины трещины. Расчет неустойчивого состояния в нелинейной механике разрушения с привлечением концепции энергетического интеграла. Кинетика стабильного роста трещины при упругопластическом разрушении.

5. Образовательные технологии.

Методика преподавания дисциплины «Механика контактного взаимодействия и разрушения» и реализация компетентного подхода в изложении и восприятии материала предусматривает использование следующих активных и интерактивных форм проведения групповых, индивидуальных, аудиторных занятий в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков, обучающихся:

- обсуждение и защита на семинарах рефератов по дисциплине;
- подготовка, представление и обсуждение презентаций на семинарских занятиях;
- проведение мастер-классов экспертов и специалистов по методам испытаний композитов.

Удельный вес занятий, проводимых в интерактивных формах, определен главной целью и содержанием дисциплины «Механика контактного взаимодействия и разрушения», и в целом по дисциплине составляет 25% аудиторных занятий.

6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов.

В процессе обучения используются следующие оценочные формы самостоятельной работы студентов, оценочные средства текущего контроля успеваемости и промежуточных аттестаций:

В первом семестре

- реферат по разделам дисциплины

- выступление с докладом
- участие в коллоквиумах.

Образцы контрольных вопросов для коллоквиума, тем рефератов, экзаменационных билетов, приведены в приложении 3.

6.1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю).

6.1.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы.

В результате освоения дисциплины (модуля) формируются следующие компетенции:

Код Компетенции	В результате освоения образовательной программы обучающийся должен обладать
ПК-1	Способен организовывать разработку конструкций АТС и их компонентов

В процессе освоения образовательной программы данные компетенции, в том числе - их отдельные компоненты, формируются поэтапно в соответствии с учебным планом и календарным графиком учебного процесса.

6.1.2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций, формируемых по итогам освоения дисциплины, описание шкал оценивания.

Показателем оценки компетенций на различных этапах их формирования является достижение обучающимися планируемых результатов обучения по дисциплине.

ПК-1 Способен организовывать разработку конструкций АТС и их компонентов				
Показатель	Критерии оценивания			
	2	3	4	5
знать: методы проектирования ответственных элементов конструкций	Обучающийся демонстрирует полное отсутствие или недостаточное знание методов проектирования ответственных элементов конструкций по условию	Обучающийся демонстрирует неполное соответствие знаний методов проектирования ответственных элементов конструкций по условию	Обучающийся демонстрирует частичное соответствие знаний методов проектирования ответственных элементов конструкций	Обучающийся демонстрирует полное соответствие знаний методов проектирования

<p>по условию предотвращения катастрофического хрупкого разрушения в результате роста магистральных трещин</p>	<p>предотвращения катастрофического хрупкого разрушения в результате роста магистральных трещин</p>	<p>предотвращения катастрофического хрупкого разрушения в результате роста магистральных трещин. Допускаются значительные ошибки, обучающийся испытывает значительные затруднения при анализе примеров применения композитов</p>	<p>по условию предотвращения катастрофического хрупкого разрушения в результате роста магистральных трещин, но допускает незначительные ошибки, неточности, затруднения при анализе возможностей применения композитов.</p>	<p>ответственных элементов конструкций по условию предотвращения катастрофического хрупкого разрушения в результате роста магистральных трещин, свободно оперирует приобретенным и знаниями.</p>
<p>уметь: рассчитывать критические напряжения в конструкции по условию начала катастрофического роста магистральной трещины, оценивать долговечность элемента конструкции по моделям накопления рассеянных разрушений</p>	<p>Обучающийся не умеет рассчитывать критические напряжения в конструкции по условию начала катастрофического роста магистральной трещины, оценивать долговечность элемента конструкции по моделям накопления рассеянных разрушений</p>	<p>Обучающийся в недостаточной степени умеет рассчитывать критические напряжения в конструкции по условию начала катастрофического роста магистральной трещины, оценивать долговечность элемента конструкции по моделям накопления рассеянных разрушений. Допускаются значительные ошибки, обучающийся испытывает значительные затруднения при попытке переноса умения на новые виды конструкции.</p>	<p>Обучающийся демонстрирует частичное соответствие умения рассчитывать критические напряжения в конструкции по условию начала катастрофического роста магистральной трещины, оценивать долговечность элемента конструкции по моделям накопления рассеянных разрушений. Умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при переносе умений на новые конструкции.</p>	<p>Обучающийся демонстрирует полное соответствие рассчитывать критические напряжения в конструкции по условию начала катастрофического роста магистральной трещины, оценивать долговечность элемента конструкции по моделям накопления рассеянных разрушений. Свободно оперирует приобретенными умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности.</p>

<p>владеть: компьютерными программами расчета коэффициентов в интенсивности и в конструкциях, содержащих трещины</p>	<p>Обучающийся не владеет или в недостаточной степени владеет компьютерными программами расчета коэффициентов интенсивности в конструкциях, содержащих трещины</p>	<p>Обучающийся в неполном объеме владеет компьютерными программами расчета коэффициентов интенсивности в конструкциях, содержащих трещины, допускает значительные ошибки, испытывает затруднения при применении навыков в новых ситуациях.</p>	<p>Обучающийся частично владеет компьютерными программами расчета коэффициентов интенсивности в конструкциях, содержащих трещины, навыки освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических расчетах, при переносе умений на новые, ситуации.</p>	<p>Обучающийся в полном объеме владеет компьютерным и программами расчета коэффициентов интенсивности в конструкциях, содержащих трещины, свободно применяет полученные навыки в ситуациях повышенной сложности.</p>
---	--	--	---	--

ПК-1 Способен организовывать разработку конструкций АТС и их компонентов

<p>знать: экспериментальные методы определения трещиностойкости металлов и композитов; современные методики механических испытаний с целью определения трещиностойкости</p>	<p>Обучающийся демонстрирует полное отсутствие знаний об экспериментальных методах определения трещиностойкости металлов и композитов; современных методиках механических испытаний с целью определения трещиностойкости</p>	<p>Обучающийся демонстрирует неполные знания об экспериментальных методах определения трещиностойкости металлов и композитов; современных методиках механических испытаний с целью определения трещиностойкости, допускает значительные ошибки, проявляет недостаточность знаний, испытывает значительные затруднения при попытке применить знания для новых конструкций.</p>	<p>Обучающийся демонстрирует частичное соответствие знаний об экспериментальных методах определения трещиностойкости металлов и композитов; современных методиках механических испытаний с целью определения трещиностойкости, допускает незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических расчетах.</p>	<p>Обучающийся демонстрирует полное соответствие об экспериментальных методах определения трещиностойкости металлов и композитов; современных методиках механических испытаний с целью определения трещиностойкости, свободно оперирует приобретенным и знаниями.</p>
<p>уметь: определять критический коэффициент</p>	<p>Обучающийся не умеет или в недостаточной степени умеет</p>	<p>Обучающийся демонстрирует неполное соответствие умения определять критический</p>	<p>Обучающийся демонстрирует частичное соответствие умений определять</p>	<p>Обучающийся демонстрирует полное соответствие</p>

<p>интенсивность и напряжений и удельную работу разрушения по методу анализа податливости на образцах с надрезами; использовать современное испытательное оборудование для определения критического коэффициента интенсивности и напряжений и Г-интеграла при начале роста магистральной трещины.</p>	<p>определять критический коэффициент интенсивности напряжений и удельную работу разрушения по методу анализа податливости на образцах с надрезами; использовать современное испытательное оборудование для определения критического коэффициента интенсивности напряжений и Г-интеграла при начале роста магистральной трещины.</p>	<p>коэффициент интенсивности напряжений и удельную работу разрушения по методу анализа податливости на образцах с надрезами; использовать современное испытательное оборудование для определения критического коэффициента интенсивности напряжений и Г-интеграла при начале роста магистральной трещины.</p>	<p>критический коэффициент интенсивности напряжений и удельную работу разрушения по методу анализа податливости на образцах с надрезами; использовать современное испытательное оборудование для определения критического коэффициента интенсивности напряжений и Г-интеграла при начале роста магистральной трещины, допускает лишь незначительные ошибки при переносе умения на новую конструкцию.</p>	<p>умения определять критический коэффициент интенсивности напряжений и удельную работу разрушения по методу анализа податливости на образцах с надрезами; использовать современное испытательное оборудование для определения критического коэффициента интенсивности напряжений и Г-интеграла при начале роста магистральной трещины, свободно, применяет умения для конструкций повышенной сложности.</p>
<p>владеть: методами оценки допустимых размеров дефектов и расчета циклической долговечности на основе линейной и нелинейной механики разрушения; методами обработки диаграмм нагружения, анализа линейности</p>	<p>Обучающийся не владеет программой методами оценки допустимых размеров дефектов и расчета циклической долговечности на основе линейной и нелинейной механики разрушения; методами обработки диаграмм нагружения, анализа линейности диаграмм, установления требуемых размеров образцов для получения</p>	<p>Обучающийся в неполном объеме владеет программой методами оценки допустимых размеров дефектов и расчета циклической долговечности на основе линейной и нелинейной механики разрушения; методами обработки диаграмм нагружения, анализа линейности диаграмм, установления требуемых размеров образцов для получения достоверных результатов по трещиностойкости, проявляет недостаточность</p>	<p>Обучающийся частично программой методами оценки допустимых размеров дефектов и расчета циклической долговечности на основе линейной и нелинейной механики разрушения; методами обработки диаграмм нагружения, анализа линейности диаграмм, установления требуемых размеров образцов для получения достоверных результатов по трещиностойкости, но допускает</p>	<p>Обучающийся в полном объеме владеет программой методами оценки допустимых размеров дефектов и расчета циклической долговечности на основе линейной и нелинейной механики разрушения; методами</p>

диаграмм, установления требуемых размеров образцов для получения достоверных результатов по трещиностойкости.	достоверных результатов по трещиностойкости.	владения навыками, испытывает значительные затруднения при применении навыков для объяснения алгоритма оптимизации.	незначительные ошибки при переносе умений на новые конструкции	обработки диаграмм нагружения, анализа линейности диаграмм, установления требуемых размеров образцов для получения достоверных результатов по трещиностойкости.
---	--	---	--	---

Шкалы оценивания результатов промежуточной аттестации и их описание:

Форма промежуточной аттестации: экзамен.

Промежуточная аттестация обучающихся в форме экзамена проводится по результатам выполнения всех видов учебной работы, предусмотренных учебным планом по данной дисциплине, при этом учитываются результаты текущего контроля успеваемости в течение семестра. Оценка степени достижения обучающимися планируемых результатов обучения по дисциплине проводится преподавателем, ведущим занятия по дисциплине методом экспертной оценки. По итогам промежуточной аттестации по дисциплине выставляется оценка «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «неудовлетворительно».

К промежуточной аттестации допускаются только студенты, выполнившие все виды учебной работы, предусмотренные рабочей программой по дисциплине «Механика контактного взаимодействия и разрушения», а именно, выполнившие задания по упражнениям на семинарских занятиях, подготовившие реферат и выступившие с докладом на итоговом семинаре.

Шкала оценивания	Описание
Отлично	Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Студент демонстрирует соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, оперирует приобретенными знаниями, умениями, навыками, применяет их в ситуациях повышенной сложности. При этом могут быть допущены незначительные ошибки, неточности, затруднения при

	аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации.
Хорошо	Обучающийся демонстрирует частичное соответствие знаний об основных этапах проектирования, создания и испытаний композитных конструкций, допускает незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических расчетах.
Удовлетворительно	Обучающийся демонстрирует неполные знания об основных этапах проектирования, создания и испытаний композитных конструкций, проявляет недостаточность знаний, испытывает затруднения при попытке применить знания для новых конструкций.
Неудовлетворительно	Не выполнено более одного из видов учебной работы, предусмотренных учебным планом. Студент демонстрирует неполное соответствие знаний, умений, навыков показателям, приведенным в таблицах, допускает значительные ошибки, проявляет отсутствие знаний, умений, навыков по ряду показателей, испытывает значительны затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые конструкции

Фонды оценочных средств представлены в Приложении 2 к рабочей программе.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины.

а) основная литература:

1. Шилов, М. А. Физика прочности и механика разрушения : учебное пособие для вузов / М. А. Шилов. — Москва : Издательство Юрайт, 2022. — 175 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-15598-3.
URL: <https://urait.ru/bcode/509125>
2. Степанова, Л.В. Математические методы механики разрушения [Электронный ресурс] /Л.В. Степанова. — М: Физматлит, 2009. — 333 с. Режим доступа: <http://www.knigafund.ru/books/207402>.

б) дополнительная литература:

1. Композиционные материалы : учебное пособие для вузов / Д. А. Иванов, А. И. Ситников, С. Д. Шляпин ; под редакцией А. А. Ильина. — Москва : Издательство Юрайт, 2022. — 253 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-11618-2.

URL: <https://urait.ru/bcode/495853>

в) программное обеспечение и интернет-ресурсы:

Операционная система Windows 7 (или ниже)

MS Office 2013 (или ниже).

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины.

Аудитория для проведения лекционных и практических занятий оснащенная столами учебными со скамьями (столами, стульями); аудиторной доской; рабочее место преподавателя: стол, стул.

Компьютерный класс (Н-212) оснащенный персональными компьютерами с установленным программным обеспечением, маркерной доской, подвесным проектором с интерактивной доской.

9. Методические рекомендации для самостоятельной работы студентов

Задачами самостоятельной работы студентов являются:

1. Систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
2. Углубление и расширение теоретической подготовки;
3. Формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
4. Развитие познавательных способностей и активности студентов, творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
5. Использование материала, собранного и полученного в ходе самостоятельных занятий на практических занятиях, при написании курсовых и выпускной квалификационной работ, для эффективной подготовки к итоговым зачетам и экзаменам.

Изучение дисциплины должно сопровождаться интенсивной самостоятельной работой студентов с рекомендованными преподавателями литературными источниками и с материалами, полученными на лекционных, практических занятиях и лабораторных работах. Студент должен помнить, что начинать самостоятельные занятия следует с первого дня изучения дисциплины и проводить их регулярно. Очень важно приложить максимум усилий, воли, чтобы заставить себя работать с полной нагрузкой с первого дня.

Каждый студент должен сам планировать свою самостоятельную работу, исходя из своих возможностей и приоритетов. Это стимулирует выполнение работы, создает более спокойную обстановку, что в итоге положительно сказывается на усвоении материала.

На основе изучения рекомендованной литературы целесообразно составить конспект основных терминов, положений и определений, требующих запоминания и необходимых для освоения разделов дисциплины. Для плодотворной работы немаловажное значение имеет обстановка, организация рабочего места. Нужно добиться, чтобы место работы по возможности было постоянным. Работа на привычном месте делает ее более

плодотворной. Продуктивность работы зависит от правильного чередования труда и отдыха. Поэтому каждые час или два следует делать, перерыв на 10-15 минут. Выходные дни лучше посвятить активному отдыху, занятиям спортом, прогулками на свежем воздухе и т.д. Даже переключение с одного вида умственной работы на другой может служить активным отдыхом.

Особое место уделяется консультированию, как одной из форм обучения и контроля самостоятельной работы. Консультирование предполагает особым образом организованное взаимодействие между преподавателем-консультантом и студентами, направленное на разрешение проблем и внесение позитивных изменений в деятельность студентов.

10. Методические рекомендации для преподавателя

Взаимодействие преподавателя со студентами можно разделить на несколько составляющих – лекционные, практические и лабораторные занятия и консультирование. Преподаватель должен последовательно вычитать студентам ряд лекций, в ходе которых следует сосредоточить внимание на ключевых моментах конкретного теоретического материала, а также организовать проведение практических занятий таким образом, чтобы активизировать мышление студентов, стимулировать самостоятельное извлечение ими необходимой информации из различных источников, сравнительный анализ методов решений, сопоставление полученных результатов, формулировку и аргументацию собственных взглядов на многие спорные проблемы.

Перед началом преподавания преподавателю необходимо:

- изучить рабочую программу, цели и задачи дисциплины;
- четко представлять себе, какие знания, умения и навыки должен приобрести студент;
- познакомиться с видами учебной работы;
- изучить содержание разделов дисциплины.

В ходе лекционного занятия преподаватель должен назвать тему, учебные вопросы, ознакомить студентов с перечнем основной и дополнительной литературы по теме занятия.

Во вступительной части лекции обосновать место и роль изучаемой темы в учебной дисциплине, раскрыть ее практическое значение. Если читается не первая лекция, то необходимо увязать ее тему с предыдущей, не нарушая логики изложения учебного материала. Лекцию следует начинать, только четко обозначив её характер, тему и круг тех вопросов, которые в её ходе будут рассмотрены.

В основной части лекции следует раскрывать содержание учебных вопросов, акцентировать внимание студентов на основных категориях, явлениях и процессах, особенностях их протекания. Раскрывать сущность и содержание различных точек зрения и научных подходов к объяснению тех или иных явлений и процессов. Следует аргументировано обосновать

собственную позицию по спорным теоретическим вопросам. Приводить примеры. Задавать по ходу изложения лекционного материала риторические вопросы и самому давать на них ответ. Это способствует активизации мыслительной деятельности студентов, повышению их внимания и интереса к материалу лекции, ее содержанию. Преподаватель должен руководить работой студентов по конспектированию лекционного материала, подчеркивать необходимость отражения в конспектах основных положений изучаемой темы, особо выделяя категоричный аппарат.

В заключительной части лекции необходимо сформулировать общие выводы по теме, раскрывающие содержание всех вопросов, поставленных в лекции. Объявить план очередного семинарского или лабораторного занятия, дать краткие рекомендации по подготовке студентов к семинару или лабораторной работе. Определить место и время консультации студентам, пожелавшим выступить на семинаре с докладами и рефератами по актуальным вопросам обсуждаемой темы.

Цель практических и лабораторных занятий - обеспечить контроль усвоения учебного материала студентами, расширение и углубление знаний, полученных ими на лекциях и в ходе самостоятельной работы. Повышение эффективности практических занятий достигается посредством создания творческой обстановки, располагающей студентов к высказыванию собственных взглядов и суждений по обсуждаемым вопросам, желанию у студентов поработать у доски при решении задач.

После каждого лекционного, лабораторного и практического занятия сделать соответствующую запись в журналах учета посещаемости занятий студентами, выяснить у старост учебных групп причины отсутствия студентов на занятиях. Проводить групповые и индивидуальные консультации студентов по вопросам, возникающим у студентов в ходе их подготовки к текущей и промежуточной аттестации по учебной дисциплине, рекомендовать в помощь учебные и другие материалы, а также справочную литературу.

Экзамен или зачет по дисциплине проводится в форме письменного экзамена с последующей индивидуальной беседой со студентом на основе вопросов, сформулированных в зачетных или экзаменационных билетах. В билет вносится два теоретических и один практический вопрос из различных разделов дисциплины для более полной проверки знаний студентов. Оценка выставляется преподавателем и объявляется после ответа. Преподаватель принимающий зачет или экзамен лично несет ответственность за правильность выставления оценки.

Программа составлена в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 23.04.02 Наземные транспортно-технологические комплексы.

Программу составил:

профессор, д.т.н.



/Полилов А.Н./

Согласовано

Заведующий кафедрой
профессор, д. т. н.



/А.А. Скворцов/

**Структура и содержание дисциплины «Механика контактного взаимодействия и разрушения»
по направлению подготовки
23.04.02 Наземные транспортно-технологические комплексы
(магистр)**

n/n	Раздел	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов, и трудоемкость в часах					Виды самостоятельной работы студентов					Формы аттестации	
				Л	П/С	Лаб	СРС	КСР	К.Р.	К.П.	РГР	Реферат	К/р	Э	З
Первый семестр															
1	Трибология: трение, износ, смазка. Контактная задача. Механизмы контактного усталостного разрушения. Трибофатика: основные положения и модели разрушения. Коррозионное растрескивание под напряжением. Водородное охрупчивание. Модельные представления о микромеханизмах разрушения на уровне структурных элементов (зерен): транскристаллитный и межзеренный скол, вязкое разрушение (рост пор), разрушение при усталости (бороздчатый рельеф).	1	1-2	2	4	8							+		
2	Связь механики разрушения с физикой твердого тела. Усталость. Усталостный рост трещины. Механизмы роста усталостных трещин, кинетическая диаграмма	1	3-4	2	4	8							+		

	циклической трещиностойкости. Влияние асимметрии и частоты цикла нагружения на распространение трещин													
3	Механизмы закрытия трещины. Расчет долговечности поврежденных конструкций. Континуальные теории накопления повреждений и разрушения. Деформационное старение и коррозионное растрескивание материалов под нагрузкой	1	5-6	2	4		8						+	
4	Прочность конструкции при наличии трещин. Теория Гриффитса. Сингулярные задачи для тел с трещинами. Типы трещин. Регулярные и сингулярные составляющие напряжений в твердом теле с трещиной. Коэффициенты интенсивности напряжений (КИН). Асимптотические формулы в декартовых и полярных координатах. Методы расчета КИН, расчет коэффициента интенсивности напряжений на основе предельного перехода от коэффициента концентрации напряжений у вершины трещины-разреза и с помощью метода сечений.	1	7-8	2	4		8						+	
5	Интенсивность высвобождения энергии упругой деформации.	1	9-10	2	4		8						+	

	<p>Удельная работа разрушения. Энергетический критерий разрушения. Эквивалентность энергетического критерий разрушения Гриффитса и силового критерия Ирвина. Энергетические представления об интенсивности освобождающейся упругой энергии, работа при виртуальном приросте трещины. Экспериментальные методы в механике разрушения. Характеристики трещиностойкости конструкционных материалов. Предельное равновесие трещины при сложном напряженном состоянии. Наклонная трещина. Задача о направлении роста трещины. Предельное равновесие трещин при комбинированном нагружении. Критерий разрушения при сложном напряженном состоянии при комбинации различных типов смещения берегов трещины.</p>													
6	<p>Зоны пластической деформации у вершины трещины. Деформационные критерии разрушения. Формы зоны пластической деформации. Модель тонкой пластической зоны. Конфигурации пластических зон у вершины трещины типа I в соответствие с критерием</p>	1	11-12	2	4	8						+		

	трещин.														
8	Методы повышения трещиностойкости. Условия устойчивого и неустойчивого роста трещины на основе условий равновесия элементов объема в окрестности вершины трещины. Расчет неустойчивого состояния в нелинейной механике разрушения с привлечением концепции энергетического интеграла. Кинетика стабильного роста трещины при упругопластическом разрушении	1	15	1	2		8								
	Форма аттестации														Э
	Всего часов по дисциплине в первом семестре			14	30		64					реферат			
	Итого			14	30		64					1 реф			Э

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
**«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)**

Направление: 23.04.02 Наземные транспортно-технологические комплексы
профиль «Компьютерное моделирование и прочностной анализ транспортно-технологических
комплексов»

Форма обучения: очная

Кафедра: Динамика, прочность машин и сопротивление материалов

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Механика контактного взаимодействия и разрушения

Составители:

Профессор, д.т.н. Полилов А.Н.

Москва, 2022 год

ПОКАЗАТЕЛЬ УРОВНЯ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ

КОМПЕТЕНЦИИ					
ИНДЕКС	ФОРМУЛИРОВКА	Перечень компонентов	Технология формирования компетенции	Форма оценочного средства	Степени уровней освоения компетенций
ПК-1	Способен организовывать разработку конструкций АТС и их компонентов	<p>ИПК-1.1 Систематизирует инженерные данные с учетом технических требований</p> <p>ИПК-1.2 Определяет методики расчетов систем АТС и их компонентов</p> <p>ИПК-1.3 Анализирует влияние ключевых факторов на выходные характеристики АТС и их компонентов</p> <p>ИПК-1.4 Анализирует прочностные свойства материалов и прочностные свойства компонентов АТС, связанных особенностями конструкций</p> <p>ИПК-1.5 Анализирует лучшие практики разработки АТС и их компонентов</p>	Лекция, практическое занятие, самостоятельная работа	К Р ДС Экз	<p>Базовый уровень</p> <p>- способен рассчитать допустимые напряжения в конструкции при статическом и циклическом нагружении при наличии трещин с учетом контактных напряжений, возникающих в узлах трения</p> <p>Повышенный уровень</p> <p>- способен оценить долговечность элемента конструкции по условию роста трещины до критического размера при циклическом нагружении, оценивать износ в зонах контактов триботехнических узлов</p>

Перечень оценочных средств по дисциплине «Механика контактного взаимодействия и разрушения»

№ ОС	Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного средства в ФОС
1	Коллоквиум (К)	Средство контроля усвоения учебного материала темы, раздела или разделов дисциплины, организованное как учебное занятие в виде собеседования педагогического работника с обучающимися.	Вопросы по разделам дисциплины
2	Реферат (Р)	Продукт самостоятельной работы студента, представляющий собой краткое изложение в письменном виде полученных результатов теоретического анализа определенной научной темы, где автор раскрывает суть исследуемой проблемы, приводит различные подходы и даёт им собственную оценку.	Темы рефератов
3	Доклад, сообщение (ДС)	Результат самостоятельной работы студента, представляющий собой публичное выступление по изученной им научной теме	Темы докладов
4	Экзамен (Экз)	Средство проведения промежуточной аттестации по результатам выполнения всех видов учебной работы в течении семестра с проставлением оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «неудовлетворительно»	Примеры экзаменационных билетов

Примеры экзаменационных билетов по курсу «Механика контактного взаимодействия и разрушения»

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)

Факультет ТРАНСПОРТНЫЙ, кафедра «Динамика, прочность машин и сопротивление материалов»
Дисциплина Механика контактного взаимодействия и разрушения
Направление 23.04.02 Наземные транспортно-технологические комплексы
Курс 1, семестр 1

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 9.

1. Механизмы закрытия трещины. Расчет долговечности поврежденных конструкций.
2. Методы расчета J-интеграла.

Утверждено на заседании кафедры «___» сентября 202__ г., протокол № ___

Зав. кафедрой _____ /А.А.Скворцов/

Перечень вопросов к экзамену

Вопросы к экзамену	Код компетенции
Трибология: трение, износ, смазка	ПК-1
Контактная задача	ПК-1
Механизмы контактного усталостного разрушения	ПК-1
Трибофатика: основные положения и модели разрушения	ПК-1
Коррозионное растрескивание под напряжением	ПК-1
Водородное охрупчивание	ПК-1
Модельные представления о микромеханизмах разрушения на уровне структурных элементов (зерен)	ПК-1
Связь механики разрушения с физикой твердого тела.	ПК-1
Усталость. Усталостный рост трещины.	ПК-1
Механизмы роста усталостных трещин, кинетическая диаграмма циклической трещиностойкости	ПК-1
Влияние асимметрии и частоты цикла нагружения на распространение трещин	ПК-1
Механизмы закрытия трещины. Расчет долговечности поврежденных конструкций.	ПК-1
Континуальные теории накопления повреждений и разрушения.	ПК-1
Деформационное старение и коррозионное растрескивание материалов под нагрузкой	ПК-1
Прочность конструкции при наличии трещин	ПК-1

Теория Гриффитса.	ПК-1
Сингулярные задачи для тел с трещинами.	ПК-1
Регулярные и сингулярные составляющие напряжений в твердом теле с трещиной.	ПК-1
Коэффициенты интенсивности напряжений (КИН)	ПК-1
Асимптотические формулы в декартовых и полярных координатах	ПК-1
Методы расчета КИН, расчет коэффициента интенсивности напряжений на основе предельного перехода от коэффициента концентрации напряжений у вершины трещины-разреза и с помощью метода сечений	ПК-1
Удельная работа разрушения	ПК-1
Энергетический критерий разрушения	ПК-1
Эквивалентность энергетического критерий разрушения Гриффитса и силового критерия Ирвина	ПК-1
Энергетические представления об интенсивности освобождающейся упругой энергии, работа при виртуальном приросте трещины	ПК-1
Предельное равновесие трещины при сложном напряженном состоянии	ПК-1
Наклонная трещина	ПК-1
Задача о направлении роста трещины	ПК-1
Предельное равновесие трещин при комбинированном нагружении	ПК-1
Критерий разрушения при сложном напряженном состоянии при комбинации различных типов смещения берегов трещины	ПК-1
Зоны пластической деформации у вершины трещины. Деформационные критерии разрушения	ПК-1
Модель Дагдейла-Леонова-Панасюка узкой зоны пластической деформации перед вершиной трещины	ПК-1
Поправка Ирвина на пластическую деформацию у вершины трещины	ПК-1
Теоретическое решение и сопоставление с критерием Гриффитса	ПК-1
Критерий критического раскрытия в вершине трещины	ПК-1
Энергетический контурный J-интеграл	ПК-1
Контурная инвариантность J-интеграла	ПК-1
J-интеграл как интенсивность освобождающейся упругой энергии	ПК-1
HRR-сингулярность (Хатчинсон-Розенгрин-Райс) у вершины трещины	ПК-1
Методы расчета J-интеграла	ПК-1
Кинетика стабильного роста трещины при упругопластическом разрушении	ПК-1

Примерные вопросы для коллоквиума по дисциплине «Механика контактного взаимодействия и разрушения» для оценки компетенций (ПК-1)

1. Что означают термины трибология и трибофатика?
2. Методы трибологических испытаний. Схемы нагружения, режимы, скорости, температуры.
3. Методы оценки износа по весу, с помощью лунок. Лазерная диагностика.
4. Каковы этапы послойного расчета композитных конструкций?
5. Каков механизм остановки трещины непрочной поверхностью раздела?
6. Как оценить эффективную концентрацию напряжений около оставшейся после расщепления мелкой выточки?
7. Почему и в какой степени различаются теоретический и эффективный коэффициенты концентрации напряжений?
8. Чем по смыслу различаются параметры поврежденности и повреждаемости?
9. Основные положения механики рассеянного разрушения. Что такое параметр (тензор) поврежденности и кинетическое уравнение его роста?
10. Как строится модель линейного суммирования повреждений и в чем её основной недостаток?
11. Какова модель нелинейного суммирования повреждений?
12. Как позволяет построение кривых остаточной прочности учитывать влияние последовательности блоков циклического нагружения?
13. С чем связан масштабный эффект прочности тонких волокон?
14. На чем основана энергетическая теория роста трещин?
15. Что такое ЛМР - «линейная механика разрушения»?
16. Как по формуле Гриффитса оценить допустимую длину трещины?
17. Что такое КИН (коэффициент интенсивности напряжений) и какова его размерность?
18. Какова связь коэффициента интенсивности напряжений со скоростью высвобождения упругой энергии?
19. Поясните три моды продвижения трещины.
20. Какие требования предъявляются к размерам образцов и к линейности диаграмм разрушения для применения методов ЛМР?
21. Модель пластической зоны Леонова-Панасюка-Дагдейла.
22. Что такое КРТ - критическое раскрытие трещины?
23. Каков смысл энергетического инвариантного J-интеграла и как с его помощью связать линейную и нелинейную механику разрушения?
24. Как экспериментально определяется J-интеграл при существенно нелинейной диаграмме разрушения?
25. Что делать, если эксперименты по определению трещиностойкости на малых образцах оказались некорректными?

Темы рефератов по дисциплине
«Механика контактного взаимодействия и разрушения»
для оценки компетенций (ПК-1)

1. Нахождение параметров тензорно-полиномиального критерия Цая-Ву.
2. Послойный метод и суммирование прочностей для симметричных пар слоев.
3. Расчет рациональных упруго-прочностных свойств композита для реализации механизма остановки трещины слабой поверхностью раздела.
4. Вычисление эффективного коэффициента концентрации напряжений около оставшейся после расщепления мелкой выточки.
5. Оценка долговечности по кинетическому уравнению Работнова для роста параметра поврежденности.
6. Кинетическое уравнение нелинейного суммирования повреждений.
7. Определение параметров линейного критерия расслоения композитных балок при изгибе.
8. Метод сечений для инженерной оценки КИН.
9. Оценка допустимой длины трещины и критических напряжений.
10. Метод R-кривых для медленного подрастания трещины.
11. Метод определения критического раскрытия трещины.
12. Прямой метод площадей для оценки удельной работы разрушения.
13. Метод многих образцов для оценки критического значения J-интеграла.
14. Оценка сопротивления расслоению при изгибе и при растяжении композитных образцов с межслойными трещинами.
15. Уравнение типа Пэриса для роста расслоений при усталости.
16. Масштабный эффект прочности для разрушения расслоением при изгибе, кручении и изгибе с кручением.
17. Вывод формулы для критического сжимающего напряжения при выщелкивании полоски
18. Расчет неустойчивого состояния в нелинейной механике разрушения с привлечением концепции энергетического интеграла
19. Устойчивый и неустойчивый рост трещины
20. Методы расчета J-интеграла.

Темы докладов по дисциплине
«Механика контактного взаимодействия и разрушения»
для оценки компетенций (ПК-1)

1. Нахождение параметров уравнения Пэриса для роста трещины при усталостном нагружении.
2. Оценка циклической долговечности при блочном нагружении по кривым остаточной прочности.
3. Способы введения феноменологического размера области усреднения напряжений и характерного расстояния от вершины трещины или отверстия для описания масштабного эффекта прочности.
4. Нелинейная механика разрушения. Метод многократного нагружения для оценки критического значения J -интеграла.
5. Контурный инвариантный Γ -интеграл как универсальный критерий роста трещины.
6. Применение метода податливости для определения критической скорости высвобождения упругой энергии как критерия роста трещины.
7. Варианты введения параметров поврежденности и повреждаемости в моделях докритического затупления отверстий в композитах.
8. Требования к методам определения критического коэффициента интенсивности напряжений (КИН) при изгибе надрезанных балок
9. Требования к методам определения критического коэффициента интенсивности напряжений (КИН) при внецентренном растяжении компактных ДКБ- образцов.
10. Критерии прочности для намоточных труб при растяжении, кручении и сложном напряженном состоянии.
11. Тензорно-полиномиальные критерии прочности Цая-Ву, Хилла, Гольденבלата-Копнова.
12. Тензорно-полиномиальные критерии прочности Ашкенази, Малмейстера.
13. Метод R -кривых для медленного подрастания трещины.
14. Методы риск-анализа для критически важных объектов.
15. Предельное равновесие трещины при сложном напряженном состоянии
16. J -интеграл как интенсивность освобождающейся упругой энергии
17. Теория Гриффитса
18. Удельная работа разрушения
19. Коррозионное растрескивание под напряжением
20. Механизмы контактного усталостного разрушения