

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Факультет компьютерных технологий и прикладной математики

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе,
качеству образования – первый
проректор

подпись

Хагуров Т.А.

«28» мая 2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Б1.О.14 Математические модели механики
деформируемого твердого тела

Направление подготовки 01.04.02 Прикладная математика и информатика

Направленность (профиль) Математическое моделирование в естествознании
и технологиях

Форма обучения очная

Квалификация магистр

Краснодар 2021

Рабочая программа дисциплины «Математические модели механики деформируемого твердого тела» составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки 01.04.02 Прикладная математика и информатика

Программу составили:

Дунаев В.И., д-р физ.-мат. наук, проф. кафедры математического моделирования КубГУ

Павлова А.В., д-р физ.-мат. наук, доцент, проф. кафедры математического моделирования КубГУ



Рабочая программа дисциплины «Математические модели механики деформируемого твердого тела» утверждена на заседании кафедры математического моделирования протокол № 10 от «20» мая 2021 г.

Заведующий кафедрой (разработчик) акад. РАН,
д-р физ.-мат. наук, проф. Бабешко В.А.



Утверждена на заседании учебно-методической комиссии факультета компьютерных технологий и прикладной математики протокол №1 от «21» мая 2021 г.

Председатель УМК факультета
д-р. техн. наук, доцент Коваленко А.В.



подпись

Рецензенты:

Калинчук В.В., д-р физ.-мат. наук, заведующий отделом математики, механики и нанотехнологий Южного научного центра РАН

Глушков Е.В., д-р физ.-мат. наук, директор Института математики, механики и информатики КубГУ

1 Цели и задачи изучения дисциплины

1.1 Цель освоения дисциплины

Цели изучения дисциплины определены Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования. Цели изучения дисциплины соотнесены с общими целями ООП ВО по направлению подготовки «Прикладная математика и информатика», в рамках которой преподается дисциплина.

Данная дисциплина ставит своей **целью** изучение методов построения математических моделей механики деформируемого твердого тела, овладение необходимым математическим аппаратом и выработку у будущих специалистов теоретических знаний и умений формулировать задачи прикладного исследования в области механики деформируемого твердого тела и оценивать средства, необходимые для его проведения, получение опыта эффективного применения математических методов в научной деятельности, формирование профессиональных навыков исследователя.

Процесс освоения данной дисциплины направлен на получения необходимого объема теоретических знаний, отвечающих требованиям ФГОС ВО и обеспечивающих успешное проведение магистром профессиональной деятельности, владение методологией формулирования и решения прикладных задач, а также на выработку умений применять на практике методы прикладной математики и информатики. Цели дисциплины соответствуют следующим формируемым компетенциям: ОПК-3, ПК-1, ПК-2.

1.2 Задачи дисциплины

Основные **задачи** дисциплины:

-усвоение идей и методов механики деформируемого твердого тела, необходимых для решения теоретических и прикладных задач применения дисциплины;

-формирование навыков построения математических моделей, выбора адекватного математического аппарата их исследования, анализа и практической интерпретации полученных математических результатов;

-формирование творческого подхода к моделированию различных механических процессов; привитие практических навыков использования методов механики деформируемого твердого тела при решении прикладных задач.

1.3 Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Математические модели механики деформируемого твердого тела» относится к обязательным дисциплинам Блока 1 "Дисциплины (модули)" части учебного плана подготовки магистра, базируется на знаниях, полученных по стандарту высшего образования, и является необходимой для теоретической подготовки магистров по программе «Математическое моделирование в естествознании и технологиях».

Место курса в профессиональной подготовке магистра определяется ролью механики деформируемого твердого тела в формировании высококвалифицированного специалиста в любой области знаний, использующей математические модели. Данная дисциплина является важным звеном в обеспечении магистра знаниями, позволяющими прикладнику успешно вести профессиональную деятельность в сфере разработки математических моделей решаемых задач, а также обеспечивать полный цикл процесса моделирования. Имеется логическая и содержательно-методическая взаимосвязь с другими частями ООП ВО. Дисциплина «Математические модели механики деформируемого твердого тела» связана с дисциплинами базового цикла и дисциплинами, относящимися к вариативной части. Данный курс наиболее тесно связан с курсами: Математические модели механики разрушения, Математические модели в сейсмологии, Современные методы обработки сигналов.

Необходимым требованием к «входным» знаниям, умениям и опыту деятельности обучающегося при освоении данной дисциплины, приобретенным в результате освоения предшествующих дисциплин является уверенное владение материалом следующих курсов: уравнения математической физики, дифференциальные уравнения, математический анализ, теория функций комплексного переменного.

1.4 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

В результате освоения курса «Математические модели механики деформируемого твердого тела» обучающийся должен обладать следующими общепрофессиональными и профессиональными компетенциями (ОПК и ПК):

ОПК-3 Способен разрабатывать математические модели и проводить их анализ при решении задач в области профессиональной деятельности

Знать ИОПК-3.4 (А/01.6 Зн.1) Методы и приемы формализации задач, методы разработки математических моделей и их анализа

ИОПК-3.5 (А/01.6 Зн.2) Методы и приемы алгоритмизации поставленных задач, их анализ при решении задач в области профессиональной деятельности

ИОПК-3.6 (А/01.6 Зн.4) Стандартные алгоритмы и области их применения, методы разработки математических моделей и их анализа

ИОПК-3.7 (А/01.6 Зн.7) Методологии разработки программного обеспечения, математического моделирования

Уметь ИОПК-3.11 (А/01.6 У.2) Использовать методы и приемы алгоритмизации поставленных задач, разрабатывать математические модели и проводить их анализ при решении задач в области профессиональной деятельности

Владеть ИОПК-3.14 (А/01.6 Тд.3) Анализ и оценка качества алгоритмизации поставленных задач в соответствии с требованиями технического задания или других принятых в организации нормативных документов

ПК-1 Способен формулировать и решать актуальные и значимые задачи фундаментальной и прикладной математики

Знать ИПК-1.1 (D/29.7 Зн.8) Современный отечественный и зарубежный опыт в решении актуальных и значимых задач фундаментальной и прикладной математики

ИПК-1.2 (А/01.6 Зн.1) Методы и приемы формализации задач фундаментальной и прикладной математики

Уметь ИПК-1.4 (А/01.6 У.1) Использовать методы и приемы формализации актуальных и значимых задач фундаментальной и прикладной математики

Владеть ИПК-1.8 (D/04.7 Тд.5) Ответы на вопросы и предложения участников аналитической группы проекта при решении задач фундаментальной и прикладной математики

ПК-2 Способен эффективно планировать необходимые ресурсы и этапы выполнения работ в области математического моделирования и информационно-коммуникационных технологий, составлять на высоком уровне соответствующие технические описания и инструкции

Знать ИПК-2.1 (D/01.6 Зн.2) Возможности современных и перспективных средств разработки программных продуктов, технических средств в области математического моделирования и информационно-коммуникационных технологий

ИПК-2.3 (D/29.7 Зн.1) Стандарты в области качества в области математического моделирования и информационно-коммуникационных технологий

Уметь	ИПК-2.9 (D/01.6 У.3) Проводить оценку и обоснование рекомендуемых решений, эффективно планировать необходимые ресурсы и этапы выполнения работ в области математического моделирования и информационно-коммуникационных технологий, составлять на высоком уровне соответствующие технические описания и инструкции ИПК-2.10 (D/29.7 У.1) Планировать работы и этапы выполнения работ в области математического моделирования и информационно-коммуникационных технологий
Владеть	ИПК-2.15 (D/01.6 Тд.1) Анализ возможностей реализации требований к программному обеспечению, планирование необходимых ресурсов и этапов выполнения работ в области математического моделирования и информационно-коммуникационных технологий ИПК-2.22 (D/04.7 Тд.3) Представление и обсуждение плана аналитических работ, планирование необходимых ресурсов и этапов выполнения работ в области математического моделирования и информационно-коммуникационных технологий, составление на высоком уровне соответствующих технических описаний и инструкций ИПК-2.23 (D/04.7 Тд.4) Распределение ролей и аналитических работ по участникам аналитической группы проекта, планирование необходимых ресурсов и этапов выполнения работ в области математического моделирования и информационно-коммуникационных технологий, составление на высоком уровне соответствующих технических описаний и инструкций.

Результаты обучения по дисциплине достигаются в рамках осуществления всех видов контактной и самостоятельной работы обучающихся в соответствии с утвержденным учебным планом.

Процесс освоения дисциплины «Дополнительные главы уравнений математической физики» направлен на получения необходимого объема теоретических знаний, отвечающих требованиям ФГОС ВО и обеспечивающих успешное ведение магистром научно-исследовательской деятельности, владение методологией формулирования и решения прикладных задач, а также на выработку умений применять на практике методы прикладной математики и информатики.

Код компетенции	Формулировка компетенции		
ОПК-3	Способен разрабатывать математические модели и проводить их анализ при решении задач в области профессиональной деятельности		
ИОПК-3.4 (А/01.6 Зн.1) Методы и приемы формализации задач, методы разработки математических моделей и их анализа ИОПК-3.5 (А/01.6 Зн.2) Методы и приемы алгоритмизации поставленных задач, их анализ при решении задач в области профессиональной деятельности	Знает	<ul style="list-style-type: none"> – основные понятия и концепции механики деформируемого твердого тела; подходы к исследованию уравнений механики деформируемого твердого тела, лежащие в основе построения эффективных аналитических и численных методов решения задач. – современные тенденции развития научных и прикладных достижений в области механики деформируемого твердого тела. 	

ИОПК-3.6 (А/01.6 Зн.4) Стандартные алгоритмы и области их применения, методы разработки математических моделей и их анализа ИОПК-3.7 (А/01.6 Зн.7) Методологии разработки программного обеспечения, математического моделирования ИОПК-3.11 (А/01.6 У.2) Использовать методы и приемы алгоритмизации поставленных задач, разрабатывать математические модели и проводить их анализ при решении задач в области профессиональной деятельности ИОПК-3.14 (А/01.6 Тд.3) Анализ и оценка качества алгоритмизации поставленных задач в соответствии с требованиями технического задания или других принятых в организации нормативных документов	Умеет	<ul style="list-style-type: none"> – описать конкретную прикладную задачу из области механики деформируемого твердого тела в виде краевой задачи для дифференциальных уравнений с частными производными или интегральных уравнений и определить пути ее решения. – использовать современные теории для решения научно-исследовательских и прикладных задач.
	Владет	<ul style="list-style-type: none"> – методологией формулирования и решения прикладных задач механики деформируемого твердого тела; навыками анализа, сопоставления и обобщения результатов теоретических и практических исследований в предметной области. – навыками построения математических моделей механики деформируемого твердого тела.

ПК1	Способен формулировать и решать актуальные и значимые задачи фундаментальной и прикладной математики
-----	--

ИОПК-3.4 (А/01.6 Зн.1) Методы и приемы формализации задач, методы разработки математических моделей и их анализа ИОПК-3.5 (А/01.6 Зн.2) Методы и приемы алгоритмизации поставленных задач, их анализ при решении задач в области профессиональной деятельности ИОПК-3.6 (А/01.6 Зн.4) Стандартные алгоритмы и области их применения, методы разработки математических моделей и их анализа ИОПК-3.7 (А/01.6 Зн.7) Методологии разработки программного обеспечения, математического моделирования ИОПК-3.11 (А/01.6 У.2) Использовать методы и приемы алгоритмизации поставленных задач, разрабатывать математические модели и проводить их анализ при решении задач в области профессиональной деятельности ИОПК-3.14 (А/01.6 Тд.3) Анализ и оценка качества алгоритмизации поставленных задач в соответствии с требованиями технического задания или других принятых в организации нормативных документов	Знает	<ul style="list-style-type: none"> – современные тенденции развития научных и прикладных достижений в области механики деформируемого твердого тела; – принципы выбора методов и средств изучения, математической модели деформируемого твердого тела.
	Умеет	<ul style="list-style-type: none"> – использовать современные теории для решения научно-исследовательских и прикладных задач. – исследовать математическую модель деформируемого твердого тела и оценивать ее адекватность.
	Владет	<ul style="list-style-type: none"> – навыками построения математических моделей механики деформируемого твердого тела. – основными методами исследования и решения линейных дифференциальных уравнений в частных производных и интегральных уравнений; навыками использования пакетов прикладных программ для моделирования и исследования задач механики деформируемого твердого тела.

ПК-2	Способен эффективно планировать необходимые ресурсы и этапы выполнения работ в области математического моделирования и информационно-коммуникационных технологий, составлять на высоком уровне соответствующие технические описания и инструкции
------	--

ИПК-2.1 (D/01.6 Зн.2) Возможности современных и перспективных средств разработки программных продуктов, технических средств в области математического моделирования и информационно-коммуникационных технологий	Знает	<ul style="list-style-type: none"> – способы использования современных методов для решения научных и практических задач.
---	--------------	---

<p>ИПК-2.3 (D/29.7 Зн.1) Стандарты в области качества в области математического моделирования и информационно-коммуникационных технологий</p> <p>ИПК-2.9 (D/01.6 У.3) Проводить оценку и обоснование рекомендуемых решений, эффективно планировать необходимые ресурсы и этапы выполнения работ в области математического моделирования и информационно-коммуникационных технологий, составлять на высоком уровне соответствующие технические описания и инструкции</p> <p>ИПК-2.10 (D/29.7 У.1) Планировать работы и этапы выполнения работ в области математического моделирования и информационно-коммуникационных технологий</p> <p>ИПК-2.15 (D/01.6 Тд.1) Анализ возможностей реализации требований к программному обеспечению, планирование необходимых ресурсов и этапов выполнения работ в области математического моделирования и информационно-коммуникационных технологий</p> <p>ИПК-2.22 (D/04.7 Тд.3) Представление и обсуждение плана аналитических работ, планирование необходимых ресурсов и этапов выполнения работ в области математического моделирования и информационно-коммуникационных технологий, составление на высоком уровне соответствующих технических описаний и инструкций</p> <p>ИПК-2.23 (D/04.7 Тд.4) Распределение ролей и аналитических работ по участникам аналитической группы проекта, планирование необходимых ресурсов и этапов выполнения работ в области математического моделирования и информационно-коммуникационных технологий, составление на высоком уровне соответствующих технических описаний и инструкций.</p>	Умеет	– обобщать и содержательно интерпретировать аналитические и численные результаты.
	Владеет	– приемами и способами отыскания тенденций в подходах и методах решения задач, в оценке эффективности различных методов.

2. Структура и содержание дисциплины.

2.1 Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зач. ед., (108 часов), их распределение по видам работ представлено в таблице

Вид учебной работы	Всего часов	Семестр (часы)
		3
Контактная работа, в том числе	28,3	28,3
Аудиторные занятия (всего):		
Занятия лекционного типа	14	14
Занятия семинарского типа (семинары, практические)	–	–

Вид учебной работы	Всего часов	Семестр (часы)
		3
занятия)		
Лабораторные занятия	14	14
Иная контактная работа:		
Контроль самостоятельной работы (КРП)	–	–
Промежуточная аттестация (ИКР)	0,3	0,3
Самостоятельная работа, в том числе:	44	44
Курсовая работа	–	–
Проработка учебного (теоретического) материала	36	36
Подготовка к текущему контролю	8	8
Контроль: экзамен		
Подготовка к экзамену	35,7	35,7
Общая трудоемкость	час.	108
	в том числе контактная работа	28,3
	зач. ед	3

2.2 Структура дисциплины

Распределение видов учебной работы и их трудоемкости по разделам дисциплины.

Разделы (темы) дисциплины, изучаемые в 3 семестре

Содержание и структура дисциплины

№	Наименование разделов	Количество часов			
		Всего	Аудиторная работа		Внеаудиторная работа СРС
			Л	ЛЗ	
1	2	3	4	5	7
1.	Основные постулаты и фундаментальные законы механики сплошной среды.	18	4	2	12
2.	Линейное упругое тело. Постановка задач теории упругости в перемещениях.	22	4	6	12
3.	Фундаментальные решения уравнений теории упругости.	14	2	2	10
4.	Интегральные уравнения краевых задач теории упругости.	18	4	4	10
Промежуточная аттестация (ИКР)		0,3	–	–	–
Подготовка к экзамену		35,7			
Итого:		108	14	14	44

Примечание: Л – лекции, ЛР – лабораторные занятия, СРС – самостоятельная работа студента.

2.3 Содержание разделов (тем) дисциплины

№	Наименование раздела	Содержание раздела	Форма текущего контроля
1	2	3	4
1.	Основные постулаты и фундаментальные законы механики сплошной среды.	Меры и тензоры деформации Коши-Грина и Альманзи. Эквивалентность способов описания. (2 ч.) Способы выражения тензоров деформации через вектор перемещения. Представления тензора напряжения. (2 ч.).	Опрос по результатам индивидуального задания.
2.	Линейное упругое тело. Определение вектора перемещения по тензору деформаций. Постановка задач теории упругости в перемещениях.	Закон Гука. Условия совместности. Тензор несовместности. Условия совместности в форме Сен-Венана. Определение вектора перемещения по линейному тензору деформаций. Формула Чезаро. Уравнения Ламе. Постановка задач теории упругости в напряжениях. Уравнения Бельтрами – Мичелла. Теорема единственности Кирхгоффа. Теорема взаимности Бетти. (2 ч.).	Опрос по результатам индивидуального задания.
3.	Фундаментальные решения уравнений теории упругости.	Тензор влияния. Теорема Максвелла. Действие сосредоточенной силы в неограниченном пространстве. Тензор Кельвина. Задачи Буссинеска и Черрути. (2 ч.).	Опрос по результатам индивидуального задания.
4.	Интегральные уравнения краевых задач теории упругости.	Интегральные уравнения и их классификация. Уравнения Фредгольма первого и второго рода (2 ч.). Сведение краевых задач теории упругости к интегральным уравнениям. Теоремы существования и единственности. (2 ч.).	Подготовка презентации. Защита группового задания..

2.3.2 Занятия семинарского типа

Учебный план не предусматривает занятий семинарского типа по дисциплине «Математические модели механики деформируемого твердого тела»

2.3.3 Лабораторные занятия

№	Наименование лабораторных работ	Форма текущего контроля
1	3	4
1	Способы выражения тензоров деформации через вектор перемещения. Представления тензора напряжения.	Отчет по ЛР
2	Закон Гука. Условия совместности Сен-Венана. Уравнения Ламе.	Отчет по ЛР
3	Действие сосредоточенной силы в неограниченном пространстве и полупространстве.	Отчет по ЛР
4	Интегральные уравнения.	Отчет по ЛР

2.3.4 Примерная тематика курсовых работ (проектов)

Учебный план не предусматривает курсовых работ по дисциплине «Математические модели механики деформируемого твердого тела».

2.4 Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)

№	Вид СРС	Перечень учебно-методического обеспечения дисциплины по выполнению самостоятельной работы
1	2	3
1	Подготовка к текущему контролю, подготовка индивидуальных заданий	Андреев В.К. Математические модели механики сплошных сред. Санкт-Петербург: Лань, 2015. 240 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/67464 . Методические указания по организации и выполнению самостоятельной работы, утвержденные на заседании кафедры математического моделирования факультета компьютерных технологий и прикладной математики ФГБОУ ВО «КубГУ», протокол № 10 от 30.03.2018.

Учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся из числа инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ) предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

Для лиц с нарушениями зрения:

- в печатной форме увеличенным шрифтом,
- в форме электронного документа,

Для лиц с нарушениями слуха:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа,

Данный перечень может быть конкретизирован в зависимости от контингента обучающихся.

2.5 Самостоятельное изучение разделов дисциплины

Целью самостоятельной работы является углубление знаний, полученных в результате аудиторных занятий. Содержание приведенной основной и дополнительной литературы позволяет охватить широкий круг задач и методов механики деформируемого твердого тела.

Раздел 1. Подходы Лагранжа и Эйлера для описания движения сплошной среды. Закон движения. Скорость и ускорение. Теория напряженного и деформируемого состояний. Малые деформации и малые вращения. Физический смысл компонент тензора деформаций.

Раздел 2. Закон Гука для изотропного и анизотропного тела. Тензор упругих постоянных. Частные случаи анизотропии. Постоянные Ламе. Технические постоянные. Модуль объёмного сжатия. Обратная форма закона Гука. Продольные и поперечные колебания в неограниченной упругой среде. Общее решение уравнения колебаний.

Раздел 3. Распределенная нормальная нагрузка. Применение функций Папковича-Нейбера к решению задачи Буссинеска-Черутти. Тензор влияния упругого полупространства. Постановка основных задач теории упругости. Первая краевая задача. Вторая краевая задача. Смешанные задачи. Теоремы о существовании и единственности.

Раздел 4. Альтернатива Фредгольма. Интегральные уравнения Вольтерра. Собственные значения и собственные функции интегрального уравнения. Резольвента интегрального уравнения. Сведение задач теории упругости к интегральным уравнениям. Применение интегральных преобразований Фурье, Бесселя и Лапласа к решению интегральных уравнений.

3. Образовательные технологии

В соответствии с требованиями ФГОС в программа дисциплины предусматривает использование в учебном процессе следующих образовательные технологии: чтение лекций с использованием мультимедийных технологий; метод малых групп, разбор практических задач.

Компьютерные технологии предоставляют средства разнопланового отображения алгоритмов и демонстрационного материала.

Подход разбора конкретных ситуаций широко используется как преподавателем, так и бакалаврами во время лекций и анализа результатов самостоятельной работы. Это обусловлено тем, что в процессе моделирования часто встречаются задачи, для которых единых подходов не существует. При исследовании и решении каждой конкретной задачи имеется, как правило, несколько методов, а это требует разбора и оценки целой совокупности конкретных ситуаций.

При обучении используются следующие образовательные технологии:

– Технология коммуникативного обучения – направлена на формирование коммуникативной компетентности студентов, которая является базовой, необходимой для адаптации к современным условиям межкультурной коммуникации.

– Технология разноуровневого (дифференцированного) обучения – предполагает осуществление познавательной деятельности студентов с учётом их индивидуальных способностей, возможностей и интересов, поощряя их реализовывать свой творческий потенциал.

– Технология модульного обучения – предусматривает деление содержания дисциплины на достаточно автономные разделы (модули), интегрированные в общий курс.

– Информационно-коммуникационные технологии (ИКТ) - расширяют рамки образовательного процесса, повышая его практическую направленность, способствуют интенсификации самостоятельной работы учащихся и повышению познавательной активности.

– Интернет-технологии – предоставляют широкие возможности для поиска информации, разработки научных проектов, ведения научных исследований.

– Технология индивидуализации обучения – помогает реализовывать личностно-ориентированный подход, учитывая индивидуальные особенности и потребности учащихся.

– Проектная технология – ориентирована на моделирование социального взаимодействия учащихся с целью решения задачи, которая определяется в рамках профессиональной подготовки, выделяя ту или иную предметную область.

– Технология обучения в сотрудничестве – реализует идею взаимного обучения, осуществляя как индивидуальную, так и коллективную ответственность за решение учебных задач.

– Технология развития критического мышления – способствует формированию разносторонней личности, способной критически относиться к информации, умению отбирать информацию для решения поставленной задачи.

Комплексное использование в учебном процессе всех вышеназванных технологий стимулируют личностную, интеллектуальную активность, развивают познавательные процессы, способствуют формированию компетенций, которыми должен обладать будущий специалист.

Основные виды интерактивных образовательных технологий включают в себя:

– работа в малых группах (команде) - совместная деятельность студентов в группе под руководством лидера, направленная на решение общей задачи путём творческого сложения результатов индивидуальной работы членов команды с делением полномочий и ответственности;

– анализ конкретных ситуаций - анализ реальных проблемных ситуаций, имевших место в соответствующей области профессиональной деятельности, и поиск вариантов лучших решений;

– развитие критического мышления – образовательная деятельность, направленная на развитие у студентов разумного, рефлексивного мышления, способного выдвинуть новые идеи и увидеть новые возможности.

Подход разбора конкретных задач и ситуаций широко используется как преподавателем, так и студентами во время лекций, лабораторных занятий и анализа результатов самостоятельной работы. Это обусловлено тем, что при исследовании и решении каждой конкретной задачи имеется, как правило, несколько методов, а это требует разбора и оценки целой совокупности конкретных ситуаций.

Семестр	Вид занятия	Используемые интерактивные образовательные технологии	Общее количество часов
9	Л	Интерактивная подача материала с мультимедийной системой. Обсуждение сложных и дискуссионных вопросов.	2
		№	Тема
	1	Постановка задач теории упругости в перемещениях. Уравнения Ламе.	2
	ЛР	Компьютерные занятия в режимах взаимодействия «преподаватель – студент» и «студент – студент»	6
Итого:			8

Цель *лекции* – обзор методов построения математических моделей механики деформируемого твердого тела, знакомство с проблемами и математическим аппаратом. На лекциях студенты получают общее представление о подходах и методах исследования и решения задач в данной области.

Цель *лабораторного занятия* – научить применять теоретические знания при решении и исследовании конкретных задач. Лабораторные занятия проводятся в компьютерных классах, при этом практикуется работа в группах.

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья предусмотрена организация консультаций с использованием электронной почты.

4 Оценочные и методические материалы

4.1 Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации

Учебная деятельность проходит в соответствии с графиком учебного процесса. Процесс самостоятельной работы контролируется во время аудиторных занятий и индивидуальных консультаций. Самостоятельная работа студентов проводится в форме изучения отдельных теоретических вопросов по предлагаемой литературе.

Фонд оценочных средств дисциплины состоит из средств текущего контроля и итоговой аттестации (зачета).

В качестве оценочных средств, используемых для текущего контроля успеваемости, предлагается перечень вопросов, которые прорабатываются в процессе освоения курса. Данный перечень охватывает все основные разделы курса, включая знания, получаемые во время самостоятельной работы. Кроме того, важным элементом технологии является самостоятельное решение студентами и сдача заданий. Это полностью индивидуальная форма обучения. Студент рассказывает свое решение преподавателю, отвечает на дополнительные вопросы.

Оценка успеваемости осуществляется по результатам: самостоятельного выполнения лабораторных работ, устного опроса при сдаче выполненных самостоятельных заданий, индивидуальных лабораторных заданий и защиты групповых заданий, ответа на экзамене (для выявления знания и понимания теоретического материала дисциплины, контроля ОПК-3). Проверка индивидуальных занятий и устный опрос по их результатам позволяет проверить компетенции ОПК-3, ПК-1, ПК-2. Существенным элементом образовательных технологий является не только умение студента найти решение поставленной задачи, но и донести его до всей аудитории. Защита групповых заданий проводится в виде представления результатов (средствами MS Office) и их обсуждения и служит контролем для проверки ПК-1, ПК-2.

Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

Перечень компетенций	Виды занятий					Формы контроля
	Л.	Лаб.	Пр.	КР	СРС	
ОПК-3	+				+	– Защита реферата; – Защита группового задания
ПК-1		+			+	– Защита реферата – Опрос по результатам выполнения индивидуальных заданий; – Опрос по результатам самостоятельной работы;
ПК-2					+	– Аналитический обзор

Оценочные средства для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья выбираются с учетом их индивидуальных психофизических особенностей.

– при необходимости инвалидам и лицам с ограниченными возможностями здоровья предоставляется дополнительное время для подготовки ответа на экзамене;

– при проведении процедуры оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья предусматривается использование технических средств, необходимых им в связи с их индивидуальными особенностями;

– при необходимости для обучающихся с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов процедура оценивания результатов обучения по дисциплине может проводиться в несколько этапов.

Процедура оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

Для лиц с нарушениями зрения:

- в печатной форме увеличенным шрифтом,
- в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями слуха:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа.

Данный перечень может быть конкретизирован в зависимости от контингента обучающихся.

Структура оценочных средств для текущей и промежуточной аттестации

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции (или ее части)	Наименование оценочного средства	
			Текущий контроль	Промежуточная аттестация
1	Основные постулаты и фундаментальные законы механики сплошной среды.	ИОПК-3.4 (А/01.6 Зн.1) ИОПК-3.5 (А/01.6 Зн.2) ИОПК-3.14 (А/01.6 Тд.3) ИОПК-3.4 (А/01.6 Зн.1) ИОПК-3.5 (А/01.6 Зн.2) ИОПК-3.6 (А/01.6 Зн.4) ИОПК-3.7 (А/01.6 Зн.7) ИПК-1.8 (D/04.7 Тд.5) ИПК-2.1 (D/01.6 Зн.2) ИПК-2.3 (D/29.7 Зн.1) ИПК-2.9 (D/01.6 У.3)	<i>ОИЗ</i>	<i>ВЭ(1-5)</i>
2	Линейное упругое тело. Определение вектора перемещения по тензору деформаций. Постановка задач теории упругости в перемещениях.	ИОПК-3.7 (А/01.6 Зн.7) ИОПК-3.11 (А/01.6 У.2) ИОПК-3.14 (А/01.6 Тд.3) ИОПК-3.4 (А/01.6 Зн.1) ИОПК-3.5 (А/01.6 Зн.2) ИПК-1.1 (D/29.7 Зн.8) ИПК-1.2 (А/01.6 Зн.1) ИПК-1.4 (А/01.6 У.1) ИПК-1.8 (D/04.7 Тд.5)	<i>ОИЗ</i>	<i>ВЭ(6-12)</i>
3	Фундаментальные решения уравнений теории упругости.	ИОПК-3.6 (А/01.6 Зн.4) ИОПК-3.7 (А/01.6 Зн.7) ИОПК-3.11 ИПК-1.1 (D/29.7 Зн.8) ИПК-1.2 (А/01.6 Зн.1) (А/01.6 У.2) ИПК-2.10 (D/29.7 У.1) ИПК-2.15 (D/01.6 Тд.1) ИПК-2.22 (D/04.7 Тд.3) ИПК-2.23 (D/04.7 Тд.4)	<i>ОИЗ</i>	<i>ВЭ(13-14)</i>
4	Интегральные уравнения краевых задач теории упругости.	ИОПК-3.11 (А/01.6 У.2) ИОПК-3.14 (А/01.6 Тд.3) ИПК-1.8 (D/04.7 Тд.5) ИПК-2.1 (D/01.6 Зн.2) ИПК-2.3 (D/29.7 Зн.1) ИПК-2.10 (D/29.7 У.1) ИПК-2.15 (D/01.6 Тд.1) ИПК-2.22 (D/04.7 Тд.3) ИПК-2.23 (D/04.7 Тд.4)	<i>ОИЗ</i>	<i>ВкЗ(16-17)</i>

Сокращения: *ОИЗ* – опрос по результатам индивидуального задания, *ВЭ* – вопросы к зачету.

Показатели, критерии и шкала оценки сформированных компетенций

Код и наименование компетенции	Соответствие уровней освоения компетенции планируемым результатам обучения и критериям их оценивания		
	пороговый	базовый	продвинутый
	Оценка		
	удовлетворительно	хорошо	отлично
<p>ОПК-3 – Способен разрабатывать математические модели и проводить их анализ при решении задач в области профессиональной деятельности</p> <p>ПК-1 – Способен формулировать и решать актуальные и значимые задачи фундаментальной и прикладной математики</p> <p>ПК-2 - Способен эффективно планировать необходимые ресурсы и этапы выполнения работ в области математического моделирования и информационно-коммуникационных технологий, составлять на высоком уровне соответствующие технические описания и инструкции</p>	<p><i>Знать</i> основные понятия и концепции механики деформируемого твердого тела; подходы к исследованию уравнений механики деформируемого твердого тела, лежащие в основе построения эффективных аналитических и численных методов решения задач.</p> <p><i>Уметь:</i> описать конкретную прикладную задачу из области механики деформируемого твердого тела в виде краевой задачи для дифференциальных уравнений с частными производными или интегральных уравнений и определить пути ее решения.</p> <p><i>Владеть:</i> методологией формулирования и решения прикладных задач механики деформируемого твердого тела; навыками анализа, сопоставления и обобщения результатов теоретических и практических исследований в области механики</p>	<p><i>Знать:</i> современные тенденции развития научных и прикладных достижений в области механики деформируемого твердого тела; принципы выбора методов и средств изучения математической модели деформируемого твердого тела.</p> <p><i>Уметь:</i> использовать современные теории для решения научно-исследовательских и прикладных задач; исследовать математическую модель деформируемого твердого тела и оценивать ее адекватность построения математических моделей механики деформируемого твердого тела; основными методами исследования и решения линейных дифференциальных уравнений в частных производных и интегральных уравнений;</p> <p><i>Студент показывает достаточный уровень профессиональных</i></p>	<p><i>Знать:</i> способы использования современных методов для решения научных и практических задач.</p> <p><i>Уметь:</i> обобщать и содержательно интерпретировать аналитические и численные результаты.</p> <p><i>Владеть:</i> навыками использования пакетов прикладных программ для моделирования и исследования задач механики деформируемого твердого тела; приемами и способами отыскания тенденций в подходах и методах решения задач, в оценке эффективности различных методов.</p> <p><i>Студент показывает не только высокий уровень теоретических знаний по дисциплине, но и прослеживает междисциплинарные связи. Умеет увязывать знания, полученные при изучении различных дисциплин, анализировать практические ситуации, принимать соответствующие</i></p>

Код и наименование компетенции	Соответствие уровней освоения компетенции планируемым результатам обучения и критериям их оценивания		
	пороговый	базовый	продвинутый
	Оценка		
	удовлетворительно	хорошо	отлично
	деформируемого твердого тела. <i>Студент показывает не достаточный уровень знаний учебного материала, не в полном объеме владеет практическими навыками, чувствует себя неуверенно при анализе междисциплинарных связей. В ответе не всегда присутствует логика, аргументы привлекаются недостаточно веские. На поставленные вопросы затрудняется с ответами, показывает недостаточно глубокие знания.</i>	знаний, свободно оперирует понятиями, методами оценки принятия решений, имеет представление о междисциплинарных связях, увязывает знания, полученные при изучении различных дисциплин, умеет анализировать практические ситуации, но допускает некоторые погрешности. Ответ построен логично, материал излагается хорошим языком, привлекается информативный и иллюстрированный материал, но при ответе допускает некоторые погрешности. Вопросы, задаваемые преподавателем, не вызывают существенных затруднений	решения. Ответ, построен логично, материал излагается четко, ясно, хорошим языком, аргументировано. На вопросы отвечает кратко, аргументировано, уверенно, по существу

Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

Примерные задания на лабораторные работы

Раздел 1. Основные постулаты и фундаментальные законы механики сплошной среды.

Примеры заданий:

1. Получить формулу, определяющую средние значения по объему составляющих тензора напряжений, возникающих в твердом теле от действия поверхностных нагрузок.
2. Определить поле перемещений и напряженное состояние для случая

$$h(z) = \frac{1-\nu}{1-2\nu} \theta + i\omega = \frac{A}{x+iy} = \frac{A}{z}$$

Показать, что данное напряженное состояние соответствует действию сил, равномерно распределенных по прямой, проходящей через начало координат нормально к плоскости x, y и направленных по оси x .

3. Найти комплексные потенциалы $\varphi(z), \psi(z)$, соответствующие решению предыдущей задачи.

Раздел 2. Линейное упругое тело. Определение вектора перемещения по тензору деформаций. Постановка задач теории упругости в перемещениях. Уравнения Ламе. Решение задач с использованием средств Maple.

Примеры заданий:

1. Пусть σ_{ij} - компоненты тензора напряжений, удовлетворяющие однородным уравнениям равновесия и связанные с компонентами тензора деформаций

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2}(u_{i,j} + u_{j,i})$$

законом Гука:

$$\sigma_{ij} = \lambda \theta \delta_{ij} + 2\mu \varepsilon_{ij}$$

Показать что функции

$$G_1 = \sigma_{xz} + \frac{1}{2(1+\nu)} z \frac{\partial \sigma}{\partial x} \quad G_2 = \sigma_{yz} + \frac{1}{2(1+\nu)} z \frac{\partial \sigma}{\partial y} \quad G_3 = \sigma_{zz} + \frac{1}{2(1+\nu)} z \frac{\partial \sigma}{\partial z}$$

где

$$\sigma = \sigma_{xx} + \sigma_{yy} + \sigma_{zz}$$

являются гармоническими.

2. Показать, что уравнениям равновесия в случае отсутствия массовых сил можно удовлетворить, полагая

$$\sigma_x = \frac{\partial^2 \varphi_3}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi_2}{\partial z^2}, \tau_{xy} = -\frac{\partial^2 \varphi_2}{\partial x \partial y}, \sigma_y = \frac{\partial^2 \varphi_1}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 \varphi_3}{\partial x^2}, \tau_{xy} = -\frac{\partial^2 \varphi_1}{\partial y \partial z}, \sigma_z = \frac{\partial^2 \varphi_2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi_1}{\partial y^2}, \tau_{xy} = -\frac{\partial^2 \varphi_2}{\partial z \partial x}$$

Найти условия, налагаемые на функции φ_i сплошностью тела. Показать, что указанное решение уравнений равновесия можно получить, исходя из следующих общих выражений для перемещений:

$$2\mu u = \frac{\partial}{\partial x}(\varphi_1 - \varphi_2 - \varphi_3), \quad 2\mu v = \frac{\partial}{\partial y}(\varphi_2 - \varphi_3 - \varphi_1), \quad 2\mu w = \frac{\partial}{\partial z}(\varphi_3 - \varphi_1 - \varphi_2)$$

3. Пусть функции $\varphi_i(x_1, x_2, x_3), i = 1, 2, 3$ и $\psi(x_1, x_2, x_3)$ являются гармоническими.

При каком условии формулы

$$u_i = \varphi_i + (r^2 - a^2) \frac{\partial \psi}{\partial x_i}, \quad r^2 = x_1^2 + x_2^2 + x_3^2, \quad a = const$$

определяют решение однородных уравнений Ламе?

4. Пусть u, v, w - компоненты вектора перемещения, удовлетворяющие однородным уравнениям Ламе. Показать, что функции

$$\Phi_1 = 2u - \frac{1}{2(1-\nu)} \left[y \left(\frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial x} \right) + z \left(\frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right]$$

$$\Phi_2 = 2v - \frac{1}{2(1-\nu)} \left[z \left(\frac{\partial v}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial y} \right) - x \left(\frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right]$$

$$\Phi_3 = 2w + \frac{1}{2(1-\nu)} z \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right)$$

являются гармоническими.

3. Пусть функции $\varphi_i(x, y, z)$, $i = 1, 2, 3$ и $\psi(x, y, z)$ являются гармоническими. При каком условии формулы

$$2\mu u = \varphi_1 + z \frac{\partial \psi}{\partial x}, \quad 2\mu v = \varphi_2 + z \frac{\partial \psi}{\partial y}, \quad 2\mu w = \varphi_3 + z \frac{\partial \psi}{\partial z}$$

определяют решение однородных уравнений Ламе?

5. Пусть \bar{f} - произвольный бигармонический вектор ($\Delta \Delta \bar{f} = 0$). При каком значении постоянной A выражение:

$$\bar{u} = \Delta \bar{f} + A \cdot \text{grad div} \bar{f}$$

будет определять решение однородных уравнений Ламе?

6. Найти общее решение однородных уравнений статической теории упругости, считая напряженное состояние плоским, т. е.

$$\sigma_{13} \equiv \sigma_{23} \equiv \sigma_{33} \equiv 0$$

7. Найти общий вид плоского напряженного состояния ($\sigma_{13} = \sigma_{23} = \sigma_{33} = 0$) в цилиндрической системе координат (r, φ, z) , при условии, что

$$u_r = u_r(r, z), \quad u_z = u_z(r, z), \quad u_\varphi = 0.$$

Раздел 3. Фундаментальные решения уравнений теории упругости. Решение задач с использованием средств Maple.

Примеры заданий:

1. Доказать, что перемещения, возникающие в неограниченной упругой среде от действия сосредоточенной силы, приложенной в начале координат, являются однородными функциями степени -1 . Показать, что решение

$$u = Axz/r^3, \quad v = Ayz/r^3, \quad w = A \left[z^2/r^3 + (3-4\nu)/r \right]$$

соответствует действию сосредоточенной силы, направленной вдоль оси Oz.

2. Получить общее решение задачи теории упругости при отсутствии массовых сил для полупространства $z > 0$ в двух случаях: на границе $z = 0$ равны нулю касательные
- а) перемещения; б) напряжения.
3. Определить деформированное состояние, возникающее в упругом полупространстве $z > 0$ от действия сосредоточенной силы P , приложенной в точке $(0, 0, d > 0)$ и направленной вдоль оси Oz , если на границе $z = 0$ равны нулю:
- а) перемещения; б) напряжения $\tau_{xz}, \tau_{zy}, \sigma_{zz}$.
4. Найти распределение напряжений в полубесконечном теле $z \geq 0$, подверженном воздействию радиально-симметричного давления, нормального к его поверхности и определяемого формулой:

$$p(r) = \frac{Pa}{2\pi(r^2 + a^2)^{3/2}}, \quad a > 0, \quad r^2 = x^2 + y^2$$

Рассмотреть предельный случай $a \rightarrow 0$.

5. Определить плоское деформированное состояние в упругой полуплоскости $x \geq 0$, нагруженной внутри сосредоточенной силой R_x , действующей вдоль оси x . Границу $x=0$ считать свободной от внешних усилий.

Раздел 4. Интегральные уравнения краевых задач. Решение интегральных уравнений с использованием средств Maple.

Примеры заданий:

1. Найти собственные значения и собственные функции для уравнения:

$$y(x) = \lambda \int_0^1 (-\exp(x+s))y(s)ds$$

2. Решить уравнение:

$$y(x) = \lambda \int_0^\pi \sin(x+s)y(s)ds + \sin x - \cos x$$

3. Методом преобразования Фурье решить уравнение:

$$y(x) = \lambda \int_0^\pi \exp(-a|x-s|)y(s)ds + \exp(-b|x|), \quad (a > 0, b > 0)$$

4. Решить уравнение Вольтерра:

$$x^2 = \int_0^x (x+s+1)y(s)ds$$

5. Построить резольвенту уравнения:

$$y(x) = \int_0^x (x-s)y(s)ds + x^2$$

Примерные темы рефераты

1. Закон Гука для изотропного и анизотропного тела.
2. Уравнения Ламе. Общее решение уравнения колебаний.
3. Начально-краевые задачи теории упругости.
4. Фундаментальные решения краевых задач теории упругости.
5. Применение интегральных преобразований в задачах теории упругости.

6. Сведение краевых задач теории упругости к интегральным уравнениям.

Примерные темы аналитических обзоров

1. Методы построения фундаментального решения теории упругости для стратифицированных упругих полуограниченных сред.
2. Методы решения интегральных уравнений смешанных задач теории упругости.
3. Применение преобразования Фурье-Лапласа для решения нестационарных задач теории упругости.
4. Применение численных методов в решении краевых задач теории упругости.
5. Применение поверхностных волн в технике.
6. Вопросы разрешимости и свойства ядер интегральных уравнений динамических смешанных задач теории упругости.

Экзаменационные материалы для промежуточной аттестации (экзамен)

Примерный перечень вопросов, выносимых на экзамен

Перечень вопросов, выносимых на экзамен:

1. Напряженное состояние линейно-упругого тела. Дифференциальные уравнения равновесия.
2. Напряжения на площадках, наклоненных к координатным плоскостям. Условия на поверхности.
3. Главные площадки и главные напряжения.
4. Инварианты тензора напряжений.
5. Компоненты перемещения и компоненты деформации. Зависимость между ними.
6. Уравнения неразрывности деформаций (уравнения Сен-Венана).
7. Закон Гука для изотропного и анизотропного тела.
8. Закон Гука для изотропного тела, выражение деформаций через напряжения.
9. Закон Гука для изотропного тела, выражение напряжений через деформации.
10. Форма зависимостей между напряжениями и деформациями; гипотеза о естественном состоянии тела.
11. Основные уравнения теории упругости.
12. Уравнения Ламе.
13. Продольные и поперечные колебания в неограниченной упругой среде.
14. Общее решение уравнения колебаний.
15. Три рода задач теории упругости. Единственность решения первой задачи теории упругости.
16. Постановки смешанных краевых задач теории упругости. Сведение смешанных задач теории упругости к интегральным уравнениям.
17. Методы решения интегральных уравнений смешанных задач теории упругости.

Перечень компетенций (части компетенции), проверяемых оценочным средством

ОПК-3, ПК-1, ПК-2.

4.2 Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Экзамен является заключительным этапом процесса формирования компетенции студента при изучении дисциплины или ее части и имеет целью проверку и оценку знаний студентов по теории и применению полученных знаний, умений и навыков при решении

практических задач. Экзамены проводятся по расписанию, сформированному учебным отделом и утвержденному проректором по учебной работе, в сроки, предусмотренные календарным графиком учебного процесса.

Экзамены проводятся в устной форме. Экзамен проводится только при предъявлении студентом зачетной книжки и при условии выполнения всех контрольных мероприятий, предусмотренных учебным планом и рабочей программой по изучаемой дисциплине. Студентам на экзамене предоставляется право выбрать один из билетов. Время подготовки к ответу составляет 60 минут. По истечении установленного времени студент должен ответить на вопросы экзаменационного билета и предоставить решение задач. Результаты экзамена оцениваются по четырехбалльной системе («отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно») и заносятся в экзаменационную ведомость и зачетную книжку. В зачетную книжку заносятся только положительные оценки.

Критерии выставления оценок

Оценка *«отлично»*:

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам дисциплины, а также по основным вопросам, выходящим за пределы учебной программы;
- точное использование научной терминологии систематически грамотное и логически правильное изложение ответа на вопросы;
- безупречное владение инструментарием учебной дисциплины, умение его эффективно использовать в постановке и решении научных и практических задач;
- выраженная способность самостоятельно и творчески решать сложные проблемы и нестандартные ситуации;
- полное и глубокое усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой по дисциплине;
- умение ориентироваться в теориях, концепциях и направлениях дисциплины и давать им критическую оценку, используя научные достижения других дисциплин;
- творческая самостоятельная работа на практических занятиях, активное участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий;
- высокий уровень сформированности заявленных в рабочей программе компетенций.

Оценка *«хорошо»*:

- достаточно полные и систематизированные знания по дисциплине;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях дисциплины и давать им критическую оценку;
- использование научной терминологии, лингвистически и логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы;
- владение инструментарием по дисциплине, умение его использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- усвоение основной литературы, рекомендованной учебной программой по дисциплине;
- самостоятельная работа на практических занятиях, участие в групповых обсуждениях, средний уровень культуры исполнения заданий;
- средний уровень сформированности заявленных в рабочей программе компетенций.

Оценка *«удовлетворительно»*:

- достаточный минимальный объем знаний по дисциплине;
- усвоение основной литературы, рекомендованной учебной программой;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по дисциплине и давать им оценку;

- использование научной терминологии, стилистическое и логическое изложение ответа на вопросы, умение делать выводы без существенных ошибок;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в решении типовых задач;
- умение под руководством преподавателя решать стандартные задачи;
- работа под руководством преподавателя на практических занятиях, допустимый уровень культуры исполнения заданий;
- достаточный минимальный уровень сформированности заявленных в рабочей программе компетенций.

Оценка «неудовлетворительно»:

- фрагментарные знания по дисциплине;
- отказ от ответа;
- знание отдельных источников, рекомендованных учебной программой по дисциплине;
- неумение использовать научную терминологию;
- наличие грубых ошибок;
- низкий уровень культуры исполнения заданий;
- низкий уровень сформированности заявленных в рабочей программе компетенций.

5. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

5.1 Основная литература:

1. Андреев В.К. Математические модели механики сплошных сред. Санкт-Петербург: Лань, 2015. 240 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/67464>
2. Иванов Н.Б. Теория деформируемого твердого тела: тексты лекций. Казань: КНИТУ, 2013. 124 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=258827>
3. Ломакин В.А. Теория упругости неоднородных тел. Москва : URSS: ЛЕНАНД, 2014. 367 с.
4. Темам Р. Математическое моделирование в механике сплошных сред: М.: "Лаборатория знаний", 2014. 319 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/50538>
5. Учайкин В.В. Механика. Основы механики сплошных сред. Санкт-Петербург: Лань, 2016. 860 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/87596>

Для освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья имеются издания в электронном виде в электронно-библиотечных системах.

5.2 Дополнительная литература:

1. Бажанов В. Л. Механика деформируемого твердого тела. М. Юрайт, 2017. 78 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://biblio-online.ru/viewer/EEFE37F5-FAEA-4C5A-91B9-62BCB1DF4394/mehanika-deformiruемого-tverdого-tela#page/1>.
2. Баженов В.Г. Методы граничных интегральных уравнений и граничных элементов в решении задач трехмерной динамической теории упругости с сопряженными полями / В.Г. Баженов, Л.А. Игумнов. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. 351 с.
3. Димитриенко, Ю.И. Нелинейная механика сплошной среды [Электронный ресурс] М.: Физматлит, 2009. 624 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/59577>.

4. Ландау Л.Д. Теория упругости / Л.Д. Ландау, Е. М. Лифшиц.- М.: ФИЗМАТЛИТ , 2007. 259 с.
5. Ханефт, А.В. Основы теории упругости. Теория упругости. Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2009. 100 с. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=232319>.
6. Хлуднев, А.М. Задачи теории упругости в негладких областях. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. 251 с.

5.3. Периодические издания:

1. Прикладная математика и механика // Академиздатцентр "Наука". ISSN 0032-8235. <http://pmm.ipmnet.ru>
2. Физика твердого тела //Академиздатцентр "Наука". ISSN 0367-3294. <http://www.ioffe.ru/journals/ftt>

5.3. Интернет-ресурсы, в том числе современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

Электронно-библиотечные системы (ЭБС):

1. ЭБС «ЮРАЙТ» <https://urait.ru/>
2. ЭБС «УНИВЕРСИТЕТСКАЯ БИБЛИОТЕКА ОНЛАЙН» www.biblioclub.ru
3. ЭБС «BOOK.ru» <https://www.book.ru>
4. ЭБС «ZNANIUM.COM» www.znanium.com
5. ЭБС «ЛАНЬ» <https://e.lanbook.com>

Профессиональные базы данных:

1. Scopus <http://www.scopus.com/>
2. Научная электронная библиотека (НЭБ) <http://www.elibrary.ru/>
3. Springer Materials <http://materials.springer.com/>
4. zbMath <https://zbmath.org/>

Ресурсы свободного доступа:

1. Мир математических уравнений EqWorld. <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library.htm>
2. Физика, химия, математика. <http://www.ph4s.ru/index.html>
3. Journal of Mathematical Physics. Online ISSN 1089-7658. <http://jmp.aip.org>
4. Словари и энциклопедии <http://dic.academic.ru/>;

Собственные электронные образовательные и информационные ресурсы КубГУ:

1. Среда модульного динамического обучения <http://moodle.kubsu.ru>
2. База учебных планов, учебно-методических комплексов, публикаций и конференций <http://mschool.kubsu.ru/>

5.4 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

- Проверка индивидуальных заданий и консультирование посредством электронной почты.
- Использование электронных презентаций при проведении лекционных и лабораторных занятий.
- Использование математических пакетов при проведении лабораторных занятий.

Перечень необходимого лицензионного и свободного программного обеспечения

- 1.Операционная система MS Windows.

2. Интегрированное офисное приложение MS Office.
3. Программное обеспечение для организации управляемого коллективного и безопасного доступа в Интернет.
4. Математические пакеты Matlab (Comsol)

6. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Уровень усвоения теоретического материала проверяется посредством опроса по основным вопросам темы и результатам выполнения индивидуальных и групповых лабораторных заданий.

Важнейшим этапом курса является самостоятельная работа по дисциплине. Перечень разделов для самостоятельного изучения приведен в разделе 2.5.

Перечень вопросов для самоподготовки

1. Что представляют собой условия на поверхности тела?
2. Почему коэффициенты кубического уравнения относительно главных напряжений являются инвариантами напряженного состояния?
3. Каким деформациям соответствуют шаровой тензор напряжений и девиатор напряжений?
4. Сформулируйте и обоснуйте правила знаков для линейных и угловых деформаций.
5. Напишите выражения для инвариантов тензора деформаций. Каков геометрический смысл первого инварианта тензора деформаций?
6. В чем заключается энергетический смысл уравнений неразрывности деформаций?
7. Какие тела называются однородными, изотропными, анизотропными, ортотропными?
8. Сколько независимых упругих постоянных имеется в случаях изотропного и анизотропного тел?
9. Напишите выражения закона Гука, связывающие объемную деформацию и среднее нормальное напряжение.
10. Каким комплексом уравнений мы располагаем для определения неизвестных компонентов напряжений, деформаций и перемещений в точке тела?
11. Какие задачи теории упругости называются простейшими? Приведите примеры простейших задач.
12. Сформулируйте принцип Сен-Венана и приведите примеры его применения.
13. Укажите три типа граничных условий на поверхности тела.
14. Какая разница между плоской деформацией и обобщенным плоским напряженным состоянием? Приведите основные уравнения для обоих видов плоской задачи.
15. Какая функция называется бигармонической?
16. Чему равна наивысшая степень полинома, при которой тождественно удовлетворяется бигармоническое уравнение плоской задачи?
17. Полиному какой степени соответствует однородное напряженное состояние?
18. Чем отличаются друг от друга простое и сложное нагружения?
19. Что представляют собой активная и пассивная деформации?
20. Приведите общий вид уравнения Фредгольма первого и второго рода.
21. Какое интегральное уравнение называется регулярным, сингулярным?
22. Дайте определение вырожденного ядра и приведите примеры.
23. Дайте определение собственных значений и собственных функций интегрального уравнения.
24. Дайте определение резольвенты интегрального уравнения.
25. Сформулируйте альтернативу Фредгольма.

Примерные задачи для самостоятельной работы

1. Доказать, что значение гармонической функции в точке равно среднему арифметическому от этой функции по объему шара с центром в той же точке.

2. Определить деформацию полого шара (внутренний радиус - a , наружный - b), находящегося под действием равномерного внутреннего давления p_0 и равномерного внешнего давления p_1 .

3. Определить деформацию сплошной сферы радиуса a под влиянием собственного гравитационного поля. Найти области сжатия и растяжения.

4. Пусть \bar{u}_0 — вектор перемещений, удовлетворяющий однородным уравнениям Ламе с коэффициентом Пуассона ν_0 . Показать, что вектор

$$\bar{u} = \frac{1-\nu_0}{1-\nu} \frac{7-8\nu}{7-8\nu_0} \bar{u}_0 - \frac{\nu-\nu_0}{1-\nu} \frac{1}{7-8\nu_0} \left[2 \frac{1-\nu_0}{1-2\nu_0} \operatorname{div} \bar{u}_0 + \bar{r} \times \operatorname{rot} \bar{u}_0 \right]$$

удовлетворяет также однородным уравнениям Ламе, но с коэффициентом Пуассона ν .

5. Получить выражения для объемного расширения и вращения в цилиндрических координатах r, z , если деформация симметрична относительно оси z . Выписать для этого случая систему уравнений, которым должны удовлетворять объемное расширение и вращение, предполагая материал линейно-упругим, однородным и изотропным.

6. Пусть два твердых тела соприкасаются друг с другом в точке, не являющейся особой точкой их поверхностей. Определить контур, ограничивающий поверхность контакта, и распределение давления по поверхности контакта, если результирующая сила давления между телами равна F . Трением на поверхности контакта пренебречь. Рассмотреть случай соприкосновения двух шаров.

7. Показать, что интеграл однородных уравнений Ламе можно написать в виде:

$$\mu \bar{u} = \frac{\partial \bar{H}}{\partial z} - \frac{1}{3-4\nu} z \operatorname{grad} \operatorname{div} \bar{H}$$

где \bar{H} — гармонический вектор. Найти выражения для напряжений $\tau_{xz}, \tau_{zy}, \sigma_{zz}$.

8. Предполагая плотность массовых сил равной нулю и поле перемещений плоским $u = u(x, y), v = v(x, y), w = 0$, показать, что:

а) напряженное состояние можно представить в виде:

$$\sigma_z = \frac{\partial^2 F}{\partial y^2}, \sigma_y = \frac{\partial^2 F}{\partial x^2}, \tau_{xy} = \tau_{yx} = -\frac{\partial^2 F}{\partial x \partial y},$$

где F - бигармоническая функция напряжений ($\Delta \Delta F = 0$);

б) выражение

$$\frac{1-\nu}{1-2\nu} \theta + i\omega = h(z)$$

где

$$\theta = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y}, \omega = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial y} \right)$$

есть функция от комплексного переменного $z = x + iy$;

в) перемещения u, v выражаются через функцию напряжений F по формулам

$$2\mu u = -\frac{\partial F}{\partial x} + 2\mu\xi, \quad 2\mu v = -\frac{\partial F}{\partial y} + 2\mu\eta,$$

где

$$\xi + i\eta = \int h(z) dz$$

г) общее решение уравнений теории упругости в комплексной форме можно представить в виде:

$$2\mu(u + iv) = (3 - 4\nu)\varphi(z) - \overline{z\varphi'(z)} - \psi(z)$$

где $\varphi(z), \psi(z)$ аналитические функции комплексного переменного $z = x + iy$;

д) граничные условия для определения аналитических функций $\varphi(z), \psi(z)$ имеют вид:

$$\varphi(z) - \overline{z\varphi'(z)} + \overline{\psi(z)} + i \int_0^s (X_n + iY_n) ds + const = i(X + iY) + const$$

где (X, Y) — главный вектор усилий, приложенных на границе со стороны положительной нормали к дуге $(0, s)$.

9. Показать, что напряженное состояние, возникающее в неограниченном пространстве от действия сосредоточенной силы, приложенной в начале координат и направленной вдоль оси Oz , является чисто радиальным для несжимаемого материала.

10. Доказать, что значение бигармонической функции f в центре шара радиуса R определяется по формуле:

$$f(0) = \frac{3}{8\pi} \left[\frac{5}{R^3} \int_{v(R)} f dv - \frac{1}{R^2} \int_{s(R)} f ds \right]$$

11. Определить распределение напряжений в неограниченной упругой среде с шаровой полостью, подвергаемой на бесконечности однородной деформации. На поверхности полости считать перемещения равными нулю. Рассмотреть отдельно случаи простого растяжения и чистого сдвига.

12. Определить, имеет ли уравнение нетривиальное решение:

$$y(x) = \lambda \int_0^\pi \cos x \sin sy(s) ds$$

13. Решить уравнение Вольтерра:

$$y(x) = \int_0^x (x-s)y(s) ds + x^2$$

14. Найти собственные значения и собственные функции для уравнения:

$$y(x) = \lambda \int_0^1 (x-s)y(s) ds$$

Поиск информации для ответов на вопросы для самостоятельной работы и выполнения заданий в некоторых случаях предполагает не только изучение основной

учебной литературы, но и привлечение дополнительной литературы, а также использование ресурсов сети Интернет.

В рамках самостоятельной работы студент готовит реферативную работу, объемом не менее 10 страниц. Каждый студент выполняет работу по одной теме.

Для написания реферата необходимо подобрать литературу. Общее количество литературных источников, включая тексты из Интернета, (публикации в журналах), должно составлять не менее 10 наименований. Учебники, как правило, в литературные источники не входят.

Рефераты выполняют на листах формата А4. Страницы текста, рисунки, формулы нумеруют, рисунки снабжают подрисовочными надписями. Текст следует печатать шрифтом № 14 с интервалом между строками в 1,5 интервала, без недопустимых сокращений. В конце реферата должны быть сделаны выводы.

В конце работы приводят список использованных источников.

Реферат должен быть подписан магистрантом с указанием даты ее оформления.

Работы, выполненные без соблюдения перечисленных требований, возвращаются на доработку.

Выполненная магистрантом работа определяется на проверку преподавателю в установленные сроки. Если у преподавателя есть замечания, работа возвращается и после исправлений либо вновь отправляется на проверку, если исправления существенные, либо предъявляется на экзамене, где происходит ее защита.

Примерные темы рефератов представлены в п. 4.1.

В освоении дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья большое значение имеет индивидуальная учебная работа (консультации) – дополнительное разъяснение учебного материала.

Индивидуальные консультации по предмету являются важным фактором, способствующим индивидуализации обучения и установлению воспитательного контакта между преподавателем и обучающимся инвалидом или лицом с ограниченными возможностями здоровья.

6. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

№	Вид работ	Материально-техническое обеспечение дисциплины и оснащенность
1.	Лекционные занятия	Лекционная аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук), соответствующим программным обеспечением, а также необходимой мебелью (доска, столы, стулья). (аудитории: 129, 131, 133, А305, А307).
2.	Лабораторные занятия	Компьютерный класс, укомплектованный компьютерами с лицензионным программным обеспечением, необходимой мебелью (доска, столы, стулья). (аудитории: 101, 102, 106, 106а, 105/1, 107(2), 107(3), 107(5), А301).
3.	Групповые (индивидуальные) консультации	Аудитория для семинарских занятий, групповых и индивидуальных консультаций, укомплектованная необходимой мебелью (доска, столы, стулья). (аудитории: 129, 131).
4.	Текущий контроль, промежуточная аттестация	Аудитория для семинарских занятий, текущего контроля и промежуточной аттестации, укомплектованная необходимой мебелью (доска, столы, стулья) (аудитории: 129, 131, 133, А305, А307, 147, 148, 149, 150, 100С,

№	Вид работ	Материально-техническое обеспечение дисциплины и оснащенность
		А301б, А512), компьютерами с лицензионным программным обеспечением и выходом в интернет (10б, 10ба, А301)
5.	Самостоятельная работа	Кабинет для самостоятельной работы, оснащенный компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет», программой экранного увеличения, обеспеченный доступом в электронную информационно-образовательную среду университета, необходимой мебелью (доска, столы, стулья). (Аудитория 102а, читальный зал).

Осуществление учебного процесса предполагает наличие необходимого для реализации данной программы перечня материально-технического обеспечения: аудитории, оборудованные видеопроекционным оборудованием для презентаций (цифровой проектор, экран, ноутбук) и необходимой мебелью (доска, столы, стулья); компьютерные классы с компьютерной техникой с лицензионным программным обеспечением и необходимой мебелью (доска, столы, стулья) для проведения занятий.

Магистранты и преподаватели вуза имеют постоянный доступ к электронному каталогу учебной, методической, научной литературе, периодическим изданиям и архиву статей.