

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

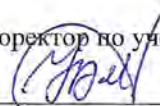
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

**«УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АВИАЦИОННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра *сопротивления материалов*

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

 Н.Г. Зарипов

« 01 » 03 2015 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

«МОДУЛЬ: Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры»

Уровень подготовки: высшее образование – подготовка кадров высшей квалификации

Направление подготовки научно-педагогических кадров высшей квалификации (аспирантура)

01.06.01 Математика и механика

(код и наименование направления подготовки)

Направленность подготовки

Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры

(наименование программы подготовки)

Квалификация (степень) выпускника

Исследователь. Преподаватель-исследователь

Форма обучения

очная

Уфа 2015

ЛИСТ

согласования рабочей программы

Направление подготовки: 01.06.01 Математика и механика

код и наименование

Направленность подготовки (программа): Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры

наименование

Дисциплина: «Модуль: Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры»

Учебный год 2015/2016

РЕКОМЕНДОВАНА заседанием кафедры сопротивление материалов

наименование кафедры

протокол № 9 от "24" 05 2015 г.

Заведующий кафедрой СМ, д.т.н., профессор

подпись

расшифровка подписи

В.С. Жернаков

Исполнители:

профессор кафедры СМ

В.С. Жернаков

—

должность

подпись

расшифровка подписи

СОГЛАСОВАНО:

Заведующий кафедрой СМ,

расшифровка подписи

В.С. Жернаков

подпись

Председатель НМС по УГСН 01.00.00 Математика и механика

протокол № 10 от "1" июня 20 15 г.

личная подпись

расшифровка подписи

Библиотека

Исход

личная подпись

расшифровка

подписи

дата

Начальник отдела аспирантуры

Р.К. Фаттахов

2.02.15

подписи

дата

личная подпись

расшифровка

Рабочая программа зарегистрирована в ООПМА и внесена в электронную базу данных

Начальник

И.А. Лакман

02.03.15

подписи

дата

личная подпись

расшифровка

Содержание

1. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы	4
2. Перечень результатов обучения	6
3. Содержание и структура дисциплины (модуля)	10
4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы	19
5. Фонд оценочных средств	24
6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)	33
7. Образовательные технологии	37

1. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина «Модуль: Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры» относится к дисциплинам *вариативной* части.

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки научно-педагогических кадров высшей квалификации (аспирантура) 01.06.01 Математика и механика, утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от "30" июня 2014 г. № 866, и приказа Министерства образования и науки Российской Федерации от 30.04.2015 N 464 "О внесении изменений в федеральные государственные образовательные стандарты высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации)". Является неотъемлемой частью основной образовательной профессиональной программы (ОПОП).

Целью изучения дисциплины является формирование компетенций в области теории, методов расчета и проектирования современных систем, включая знания, умения, навыки и социально-личностные качества, обеспечивающие успешность научно-педагогической деятельности.

Задачи освоения дисциплины:

- изучение механизмов неупругого деформирования, понятия упругой, пластической и вязкой деформации, их особенности при однократном и повторном, изотермическом и неизотермическом нагружении;
- приобретение навыков использования простейших моделей, а также ситуаций, когда от них целесообразнее отказаться;
- получение практических навыков работы с методами расчета поведения элементов конструкций при соответствующем моделировании их материала.
- изучение основ теории, методов расчета трещиностойкости элементов современных технических систем и конструкций в линейной и частично нелинейной постановке;
- приобретения навыков и овладение методикой проведения испытаний и обработки получаемых результатов для определения характеристик сопротивления материалов хрупкому разрушению;
- получение практических навыков работы и ознакомление с конструктивными и технологическими мероприятиями, повышающими надежность конструкций с трещинами. На примерах решения простых задач аспиранты получают начальные навыки типовых расчетов на прочность по критериям механики разрушения, закрепляемые затем на практических занятиях и в процессе выполнения специального задания.
- изучение основ теории, методов расчета и проектирования композитных структур и конструкций (балок, стержней, пластин, оболочек);
- приобретения навыков расчета упругих и прочностных характеристик композитных материалов;
- получение практических навыков работы с механическими методами испытаний по определению упругих, прочностных и деформационных характеристик композитных материалов и элементов конструкций из них.

В ходе освоения ОПОП в виде образовательного результата по дисциплине "Модуль: Системы, сети и устройства телекоммуникаций" формируемые компетенции являются первичными. Определенными элементами компетенций обучающийся обладает за счет

формирования их при получении предыдущего уровня высшего образования (специалитет, магистратура).

Входные компетенции: не предусмотрены.

Исходящие компетенции:

№	Компетенция	Код	Уровень освоения, определяемый этапом формирования компетенции	Название дисциплины (модуля), практики, научных исследований для которых данная компетенция является входной
1.	способность формулировать прикладные аспекты задач исследования, разрабатывать математические модели реальных процессов, интерпретировать и представлять результаты исследований; способность применять перспективные методы математического моделирования и оптимизации проектируемых конструкций, методы расчетов и физических экспериментов для создания и развития базы математического моделирования изучаемых закономерностей	ПК-1	Повышенный уровень освоения компетенции в рамках научных исследований	Научные исследования
			Повышенный уровень освоения компетенции в рамках ГИА	ГИА
2.	способность применять методы динамики и регулировки технологических процессов, методы оптимизационного синтеза машин, их узлов и систем, автоматизированные методы расчета и проектирования для исследования функциональных задач на основе мировых тенденций развития объектов прикладного машиностроения, управления и информационных технологий	ПК-2	Повышенный уровень освоения компетенции в рамках научных исследований	Научные исследования
			Повышенный уровень освоения компетенции в рамках ГИА	ГИА
3.	способностью формировать технические задания и участвовать в разработке сложных математических моделей реальных процессов и/или программных средств экспертных систем принятия решений	ПК-3	Повышенный уровень освоения компетенции в рамках научных исследований	Научные исследования
			Повышенный уровень освоения компетенции в рамках ГИА	ГИА
	способностью выбирать методы и разрабатывать алгоритмы решения задач управления сложными многомерными объектами управления	ПК-4	Повышенный уровень освоения компетенции в рамках научных исследований	Научные исследования
			Повышенный уровень освоения компетенции в рамках ГИА	ГИА

2. Перечень результатов обучения

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование элементов следующих компетенций.

Планируемые результаты обучения по дисциплине

№	Формируемые компетенции	Код	Знать	Уметь	Владеть
1	способность формулировать прикладные аспекты задач исследования, разрабатывать математические модели реальных процессов, интерпретировать и представлять результаты исследований; способность применять перспективные методы математического моделирования и оптимизации проектируемых конструкций, методы расчетов и физических экспериментов для создания и развития базы математического моделирования изучаемых закономерностей	ПК-1	основы тензорного анализа математическое описание законов деформирования твердых тел в пределах упругости при однородном и неоднородном напряженно-деформированном состоянии; законы напряженно-деформированного состояния при динамическом нагружении научные основы расчетов неупругого деформирования элементов конструкций при сложных программах воздействия нагрузок и температур, современных методах и средствах расчета, о свойствах конструкционных материалов, применяемых в машиностроении; цели и задачи проводимых исследований и разработок, отечественную и зарубежную информацию по этим исследованиям и разработкам; основы теории и методов проектирования композитных структур; методы проведения технических расчетов при конструировании; меняемые в конструкциях материалы и их свойства; методы анализа технического уровня объектов техники и технологии: цели и задачи проводимых исследований и разработок, отечественную и зарубежную информацию по этим исследованиям и	осуществлять постановку, планирование и проведение научно-исследовательских работ теоретического и прикладного характера; разрабатывать модели физических процессов в объектах сферы профессиональной деятельности; анализировать реальные условия эксплуатации инженерных конструкций, выделять факторы, необходимые для разработки математической модели оценки прочности и принимать участие во всех фазах проектирования, разработки, изготовления и сопровождения объектов профессиональной деятельности; взаимодействие со специалистами смежного профиля при разработке методов, средств и технологий проектирования объектов профессиональной деятельности;	разработки корректных математических моделей прочностного анализа инженерных сооружений, максимально приближенных к условиям эксплуатации; выбора методов решения поставленной задачи теории упругости; разработки алгоритмов решения задач теории упругости применительно к элементам инженерных конструкций; оценки напряжений и деформаций в конструкции при ее пластическом деформировании и ползучести; представления девиаторов в виде векторов девиаторного пространства; разработки корректных математических моделей прочностного анализа инженерных сооружений, максимально приближенных к условиям эксплуатации; выбора методов численной реализации построенной математической модели разработки алгоритмов и прикладных программ численной реализации

			разработкам; основы теории и методов проектирования		проблем прочности машиностроитель ных конструкций; разработки структур композитных материалов в соответствии с требованиями к проектируемым композитным конструкциям;
2	применение методов динамики и регулировки технологических процессов, методы оптимизационного синтеза машин, их узлов и систем, автоматизированные методы расчета и проектирования для исследования функциональных задач на основе мировых тенденций развития объектов прикладного машиностроения, управления и информационных технологий	ПК-2	принципы построения математических моделей оптимального проекти- рования; знать идеологию, опре- деляющие уравнения и расчетные выражения основных реологических моделей материала, при- меняемых в современ- ных расчетах; ПК2 основы теории современных численных методов анализа напря- женно- деформированного со- стояния инженерных сооружений; принципы построения математических моделей оптимального проектирования;	разрабатывать математическую модель прочностного анализа элементов конструкций, максимально приближенную к условиям эксплуатации; использовать методы последовательных при- ближений;	оптимизации проектных решений с учетом природоохранных и энергосберегающи х технологий; оптимизации проектных решений с учетом природоохранных и энергосберегающи х технологий;
3	Готовность к проектированию, строительству и техническому сопровождению сетей передачи данных с использованием перспективных сетевых технологий, а также способность к пониманию современных сетевых технологий, самостоятельному проектированию сетей передачи информации, с установкой параметров сетевых устройств, отладкой и тестированием сетевого оборудования	ПК-3	основы нелинейной теории упругости. основные этапы решения инженерных и научных задач по проектированию и расчету элементов конструкций; основы языков программирования высокого уровня, специальных математических пакетов типа SolidWorks, ANSYSWB, используемых при решении задач прочностного анализа основные этапы решения инженерных и научных задач по проектированию и расчету объектов сложных технических	анализировать результаты исследований и производить их обобщение; разрабатывать техническую документацию проводимых исследований. осуществлять анализ достоверности результатов численного эксперимента в условиях разработанной модели; использование совре- менных методов, средств и технологий разработки объектов профессиональной дея- тельности;	использования современных специализированн ых прикладных математических пакетов программ прочностного анализа элементов конструкций; построения математической модели контактного взаимодействия деталей в упругой постановке; разработки технической документации планируемого численного эксперимента и результатов

			систем на основе современных ЭВМ и пакетов прикладных программ; основы языков программирования высокого уровня, специальных математических пакетов типа ANSYS/WORKBENCH, FEA-CRACK, используемых при проектировании сложных технических систем, технических устройств;	проведение комплексного технико-экономического анализа для обоснованного принятия решений, изыскание возможности сокращения цикла работ, содействие подготовке процесса их реализации с обеспечением необходимыми техническими данными, материалами; оборудованием; участие в работах по осуществлению исследований, в разработке проектов и программ, в проведении необходимых мероприятий, связанных с испытаниями оборудования и внедрением его в эксплуатацию, а также в выполнении работ по стандартизации технических средств, систем, процессов, оборудования, в рассмотрении различной технической документации цикла работ, содействие подготовке процесса их реализации с обеспечением необходимыми техническими данными, материалами. основы языков программирования высокого уровня, специальных математических пакетов типа ANSYS, COSMOSM, используемых при решении задач прочности и жесткости;	исследований; использования компьютерных технологий моделирования и обработки результатов; использования современных специализированных прикладных математических пакетов программ прочностного анализа элементов конструкций; разработки технической документации планируемого численного эксперимента и результатов исследований; использования компьютерных технологий обработки результатов; использования современных специализированных прикладных математических пакетов программ прочностного анализа элементов конструкций; построения математической модели контактного взаимодействия деталей в упругой постановке;
	Способность выбирать методы и разрабатывать алгоритмы решения задач управления сложными многомерными объектами управления	ПК-4	основные этапы решения инженерных и научных задач по проектированию и расчету элементов конструкций; знать методы расчетов неупругих деформаций и перемещений в конструкциях для последующей оценки их прочности (малоцикловой	производить численные расчеты по нелинейным математическим моделям механики деформированного твердого тела, с учетом физической и геометрической нелинейности; использовать методы расчета кинетики неупругого деформиро-	использования специальных математических пакетов прикладных программ для решения задач теории упругости; оценки достоверности результатов численной реализации математической

			усталости) и жесткости; основы теории и методов механики деформированного твердого тела; основные этапы решения инженерных и научных задач по проектированию и расчету на жесткость и прочность композитных материалов и стержневых конструкций с использованием современных ЭВМ и пакетов прикладных программ;	вания и вариационные методы теории предельного состояния для оценки напряжений и деформаций в конструкции при ее пластическом деформировании и ползучести. использовать современные объектно-ориентированные и иные пакеты прикладных программ для решения задач анализа напряженно-деформированного состояния элементов конструкций;	модели исследуемой конструкции; использования информационных технологий при проектировании и оценке прочности машин приборов и аппаратуры; использования специальных математических пакетов прикладных программ, используемых при решении задач прочностного анализа;
--	--	--	---	---	---

3. Содержание и структура дисциплины (модуля)

Дисциплина «Модуль: Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры» состоит из четырех частей:

1. Теория упругости (Часть-1);
2. Теория пластичности и ползучести (Часть-2);
3. Численные методы в динамике и прочности машин и конструкций (Часть-3);
4. Основы механики композиционных материалов и конструкций (Часть-4);

Общая трудоемкость дисциплины составляет 9 зачетных единиц (324 часа). Трудоемкость Части-1 составляет 2 з.е. (108 часов), Части-2 - 3 з.е. (108 часов), Части-3 - 2 з.е. (108 часов) и Части-4 - 2 з.е. (108 часов).

	2 семестр	3 семестр	4 семестр	5 семестр
	Часть-1	Часть-2	Часть-3	Часть-4
Лекции (Л)	18	18	12	20
Практические занятия (ПЗ)	18	18	8	8
Лабораторные работы (ЛР)	-	-	-	8
КСР	-	-	-	-
Курсовая проект работа (КР)	-	-	-	-
Расчетно-графическая работа (РГР)	-	-	-	-
Самостоятельная работа (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников и учебных пособий, подготовка к лабораторным и практическим занятиям, коллоквиумам, рубежному контролю и т.д.)	36	36	36	36
Подготовка и сдача экзамена	-	-	36	36
Подготовка и сдача зачета	9	9	-	-
Вид итогового контроля (зачет, экзамен)	Зачет	Зачет	экзамен	экзамен

Содержание разделов и формы текущего контроля

№	Наименование и содержание раздела	Количество часов				Литература, рекомендуемая студентам*	Виды интерактивных образовательных технологий**
		Аудиторная работа		СРС	Всего		
		Л	ПЗ				
	Часть-1						
1	Раздел I. Тензорная алгебра. Тензоры в линейном пространстве. Тензоры в Евклидовом пространстве. Скаляры и векторы. Понятие тензора. Компоненты тензора. Сложение, умножение и свертывание тензоров. Метрический тензор. Преобразование координат при смене базиса. Скалярное произведение векторов. Скалярное произведение тензоров. Скалярная свертка. Декартов базис. Собственные числа тензора. Полярные и цилиндрические координаты. Векторное произведение. Векторное свертывание. Тензор как линейный оператор. Инвариантные числа двухвалентного тензора.	2	2	4	8	Р. 6.1 №№1-3	Традиционное занятие с системным изложением материала и проверкой знаний на семинаре (Т)
2	Раздел II. Теория напряжений. Тензор напряжений. Уравнения движения и равновесия в компонентах тензора напряжений. Краевые условия на поверхности. Формирование краевой задачи теории упругости в напряжениях. Уравнения движения и равновесия в декартовой системе координат. Смена базиса. Уравнения движения и равновесия в цилиндрических и сферических координатах. Главные площадки и главные напряжения. Определение главных напряжений. Инварианты напряженного состояния.	2	4	8	14	Р. 6.1 №№1-3	Традиционное занятие с системным изложением материала и проверкой знаний на семинаре (Т)
3	Раздел III. Теория деформаций. Связь между напряженным и деформированным состояниями. Тензор конечных и малых деформаций. Уравнения совместности деформаций. Тензор малых деформаций в декартовой, цилиндрической и сферической системах координат. Определение перемещений по компонентам тензора малой деформации. Обобщенный закон Гука. Потенциал тензора напряжений. Потенциал тензора напряжений при линейно-упругом деформировании. Интегральное представление энергии движения и равновесия упругого тела. Энергетические теоремы теории упругости (теоремы Клапейрона, Кастильяно, Максвелла). Теорема о взаимности работ (теорема Бетти).	4	6	12	22	Р. 6.1 №№1-3	Традиционное занятие с системным изложением материала и проверкой знаний на семинаре (Т)
4	Раздел IV. Замкнутая система уравнений теории упругости. Основные задачи теории упругости. Дифференциальные уравнения равновесия. Уравнение Коши. Полная система уравнений теории	10	6	12	28	Р. 6.1 №№1-3	Традиционное занятие с системным

	упругости. Принцип возможных перемещений. Закон сохранения энергии. Устойчивость. Однозначность решения. Принцип суперпозиции. Свойства симметрии. Разрешающее уравнение теории упругости в перемещениях. Разрешающее уравнение теории упругости в напряжениях (Уравнение Бельтрами-Митчела). Гармоническая функция напряжений и перемещений. Задача о всестороннем равномерном давлении на тело. Задача о сферической полости в неограниченном теле. Задача о сфере, нагруженной внешним и внутренним давлением. Задача о цилиндрическом включении. Задача Лямэ о трубе, нагруженной внутренним и внешним давлением. Сосредоточенная сила в неограниченном теле (задача Кельвина). Действие сосредоточенной силы на полупространство (задача Буссинеска). Особенности двумерного пространства. Основные уравнения теории упругости. Бигармоническая Функция напряжений (функция ЭРИ).						изложением материала и проверкой знаний на семинаре (Т)
Часть-2							
1	Раздел I. Векторная интерпретация состояния конструкций. Векторное пространство полей деформаций Векторное представление полей напряжений и деформаций в конструкции. Совместные и “самоуравновешенные” деформации. Энергетический смысл скалярного произведения в выбранном пространстве. Аналогия с пространством напряжений. Вектор нагрузки. Полная система уравнений краевой задачи в векторном виде. Идеально вязкая конструкция - реологическая функция Потенциал ползучести. Поверхность текучести и предельная поверхность. Устойчивость материала и конструкции; выпуклость поверхностей. Градиентальность скоростей неупругой деформации. Области нагрузок, отвечающих упругой работе, ограниченной и неограниченной ползучести, предельные нагрузки. Склерономная конструкция как частный случай реономной.	5	5	10	20	Р. 6.1, №№4-11, Р. 6.2, №№ 9-11	Т
2	Раздел II. Реологические свойства неупругих конструкций. Общие закономерности поведения конструкций. Энергетическая характеристика неупругого (пластического, вязкого) деформирования конструкции. Диссипация энергии и скрытая энергия. Нестационарная и стационарная ползучесть. Кинематическое нагружение и предельное состояние. Статический и кинематический признаки предельной нагрузки. Деформационное упрочнение. Анизотропия упрочнения. Память о предыстории, ее связь с перераспределением самоуравновешенных напряжений. Склерономная память реономной	5	5	10	20	Р. 6.1, №№4-8, Р. 6.2, №№ 9-11	Т

	конструкции. Случай локализации неупругих деформаций в зонах концентрации напряжений.						
3	Раздел III. Закономерности циклического нагружения. Закон стабилизации процесса циклического неупругого деформирования. Стационарное циклическое состояние. Теоремы Мелана и Койтера. Полная стабилизация при неограниченном анизотропном упрочнении. “Циклическая” и “статическая” составляющие реакции конструкции, особенности их стабилизации.	8	8	16	32	Р. 6.1, №№4-8, Р. 6.2, №№ 9-11	Т
Часть-3							
1	Раздел I. Введение. Построение математических моделей задач механики деформированного твердого тела и современные методы их решения. Обзор математических моделей проблем механики деформированного твердого тела, учитывающих многообразие поведения реальных конструкций. Вопросы построения корректных краевых задач линейной и нелинейной механики сплошной среды. Основные понятия сеточных методов решения корректно поставленных краевых задач, явные и неявные схемы дискретизации. Роль вариационных методов аппроксимации функционалов равновесного состояния упругих тел. Понятие о методе конечных элементов. Основные концепции метода конечных элементов, области применения в инженерных расчетах. Достоинства и недостатки метода.	2		2	4	Р. 6.1, №№12-15, Р. 6.2, №№ 12-14	Традиционное занятие с системным изложением материала и проверкой знаний на семинаре (Т)
2	Раздел II. Теоретические основы метода конечных элементов в линейной механике деформированного твердого тела. Дискретизация исследуемой области. Типы конечных элементов .Одномерные, двумерные и трехмерные элементы. Функции формы, симплекс элементы. Матрица градиентов, матрица упругости и матрица жесткости элемента. Получение глобальной матрицы жесткости конструкции. Специфические свойства матрицы жесткости и их использование для ускорения процесса решения и повышения точности вычислений. Формирование силовых и кинематических граничных условий. Реализация метода конечных элементов в прикладном математическом пакете ANSYS. Характеристика типов и области применения конечных элементов библиотеки ANSYS. Решение линейных задач структурного анализа.	2	2	4	8	Р. 6.1, №№12-15, Р. 6.2, №№ 12-14	1. Классическое практическое занятие, где предусматривается системное изложение и закрепление планового материала.
3	Раздел III. Теоретические основы учета физической нелинейности исследования напряженно-деформированного состояния конструк-	2	2	4	8	Р. 6.1, №№12-15,	

	ций. Решение упругопластических задач механики деформированного твердого тела. Аппроксимация диаграммы деформирования материала. Учет пластических деформаций по деформационной теории, метод переменных параметров упругости. Анализ деформированного состояния по теории течения, формулировка, уравнений механики сплошной среды в приращениях деформаций. Критерии сходимости итерационных процессов. Учет деформаций ползучести по теории старения.					Р. 6.2, №№ 12-14	
4	Раздел IV. Применение численных методов к решению контактной задачи механики деформированного твердого тела. Постановка задачи контактного взаимодействия упругих тел. Причины некорректности формулировки условий контактирования элементов конструкций и способы реализации. Обзор существующих методов определения контактных давлений. Классические контактные задачи. Задача Герца, вдавливание штампа в полуплоскость. Конструкционные контактные задачи, функции влияния. Итерационные способы определения контактных давлений, условия сходимости. Использование метода конечных элементов для решения задач контактного взаимодействия упругопластических тел. Характеристики контактных элементов, используемых в прикладном математическом пакете ANSYS. Выбор контактных пар, учитывающих особенности механического взаимодействия.	2	2	4	8	Р. 6.1, №№12-15, Р. 6.2, №№ 12-14	
5	Раздел V. Теоретические основы исследования напряженно-деформированного состояния инженерных конструкций при сложном нагружении. Понятие о простом и сложном нагружении. Алгоритм расчета напряженно-деформированного состояния при простом нагружении. Метод последовательных нагружений, применительно к задачам сложного нагружения. Формирование краевой нелинейной задачи в конечных приращениях на текущем конечном этапе. Построение алгоритмов итерационного процесса решения задачи по физической нелинейности и характеру деформирования. Особенности установления характера разгружения.	2	2	4	8	Р. 6.1, №№12-15, Р. 6.2, №№ 12-14	Традиционное занятие с системным изложением материала и проверкой знаний на семинаре (Т)

6	Раздел VI. Реализация математических моделей механики деформированного твердого тела в современных прикладных комплексах ANSYS, DEFORM 3D, LS-DYNA. Обзор широкого круга задач подлежащего решению средствами МКЭ ANSYS. Задачи исследования статического и динамического напряженно-деформированного состояния конструкций, в том числе физически и геометрически нелинейных. Моделирование контактного взаимодействия упругопластических тел с помощью программы ANSYS. Модальный анализ. Расчет долговечности конструкций. Анализ технологических процессов.	2		18	36	Р. 6.1, №№12-15, Р. 6.2, №№ 12-14	Традиционное занятие с системным изложением материала и проверкой знаний на семинаре (Т)
Часть-4							
1	Раздел I . Композиты-материалы XXI века. Классификация КМ. Компоненты КМ. Армирующие материалы. Типы армирующих материалов. Стекло армирующие материалы. Углеродные нити и армирующие материалы на их основе. Органоволокна. Бороволокна. Свойства и методы получения. Матричные компоненты композиционных материалов	2	-	-	2	Р. 6.1, №№12-15, Р. 6.2, №№ 12-14	Традиционное занятие с системным изложением материала и проверкой знаний на семинаре (Т)
2	Раздел II. Микромеханика КМ. Прочностные характеристики однонаправленного слоя. Модели КМ для определения упругих и прочностных свойств. Модель однонаправленного слоя для определения модуля продольной упругости. Определение коэффициента Пуассона. Определение поперечного модуля упругости однонаправленного слоя. Определение модуля сдвига. Определение прочности однонаправленного слоя при растяжении, сжатии, сдвиге	2	2	4	8	Р. 6.1, №№12-15, Р. 6.2, №№ 12-14	Традиционное занятие с системным изложением материала и проверкой знаний на семинаре (Т)
3	Раздел III. Обобщенный закон Гука для анизотропных материалов. Макромеханика. Обобщенный закон Гука для анизотропного материала с общей анизотропией. Ортотропное тело. Обобщенный закон Гука для слоистого пакета, выраженный через упругие характеристики и параметры армирования	4	4	4	12	Р. 6.1, №№12-15, Р. 6.2, №№ 12-14	Традиционное занятие с системным изложением материала и проверкой знаний на семинаре (Т)

4	Раздел IV. Критерии прочности слоистых композиционных материалов. Критерии прочности слоистых композиционных материалов. Феноменологические критерии прочности. Критерий прочности Гольденבלата-Копнова. Критерий Мизяса-Хилла. Критерий наибольших напряжений и деформаций. Послойный анализ напряженно-деформированного состояния слоистых композиционных материалов. Структурные критерии прочности	2	-	4	6	Р. 6.1, №№12-15, Р. 6.2, №№ 12-14	Традиционное занятие с системным изложением материала и проверкой знаний на семинаре (Т)
5	Раздел V. Строительная механика стержневых систем из анизотропных материалов. Строительная механика стержневых систем из анизотропных материалов. Определение напряжений в слоях стержневых систем при растяжении, сжатии, изгибе. Определение перемещений балок при изгибе методом Мора с учетом сдвиговых деформаций. Влияние сдвиговых деформаций на прогиб балочных конструкций	2	2	4	8	Р. 6.1, №№12-15, Р. 6.2, №№ 12-14	Традиционное занятие с системным изложением материала и проверкой знаний на семинаре (Т)
6	Раздел VI. Строительная механика ортотропных пластин. Напряженно-деформированное состояние анизотропных пластин. Общие исходные соотношения. Выражение напряжений через функцию прогибов срединной поверхности. Дифференциальное уравнение изогнутой поверхности ортотропной пластинки. Изгиб прямоугольных ортотропных пластинок. Оценка прочности анизотропных пластинок	4	-	4	8	Р. 6.1, №№12-15, Р. 6.2, №№ 12-14	Традиционное занятие с системным изложением материала и проверкой знаний на семинаре (Т)
7	Раздел VII. Напряженно-деформированное состояние анизотропных оболочек. Исходные соотношения. Основные уравнения безмоментной теории. Безмоментное напряженное состояние цилиндрических ортотропных оболочек. Силовые граничные условия. Применение МКЭ для расчета многослойных оболочек вращения	2	-	4	6	Р. 6.1, №№12-15, Р. 6.2, №№ 12-14	Традиционное занятие с системным изложением материала и проверкой знаний на семинаре (Т)
8	Раздел VIII. Статическая устойчивость ортотропных пластин. Постановка задачи и основные методы определения критических нагрузок. Уравнение изогнутой поверхности ортотропной пластинки с учетом сил в срединной поверхности. Устойчивость прямоугольной пластинки сжатой в одном направлении	-	-	4	4	Р. 6.1, №№12-15, Р. 6.2, №№ 12-14	Традиционное занятие с системным изложением материала и проверкой

							знаний на семинаре (Т)
9	Раздел IX. Экспериментальные и экспериментально-аналитические методы определения механических свойств монослоев и многослойных композитов	2	-	2	4	Р. 6.1, №№12-15, Р. 6.2, №№ 12-14	Традиционное занятие с системным изложением материала и проверкой знаний на семинаре (Т)

Практические занятия (семинары)

№ занятия	№ Раздела	Тема	Кол-во часов
Часть-1			
1.	1	Тензоры в линейном пространстве. Тензоры в Евклидовом пространстве.	2
2.	2	Напряжения и деформации при однородном напряженно-деформированном состоянии	2
3.	3	Обобщенный закон Гука. Потенциал тензора напряжений. Потенциал тензора напряжений при линейно-упругом деформировании. Интегральное	6
4.	4	Теория напряжений и деформаций при неоднородном напряженно-деформированном состоянии. Некоторые классические задачи теории упругости. Плоская	8
Часть-2			
1.	1	Анализ технических теорий ползучести. Механическая модель ползучести с анизотропным упрочнением.	5
2.	2	Векторная интерпретация для идеально пластической фермы. Силовое и тепловое нагружение. Знакопеременное нагружение. Диаграмма приспособляемости.	5
3.	3	Расчет деформаций в зоне концентрации напряжений. Применение формулы Нейбера. Случай неизотермического нагружения.	8
Часть-3			
1.	2	Применение метода конечных элементов для решения одномерной задачи, плоской задачи и объемной задачи теории упругости	2
2.	2	Расчет напряженно-деформированного состояния за пределами упругих деформаций. Применение деформационной теории. Теория течения.	4
3.	2	Алгоритмизация итерационного процесса решения задачи контактного взаимодействия упругих тел	2
Часть-4			
1	2	Определение упругих и прочностных характеристик однонаправленного слоя.	2
2	3	Определение упругих характеристик многослойных композиционных материалов.	2
3	5	Определение напряжений в слоях и оценка прочности слоев.	2

4	5	Определение перемещений при изгибе балочных конструкций.	2
5	3	Исследование анизотропии модулей упругости при растяжении. Построение диаграммы анизотропии. Сравнение полученных модулей с теоретическими.	4
6	3	Определение модуля сдвига ортотропного стеклопластика (при кручении трубчатого образца).	2
7	3	Испытания композиционных материалов при изгибе	2

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы

Вопросы для самостоятельного изучения (для подготовки к обсуждению на семинаре).

Часть-1. Теория упругости

Тема 1. Тензорная алгебра.

1. Тензоры в линейном пространстве. Тензоры в Евклидовом пространстве.
2. Скаляры и векторы.
3. Понятие тензора. Компоненты тензора. Сложение, умножение и свертывание тензоров. Метрический тензор.
4. Преобразование координат при смене базиса. Скалярное произведение векторов.
5. Скалярное произведение тензоров. Скалярная свертка.
6. Декартов базис. Собственные числа тензора. Полярные и цилиндрические координаты.
7. Векторное произведение. Векторное свертывание.
8. Тензор как линейный оператор. Инвариантные числа двухвалентного тензора.

Тема 2. Теория напряжений.

1. Тензор напряжений. Уравнения движения и равновесия в компонентах тензора напряжений.
2. Краевые условия на поверхности. Формирование краевой задачи теории упругости в напряжениях.
3. Уравнения движения и равновесия в декартовой системе координат. Смена базиса.
4. Уравнения движения и равновесия в цилиндрических и сферических координатах.
5. Главные площадки и главные напряжения. Определение главных напряжений.
6. Инварианты напряженного состояния.

Тема 3. Теория деформаций.

1. Связь между напряженным и деформированным состояниями.
2. Тензор конечных и малых деформаций.
3. Уравнения совместности деформаций.
4. Тензор малых деформаций в декартовой, цилиндрической и сферической системах координат. Определение перемещений по компонентам тензора малой деформации.

5. Обобщенный закон Гука.
6. Потенциал тензора напряжений. Потенциал тензора напряжений при линейно-упругом деформировании.
7. Интегральное представление энергии движения и равновесия упругого тела.
8. Энергетические теоремы теории упругости (теоремы Клапейрона, Кастильяно, Максвелла). Теорема о взаимности работ (теорема Бетти).

Тема 4. Замкнутая система уравнений теории упругости.

1. Основные задачи теории упругости.
2. Дифференциальные уравнения равновесия. Уравнение Коши.
3. Полная система уравнений теории упругости.
4. Принцип возможных перемещений. Закон сохранения энергии.
5. Устойчивость.
6. Однозначность решения.
7. Принцип суперпозиции. Свойства симметрии.
8. Разрешающее уравнение теории упругости в перемещениях. Разрешающее уравнение теории упругости в напряжениях (Уравнение Бельтрами-Митчела).
9. Гармоническая функция напряжений и перемещений. Задача о всестороннем равномерном давлении на тело.
10. Задача о сферической полости в неограниченном теле. Задача о сфере, нагруженной внешним и внутренним давлением.
11. Задача о цилиндрическом включении. Задача Лямэ о трубе, нагруженной внутренним и внешним давлением.
12. Сосредоточенная сила в неограниченном теле (задача Кельвина). Действие сосредоточенной силы на полупространство (задача Буссинеска).
13. Особенности двумерного пространства. Основные уравнения теории упругости. Бигармоническая Функция напряжений (функция ЭРИ).

Часть-2. Теория пластичности и ползучести

Тема 1. Векторная интерпретация состояния конструкций.

1. Векторное пространство полей деформаций
2. Векторное представление полей напряжений и деформаций в конструкции. Совместные и “самоуравновешенные” деформации.
3. Энергетический смысл скалярного произведения в выбранном пространстве. Аналогия с пространством напряжений.
4. Вектор нагрузки. Полная система уравнений краевой задачи в векторном виде.
5. Идеально вязкая конструкция - реологическая функция
6. Потенциал ползучести. Поверхность текучести и предельная поверхность.
7. Устойчивость материала и конструкции; выпуклость поверхностей.
8. Градиентальность скоростей неупругой деформации.
9. Области нагрузок, отвечающих упругой работе, ограниченной и неограниченной ползучести, предельные нагрузки.
10. Склерономная конструкция как частный случай реономной.

Тема 2. Реологические свойства неупругих конструкций.

1. Общие закономерности поведения конструкций.

2. Энергетическая характеристика неупругого (пластического, вязкого) деформирования конструкции. Диссипация энергии и скрытая энергия.
3. Нестационарная и стационарная ползучесть.
4. Кинематическое нагружение и предельное состояние. Статический и кинематический признаки предельной нагрузки.
5. Деформационное упрочнение. Анизотропия упрочнения.
6. Память о предыстории, ее связь с перераспределением самоуравновешенных напряжений. Склерономная память реономной конструкции.
7. Случай локализации неупругих деформаций в зонах концентрации напряжений.

Тема 3. Закономерности циклического нагружения.

1. Закон стабилизации процесса циклического неупругого деформирования.
2. Стационарное циклическое состояние. Теоремы Мелана и Койтера.
3. Полная стабилизация при неограниченном анизотропном упрочнении.
4. “Циклическая” и “статическая” составляющие реакции конструкции, особенности их стабилизации.

Часть-3. Механика разрушения и конструкционная прочность

Тема 1. Введение. Построение математических моделей задач механики деформированного твердого тела и современные методы их решения.

1. Обзор математических моделей проблем механики деформированного твердого тела, учитывающих многообразие поведения реальных конструкций. Вопросы построения корректных краевых задач линейной и нелинейной механики сплошной среды.
2. Основные понятия сеточных методов решения корректно поставленных краевых задач, явные и неявные схемы дискретизации.
3. Роль вариационных методов аппроксимации функционалов равновесного состояния упругих тел.
4. Понятие о методе конечных элементов. Основные концепции метода конечных элементов, области применения в инженерных расчетах. Достоинства и недостатки метода.

Тема 2. Теоретические основы метода конечных элементов в линейной механике деформированного твердого тела.

1. Дискретизация исследуемой области. Типы конечных элементов. Одномерные, двумерные и трехмерные элементы.
2. Функции формы, симплекс элементы. Матрица градиентов, матрица упругости и матрица жесткости элемента.
3. Получение глобальной матрицы жесткости конструкции. Специфические свойства матрицы жесткости и их использование для ускорения процесса решения и повышения точности вычислений.
4. Формирование силовых и кинематических граничных условий.
5. Реализация метода конечных элементов в прикладном математическом пакете ANSYS. Характеристика типов и области применения конечных элементов библиотеки ANSYS.
6. Решение линейных задач структурного анализа.

Тема 3. Теоретические основы учета физической нелинейности исследования напряженно-деформированного состояния конструкций.

1. Решение упругопластических задач механики деформированного твердого тела.
2. Аппроксимация диаграммы деформирования материала.
3. Учет пластических деформаций по деформационной теории, метод переменных параметров упругости. Анализ деформированного состояния по теории течения, формулировка, уравнений механики сплошной среды в приращениях деформаций. Критерии сходимости итерационных процессов. Учет деформаций ползучести по теории старения.

Тема 4. Применение численных методов к решению контактной задачи механики деформированного твердого тела.

1. Постановка задачи контактного взаимодействия упругих тел.
2. Причины некорректности формулировки условий контактирования элементов конструкций и способы реализации. Обзор существующих методов определения контактных давлений.
3. Классические контактные задачи. Задача Герца, вдавливание штампа в полуплоскость.
4. Конструкционные контактные задачи, функции влияния.
5. Итерационные способы определения контактных давлений, условия сходимости.
6. Использование метода конечных элементов для решения задач контактного взаимодействия упругопластических тел. Характеристики контактных элементов, используемых в прикладном математическом пакете ANSYS.
7. Выбор контактных пар, учитывающих особенности механического взаимодействия.

Тема 5. Теоретические основы исследования напряженно-деформированного состояния инженерных конструкций при сложном нагружении.

1. Понятие о простом и сложном нагружении. Алгоритм расчета напряженно-деформированного состояния при простом нагружении.
2. Метод последовательных нагружений, применительно к задачам сложного нагружения.
3. Формирование краевой нелинейной задачи в конечных приращениях на текущем конечном этапе.
4. Построение алгоритмов итерационного процесса решения задачи по физической нелинейности и характеру деформирования.
5. Особенности установления характера разгрузки.

Тема 6. Реализация математических моделей механики деформированного твердого тела в современных прикладных комплексах ANSYS, DEFORM 3D, LS-DYNA.

1. Обзор широкого круга задач подлежащего решению средствами МКЭ ANSYS.
2. Задачи исследования статического и динамического напряженно-деформированного состояния конструкций, в том числе физически и геометрически нелинейных.
3. Моделирование контактного взаимодействия упругопластических тел с помощью программы ANSYS.
4. Модальный анализ.
5. Расчет долговечности конструкций.
6. Анализ технологических процессов.

Часть-4. Основы механики композиционных материалов и конструкций

Тема 1. Композиты-материалы XXI века. Классификация КМ. Компоненты КМ.

1. Армирующие материалы. Типы армирующих материалов.
2. Стекло армирующие материалы.
3. Углеродные нити и армирующие материалы на их основе.
4. Органоволокна. Бороволокна. Свойства и методы получения. Матричные компоненты композиционных материалов.

Тема 2. Микромеханика КМ. Прочностные характеристики однонаправленного слоя.

1. Модели КМ для определения упругих и прочностных свойств.
2. Модель однонаправленного слоя для определения модуля продольной упругости.
3. Определение коэффициента Пуассона. Определение поперечного модуля упругости однонаправленного слоя.
4. Определение модуля сдвига. Определение прочности однонаправленного слоя при растяжении, сжатии, сдвиге.

Тема 3. Обобщенный закон Гука для анизотропных материалов. Макромеханика.

1. Обобщенный закон Гука для анизотропного материала с общей анизотропией.
2. Ортотропное тело.
3. Обобщенный закон Гука для слоистого пакета, выраженный через упругие характеристики и параметры армирования.

Тема 4. Критерии прочности слоистых композиционных материалов.

1. Критерии прочности слоистых композиционных материалов. Феноменологические критерии прочности.
2. Критерий прочности Гольденבלата-Копнова.
3. Критерий Мизяса-Хилла.
4. Критерий наибольших напряжений и деформаций.
5. Послойный анализ напряженно-деформированного состояния слоистых композиционных материалов. Структурные критерии прочности.

Тема 5. Строительная механика стержневых систем из анизотропных материалов.

1. Строительная механика стержневых систем из анизотропных материалов.
2. Определение напряжений в слоях стержневых систем при растяжении, сжатии, изгибе.
3. Определение перемещений балок при изгибе методом Мора с учетом сдвиговых деформаций. Влияние сдвиговых деформаций на прогиб балочных конструкций.

Тема 6. Строительная механика ортотропных пластин.

1. Напряженно-деформированное состояние анизотропных пластин. Общие исходные соотношения.
2. Выражение напряжений через функцию прогибов срединной поверхности.
3. Дифференциальное уравнение изогнутой поверхности ортотропной пластинки.
4. Изгиб прямоугольных ортотропных пластинок.
5. Оценка прочности анизотропных пластинок.

Тема 7. Напряженно-деформированное состояние анизотропных оболочек.

1. Исходные соотношения.

2. Основные уравнения безмоментной теории. Безмоментное напряженное состояние цилиндрических ортотропных оболочек.
3. Силовые граничные условия.
4. Применение МКЭ для расчета многослойных оболочек вращения.

Тема 8. Статическая устойчивость ортотропных пластин.

1. Постановка задачи и основные методы определения критических нагрузок.
2. Уравнение изогнутой поверхности ортотропной пластинки с учетом сил в срединной поверхности.
3. Устойчивость прямоугольной пластинки сжатой в одном направлении.

Тема 9. Экспериментальные и экспериментально-аналитические методы определения механических свойств монослоев и многослойных композитов.

В ходе самостоятельной работы аспиранты:

- выполняют задания по подготовке к практическим занятиям;
- читают, аннотируют и реферируют научные публикации по своей специальности;
- осуществляют поиск информации в библиотечно-информационной системе вуза, сети Интернет).

При выполнении самостоятельной работы по внеаудиторному чтению аспиранты пользуются литературой, рекомендуемой их научными руководителями.

Формы контроля самостоятельной работы:

- проверка письменных заданий на практических занятиях;
- проверка аннотаций и рефератов научных публикаций;
- индивидуальные консультации с преподавателем.

Для осуществления промежуточной аттестации используются вопросы из банка контрольно-измерительных материалов, хранящихся на кафедре, которые периодически обновляются.

Аспирант подготавливает доклад на заданную тему. Выбирает вопросы для доклада из заданного списка либо, исходя из материалов научно-исследовательской работы, и согласовывает их с преподавателем. Семинар проходит в устной форме.

5. Фонд оценочных средств

Оценка уровня освоения дисциплины осуществляется в виде текущего и промежуточного контроля успеваемости аспирантов университета на основе критериев оценки уровня освоения дисциплины.

Контроль представляет собой набор заданий и проводится в форме контрольных мероприятий по оцениванию фактических результатов обучения студентов и осуществляется ведущим преподавателем.

Объектами оценивания выступают:

- учебная дисциплина (активность на занятиях, своевременность выполнения различных видов заданий, посещаемость всех видов занятий по аттестуемой дисциплине и пр.);
- степень усвоения теоретических знаний;
- уровень овладения практическими умениями и навыками по всем видам учебной работы;
- результаты самостоятельной работы.

Активность обучающегося на занятиях оценивается на основе выполненных работ и заданий, предусмотренных ФОС дисциплины.

Оценивание проводится преподавателем независимо от наличия или отсутствия обучающегося (по уважительной или неуважительной причине) на занятии. Оценка носит комплексный характер и учитывает достижения обучающегося по основным компонентам

учебного процесса за текущий период.

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции (или ее части)	Уровень освоения, определяемый этапом формирования компетенции	Наименование оценочного средства*
	Часть-1			
1	Тензорная алгебра. Тензоры в линейном пространстве. Тензоры в Евклидовом пространстве.	ПК-1	Базовый уровень освоения	Теоретические вопросы к зачету, задания для контроля умений и владений (навыков)
			Повышенный уровень освоения	задания для контроля умений и владений (навыков)
2	Теория напряжений	ПК-1	Базовый уровень освоения	Теоретические вопросы к зачету, задания для контроля умений и владений (навыков)
			Повышенный уровень освоения	задания для контроля умений и владений (навыков)
3	Теория деформаций. Связь между напряженным и деформированном состоянием.	ПК-1	Базовый уровень освоения	Теоретические вопросы к зачету, задания для контроля умений и владений (навыков)
			Повышенный уровень освоения	задания для контроля умений и владений (навыков)
4	Замкнутая система уравнений теории упругости Основные задачи теории упругости.	ПК-1	Базовый уровень освоения	Теоретические вопросы к зачету, задания для контроля умений и владений (навыков)
			Повышенный уровень освоения	задания для контроля умений и владений (навыков)
	Часть-2			

1	Векторная интерпретация состояния конструкций	ПК-2	Базовый освоения уровень	Теоретические вопросы к зачету, задания для контроля умений и владений (навыков)
			Повышенный освоения уровень	задания для контроля умений и владений (навыков)
2	Реологические свойства неупругих конструкций	ПК-2	Базовый освоения уровень	Теоретические вопросы к зачету, задания для контроля умений и владений (навыков)
			Повышенный освоения уровень	задания для контроля умений и владений (навыков)
3	Закономерности циклического нагружения	ПК-2	Базовый освоения уровень	Теоретические вопросы к зачету, задания для контроля умений и владений (навыков)
			Повышенный освоения уровень	задания для контроля умений и владений (навыков)
	Часть-3			
1	Введение. Построение математических моделей задач механики деформированного твердого тела и современные методы их решения.	ПК-3	Базовый освоения уровень	Теоретические вопросы к экзамену, кейс-задача
2	Теоретические основы метода конечных элементов в линейной механике деформированного твердого тела.	ПК-3	Базовый освоения уровень	Теоретические вопросы к экзамену, кейс-задача

3	Теоретические основы учета физической нелинейности исследования напряженно-деформированного состояния конструкций	ПК-3	Базовый освоения	уровень	Теоретические вопросы к экзамену, кейс-задача
4	Применение численных методов к решению контактной задачи механики деформированного твердого тела	ПК-3	Базовый освоения	уровень	Теоретические вопросы к экзамену, кейс-задача
5	Теоретические основы исследования напряженно-деформированного состояния инженерных конструкций при сложном нагружении	ПК-3	Базовый освоения	уровень	Теоретические вопросы к экзамену, кейс-задача
6	Реализация математических моделей механики деформированного твердого тела в современных прикладных комплексах ANSYS, DEFORM 3D, LS-DYNA	ПК-3	Базовый освоения	уровень	Теоретические вопросы к экзамену, кейс-задача
Часть-4					
1	Композиты-материалы XXI века. Классификация КМ. Компоненты КМ.	ПК-4	Базовый освоения	уровень	Теоретические вопросы к экзамену, кейс-задача

2	Микромеханика КМ. Прочностные характеристики однонаправленного слоя.	ПК-4	Базовый освоения	уровень	Теоретические вопросы к экзамену, кейс-задача
3	Обобщенный закон Гука для анизотропных материалов. Макромеханика.	ПК-4	Базовый освоения	уровень	Теоретические вопросы к экзамену, кейс-задача
4	Критерии прочности слоистых композиционных материалов.	ПК-4	Базовый освоения	уровень	Теоретические вопросы к экзамену, кейс-задача
5	Строительная механика стержневых систем из анизотропных материалов.	ПК-4	Базовый освоения	уровень	Теоретические вопросы к экзамену, кейс-задача
6	Строительная механика ортотропных пластин.	ПК-4	Базовый освоения	уровень	Теоретические вопросы к экзамену, кейс-задача
7	Напряженно-деформированное состояние анизотропных оболочек.	ПК-4	Базовый освоения	уровень	Теоретические вопросы к экзамену, кейс-задача
8	Статическая устойчивость ортотропных пластин.	ПК-4	Базовый освоения	уровень	Теоретические вопросы к экзамену, кейс-задача
9	Экспериментальные и кспериментально-аналитические методы определения механических свойств монослоев и многослойных композитов.	ПК-4	Базовый освоения	уровень	Теоретические вопросы к экзамену, кейс-задача

Типы контроля успешности освоения программы.

- 1) текущий контроль успеваемости;
- 2) промежуточный контроль; проводится после завершения изучения каждой из Частей 1, 2, 3, 4 модуля.

Текущий контроль успеваемости – это проверка усвоения учебного материала, регулярно осуществляемая на протяжении семестра.

Промежуточный контроль проводится в форме получения аспирантами зачёта или экзамена по дисциплине модуля.

Формат зачётов и экзамена по всем частям модуля связан с ответом аспиранта на контрольные вопросы. Аспиранты допускаются к сдаче зачетов и экзаменов по итогам текущего контроля и только после защиты предусмотренных учебным планом практических работ.

Теоретические вопросы к зачету по Части-1 Теория упругости

1. Основные понятия курса «Теория упругости»: перемещения, деформации (линейные, угловые). Проекция вектора перемещений. Формулы.
2. Напряженное состояние в точке: главные напряжения, главные площадки. Формулы.
3. Тензор напряжений: шаровой тензор, девиатор напряжений. Формулы.
4. Относительная объемная деформация.
5. Выражение линейных и угловых деформаций через проекции вектора перемещений.
6. Обобщенный закон Гука.
7. Уравнение Леви.
8. Определение нормальных и касательных напряжений с использованием формулы Эри.
9. Развернутый вид бигармонического уравнения.
10. Гипотезы, используемые для расчета тонких пластин.
11. Дифференциальное уравнение изогнутой поверхности пластинки.
12. Плоская деформация и плоское перемещение.
13. Выражение для жесткости пластинки при изгибе.
14. Условия на контуре пластинки.

На зачете обучающемуся выдается три теоретических вопроса.

Критерии оценки:

- оценка «зачтено» выставляется обучающемуся при правильных ответах на два и более теоретических вопроса.
- оценка «не зачтено» выставляется обучающемуся при правильных ответах менее чем на два вопроса.

Теоретические вопросы к зачету по Части-2 Теория пластичности и ползучести

1. Пластическое деформирование твердых тел. Остаточные деформации. Идеальная пластичность.
2. Физические механизмы пластического течения. Понятие о дислокациях. Локализация пластических деформаций. Линии Людерса—Чернова.
3. Идеальное упругопластическое тело. Идеальное жесткопластическое тело. Пространство напряжений.
4. Критерий текучести и поверхность текучести. Критерии Треска и Мизеса. Пространство главных напряжений. Геометрическая интерпретация условий текучести. Условие полной пластичности.

5. Упрочняющееся упругопластическое тело. Упрочняющееся жесткопластическое тело. Функция нагружения, поверхность нагружения. Параметры упрочнения.
6. Законы связи между напряженным и деформированным состояниями в теории течения. Принцип Мизеса. Постулат Друккера. Ассоциированный закон пластического течения.
7. Теория скольжения. Краевые задачи теории течения. Теоремы единственности. Вариационные принципы теории течения.
8. Теория предельного равновесия. Статическая и кинематическая теоремы теории предельного равновесия. Верхние и нижние оценки. Примеры.
9. Кручение призматического тела за пределом упругости. Песчано-мембранная аналогия Прандтля—Надаи для кручения идеально упругопластических тел.
10. Пластическое плоское деформированное состояние. Методы решения основных краевых задач теории плоской пластической деформации. Пластическое плоское напряженное состояние. Уравнения для напряжений и скоростей при условии пластичности Мизеса.
11. Деформационные теории пластичности. Теория Генки. Теория малых упругопластических деформаций А.А. Ильюшина. Теорема о разгрузке. Метод упругих решений. Задача о толстостенной трубе из упрочняющегося материала.
12. Упругопластические волны в стержне. Ударное нагружение. Волна разгрузки. Остаточные деформации. Критическая скорость удара.

Критерии оценки:

- оценка «отлично» выставляется обучающемуся, если минимум два вопроса имеют полные ответы¹ и один вопрос имеет неполный ответ и, кроме того, выполнены базовый и повышенный уровни задания.

- оценка «хорошо» - варианты:

- 1) минимум один вопрос имеет полный ответ и два вопроса имеют неполные ответы, базовый уровень задания выполнен без существенных замечаний;

- 2) минимум один вопрос имеет полный ответ, один вопрос имеет неполный ответ и в одном вопросе обозначена правильная постановка ответа, но ответ не доведён до конца; базовый уровень задания выполнен без существенных замечаний;

- оценка «удовлетворительно» - варианты:

- один вопрос имеет неполный ответ, в двух вопросах обозначена правильная постановка ответов, но ответы не доведены до конца;

- оценка «неудовлетворительно» выставляется обучающемуся, если два или три вопроса не имеют ответов; не выполнен базовый уровень задания, то есть имеются явные ошибки при расчетах по моделям волоконно-оптической линии, распределения мощности не построены.

Теоретические вопросы к экзамену по Части-3 Численные методы в динамике и прочности машин и конструкций

1. Теоретическая и реальная прочность твердых тел. Первая модель тела с трещиной (трещина Гриффитса).
2. Напряженное состояние у вершины полубесконечной трещины. Метод комплексных потенциалов. Коэффициенты интенсивности напряжений.
3. Методы расчетов коэффициентов интенсивности напряжений в упругих телах при различных условиях нагружения. Примеры.
4. Коэффициент интенсивности напряжений в ДКБ-образце. Задача И.В. Обреимова.
5. Динамические задачи механики хрупкого разрушения. Локальное стационарное поле.

¹ Полный ответ – развернутый ответ, охватывающий все технические аспекты вопроса; неполный ответ – ход рассуждения правильный, но конечный результат (вывод) неверный; нет ответа – отсутствует ответ или ход рассуждения выбран неправильно, наличие грубых ошибок.

6. Динамические задачи механики хрупкого разрушения. Установившиеся колебания у вершины неподвижной трещины.
7. Силовой и энергетический критерии хрупкого разрушения. Их эквивалентность.
8. Концепция квазихрупкого разрушения. Поправка Ирвина на пластическую деформацию.
9. Модель Леонова-Панасюка-Дагдейла. Разгрузка трещины в модели Дагдейла.
10. Распределение напряжений у вершины трещины в упругопластическом материале со степенным упрочнением. Инвариантный J-интеграл Эшелби-Черепанова-Райса.
11. Двухпараметрические критерии разрушения. Предел трещиностойкости материала.
12. Параметр поврежденности (сплошности). Модель Качанова-Работнова. Определяющие соотношения связанной и несвязанной постановок краевых задач в теории ползучести с поврежденностью.
13. Асимптотика напряжений у вершины стационарной трещины в нелинейно вязком теле. Инвариантный S^* -интеграл теории установившейся ползучести.
14. Модель роста трещины в несвязанной постановке теории ползучести с поврежденностью.
15. Автомодельная постановка задачи о трещине в среде с поврежденностью. Модель роста трещины в связанной постановке теории ползучести с поврежденностью.
16. Модели коррозионного растрескивания (диффузионная модель, феноменологическая модель).
17. Математическая модель коррозионного роста трещин. Пороговый коэффициент интенсивности напряжений.
18. Многоцикловая и малоцикловая усталость. Рост трещин при циклическом нагружении. Эмпирическая формула Париса.
19. Теоретические зависимости роста усталостных трещин. Усталостная долговечность.
20. Критерий осреднения напряжений у вершины трещины (критерий Новожилова) в статических и динамических задачах механики разрушения.
21. Метод годографа в задачах механики разрушения для случая антиплоского сдвига (упругопластический материал).
22. Автомодельная задача о трещине антиплоского сдвига в среде с поврежденностью (связанная постановка задачи ползучести с поврежденностью).
23. Диффузионная модель роста трещины при водородном охрупчивании.
24. Электрохимический механизм роста трещин при коррозионном разрушении.
25. Поверхностное взаимодействие твердого тела со средой. Адсорбционный эффект.

Критерии оценки:

- оценка «отлично» выставляется обучающемуся, если минимум два вопроса имеют полные ответы и один вопрос имеет неполный ответ
- оценка «хорошо» - *варианты*:
 - 1) минимум один вопрос имеет полный ответ и два вопроса имеют неполные ответы;
 - 2) минимум один вопрос имеет полный ответ, один вопрос имеет неполный ответ и в одном вопросе обозначена правильная постановка ответа, но ответ не доведён до конца
- оценка «удовлетворительно» - *варианты*:
 - 1) один вопрос имеет неполный ответ, в двух вопросах обозначена правильная постановка ответов, но ответы не доведены до конца;
 - 2) два вопроса имеют неполные ответы и один вопрос не имеет ответа;
- оценка «неудовлетворительно» выставляется обучающемуся, если два или три вопроса не имеют ответов.

Теоретические вопросы к экзамену по Части-4 Основы механики композиционных материалов и конструкций

1. Классификация композиционных материалов и элементов авиаконструкций.
2. Основные этапы проектирования конструкций из композиционных материалов.
3. Обобщенный закон Гука для материала с общей анизотропией.
4. Обобщенный закон Гука для ортотропного материала.
5. Определение характеристик упругости однонаправленного композитного материала.
6. Физические соотношения для слоистых композитных материалов.
7. Определение характеристик упругости слоистых композитов по нитяной модели.
8. Критерии прочности для анизотропных материалов.
9. Теория расчета композитных балок.
10. Основные соотношения для композитных пластин.
11. Определение жесткостных коэффициентов для различных схем армирования пластин при плоском напряженном состоянии.
12. Изгиб пластин поперечной нагрузкой.
13. Устойчивость композитных пластин.
14. Оптимальное армирование композитных пластин.
15. Оптимальное армирование цилиндрической оболочки при кручении.
16. Проектирование баллона давления.
17. Проектирование сетчатой цилиндрической оболочки.
18. Расчет композитных элементов по балочной теории.
19. Проектирование трехслойных панелей.
20. Проектирование клеевого нахлесточного соединения.
21. Назовите уровни неоднородности композитных материалов
22. Какие допущения использовались при выводе зависимостей для определения характеристик упругости однонаправленного композитного материала.
23. В чем заключается "правило смеси".
24. Напишите выражение для определения продольного модуля упругости по модели "цилиндрический стержень-волокно в коаксиальном объеме-матрице".
25. Напишите выражение для определения модуля сдвига по модели "цилиндрический стержень-волокно в коаксиальном объеме-матрице".

Критерии оценки:

- оценка «отлично» выставляется обучающемуся, если минимум два вопроса имеют полные ответы и один вопрос имеет неполный ответ
- оценка «хорошо» - варианты:
 - 1) минимум один вопрос имеет полный ответ и два вопроса имеют неполные ответы;
 - 2) минимум один вопрос имеет полный ответ, один вопрос имеет неполный ответ и в одном вопросе обозначена правильная постановка ответа, но ответ не доведён до конца
- оценка «удовлетворительно» - варианты:
 - 1) один вопрос имеет неполный ответ, в двух вопросах обозначена правильная постановка ответов, но ответы не доведены до конца;
 - 2) два вопроса имеют неполные ответы и один вопрос не имеет ответа;
- оценка «неудовлетворительно» выставляется обучающемуся, если два или три вопроса не имеют ответов.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

6.1 Основная литература

1. Качанов Л. М. Основы теории пластичности. - М. : Наука, 1969. - 420 с.
2. Малини Н. Н. Прикладная теория пластичности и ползучести. - М. : Машиностроение, 1975.- 400 с.
3. Работнов Ю. Н. Ползучесть элементов конструкций. - М. : Физматгиз, 1966.- 752 с.
4. Броек Д. Основы механики разрушения.– М.: Высшая школа, 1980. – 368 с.
5. Хеллан К. Введение в механику разрушения.– М.: Мир, 1988.– 364 с.
6. Махутов Н.А. Сопротивление элементов конструкций хрупкому разрушению. – М.: Машиностроение, 1973. – 200 с.
7. Лехницкий С.Г. Теория упругости анизотропного тела. – М.: Наука. – 1977. – 416 с.
8. Образцов И.Ф. и др. Оптимальное армирование оболочек вращения из композиционных материалов./ И.Ф. Образцов, В.В. Васильев, В.А. Бунаков. – М.: Машиностроение. – 1977.
9. Первушин Ю.С., Жернаков В.С. Основы механики, проектирования и технологии изготовления изделий из слоистых композиционных материалов: Учеб. пособие/ Ю.С. Первушин, В.С. Жернаков. – Уфа: изд. УГАТУ. – 2008. – 303 с.

Дополнительная литература

1. Тимошенко С.П., Гудьер Дж. Теория упругости. – М.: Наука, 1979.
2. Гохфельд Д. А. , Садаков О. С. Пластичность и ползучесть конструкций при повторных нагружениях.- М. : Машиностроение, 1984.- 256 с.
3. ГОСТ 25506-85. Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний металлов. Определение характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении.
4. Будилов И.Н., Жернаков В.С. Сопротивление разрушению элементов разъемных соединений высоконагруженных конструкций.-М.:Наука,2000.-240С.

6.3. Интернет-ресурсы (электронные учебно-методические издания, лицензионное программное обеспечение)

ЭБС, доступные УГАТУ:

№	Наименование ресурса	Объем фонда электронных ресурсов (экз.)	Доступ	Реквизиты договоров с правообладателями
	2	3	4	5
1.	ЭБС «Лань» http://e.lanbook.com/	41716	С любого компьютера, имеющего выход в Интернет, после	Договор ЕД-671/0208-14 от 18.07.2014. Договор № ЕД - 1217/0208-15 от

			регистрации в ЭБС по сети УГАТУ	03.08.2015
2.	ЭБС Ассоциации «Электронное образование Республики Башкортостан» http://e-library.ufa-rb.ru	1225	С любого компьютера, имеющего выход в Интернет, после регистрации в АБИС «Руслан» на площадке библиотеки УГАТУ	ЭБС создается в партнерстве с вузами РБ. Библиотека УГАТУ – координатор проекта
3.	Консорциум аэрокосмических вузов России http://elsau.ru/	1235	С любого компьютера, имеющего выход в Интернет, после регистрации в АБИС «Руслан» на площадке библиотеки УГАТУ	ЭБС создается в партнерстве с аэрокосмическими вузами РФ. Библиотека УГАТУ – координатор проекта
4.	Электронная коллекция образовательных ресурсов УГАТУ http://www.library.ugatu.ac.ru/cgi-bin/zgate.exe?Init+ugatu-fulltxt.xml,simple-fulltxt.xml+rus	528	С любого компьютера по сети УГАТУ	Свидетельство о регистрац. №2012620618 от 22.06.2012

Электронные ресурсы, доступные УГАТУ:

№	Наименование ресурса	Объем фонда электронных ресурсов	Доступ	Реквизиты договоров с правообладателями
1.	Электронная библиотека диссертаций РГБ	885352 экз.	Доступ с компьютеров читальных залов библиотеки, подключенных к ресурсу	Договор №1330/0208-14 от 02.12.2014
2.	СПС «КонсультантПлюс»	2007691 экз.	По сети УГАТУ	Договор 1392/0403-14 т 10.12.14
3.	СПС «Гарант»	6139026 экз.	Доступ с компьютеров читальных залов библиотеки, подключенных к ресурсу	ООО «Гарант-Регион, договор № 3/Б от 21.01.2013 (продлонгирован до 08.02.2016)
4.	ИПС «Технорма/Документ»	36939 экз.	Локальная установка: библиотека УГАТУ-5 мест; кафедра стандартизации и метрологии-1 место; кафедра начертательной	Договор № АОСС/914-15 № 989/0208-15 от 08.06.2015.

			геометрии и черчения-1 место	
5.	Научная электронная библиотека eLIBRARY* http://elibrary.ru/	9169 полнотекстовых журналов	С любого компьютера, имеющего выход в Интернет, после регистрации в НЭБ на площадке библиотеки УГАТУ	ООО «НАУЧНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ БИБЛИОТЕКА». № 07-06/06 от 18.05.2006
6.	Тематическая коллекция полнотекстовых журналов «Mathematics» издательства Elsevier http://www.sciencedirect.com	120 наимен. журнал.	С любого компьютера по сети УГАТУ, имеющего выход в Интернет	Договор №ЭА-190/0208-14 от 24.12.2014 г.
7.	Научные полнотекстовые журналы издательства Springer* http://www.springerlink.com	1900 наимен. журнал.	С любого компьютера по сети УГАТУ, имеющего выход в Интернет	Доступ открыт по гранту РФФИ
8.	Научные полнотекстовые журналы издательства Taylor & Francis Group* http://www.tandfonline.com/	1800 наимен. журнал.	С любого компьютера по сети УГАТУ, имеющего выход в Интернет	В рамках Государственного контракта от 25.02.2014 г. №14.596.11.0002 между Министерством образования и науки и Государственной публичной научно-технической библиотекой России (далее ГПНТБ России)
9.	Научные полнотекстовые журналы издательства Sage Publications*	650 наимен. журнал.	С любого компьютера по сети УГАТУ, имеющего выход в Интернет	В рамках Государственного контракта от 25.02.2014 г. №14.596.11.0002 между Министерством образования и науки и ГПНТБ России
10	Научные полнотекстовые журналы издательства Oxford University Press* http://www.oxfordjournals.org/	275 наимен. журналов	С любого компьютера по сети УГАТУ, имеющего выход в Интернет	В рамках Государственного контракта от 25.02.2014 г. №14.596.11.0002 между Министерством образования и науки и ГПНТБ России
11	Научный полнотекстовый журнал Science The American Association for the	1 наимен. журнала.	С любого компьютера по сети УГАТУ,	В рамках Государственного контракта от

	Advancement of Science http://www.sciencemag.org		имеющего выход в Интернет	25.02.2014 г. №14.596.11.0002 между Министерством образования и науки и ГПНТБ России
12	Научный полнотекстовый журнал Nature компании Nature Publishing Group* http://www.nature.com/	1 наимен. журнала	С любого компьютера по сети УГАТУ, имеющего выход в Интернет	В рамках Государственного контракта от 25.02.2014 г. №14.596.11.0002 между Министерством образования и науки и ГПНТБ России
13	Научные полнотекстовые журналы Американского института физики http://scitation.aip.org/	18 наимен. журналов	С любого компьютера по сети УГАТУ, имеющего выход в Интернет	В рамках Государственного контракта от 25.02.2014 г. №14.596.11.0002 между Министерством образования и науки и ГПНТБ России
14	Научные полнотекстовые ресурсы Optical Society of America* http://www.opticsinfobase.org/	22 наимен. журн.	С любого компьютера по сети УГАТУ, имеющего выход в Интернет	В рамках Государственного контракта от 25.02.2014 г. №14.596.11.0002 между Министерством образования и науки и ГПНТБ России
15	База данных GreenFile компании EBSCO* http://www.greeninfoonline.co m	5800 библиографич записей, частично с полными текстами	С любого компьютера по сети УГАТУ, имеющего выход в Интернет	Доступ предоставлен компанией EBSCO российским организациям- участникам консорциума НЭЙКОН (в том числе УГАТУ - без подписания лицензионного договора)
16	Архив научных полнотекстовых журналов зарубежных издательств*- Annual Reviews (1936-2006) Cambridge University Press (1796-2011) цифровой архив журнала Nature (1869- 2011) Oxford University Press (1849– 1995)	2361 наимен. журн.	С любого компьютера по сети УГАТУ, имеющего выход в Интернет	Доступ предоставлен российским организациям- участникам консорциума НЭЙКОН (в том числе УГАТУ - без подписания лицензионного

	SAGE Publications (1800-1998) цифровой архив журнала Science (1880 -1996) Taylor & Francis (1798-1997) Институт физики Великобритании The Institute of Physics (1874-2000)			договора)
--	---	--	--	-----------

7. Образовательные технологии

При реализации ОПОП ВО подготовки кадров высшей квалификации при реализации различных видов учебной работы применяются информационные технологии (использование компьютерных тестирующих средств оценки уровня знаний обучаемых, использование мультимедийного сопровождения лекций, электронных мультимедийных учебных пособий и др.) и интерактивные методы и технологии обучения (лекции-визуализации, тренинг), с учетом содержания дисциплины и видов занятий, предусмотренных учебным планом.

В частности, предусмотрено использование следующих образовательных технологий:

1. Классическая лекция, предусматривающая систематическое, последовательное, монологическое изложение учебного материала.
2. Лекция-визуализация – передача информации посредством схем, таблиц, рисунков, видеоматериалов, проводится по ключевым темам с комментариями.

При реализации настоящей рабочей программы предусматриваются интерактивные и активные формы проведения занятий, дискуссии по темам исследования и поставленным научным проблемам, использование ролевых игр, мастер-классов экспертов и специалистов, тренингов по написанию научного текста, компьютерные симуляции.

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Аудиторный фонд кафедры телекоммуникационных систем включает как традиционные учебные аудитории, так и специализированные, обеспечивающие проведение всех видов дисциплинарной и междисциплинарной подготовки, практической и научно-исследовательской работы обучающихся, предусмотренных учебным планом.

Специализированные аудитории оснащены современной вычислительной, мультимедийной, проекционной и аудио-видео техникой.

Материально-техническая база обеспечивается наличием:

- лекционных аудиторий с современными средствами демонстрации: 2-122, 2-124;
- кафедральных лабораторий, обеспечивающих реализацию ОПОП ВО: 2-124, 2-122,1-033;

Технические средства обучения:

Компьютерный класс, оснащенный персональными компьютерами, подключенными к сети Internet. Программное обеспечение включает в себя средство разработки чертежей КОМПАС 3D v.13, а также Mathlab, MS Windows XP, Adobe Acrobat Reader, Microsoft Office и другие.

ЛИСТ
согласования рабочей программы

Направление подготовки: 01.06.01 Математика и механика

код и наименование

Направленность подготовки (программа): Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры

наименование

Дисциплина: «Модуль: Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры»

Учебный год 2015/2016

РЕКОМЕНДОВАНА заседанием кафедры сопротивление материалов

наименование кафедры

протокол № _____ от "___" _____ 20__ г.

Заведующий кафедрой СМ, д.т.н., профессор

В.С. Жернаков

подпись

расшифровка подписи

Исполнители:

_____ профессор кафедры СМ

В.С. Жернаков

—

должность

подпись

расшифровка подписи

СОГЛАСОВАНО:

Заведующий кафедрой СМ,

В.С. Жернаков

подпись

расшифровка подписи

Председатель НМС по УГСН 01.00.00 Математика и механика

протокол № _____ от "___" _____ 20__ г.

личная подпись

расшифровка подписи

Библиотека

личная подпись

расшифровка

подписи

дата

Начальник отдела аспирантуры _____ Р.К. Фаттахов

личная подпись

расшифровка

подписи

дата

Рабочая программа зарегистрирована в ООПМА и внесена в электронную базу данных

Начальник _____ И.А. Лакман _____

личная подпись

расшифровка

подписи

дата