

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"
Институт вычислительной математики и информационных технологий



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по образовательной деятельности КФУ

Проф. Д. А. Таюрский

» _____ 20__ г.

подписано электронно-цифровой подписью

Программа дисциплины

Численные методы теории упругости

Направление подготовки: 01.03.04 - Прикладная математика

Профиль подготовки: Математическое моделирование

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2016

Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО
2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО
3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся
4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий
 - 4.1. Структура и тематический план контактной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю)
 - 4.2. Содержание дисциплины (модуля)
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)
6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)
7. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)
11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)
12. Средства адаптации преподавания дисциплины (модуля) к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья
13. Приложение №1. Фонд оценочных средств
14. Приложение №2. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
15. Приложение №3. Перечень информационных технологий, используемых для освоения дисциплины (модуля), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

Программу дисциплины разработал(а)(и) профессор, д.н. (профессор) Карчевский М.М. (кафедра вычислительной математики, отделение прикладной математики и информатики), mikhail.Karchevsky@kpfu.ru

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль), должен обладать следующими компетенциями:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ОПК-2	Способность использовать современные математические методы и современные прикладные программные средства и осваивать современные технологии программирования
ПК-10	Готовность применять математический аппарат для решения поставленных задач, способностью применить соответствующую процессу математическую модель и проверить ее адекватность, провести анализ результатов моделирования, принять решение на основе полученных результатов
ПК-11	Готовность применять знания и навыки управления информацией

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль):

Должен знать:

Основы современных представлений о математических моделях механики сплошной среды, в частности математических моделей твердых деформируемых тел и основные принципы построения численных алгоритмов решения соответствующих уравнений математической физики и их программной реализации современными вычислительными комплексами.

Должен уметь:

Отбирать нужные модели для описания напряженно-деформированного состояния упругих конструкций и соответствующие алгоритмы и программные средства для их численной реализации.

Должен владеть:

Современными средствами математического моделирования основных задач теории упругости и конечноэлементными методами их численного решения.

Должен демонстрировать способность и готовность:

Применять средства математического моделирования и численного решения задач теории упругости к расчету конкретных конструкций и решения в содружестве с инженерами прикладных задач.

2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО

Данная дисциплина (модуль) включена в раздел "Б1.В.ДВ.22 Дисциплины (модули)" основной профессиональной образовательной программы 01.03.04 "Прикладная математика (Математическое моделирование)" и относится к дисциплинам по выбору.

Осваивается на 4 курсе в 7 семестре.

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

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных(ые) единиц(ы) на 144 часа(ов).

Контактная работа - 54 часа(ов), в том числе лекции - 0 часа(ов), практические занятия - 0 часа(ов), лабораторные работы - 54 часа(ов), контроль самостоятельной работы - 0 часа(ов).

Самостоятельная работа - 54 часа(ов).

Контроль (зачёт / экзамен) - 36 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины: экзамен в 7 семестре.

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

4.1 Структура и тематический план контактной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю)

N	Разделы дисциплины / модуля	Семестр	Виды и часы контактной работы, их трудоемкость (в часах)			Самостоятельная работа
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
1.	Тема 1. Кинематика сплошной среды. Деформация тела и ее основные характеристики. Меры деформации. Тензор деформации. Их вычисление в основных системах координат.	7	0	0	3	0
2.	Тема 2. Динамика сплошной среды. Силы в механике сплошной среды. Интегральные законы движения (принцип Даламбера). Тензор напряжений Коши. Дифференциальные законы движения.	7	0	0	3	0
3.	Тема 3. Определяющие уравнения сплошной среды. Принцип локальности. Принцип независимости от системы отсчета. Классификация сплошных сред. Упругое тело. Изотропное упругое тело. Изотропное упругое тело в рамках бесконечно малых деформаций.	7	0	0	3	0
4.	Тема 4. Основные граничные задачи линейной теории упругости. Динамические задачи линейной теории упругости. Теорема о кинетической энергии. Статические задачи теории упругости. Принцип возможных перемещений. Теоремы единственности. Необходимые условия равновесия.	7	0	0	3	18
5.	Тема 5. Вариационные принципы теории упругости. Кинематически допустимое множество перемещений. Статически допустимое множество напряжений. Вариационный принцип Лагранжа. Вариационный принцип Кастильяно. Использование этих принципов в приближенных методах решения задач теории упругости.	7	0	0	3	0
6.	Тема 6. Задачи Ламе. Постановка задач Ламе о равновесии полого цилиндра и полого шара, нагруженных внутренним давлением. Точные решения задач полубратным методом. Предельные случаи. Интерпретация решений.	7	0	0	3	0

N	Разделы дисциплины / модуля	Семестр	Виды и часы контактной работы, их трудоемкость (в часах)			Самостоятельная работа
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
7.	Тема 7. Задача о кручении стержня. Принцип Сен-Венана в теории стержней, нагруженных на торцах. Постановка задача о кручении стержня. Сведение к граничным задачам для уравнения Пуассона в плоской области. Теорема о максимуме напряжений. Точное решение для кругового цилиндра.	7	0	0	3	18
8.	Тема 8. Элементарная теория изгиба стержней. Модель Кирхгофа изгиба стержней. Сведение к граничным задачам для обыкновенного дифференциального уравнения четвертого порядка. Примеры точных решений и их механическая интерпретация. Задача об оптимизации сечения стержня.	7	0	0	3	0
9.	Тема 9. Задачи об изгибе пластин. Модель Кирхгофа ? Лява изгиба тонкой упругой изотропной пластины. Вариационный метод сведения к граничным задачам для бигармонического уравнения. Теоремы единственности решений. Примеры точных решения в задачах изгиба пластин. Механическая интерпретация.	7	0	0	3	18
10.	Тема 10. Основные понятия теории метода конечных элементов. Лагранжевы конечные элементы. Эрмитовы конечные элементы. Примеры конечных элементов.	7	0	0	3	0
11.	Тема 11. Матрица жесткости и вектор сил конечного элемента. Алгоритмы сборки глобальной матрицы жесткости и глобального вектора сил.	7	0	0	3	0
12.	Тема 12. Применение квадратурных формул для приближенного вычисления матрицы жесткости и вектора сил. Примеры квадратурных формул для двумерных и трехмерных конечных элементов.	7	0	0	3	0
13.	Тема 13. Методы численного моделирования граничных условий. Понятие о криволинейных и изопараметрических граничных элементах.	7	0	0	3	0
14.	Тема 14. Конечные элементы для дифференциальных уравнений четвертого порядка. Эрмитовы конечные элементы. Примеры.	7	0	0	3	0

N	Разделы дисциплины / модуля	Семестр	Виды и часы контактной работы, их трудоемкость (в часах)			Самостоятельная работа
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
15.	Тема 15. Понятие о смешанных конечных элементах. Примеры смешанных лагранжевых конечных элементов для задачи об изгибе пластины.	7	0	0	3	0
16.	Тема 16. Прямые методы решения сеточных уравнений линейной теории упругости. Понятие об оптимальной нумерации неизвестных. Примеры методов: метод Гаусса с выбором главных элементов. Метод Холесского.	7	0	0	3	0
17.	Тема 17. Итерационные методы решения систем сеточных уравнений теории упругости. Понятие об оптимальном предобуславливании систем сеточных уравнений. Предобусловленные варианты метода сопряженных градиентов.	7	0	0	3	0
18.	Тема 18. Основные сведения о коммерческих пакетах решения задач теории упругости. Пример ? пакет Ansys. Общие принципы применения	7	0	0	3	0
	Итого		0	0	54	54

4.2 Содержание дисциплины (модуля)

Тема 1. Кинематика сплошной среды. Деформация тела и ее основные характеристики. Меры деформации. Тензор деформации. Их вычисление в основных системах координат.

Определяются система отсчета, отсчетная и актуальная конфигурация тела, деформация тела. Вводятся основные характеристики деформации: градиент деформации, меры деформации, тензор деформации, тензор бесконечно малых деформаций. Описывается физический смысл компонент соответствующих матриц в различных системах координат. Вводится понятие тензора скоростей деформации. Указываются способы его вычисления в декартовой и основных криволинейных системах координат.

Тема 2. Динамика сплошной среды. Силы в механике сплошной среды. Интегральные законы движения (принцип Даламбера). Тензор напряжений Коши. Дифференциальные законы движения.

Вводятся основные аксиомы динамики в рамках механики сплошной среды. Формулируются интегральные законы движения (принцип Даламбера). Доказывается теорема Коши о существовании и симметрии тензора напряжений в каждой точке актуальной конфигурации тела. Доказываются теоремы о представлении законов движения в механике сплошной среды в виде дифференциальных уравнений. Доказывается основная теорема о полной энергии тела в рамках механики сплошной среды.

Тема 3. Определяющие уравнения сплошной среды. Принцип локальности. Принцип независимости от системы отсчета. Классификация сплошных сред. Упругое тело. Изотропное упругое тело. Изотропное упругое тело в рамках бесконечно малых деформаций.

Формулируются основные аксиомы теории определяющих соотношений в механике сплошной среды: аксиома локальности для определяющих соотношений первого порядка и аксиома инвариантности по отношению к выбору системы отсчета. Доказывается теорема о допустимом виде определяющих соотношений. Дается классификация тел (сплошных сред). Даются описания определяющих соотношений для вязкоупругих, упругих тел, вязких жидкостей, идеальных жидкостей. Упругое тело. Определяется понятие изотропного упругого тела. Выводятся определяющие соотношения изотропного упругого тела в рамках бесконечно малых деформаций.

Тема 4. Основные граничные задачи линейной теории упругости. Динамические задачи линейной теории упругости. Теорема о кинетической энергии. Статические задачи теории упругости. Принцип возможных перемещений. Теоремы единственности. Необходимые условия равновесия.

Формулируются определяющие соотношения линейной теории упругости. Выявляется смысл коэффициентов в случае изотропного линейно упругого тела. Дается постановка основных динамических граничных задач линейной теории упругости. Доказывается теорема о кинетической энергии, на основе которой получается теорема о единственности решений динамических задач линейной теории упругости. Ставятся статические задачи линейной теории упругости. Формулируется принцип возможных перемещений. Доказываются теоремы единственности. Выводятся необходимые условия равновесия.

Тема 5. Вариационные принципы теории упругости. Кинематически допустимое множество перемещений. Статически допустимое множество напряжений. Вариационный принцип Лагранжа. Вариационный принцип Кастильяно. Использование этих принципов в приближенных методах решения задач теории упругости.

Формулировка основных вариационных принципов теории упругости. Описание кинематически допустимого множества перемещений. Аффинное пространство статически допустимого множества напряжений. Вариационный принцип Лагранжа, вариационный принцип Кастильяно и связь между ними. Использование этих принципов при построении приближенных методов типа Ритца и Галеркина решения статических граничных задач теории упругости.

Тема 6. Задачи Ламе. Постановка задач Ламе о равновесии полого цилиндра и полого шара, нагруженных внутренним давлением. Точные решения задач полуобратным методом. Предельные случаи. Интерпретация решений.

Постановка задачи Ламе о равновесии полого цилиндра из изотропного линейно упругого материала, нагруженного равномерно распределенным внутренним и внешним давлением. Решение задачи полуобратным методом Ламе путем сведения системы уравнений линейной теории упругости к краевой задаче для одного линейного обыкновенного дифференциального уравнения второго порядка. Построение точного решения задачи. Анализ зависимости решения от параметров задачи. Физическая интерпретация. Асимптотический анализ поведения решения в предельных случаях. Аналогичные рассмотрения проводятся для полого шара.

Тема 7. Задача о кручении стержня. Принцип Сен-Венана в теории стержней, нагруженных на торцах. Постановка задачи о кручении стержня. Сведение к граничным задачам для уравнения Пуассона в плоской области. Теорема о максимуме напряжений. Точное решение для кругового цилиндра.

Постановка задачи о кручении цилиндрического стержня произвольного поперечного сечения, нагруженного заданными моментами на торцах. Применяется принцип Сен-Венана смягчения граничных условий. Описывается способ сведения задачи к классическим граничным задачам для уравнения Пуассона в плоской области. Формулируются и доказываются теоремы о максимуме напряжений. Даются их физические интерпретации. Строится и исследуется точное решение задачи о кручении стержня, поперечное сечение которого есть круг.

Тема 8. Элементарная теория изгиба стержней. Модель Кирхгофа изгиба стержней. Сведение к граничным задачам для обыкновенного дифференциального уравнения четвертого порядка. Примеры точных решений и их механическая интерпретация. Задача об оптимизации сечения стержня.

Описание модели Кирхгофа напряжено-деформированного состояния упругого стержня при слабом изгибе. Понятие об упругой оси стержня. Вывод обыкновенных дифференциальных уравнений четвертого порядка элементарной теории изгиба упругого стержня (основных уравнений теории сопротивления материалов). Описание физического смысла коэффициентов уравнения. Постановка основных граничных условий. Построение и анализ решений соответствующих краевых задач. Постановка задачи об оптимизации формы сечения стержня.

Тема 9. Задачи об изгибе пластин. Модель Кирхгофа ? Лява изгиба тонкой упругой изотропной пластины. Вариационный метод сведения к граничным задачам для бигармонического уравнения. Теоремы единственности решений. Примеры точных решения в задачах изгиба пластин. Механическая интерпретация.

Описание напряженно деформированного состояния тонкой упругой пластины в рамках гипотез Кирхгофа - Лява. Понятие о срединной поверхности пластины. Принцип возможных перемещений для тонкой упругой пластины в рамках применимости гипотез Кирхгофа - Лява. Понятие об изгибающих моментах. Вывод дифференциальных уравнений в частных производных, описывающих малые прогибы упругой пластины. Уравнение Софи Жермен. Постановка кинематических и динамических граничных условий. Элементарные решения теории изгиба пластин и их механическая интерпретация.

Тема 10. Основные понятия теории метода конечных элементов. Лагранжевы конечные элементы. Эрмитовы конечные элементы. Примеры конечных элементов.

Описание основных способов построения систем метода конечных элементов на примере линейного уравнения в частных производных второго порядка дивергентного вида. Трактовка метода конечных элементов как метода Галеркина при специальном виде системы координатных (базисных) функций с локальными носителями. Определение лагранжевых элементов. Аффинно-эквивалентные системы конечных элементов. Эрмитовы конечные элементы. Определения и основные свойства. Примеры конечных элементов различных классов.

Тема 11. Матрица жесткости и вектор сил конечного элемента. Алгоритмы сборки глобальной матрицы жесткости и глобального вектора сил.

Определения понятий локальной и глобальной матриц жесткости и вектора сил метода конечных элементов. Описание алгоритмов сборки глобальной матрицы жесткости и глобального вектора сил. Примеры программирования в системе Матлаб различных алгоритмов локальной матрицы жесткости и сборки глобальной матрицы жесткости с использованием технологии разреженных матриц. Иллюстрация на примере уравнения Пуассона. Связь с классическими разностными схемами.

Тема 12. Применение квадратурных формул для приближенного вычисления матрицы жесткости и вектора сил. Примеры квадратурных формул для двумерных и трехмерных конечных элементов.

Применение квадратурных формул для приближенного вычисления интегралов, определяющих элементы локальных матриц жесткости, локальных векторов матриц масс и локальных векторов сил. Определение понятия алгебраической точности многомерной квадратурной формулы. Примеры квадратурных формул для двумерных и трехмерных конечных элементов различных алгебраических точностей. Оценки трудоемкости применения квадратурных формул для построения систем уравнений метода конечных элементов.

Тема 13. Методы численного моделирования граничных условий. Понятие о криволинейных и изопараметрических граничных элементах.

Построение интегральных тождеств, соответствующих основным граничным задачам для стационарных уравнений математической физики. Классификация граничных условий (главные и естественные граничные условия). Понятие о внутренних и внешних способах аппроксимации граничных задач. Методы численного моделирования главных и естественных граничных условий. Способы построения о криволинейных и изопараметрических граничных элементов. Точное и приближенное удовлетворение главным граничным условиям.

Тема 14. Конечные элементы для дифференциальных уравнений четвертого порядка. Эрмитовы конечные элементы. Примеры.

Интегральные тождества, определяющие обобщенные решения для эллиптических дифференциальных уравнений с частными производными четвертого порядка. Классификация граничных условий. Конечные элементы, применяемые для дифференциальных уравнений четвертого порядка. Прямоугольные эрмитовы бикубические конечные элементы. Треугольные элементы Белла. Конструирование систем метода конечных элементов для областей, составленных из многоугольников, для произвольных многоугольных областей.

Тема 15. Понятие о смешанных конечных элементах. Примеры смешанных лагранжевых конечных элементов для задачи об изгибе пластины.

Двойственные и смешанные постановки граничных задач, описывающих малые прогибы тонких упругих пластин при различных условиях закрепления. Физическая интерпретация этих постановок. Понятие о смешанных конечных элементах. Примеры смешанных конечных элементов. Смешанные методы, основанные на использовании непрерывных лагранжевых интерполяций для задачи об изгибе пластины. Построение глобальной матрицы жесткости.

Тема 16. Прямые методы решения сеточных уравнений линейной теории упругости. Понятие об оптимальной нумерации неизвестных. Примеры методов: метод Гаусса с выбором главных элементов. Метод Холесского.

Прямые методы решения систем линейных сеточных уравнений, возникающих при аппроксимации эллиптических уравнений методом конечных элементов, методом конечных разностей. Характеристики разреженности матрицы. Способы экономного размещения разреженных матриц в памяти компьютера. Понятие об оптимальной нумерации неизвестных. Примеры алгоритмов перенумерации неизвестных. Примеры прямых методов: метод Гаусса с выбором главных элементов, метод Холесского. Особенности реализации для систем с разреженными матрицами. Применение к задачам линейной теории упругости.

Тема 17. Итерационные методы решения систем сеточных уравнений теории упругости. Понятие об оптимальном предобуславливании систем сеточных уравнений. Предобусловленные варианты метода сопряженных градиентов.

Итерационные методы решения систем сеточных уравнений. Сопоставление с прямыми методами. Общие теоремы о сходимости итерационных методов решения систем линейных уравнений. Итерационные методы вариационного типа: метод наискорейшего спуска, метод сопряженных градиентов. Понятие об оптимальном предобуславливании систем сеточных уравнений. Предобусловленные варианты метода сопряженных градиентов. Иллюстрация на примере задач линейной теории упругости.

Тема 18. Основные сведения о коммерческих пакетах решения задач теории упругости. Пример ? пакет Ansys. Общие принципы применения

Основные сведения о коммерческих пакетах решения задач математического моделирования. Пакет, применяемые для решения задач расчета напряженно-деформированного состояния твердых тел. Основные способы применения таких пакетов описываются на примере пакета Ansys. Связь с системами трехмерного геометрического моделирования и визуализации конструкций. Общие принципы применения. Способы задания исходных данных и параметров расчета. Визуализация результатов вычислений.

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

Самостоятельная работа обучающихся выполняется по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Самостоятельная работа подразделяется на самостоятельную работу на аудиторных занятиях и на внеаудиторную самостоятельную работу. Самостоятельная работа обучающихся включает как полностью самостоятельное освоение отдельных тем (разделов) дисциплины, так и проработку тем (разделов), осваиваемых во время аудиторной работы. Во время самостоятельной работы обучающиеся читают и конспектируют учебную, научную и справочную литературу, выполняют задания, направленные на закрепление знаний и отработку умений и навыков, готовятся к текущему и промежуточному контролю по дисциплине.

Организация самостоятельной работы обучающихся регламентируется нормативными документами, учебно-методической литературой и электронными образовательными ресурсами, включая:

Порядок организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования - программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры (утвержден приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 5 апреля 2017 года №301)

Письмо Министерства образования Российской Федерации №14-55-996ин/15 от 27 ноября 2002 г. "Об активизации самостоятельной работы студентов высших учебных заведений"

Устав федерального государственного автономного образовательного учреждения "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Правила внутреннего распорядка федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Локальные нормативные акты Казанского (Приволжского) федерального университета

6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)

Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю) включает оценочные материалы, направленные на проверку освоения компетенций, в том числе знаний, умений и навыков. Фонд оценочных средств включает оценочные средства текущего контроля и оценочные средства промежуточной аттестации.

В фонде оценочных средств содержится следующая информация:

- соответствие компетенций планируемым результатам обучения по дисциплине (модулю);
- критерии оценивания сформированности компетенций;
- механизм формирования оценки по дисциплине (модулю);
- описание порядка применения и процедуры оценивания для каждого оценочного средства;
- критерии оценивания для каждого оценочного средства;
- содержание оценочных средств, включая требования, предъявляемые к действиям обучающихся, демонстрируемым результатам, задания различных типов.

Фонд оценочных средств по дисциплине находится в Приложении 1 к программе дисциплины (модулю).

7. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

Освоение дисциплины (модуля) предполагает изучение основной и дополнительной учебной литературы. Литература может быть доступна обучающимся в одном из двух вариантов (либо в обоих из них):

- в электронном виде - через электронные библиотечные системы на основании заключенных КФУ договоров с правообладателями;

- в печатном виде - в Научной библиотеке им. Н.И. Лобачевского. Обучающиеся получают учебную литературу на абонементе по читательским билетам в соответствии с правилами пользования Научной библиотекой.

Электронные издания доступны дистанционно из любой точки при введении обучающимся своего логина и пароля от личного кабинета в системе "Электронный университет". При использовании печатных изданий библиотечный фонд должен быть укомплектован ими из расчета не менее 0,5 экземпляра (для обучающихся по ФГОС 3++ - не менее 0,25 экземпляра) каждого из изданий основной литературы и не менее 0,25 экземпляра дополнительной литературы на каждого обучающегося из числа лиц, одновременно осваивающих данную дисциплину.

Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля), находится в Приложении 2 к рабочей программе дисциплины. Он подлежит обновлению при изменении условий договоров КФУ с правообладателями электронных изданий и при изменении комплектования фондов Научной библиотеки КФУ.

8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

Баженов, В.Г. Методы граничных интегральных уравнений и граничных элементов в решении задач трехмерной динамической теории упругости с сопряженными полями [Электронный ресурс] : монография / В.Г. Баженов, Л.А. Игумнов. ? Электрон. дан. ? Москва : Физматлит, 2008. ? 352 с. - <https://e.lanbook.com/book/48194>

- Даутов, Р.З. Введение в теорию метода конечных элементов [Электронный ресурс]: учебн. пособие / Р.З. Даутов, М.М. Карчевский - Казань: Казанский университет, 2012. - 240 с. - http://kpfu.ru/publication?p_id=47325
- Карчевский, М.М. Уравнения математической физики. Дополнительные главы [Электронный ресурс]: учеб. пособие / М.М. Карчевский, М.Ф. Павлова. ? Электрон. дан. ? Санкт-Петербург: Лань, 2016. ? 276 с. - <https://e.lanbook.com/book/72983>
- Ландау, Л.Д. Теоретическая физика. Т.7 Теория упругости [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. ? Электрон. дан. ? Москва : Физматлит, 2007. ? 264 с. - <https://e.lanbook.com/book/2233>
- Молотников, В.Я. Теория упругости и пластичности [Электронный ресурс] / В.Я. Молотников, А.А. Молотникова. ? Электрон. дан. ? Санкт-Петербург: Лань, 2017. ? 532 с. - <https://e.lanbook.com/book/94741>

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Вид работ	Методические рекомендации
лабораторные работы	<p>Обучающиеся выполняют задания, требующие создания уникальных объектов определённого типа. Тип объекта, его требуемые характеристики и методы его создания определяются потребностями профессиональной деятельности в соответствующей сфере либо целями тренировки определённых навыков и умений. Оцениваются креативность, владение теоретическим материалом по теме, владение практическими навыками.</p>
самостоятельная работа	<p>Основной целью самостоятельных занятий по данному курсу является развитие навыков построения математических моделей типичных физических процессов, исследование их свойств, построение и исследование аналитических решений. При подготовке к каждому занятию необходимо обратиться к курсу лекций по данному вопросу и учебным пособиям, чтобы уточнить определения, формулировки основных результатов, найти аналоги решаемым задачам и выполняемым упражнениям. При работе с примерами необходимо стремиться не только к узнаванию способа решения каждой конкретной задачи, но и к пониманию цели его употребления в данном контексте, функциональной нагрузки, которой данный пример обладает.</p> <p>Изучение данного курса предусматривает систематическую самостоятельную работу студентов над лекционным материалом, текстами рекомендованных учебников и учебных пособий; развитие навыков самоконтроля, способствующих интенсификации учебного процесса. Изучение лекционного материала по конспекту лекций должно сопровождаться изучением рекомендуемой литературы, основной и дополнительной. Основной целью организации самостоятельной работы студентов является систематизация и активизация знаний, полученных ими на лекциях и в процессе подготовки к самостоятельным занятиям. Студентам следует стремиться к активизации знаний на занятиях по другим естественно-научным дисциплинам, связанным с данным курсом.</p> <p>Самостоятельная работа по изучению курса предполагает внеаудиторную работу, которая включает выполнение 31 самостоятельных работ.</p> <p>Этапы выполнения самостоятельных работ:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Просмотр записей лекционного курса и рекомендуемой литературы по теме задания. 2. Составление резюме прочитанной главы соответствующего раздела рекомендуемого теоретического источника или учебника. 3. Выполнение заданий по теме и их комментирование. <p>При выполнении самостоятельных работ по разделам 'Классификация уравнений в частных производных второго порядка' и 'Приведение уравнений к каноническому виду' следует учитывать взаимосвязь этого материала с соответствующими разделами курсов математического анализа и алгебры и геометрии.</p> <p>Разделы курса, в которых уделяется внимание выводу основных уравнений математической физики, организованы так, что для понимания материала требуется лишь знание основ физики в области динамики твердого тела и основ термодинамики. Мы осознанно не выходим за эти рамки. Это упрощает понимание принципов вывода уравнений и постановки для них начально-краевых задач.</p> <p>Разделы курса, связанные с решением методом Фурье краевых задач для уравнений различных типов основываются на сведениях уравнений в частных производных к цепочкам задач для обыкновенных дифференциальных уравнений. Решение этих задач опирается на знание методов решения обыкновенных дифференциальных уравнений. Также необходимы знания из курса математического анализа и, в частности, теории рядов Фурье.</p> <p>При решении задач рекомендованы сборники, в которых каждый раздел или ответы к разделу предваряются подробными решениями. Приступая к решению задач, рекомендуем внимательно изучить методы их решения.</p>
экзамен	<p>При подготовке к сдаче экзамена весь объем работы рекомендуется распределять равномерно по дням, отведенным для подготовки к экзамену, каждый день контролировать выполнение работы. Лучше, если можно, перевыполнить план. Тогда всегда будет резерв времени, который полезно использовать для повторения материала.</p>

10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем, представлен в Приложении 3 к рабочей программе дисциплины (модуля).

11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине (модулю) включает в себя следующие компоненты:

Помещения для самостоятельной работы обучающихся, укомплектованные специализированной мебелью (столы и стулья) и оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду КФУ.

Учебные аудитории для контактной работы с преподавателем, укомплектованные специализированной мебелью (столы и стулья).

Компьютер и принтер для распечатки раздаточных материалов.

Компьютерный класс.

12. Средства адаптации преподавания дисциплины к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья

При необходимости в образовательном процессе применяются следующие методы и технологии, облегчающие восприятие информации обучающимися инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья:

- создание текстовой версии любого нетекстового контента для его возможного преобразования в альтернативные формы, удобные для различных пользователей;
- создание контента, который можно представить в различных видах без потери данных или структуры, предусмотреть возможность масштабирования текста и изображений без потери качества, предусмотреть доступность управления контентом с клавиатуры;
- создание возможностей для обучающихся воспринимать одну и ту же информацию из разных источников - например, так, чтобы лица с нарушениями слуха получали информацию визуально, с нарушениями зрения - аудиально;
- применение программных средств, обеспечивающих возможность освоения навыков и умений, формируемых дисциплиной, за счёт альтернативных способов, в том числе виртуальных лабораторий и симуляционных технологий;
- применение дистанционных образовательных технологий для передачи информации, организации различных форм интерактивной контактной работы обучающегося с преподавателем, в том числе вебинаров, которые могут быть использованы для проведения виртуальных лекций с возможностью взаимодействия всех участников дистанционного обучения, проведения семинаров, выступления с докладами и защиты выполненных работ, проведения тренингов, организации коллективной работы;
- применение дистанционных образовательных технологий для организации форм текущего и промежуточного контроля;
- увеличение продолжительности сдачи обучающимся инвалидом или лицом с ограниченными возможностями здоровья форм промежуточной аттестации по отношению к установленной продолжительности их сдачи:
- продолжительности сдачи зачёта или экзамена, проводимого в письменной форме, - не более чем на 90 минут;
- продолжительности подготовки обучающегося к ответу на зачёте или экзамене, проводимом в устной форме, - не более чем на 20 минут;
- продолжительности выступления обучающегося при защите курсовой работы - не более чем на 15 минут.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО и учебным планом по направлению 01.03.04 "Прикладная математика" и профилю подготовки "Математическое моделирование".

Приложение 2
к рабочей программе дисциплины (модуля)
Б1.В.ДВ.22 Численные методы теории упругости

Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

Направление подготовки: 01.03.04 - Прикладная математика

Профиль подготовки: Математическое моделирование

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2016

Основная литература:

1. Карчевский, М.М. Уравнения математической физики. Дополнительные главы [Электронный ресурс] : учебное пособие / М.М. Карчевский, М.Ф. Павлова. - Электрон. дан. - Санкт-Петербург : Лань, 2016. - 276 с. - Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/72983>
2. Молотников, В.Я. Теория упругости и пластичности [Электронный ресурс] / В.Я. Молотников, А.А. Молотникова. - Электрон. дан. - Санкт-Петербург : Лань, 2017. - 532 с. - Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/94741>
3. Даутов, Р.З. Введение в теорию метода конечных элементов [Электронный ресурс]: учебн. пособие / Р.З. Даутов, М.М. Карчевский - Казань: Казанский университет, 2012. - 240 с.- Режим доступа: http://kpfu.ru/publication?p_id=47325
4. Баженов, В.Г. Методы граничных интегральных уравнений и граничных элементов в решении задач трехмерной динамической теории упругости с сопряженными полями [Электронный ресурс] : монография / В.Г. Баженов, Л.А. Игумнов. - Электрон. дан. - Москва : Физматлит, 2008. - 352 с. - Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/48194>

Дополнительная литература:

1. Ландау, Л.Д. Теоретическая физика. Т.7 Теория упругости [Электронный ресурс] : учебное пособие / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. - Электрон. дан. - Москва : Физматлит, 2007. - 264 с. - Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/2233>
2. Хлуднев, А.М. Задачи теории упругости в негладких областях [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.М. Хлуднев. - Электрон. дан. - Москва : Физматлит, 2010. - 252 с. - Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/59560>
3. Карчевский, М.М. Математические модели механики сплошной среды: учеб. пособие / М.М. Карчевский, Р.Р. Шагидуллин - Казань: КГУ, 2007. - 212 с.

Приложение 3
к рабочей программе дисциплины (модуля)
Б1.В.ДВ.22 Численные методы теории упругости

Перечень информационных технологий, используемых для освоения дисциплины (модуля), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

Направление подготовки: 01.03.04 - Прикладная математика

Профиль подготовки: Математическое моделирование

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2016

Освоение дисциплины (модуля) предполагает использование следующего программного обеспечения и информационно-справочных систем:

Операционная система Microsoft Windows 7 Профессиональная или Windows XP (Volume License)

Пакет офисного программного обеспечения Microsoft Office 365 или Microsoft Office Professional plus 2010

Браузер Mozilla Firefox

Браузер Google Chrome

Adobe Reader XI или Adobe Acrobat Reader DC

Kaspersky Endpoint Security для Windows

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "ZNANIUM.COM", доступ к которой предоставлен обучающимся. ЭБС "ZNANIUM.COM" содержит произведения крупнейших российских учёных, руководителей государственных органов, преподавателей ведущих вузов страны, высококвалифицированных специалистов в различных сферах бизнеса. Фонд библиотеки сформирован с учетом всех изменений образовательных стандартов и включает учебники, учебные пособия, учебно-методические комплексы, монографии, авторефераты, диссертации, энциклопедии, словари и справочники, законодательно-нормативные документы, специальные периодические издания и издания, выпускаемые издательствами вузов. В настоящее время ЭБС ZNANIUM.COM соответствует всем требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования (ФГОС ВО) нового поколения.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе Издательства "Лань", доступ к которой предоставлен обучающимся. ЭБС Издательства "Лань" включает в себя электронные версии книг издательства "Лань" и других ведущих издательств учебной литературы, а также электронные версии периодических изданий по естественным, техническим и гуманитарным наукам. ЭБС Издательства "Лань" обеспечивает доступ к научной, учебной литературе и научным периодическим изданиям по максимальному количеству профильных направлений с соблюдением всех авторских и смежных прав.