

АННОТАЦИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

«Механика сплошных сред»

Дисциплина «Механика сплошных сред» является частью программы бакалавриата «Математическое моделирование (СУОС)» по направлению «01.03.02 Прикладная математика и информатика».

Цели и задачи дисциплины

Цель формирования комплекса знаний, умений и навыков по владению подходами и методами механики сплошных сред и применению их при математическом моделировании в естественных науках. Задачи учебной дисциплины

- изучение понятий механики сплошных сред, в частности понятий деформаций континуума, мер и тензоров деформации, их свойств, понятий геометрически линейных и нелинейных подходов; мер скоростей деформаций, их свойств; аксиоматики механики сплошных сред, законов динамики, балансовых уравнений, тензоров напряжений, моментных напряжений, понятий полярных и неполярных континуумов, неинерциальных систем отсчета, законов преобразования уравнений механики и входящих в них величин при замене системы отсчета; структуры балансовых уравнений, физических причины изменения массы, количества движения, момента количества движения, энергии и ее составляющих; видов поверхностей разрывов в сплошных телах и записи соотношений на поверхностях разрывов; изучение основных понятий теории определяющих соотношений, математических моделей классических сред (газов, жидкостей, упругих и упругопластических твердых тел); основ неравновесной термодинамики континуума, понятий устойчивости материала и конструкции; изучение методов решения задач механики сплошных сред для классических сред;
- формирование умения применять основные понятия нелинейной механики сплошных сред для формулировки математических постановок задач в научно-исследовательской деятельности, в том числе, обосновывать и выбирать в подходящие меры и тензоры деформаций, тензоры напряжений, записывать в уравнениях баланса физических величин слагаемые для потоков, источников и стоков этих величин в интегральном и локальном представлении, обосновывать использование конкретной модели сплошной среды, анализировать сделанную математическую постановку, линеаризовать поставленную задачу, записать начальные и граничные условия; применять на практике методы и приемы решения задач механики жидкости и газа, теории упругости, теории пластичности при использовании различных критериев пластического течения; использовать законы неравновесной термодинамики сплошной среды для формулировки и исследования постановок задач механики сплошных сред;
- формирование навыков математической постановки и решения задач из различных разделов механики сплошных сред (решения классических задач механики жидкости и газа, теории упругости, теории пластичности, неравновесной термодинамики сплошных сред), навыков учета в математической постановке механики сплошных сред связи между переменными, описывающими движение среды, и переменными, отвечающими за изменение различных физических величин при движении среды, владения практическими приемами и методами решения задач механики сплошных сред..

Изучаемые объекты дисциплины

Деформируемая сплошная среда как дифференцируемое многообразие и вводимые на нем объекты, такие как векторы перемещений, скоростей перемещений, тензоры и меры деформаций, напряжений, скоростей деформаций, их производные, в том числе объективные, связи между ними, системы отсчета; интенсивные характеристики массы, количества движения, момента количества движения, энергии и ее составляющих, балансовые уравнения для введенных величин, поверхности разрыва и соотношения на них, включая граничные условия, определяющие соотношения для классических сред, замкнутые математические постановки задач механики сплошных сред и методы их анализа и решения..

Объем и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах						
		Номер семестра						
		4	5	6				
1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме:	189	72	70	47				
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:								
- лекции (Л)					84	34	34	16
- лабораторные работы (ЛР)								
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)					95	34	34	27
- контроль самостоятельной работы (КСР)					10	4	2	4
- контрольная работа								
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	207	36	74	97				
2. Промежуточная аттестация								
Экзамен	36		36					
Дифференцированный зачет								
Зачет	18	9		9				
Курсовой проект (КП)								
Курсовая работа (КР)	18			18				
Общая трудоемкость дисциплины	432	108	180	144				

Краткое содержание дисциплины

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	
4-й семестр				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Кинематика деформирования сплошной среды	10	0	10	12
<p>Тема 1. Понятие сплошной среды. Континуализация. Гипотезы континуума. Понятие деформации континуума. Конфигурации. Материальные линии. Векторы локального базиса. Аффинные искажения. Деформационный градиент.</p> <p>Тема 2. Математические основы механики. Знакомство с МСС. Методы МСС. Область применимости. Примеры. Дифференциальные операторы над тензорами различного ранга в криволинейных системах координат. Производные функций по тензорному аргументу.</p> <p>Тема 3. Деформируемый континуум как дифференцируемое многообразие. Изменение метрики при деформировании. Меры и тензоры деформаций. Физический смысл компонент тензоров деформаций. Теорема о полярном разложении невырожденного тензора 2-го ранга. Представление мер и тензоров деформаций с помощью множителей из полярного разложения аффинора.</p> <p>Тема 4. Эллипсоиды деформаций. Главные оси тензоров деформаций. Собственные числа тензоров деформаций. Изменение материальных площадок, нормалей и объема при деформировании среды. Примеры построения мер для простейших видов аффинной и неаффинной кинематики деформирования среды.</p> <p>Тема 5. Приближение малых деформаций. Разложение дисторсии на симметричную и антисимметричную части. Аксиальный вектор поворота. Условие совместности малых деформаций. Условие совместности при больших деформациях. Примеры.</p>				
Основные сведения о поверхностях разрыва в сплошной среде	2	0	2	8
Тема 17. Соотношения на поверхностях разрыва. Понятие поверхности разрыва. Классификация поверхностей разрыва. Правило дифференцирование объемного интеграла при наличии поверхности разрыва. Нормальная скорость движения поверхности				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
разрыва. Тема 18. Теорема Кочина. Соотношения на поверхностях разрыва в от-счетной и текущей конфигурациях. Граничные условия для уравнений МСС как следствие условий на поверхностях разрыва				
Балансовые уравнения, напряжения, основные сведения об определяющих соотношениях	16	0	16	8
Тема 9. Закон сохранения массы: определения, аксиомы. Дифференцирование интеграла по подвижному объему. Вычисление материальных производных от функций различного ранга в отсчетной и текущей конфигурациях. Теорема Остроградского-Гаусса, ее обобщения. Общая структура балансовых уравнений. Уравнение неразрывности, уравнение несжимаемости. Л – 2 ч. Тема 10. Уравнение баланса количества движения: определение, аксиомы. Объемные и поверхностные силы. Внешние и внутренние силы. Вектор напряжений. Теоремы Коши о свойствах вектора напряжений. Л – 2 ч. Тема 11. Тензор напряжений Коши. Тензоры напряжений Пиолы-Кирхгофа. Физический смысл компонент тензора напряжений Коши. Уравнение движения сплошной среды в пространственном и материальном описании. Л – 2 ч. СРС – 2 ч. Тема 12. Уравнение баланса момента количества движения (МКД): определение, аксиомы. Внутренние и внешние, поверхностные и объемные моменты и моменты-пары. Тензор моментных напряжений. Интегральная и локальная формы уравнения баланса МКД. Неполярные и полярные среды. Уравнение МКД в материальном описании. Л – 2 ч. СРС – 2 ч. Тема 13. Первый закон термодинамики. Интегральная форма закона сохранения энергии: определения, аксиомы. Вектор потока тепла. Локальное уравнение баланса энергии. Теорема живых сил и уравнение притока тепла. Закон сохранения энергии в лагранжевом описании. Л – 2 ч. Тема 14. Второй закон термодинамики: определения, аксиомы. Интегральная				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
<p>формулировка. Неравенство Планка (положительность производства энтропии за счет внутренних источников). Неравенство Клаузиуса (для плотности производства энтропии). Дифференциальная формулировка второго закона термодинамики. Неравенство Фурье. Второй закон термодинамики в материальном описании.</p> <p>Тема 15. Полная система законов МСС в интегральной и локальной форм-мах. Анализ замкнутости постановки. Обзор основных принципов построения определяющих соотношений. Энергетически сопряженные пары тензоров.</p> <p>Тема 16. Принцип материальной индифферентности. Жесткое движение сплошного тела. Индифферентные и инвариантные тензоры. Плотность и деформационный градиент. Тензоры деформаций. Тензоры напряжений. Вектор скорости при жестком движении. Тензоры деформации скорости и вихря при жестком движении. Коротационные производные при наложенном жестком движении. Законы МСС при наложении жесткого движения.</p>				
Скорости деформаций континуума	6	0	6	8
<p>Тема 6. Вектор скорости частиц среды. Материальная производная. Локальная (частная) производная по времени, конвективная производная. Свойства материальной производной. Градиент скорости, тензор деформации скорости и вихря. Аксиальный вектор вихря. Теорема Коши-Гельмгольца. Примеры вычисления градиента скорости, деформации скорости вихря для простейших видов движения сплошной среды.</p> <p>Тема 7. Собственные векторы и числа тензора деформации скорости. Представление тензора вихря в собственном базисе тензора деформации скорости. Геометрическая картина изменения малой окрестности точки среды при мгновенных (бесконечно малых) преобразованиях. Кинематический смысл аксиального вектора вихря. Тензоры спина.</p> <p>Тема 8. Соотношения между скоростями изменения тензоров деформации и градиентом скорости. Коротационные и</p>				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
конвективные производные. Вывод различных производных. Скорости изменения материальных площадок и объема сплошной среды.				
ИТОГО по 4-му семестру	34	0	34	36
5-й семестр				
Теория упругости	18	0	18	32
Тема 25. История развития МДТТ и науки о материалах. Возникновение теории упругости. Имена и лица теории упругости. Эксперименты Галилея, Гука, Мариотта. Работы Лейбница, семейства Бернулли, Эйлера, Навье, Коши, Пуассона, Ламе, Клапейрона. Спор о количестве упругих постоянных. Вклад Грина. Упругий потенциал. Тема 26. Упругость по Коши, упругость по Грину. Обобщенный закон Гука. Симметричные свойства тензора линейно-упругих свойств. Число независимых ненулевых компонент. Материальная симметрия. Оси и плоскости симметрии. Типы кристаллических решеток металлов. Определение структуры обобщенного закона Гука для основных кристаллических решеток. Изотропный случай. Тема 27. Постановка задачи линейной ТУ в перемещениях. Вывод уравнений Ламе. Граничные условия. Тема 28. Уравнения Бельтрами-Митчелла. Условие совместности в напряжениях. Теорема Клапейрона. Единственность решения задачи линейной теории упругости. Принцип виртуальных работ. Классические теоремы статики линейной ТУ: теорема о минимуме потенциальной энергии, вариационный принцип Кастильяно. Осреднение упругой энергии, напряжений, деформаций. Оценка Хилла эффективных упругих свойств. Тема 29. Вывод уравнений Ламе из принципа минимума потенциальной энергии. Вывод уравнений Бельтрами-Митчелла из принципа минимума до-полнительной работы (принципа Кастильяно). Вариационный принцип Рейснера. Теорема Бетти о взаимности работ. Тема 30. Фундаментальное решение для				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
<p>изотропной упругой среды, задача Кельвина.</p> <p>Тема 31. Методы решения задач ТУ на основе функций смещения, решение Буссинеска-Галеркина, решение Папковича. Методы решения задач ТУ на основе функций напряжений.</p> <p>Тема 32. Задача о включении, вывод решения Эшелби. Задача Кирша.</p> <p>Тема 33. Плоская задача ТУ. Уравнения ПДС, ПНС. Комплексные переменные, комплексные потенциалы. Сила и момент, действующие на контур. Формула Колосова-Мусхелишвили. Решение для краевой дислокации. Устойчивые дислокационные субструктуры. Поле напряжений от точечного дислокационного диполя. Задача о трещине. Решение вблизи носа трещины. Коэффициент интенсивности напряжений.</p> <p>Тема 34. Проблема упругой устойчивости. Неоднозначность решения задач ТУ. Постановка и анализ задач ТУ при больших деформациях. Классификация постановок. Энергетический критерий определения критических нагрузок.</p> <p>Тема 35. Деформации гибких упругих тел. История решения задачи ТУ для пластинок и оболочек. Теория Кирхгофа. Сущность допущений Кирхгофа. Заключение: пути проникновения нелинейности в постановки задач ТУ, физическая и геометрическая нелинейности, классификация постановок (Новожилов), области их применимости.</p>				
Механика жидкости и газа	12	0	12	20
<p>Тема 19. Идеальные жидкости и газы: определения, свойства. Балансовые уравнения. Приближение несжимаемости. Граничные условия. Изэнтропийные течения. Область применимости различных приближений.</p> <p>Тема 20. Малые возмущения в идеальной жидкости и газе. Волновые уравнения. Свойства звуковой волны. Смена типа уравнения для потенциала скорости в стационарном течении при переходе через скорость звука. Гидростатика. Интеграл Бернулли.</p> <p>Тема 21. Линии и трубки тока. Вихревые трубки. Теоремы Гельмгольца. Теорема</p>				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
<p>Кельвина (Томсона). Потенциальные течения идеальной жидкости и газа.</p> <p>Тема 22. Плоские течения несжимаемой жидкости. Метод комплексных потенциалов. Обтекание различных тел. Парадокс Эйлера-Даламбера.</p> <p>Тема 23. Вязкие жидкости. Ламинарные течения несжимаемой вязкой жидкости. Течения Куэтта и Пуазейля. Объемная и динамическая вязкость. Теплопроводная жидкость.</p> <p>Тема 24. Безразмерное уравнение Навье-Стокса. Числа Рейнольдса и Фру-да. Турбулентные течения вязкой жидкости (обзор экспериментов). Некоторые точно решаемые задачи о течении вязких жидкостей. Течения в узких зазорах, вывод закона Дарси.</p>				
Теория пластических деформаций	4	0	4	22
<p>Тема 36. Обзор классических экспериментов. Классическая теория пластичности для металлов, обобщающая результаты экспериментов. Понятие поверхности и кривой текучести. Интенсивность напряжений и деформаций. Критерии пластического течения Треска-Сен-Венана и Мизеса. Упрочнение, различные параметры упрочнения. Теория пластического течения (ТПТ) с упрочнением.</p> <p>Тема 37. Внутренние напряжения в упругопластических телах. Тензор плотности дислокаций. Элементарная теория линий скольжения при плоской пластической деформации.</p>				
ИТОГО по 5-му семестру	34	0	34	74
6-й семестр				
Теория пластичности металлов при больших деформациях	6	0	7	21
<p>Тема 41. Мультипликативное разложение деформационного градиента. Представление градиента скорости. Кристаллы, системы скольжения. Ки-нематика пластического деформирования. Факторы Шмида для систем скольжения. Основные соотношения физической теории пластичности (ФТП).</p> <p>Тема 42. Сравнение ФТП и ТПТ, строение поверхностей текучести, учет анизотропии. Вариант ФТП, нечувствительной к</p>				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
скоростям. Вязкопластический вариант. Вариационная формулировка для использования в МКЭ. Тема 43. Неустойчивость в пластических материалах (потеря строгой эллиптичности). Механизмы дестабилизации материала. Возможность локализации пластических деформаций.				
Неравновесная термодинамика континуума	10	0	20	58
Тема 38. Принципы построение неравновесной ТД. Понятия обобщенных ТД потоков и сил. Изменение энтропии при отклонении от состояния ТД равновесия. Соотношения взаимности Онзагера. Тема 39. Многокомпонентные среды. Запись полной системы уравнений МСС для многокомпонентных сред. Тема 40. Термодинамические функции. Химический потенциал. Вывод потока тепла, энтропии, производства энтропии для многокомпонентных сред с теплопроводностью и диффузией. Неравенство Клаузиуса-Дюгема. Использование соотношений Онзагера и принципа Кюри. Приложения к теории больших деформаций.				
Курсовая работа	0	0	0	18
Курсовая работа				
ИТОГО по 6-му семестру	16	0	27	97
ИТОГО по дисциплине	84	0	95	207