



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

«Дальневосточный федеральный университет»
(ДВФУ)

ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ШКОЛА)

«СОГЛАСОВАНО»

Руководитель ОП

(подпись)
«29» января

Бочарова А.А.
(Ф.И.О. рук. ОП)
2021 г.



«УТВЕРЖДАЮ»

Директор департамента компьютерно-
интегрированных производственных систем

(подпись)
«29» января

Змеу К.В.
(Ф.И.О. дир. деп.)
2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Программные комплексы конечно-элементного анализа

Направление подготовки: 15.04.03 Прикладная механика

Магистерская программа Вычислительная механика и компьютерный инжиниринг

Форма подготовки (очная)

курс 1, семестр 1

лекции - (час.)

практические занятия 18 час.

лабораторные работы 18 час.

в том числе с использованием МАО лек./пр. 4 /лаб. 10 час.

всего часов аудиторной нагрузки 36 (час.)

самостоятельная работа 45 (час.)

в том числе на подготовку к экзамену 27 (час.)

курсовая работа / курсовой проект: не предусмотрен

зачет: не предусмотрен

экзамен 1 семестр

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта по направлению подготовки 15.04.03 Прикладная механика утвержденным приказом Министерства образования и науки РФ от 07.07.2015 №12-13-1282

Рабочая программа обсуждена на заседании отделения Машиностроения, морской техники и транспорта протокол № 5 от «29» января 2021г.

Директор отделения: к.т.н., доцент Грибиниченко М.В.

Составитель: к.ф.-м.н., профессор Амосова Е.В.

**Владивосток
2021**

Оборотная сторона титульного листа РПД

I. Рабочая программа пересмотрена на заседании отделения:

Протокол от « ____ » _____ 20__ г. № _____

Директор отделения _____
(подпись) (И.О. Фамилия)

II. Рабочая программа пересмотрена на заседании отделения:

Протокол от « ____ » _____ 20__ г. № _____

Директор отделения _____
(подпись) (И.О. Фамилия)

III. Рабочая программа пересмотрена на заседании отделения:

Протокол от « ____ » _____ 20__ г. № _____

Директор отделения _____
(подпись) (И.О. Фамилия)

IV. Рабочая программа пересмотрена на заседании отделения:

Протокол от « ____ » _____ 20__ г. № _____

Директор отделения _____
(подпись) (И.О. Фамилия)

Цели и задачи освоения дисциплины

Учебная дисциплина «Программные комплексы конечно-элементного анализа» предназначена для студентов первого курса магистратуры. Дисциплина входит в базовую часть блока «Дисциплины (модули)», (Б1.Б.05).

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 108 часов. Учебным планом предусмотрены практические занятия (18 часов), лабораторные работы (18 часов), самостоятельная работа студента (72 часа, в том числе 27 часов на подготовку к экзамену). Дисциплина реализуется на 1 курсе в 1-м семестре. Форма контроля – экзамен.

Цели: изучение численных методов инженерных расчётов и сопутствующего математического аппарата, применяемых при решении задач механики, а также освоение способов построения и компьютерной реализации математических моделей механических систем.

Задачи:

1. Изучение основных понятий, концепций и алгоритмов вычислительной механики;
2. Овладение важнейшими методами решения прикладных задач в области вычислительной механики;
3. Формирование устойчивых навыков по применению арсенала методов вычислительной механики при научном анализе ситуаций, с которыми инженеру приходится сталкиваться в ходе создания новой техники и новых технологий;
4. Ознакомление с историей и логикой развития вычислительной механики.

Для успешного изучения дисциплины «Программные комплексы конечно-элементного анализа» у обучающихся должны быть сформированы следующие предварительные компетенции:

- способность распознавать проблемы, возникающие в окружающей действительности, которые могут быть решены средствами математики и формулировать эти проблемы на языке математики;

- умение ставить познавательные задачи и выдвигать гипотезы; выбирать условия проведения наблюдения или опыта; выбирать необходимые приборы и оборудование, владеть измерительными навыками, работать с инструкциями; использовать элементы вероятностных и статистических методов познания; описывать результаты, формулировать выводы;

- умение решать проблемы, возникающие в окружающей действительности, используя математические знания и методы и анализировать использованные методы решения и интерпретировать полученные результаты с учетом поставленной проблемы;

- способность формулировать и записывать окончательные результаты решения поставленной проблемы.

В результате изучения данной дисциплины у студентов формируются следующие профессиональные компетенции (элементы компетенций).

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
умением быстро осваивать новые предметные области, выявлять противоречия, проблемы и вырабатывать альтернативные варианты их решения (ОК-4)	Знает	основную проблематику математического и компьютерного моделирования задач прикладной механики
	Умеет	научно обосновывать принимаемые аналитические и численные методы решения задач прикладной механики
	Владеет	навыками математического и компьютерного моделирования задач прикладной механики с привлечением соответствующего программного обеспечения
способностью понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества, сознавать	Знает	правила и методы защиты информации при использовании информационных и сетевых технологий.
	Умеет	анализировать информацию на предмет информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны, и предоставить её в защищенном формате.

<p>опасности и угрозы, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны (ОК-12)</p>	<p>Владеет</p>	<p>навыками работы с информационными технологиями с соблюдением основных требований информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны.</p>
<p>способностью применять физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности (ПК-2)</p>	<p>Знает</p>	<p>основы применения физико-математического аппарата для создания математической модели изучаемого процесса, систем компьютерного моделирования и экспериментального исследования</p>
	<p>Умеет</p>	<p>применять физико-математический аппарат механики сплошных сред, механики деформируемого твердого тела для создания математической модели изучаемого процесса, системы компьютерного моделирования и экспериментального исследования для решения задач прикладной механики</p>
	<p>Владеет</p>	<p>навыками применения физико-математического аппарата механики сплошных сред, механики деформируемого твердого тела для адекватного математического моделирования изучаемого процесса, современных систем конечно-элементного анализа и экспериментального исследования для эффективного решения задач прикладной механики</p>
<p>ПК-5 способностью самостоятельно выполнять научные исследования в области прикладной механики для различных отраслей промышленности, топливно-энергетического комплекса, транспорта и строительства, решать сложные научно-технические задачи, которые для своего изучения требуют разработки и применения математических и компьютерных</p>	<p>Знает</p>	<p>Классические математические модели механики, их свойства, а также экспериментальные и теоретические методы построения математических Моделей. Основные понятия, идеи и методики проведения математического моделирования применительно к задачам механики сплошной среды. Основные Программные комплексы конечно-элементного анализа.</p>
	<p>Умеет</p>	<p>Формализовать поставленную задачу, применить классические математические модели к поставленной задаче, обосновать корректность математической модели. Применять основные методы математического и численного моделирования для решения теоретических и прикладных задач в механике сплошной среды. Самостоятельно осуществлять построение и анализ математических моделей в теории упругости, решать статические и динамические задачи теории пластин и оболочек.</p>

моделей, применения программных систем мультидисциплинарного анализа (САЕ-систем мирового уровня)	Владеет	Навыками формализации поставленной задачи, экспериментальными и теоретическими методами построения математических моделей. Основными методами математического и численного моделирования, применяющихся для моделирования в механике сплошной среды. Основными методами стационарной динамики деформируемых тел, нелинейной теории упругих оболочек.
способностью самостоятельно овладеть современными языками программирования и разрабатывать оригинальные пакеты прикладных программ и проводить с их помощью расчеты машин и приборов на динамику и прочность, устойчивость, надежность, трение и износ для специализированных задач прикладной механики (ПК-6)	Знает	основы программирования для разработки пакетов прикладных программ с целью проведения с их помощью расчетов машин и приборов на динамику и прочность, устойчивость, надежность, трение и износ для специализированных задач прикладной механики
	Умеет	применять современные языки программирования для разработки пакетов прикладных программ с целью проведения с их помощью расчетов машин и приборов на динамику и прочность, устойчивость, надежность, трение и износ для специализированных задач прикладной механики
	Владеет	навыками разработки пакетов прикладных программ и проведения с их помощью расчетов машин и приборов на динамику и прочность, устойчивость, надежность, трение и износ для специализированных задач прикладной механики
способностью принимать непосредственное участие в учебной и учебно-методической работе кафедр и других учебных подразделений по профилю направления, участвовать в разработке программ учебных дисциплин и курсов (ПК-10)	Знает	соответствующие нормативные документы и инструкции по обеспечению учебно-методического процесса
	Умеет	выполнять учебную, учебно-методическую, организационную и консультативную работу по профилю направления
	Владеет	навыками работы с электронными базами данных, подбора научно-технической и справочной литературы при разработке программ учебных дисциплин и курсов

Для формирования вышеуказанных компетенций в рамках дисциплины «Программные комплексы конечно-элементного анализа» применяются следующие методы активного/ интерактивного обучения:

- практическое занятие с использованием программных средств.

- рейтинговый метод.

I. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА

Лекционные занятия не предусмотрены учебным планом

II. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА (18 ЧАСОВ)

Практические занятия (18 часов)

Занятие 1. Статический анализ и теплообмен. (4 часа)

1. Входные параметры.
2. Выходные параметры.
3. Основные области применения.

Занятие 2. Динамика (4 часа)

1. Модальный Анализ.
2. Напряжения, возникающие от вибрации.
3. Частотные характеристики модели.

Занятие 3-4. Вычислительная гидрогазодинамика (4 часа)

1. Вычислительная динамика текучей среды.
2. Три фундаментальных принципа вычислительной динамики текучей среды.
3. Зависимость надежности моделирования и свойств потока и сложности геометрии тел.

Занятие 5-6. Анализ проекта (6 часов)

1. Оптимизация проекта.
2. Обеспечение гарантий безопасности.
3. Анализ напряжений.
4. Линейная устойчивость и нелинейный анализ.

Лабораторные работы (18 часов)

Лабораторная работа 1. Введение в язык FreeFem++. Способы задания Границ. Визуализация векторных полей. (4 часа)

Лабораторная работа 2. Структура данных на языке FreeFem++. Запись в файл. Массивы. (4 часа)

Лабораторная работа 3. Решение нестационарных задач. Аппроксимация производной по времени. (4 часа)

Лабораторная работа 4. Уравнение теплопроводности. (4 часа)

Лабораторная работа 5. Тепловая конвекция. (2 часа)

Самостоятельная работа (72 часа)

План-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине

№ п/п	Дата/сроки выполнения	Вид самостоятельной работы	Примерные нормы времени на выполнение	Форма контроля
1	1-6 недели	Выполнение самостоятельных заданий лабораторных работ 1-3	12 часов	ПР-6
2	7-8 недели	Выполнение расчетно-графического задания по разделу «Основы конечных элементов»	6 часов	ПР-12
3	9 неделя	Устный опрос по разделу «Основы конечных элементов»	4 часа	УО-1
4	10-15 недели	Выполнение самостоятельных заданий лабораторных работ 4-5	12 часов	ПР-6
5	16-17 недели	Выполнение расчетно-графического задания по разделу «Граничные условия и анализ результатов»	6 часов	ПР-12
6	18 неделя	Устный опрос по разделу «Граничные	5 часов	УО-1

		условия и анализ результатов»		
7	Экзаменационная сессия	Подготовка к экзамену	27 часов	
		Итого:	72 часа	

III. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Характеристика заданий для самостоятельной работы обучающихся и методические рекомендации по их выполнению

Устные опросы

Устные опросы проводятся преподавателем по завершению изучения каждого раздела. Для подготовки используется основная и дополнительная литература по дисциплине «Программные комплексы конечно-элементного анализа». Вопросы, возникающие в процессе подготовки, студент может задать преподавателю либо на занятиях, либо на консультациях

Результатом самостоятельной работы студентов являются:

1. Программы для решения заданий расчетно-графической работы, реализованные в системе Freefem++ и оформленные в соответствии с правилами оформления программ. Эти программы обязательно отсылаются преподавателю почтой или приносятся в распечатанном виде преподавателю лично. Защита расчетно-графического задания осуществляется только после того, как задача проверена и оценена преподавателем.

2. Самостоятельные задания к лабораторным работам, выполненные в программной системе Freefem++. Они должны быть оформлены в соответствии с правилами оформления расчетов и представлены на преподавателю на проверку перед защитой лабораторной работы.

Примеры расчетно-графических заданий

Раздел «Основы конечно-элементного анализа»

1. Записать вариационную формулировку задачи

$$\begin{aligned} - (e^x u'(x))' + u(x) &= e^x + 1, \quad x \in (0, 1); \\ u(0) &= 0, \quad u(1) = 0. \end{aligned}$$

2. Записать вариационную формулировку задачи

$$\begin{aligned} - (e^x u'(x))' + u(x) &= e^x + 1, \quad x \in (0, 1); \\ u'(0) + 3u(0) &= -2, \quad u'(1) = 1. \end{aligned}$$

Раздел «Граничные условия и анализ результатов»

Задание 1 Методом конечных элементов найти приближенное решение следующей задачи:

$$\begin{aligned} u_t - (x + 1)u_{xx} &= \cos(\pi x)t, \quad x \in (0, 1), \quad t \in (0, 1). \\ u(0, t) &= u(1, t) = 0, \\ u(x, 0) &= e^x - 1 - x(e - 1). \end{aligned}$$

Провести расчет для 5 итераций по времени, а в качестве базисных функций взять $\varphi_i(x) = \sin(i\pi x)$, $i = 1, 2$.

Задание 2 Методом конечных элементов найти приближенное решение следующей задачи:

$$\begin{aligned} u_t - (5 - x)u_{xx} &= 5tx, \quad x \in (0, 1), \quad t \in (0, 1). \\ u(0, t) &= u(1, t) = 0, \\ u(x, 0) &= \operatorname{tg}(x) - xt\operatorname{g}(1). \end{aligned}$$

Провести расчет для 5 итераций по времени, а в качестве базисных функций взять $\varphi_i(x) = \sin(i\pi x)$, $i = 1, 2$.

Критерии оценки выполнения самостоятельной работы

Самостоятельная работа студентов включает расчетно-графические задания, самостоятельные задания к лабораторным работам, подготовку к устным опросам. Критерии оценки каждого вида работы приведены в фондах оценочных средств.

IV. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА

№ п/п	Контролируемые модули/разделы / темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций		Оценочные средства - наименование	
				текущий контроль	промежуточная аттестация
1	Раздел «Основы метода конечных элементов»	ОК-4; ОК-12; ПК-2	Знает методы анализа научно-технической информации, критерии сравнения, современные достижения отечественной и зарубежной науки, техники и технологии	Устный опрос (УО-1)	Вопросы к экзамену 1-15
			Умеет искать, обрабатывать, анализировать и систематизировать информацию, связанную с конечно-элементным анализом	Лабораторная работа (ПР-6)	Задачи к экзамену 1-3
			Владеет навыками анализа и сравнения научно-технической информации по тематике исследования.	Расчетно-графическое задание (ПР-12)	
2	Раздел «Граничные условия и анализ результатов»	ПК-5; ПК-6; ПК-10	Знает характеристики современных программных пакетов, поддерживающих метод конечных элементов (МКЭ)	Устный опрос (УО-1)	Вопросы к экзамену 16-29
			Умеет применять стандартные методы расчетов МКЭ к реальным процессам, машинам и конструкциям в программном пакете, поддерживающем МКЭ	Лабораторная работа (ПР-6)	Задачи к экзамену 4-6
			Владеет методиками проведения и обработки результатов численных экспериментов в программном пакете, поддерживающем МКЭ	Расчетно-графическое задание (ПР-12)	

V. СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Основная литература

1. Афанасьева Н.Ю. Вычислительные и экспериментальные методы научного эксперимента : учебное пособие для вузов. – М: Кнорус, 2013. – 330 с. <http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:670914&theme=FEFU>
2. Верхотуркин, Е. Ю. Интерфейс и генерирование сетки в ANSYS Workbench : учебное пособие по курсу «Геометрическое моделирование в САПР» / Е. Ю. Верхотуркин, В. Н. Пащенко, В. Б. Пясецкий. — Москва : Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, 2013. — 64 с. <http://www.iprbookshop.ru/31411>
3. Коробова, Л. А. Программные математические комплексы. Практикум : учебное пособие / Л. А. Коробова, С. Н. Черняева, И. Е. Медведкова. — Воронеж : Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2014. — 68 с. <https://www.iprbookshop.ru/47442.html>
4. Галкин, В.И. Конечно-элементный анализ. Возможности и перспективы применения при решении задач обработки металлов давлением [Электронный ресурс] / В.И. Галкин // Современные технологии обработки металлов и сплавов: Сборник научно-технических статей. - Москва : МАТИ: ИНФРА-М, 2015. - с. 112-139. <https://znanium.com/catalog/product/515381>
5. Куликов, Д. Д. Интеллектуальные программные комплексы для технической и технологической подготовки производства. Часть 7. Системы проектирования технологических процессов : учебно-методическое пособие / Д. Д. Куликов, Е. И. Яблочников, В. С. Бабанин. — Санкт-Петербург : Университет ИТМО, 2011. — 136 с. URL: <https://www.iprbookshop.ru/66467.html>
6. Титов К.В. Компьютерная математика: Учебное пособие/К.В.Титов – М.: ИЦРИОР, НИЦ ИНФРА-М, 2016. - 261 с. <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=523231>

Дополнительная литература

1. Прокопьев В.И. Вычислительная механика. Часть 1. Статика стержневых структур [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.И. Прокопьев. — Электрон. текстовые данные. — М. : Московский государственный строительный университет, Ай Пи Эр Медиа, ЭБС АСВ, 2017. — 67 с. — 978-5-7264-1477-5. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/63071.html>

2. Присекин В.Л. Основы метода конечных элементов в механике деформируемых тел/ПрисекинВ.Л., РасторгуевГ.И. - Новосиб.: НГТУ, 2010. - 238 с. <http://znanium.com/bookread2.php?book=548237>

7. Маковкин, Г. А. Применение МКЭ к решению задач механики деформируемого твердого тела. Часть 1 [Электронный ресурс] : учебное пособие / Г. А. Маковкин, С. Ю. Лихачева. — Электрон. текстовые данные. — Нижний Новгород : Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2012. — 71 с. — 2227-8397. <http://www.iprbookshop.ru/16043.html>

8. Шаманин, А. Ю. Расчеты конструкций методом конечных элементов в ANSYS [Электронный ресурс] : методические рекомендации / А. Ю. Шаманин. — Электрон. текстовые данные. — М. : Московская государственная академия водного транспорта, 2012. — 72 с. — 2227-8397. <http://www.iprbookshop.ru/47951.html>

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

1. Официальный сайт ANSYS <http://www.ansys.com/>
2. Материалы свободно распространяемой энциклопедии <https://ru.wikipedia.org/wiki/ANSYS>
3. Помощник в обучении ансис – вебинары, статьи, поддержка, обучение <http://cae-expert.ru/>
4. Уроки по Solidworks - <http://teachmaterials.ru/lessons/>

5. САПР-журнал Статьи, уроки и материалы для специалистов в области САПР. <http://sapr-journal.ru/uroki-solidworks/>

Перечень информационных технологий и программного обеспечения

Необходимое программное обеспечение: система инженерных вычислений ANSYS (<http://www.ansys.com/Student>) и система проектирования (<http://www.solidworks.ru/>), конечно-элементный пакет Freefem++.

VI. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

На изучение дисциплины отводится 36 часов аудиторных занятий и 72 часа самостоятельной работы.

Самостоятельная внеаудиторная работа студентов проводится в форме изучения и анализа лекционного материала, изучения отдельных теоретических вопросов по предлагаемой литературе, подбора дополнительных источников для извлечения научно-технической информации, связанной с проблемами, изучаемыми в рамках данной дисциплины и решения задач с дальнейшим их разбором или обсуждением на аудиторных занятиях, подготовки к промежуточной аттестации.

Самостоятельная аудиторная работа студентов проводится в форме самостоятельного решения задач на практических занятиях с дальнейшим их разбором и обсуждением; проведения проверочных работ; поиска решений проблемных ситуаций, предложенных на лекциях и практических занятиях; поиска и устранения ошибок, заложенных в представлении материала преподавателем и допущенных другими студентами.

Текущий контроль усвоения дисциплины «Программные комплексы конечно-элементного анализа» проводится в виде устного опроса по

контрольным вопросам курса и контрольной работы по теме: «Решение задач механики на основе вариационных уравнений».

Примерные варианты контрольной работы и контрольные вопросы для проведения промежуточной аттестации содержатся в фонде оценочных средств текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

1. Сценарий изучения дисциплины

Для успешного изучения дисциплины «Программные комплексы конечно-элементного анализа» необходимо следующее: на практических и лабораторных занятиях преподаватель дает методику решения задач. Во второй части практического занятия студентам предлагается работать самостоятельно. Преподаватель контролирует работу студентов, отвечает на возникающие вопросы, подсказывает ход и метод решения. Если полученных в аудитории знаний окажется недостаточно, студент может самостоятельно повторно прочесть лекцию или соответствующее пособие, просмотреть практикум с разобранными примерами. После выполнения задания, студент защищает его преподавателю в назначенное время. Самостоятельная работа организовывается в соответствии с графиком выполнения самостоятельной работы

2. Рекомендации по работе с литературой. Теоретический материал курса становится более понятным, когда дополнительно используются теоретико-практические источники из списка основной и дополнительной литературы. Литературу по курсу можно изучать в библиотеке, брать книгу на дом или читать ее на компьютере (если это электронный ресурс). Полезно использовать несколько учебников, однако желательно придерживаться рекомендации преподавателя по выбору книг по каждому разделу. Не рекомендуется «заучивать» материал, желательно добиться понимания изучаемой темы дисциплины, а затем использовать изученный материал для реализации заданий. Кроме того, очень полезно выделить для себя

направления дальнейшего изучения материала, для достижения более продвинутого уровня изучения дисциплины.

3. Рекомендации по подготовке к экзамену. Успешная подготовка к экзамену включает, с одной стороны, добросовестную работу в течение семестра, выполнение всех заданий преподавателя, а с другой – правильная организация процесса непосредственной подготовки. При подготовке к экзамену необходимо освоить теорию: разобрать определения всех понятий, повторить приемы решения задач. Затем рассмотреть примеры и самостоятельно реализовать задания из каждой темы. При этом, если задания формулируются студентом самостоятельно, достигается более продвинутый уровень изучения дисциплины.

VII. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Аудиторные занятия по дисциплине включают практические занятия и лабораторные работы.

Для проведения практических и лабораторных занятий необходима аудитория со следующим оборудованием:

- Моноблок Lenovo C306G-i34164G500UDK (20 шт),
- Акустическая система Extron SI 3CT LP (3 шт),
- врезной интерфейс TLS TAM 201 Standart III,
- документ-камера Avertvision CP355AF,
- ЖК-панель 47’’ LG M4716CCBA,
- матричный коммутатор Extron DXP 44 DVI PRO,
- микрофонная петличная радиосистема Sennheiser EW 122 G3,
- мультимедийный проектор Mitsubishi EW330U,
- расширение для контроллера управления Extron IPL T CR48,
- сетевая видеочкамера Multipix MP-HD718, с
- стойка металлическая для ЖК-дисплея,

- усилитель мощности Extron XPA 2001-100V,
- усилитель-распределитель DVI сигнала Extron DVI DA2,
- цифровой аудиопроцессор Extron DMP 44 LC,
- экран проекционный ScreenLine Trim White Ice

В целях обеспечения специальных условий обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в ДВФУ все здания оборудованы пандусами, лифтами, подъемниками, специализированными местами, оснащенными туалетными комнатами, табличками информационно-навигационной поддержки.

VIII. ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Паспорт ФОС

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
умением быстро осваивать новые предметные области, выявлять противоречия, проблемы и вырабатывать альтернативные варианты их решения (ОК-4)	Знает	основную проблематику математического и компьютерного моделирования задач прикладной механики
	Умеет	научно обосновывать принимаемые аналитические и численные методы решения задач прикладной механики
	Владеет	навыками математического и компьютерного моделирования задач прикладной механики с привлечением соответствующего программного обеспечения
способностью понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества, сознавать опасности и угрозы, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной	Знает	правила и методы защиты информации при использовании информационных и сетевых технологий.
	Умеет	анализировать информацию на предмет информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны, и предоставить её в защищенном формате.
	Владеет	навыками работы с информационными технологиями с соблюдением основных требований информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны.

безопасности, в том числе защиты государственной тайны (ОК-12)		
способностью применять физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности (ПК-2)	Знает	основы применения физико-математического аппарата для создания математической модели изучаемого процесса, систем компьютерного моделирования и экспериментального исследования
	Умеет	применять физико-математический аппарат механики сплошных сред, механики деформируемого твердого тела для создания математической модели изучаемого процесса, системы компьютерного моделирования и экспериментального исследования для решения задач прикладной механики
	Владеет	навыками применения физико-математического аппарата механики сплошных сред, механики деформируемого твердого тела для адекватного математического моделирования изучаемого процесса, современных систем конечно-элементного анализа и экспериментального исследования для эффективного решения задач прикладной механики
ПК-5 способностью самостоятельно выполнять научные исследования в области прикладной механики для различных отраслей промышленности, топливно-энергетического комплекса, транспорта и строительства, решать сложные научно-технические задачи, которые для своего изучения требуют разработки и применения математических и компьютерных моделей, применения программных систем мультидисциплинарного анализа (САЕ-систем мирового уровня)	Знает	Классические математические модели механики, их свойства, а также экспериментальные и теоретические методы построения математических Моделей. Основные понятия, идеи и методики проведения математического моделирования применительно к задачам механики сплошной среды. Основные Программные комплексы конечно-элементного анализа.
	Умеет	Формализовать поставленную задачу, применить классические математические модели к поставленной задаче, обосновать корректность математической модели. Применять основные методы математического и численного моделирования для решения теоретических и прикладных задач в механике сплошной среды. Самостоятельно осуществлять построение и анализ математических моделей в теории упругости, решать статические и динамические задачи теории пластин и оболочек.
	Владеет	Навыками формализации поставленной задачи, экспериментальными и теоретическими методами построения математических моделей. Основными методами математического и численного моделирования, применяющихся для

		моделирования в механике сплошной среды. Основными методами стационарной динамики деформируемых тел, нелинейной теории упругих оболочек.
способностью самостоятельно овладеть современными языками программирования и разрабатывать оригинальные пакеты прикладных программ и проводить с их помощью расчеты машин и приборов на динамику и прочность, устойчивость, надежность, трение и износ для специализированных задач прикладной механики (ПК-6)	Знает	основы программирования для разработки пакетов прикладных программ с целью проведения с их помощью расчетов машин и приборов на динамику и прочность, устойчивость, надежность, трение и износ для специализированных задач прикладной механики
	Умеет	применять современные языки программирования для разработки пакетов прикладных программ с целью проведения с их помощью расчетов машин и приборов на динамику и прочность, устойчивость, надежность, трение и износ для специализированных задач прикладной механики
	Владеет	навыками разработки пакетов прикладных программ и проведения с их помощью расчетов машин и приборов на динамику и прочность, устойчивость, надежность, трение и износ для специализированных задач прикладной механики
способностью принимать непосредственное участие в учебной и учебно-методической работе кафедр и других учебных подразделений по профилю направления, участвовать в разработке программ учебных дисциплин и курсов (ПК-10)	Знает	соответствующие нормативные документы и инструкции по обеспечению учебно-методического процесса
	Умеет	выполнять учебную, учебно-методическую, организационную и консультативную работу по профилю направления
	Владеет	навыками работы с электронными базами данных, подбора научно-технической и справочной литературы при разработке программ учебных дисциплин и курсов

Контроль достижений целей курса

№ п/п	Контролируемые модули/ разделы / темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций		Оценочные средства - наименование	
				текущий контроль	промежуточная аттестация
1	Раздел «Основы метода конечных	ОК-4; ОК-12; ПК-2	Знает методы анализа научно-технической информации, критерии сравнения, современные достижения	Устный опрос (УО-1)	Вопросы к экзамену

№ п/п	Контролируемые модули/разделы / темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций		Оценочные средства - наименование	
				текущий контроль	промежуточная аттестация
	элементов»		отечественной и зарубежной науки, техники и технологии		
			Умеет искать, обрабатывать, анализировать и систематизировать информацию, связанную с конечно-элементным анализом	Лабораторная работа (ПР-6)	Задачи к экзамену
			Владеет навыками анализа и сравнения научно-технической информации по тематике исследования.	Расчетно-графическое задание (ПР-12)	
2	Раздел «Граничные условия и анализ результатов»	ПК-5; ПК-6; ПК-10	Знает характеристики современных программных пакетов, поддерживающих метод конечных элементов (МКЭ)	Устный опрос (УО-1)	Вопросы к экзамену
			Умеет применять стандартные методы расчетов МКЭ к реальным процессам, машинам и конструкциям в программном пакете, поддерживающем МКЭ	Лабораторная работа (ПР-6)	Задачи к экзамену
			Владеет методиками проведения и обработки результатов численных экспериментов в программном пакете, поддерживающем МКЭ	Расчетно-графическое задание (ПР-12)	

Шкала оценивания уровня сформированности компетенций

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции		критерии	показатели
умением быстро осваивать новые предметные области, выявлять противоречия, проблемы и вырабатывать альтернативные	Знает	основную проблематику математического и компьютерного моделирования задач прикладной механики	Знание основных современных проблем прикладной механики в области прочности, конструкций и материалов, моделирования задач гидромеханики	Способность сформулировать основные проблемы и противоречия рассматриваемых задач прикладной механики
	Умеет	научно обосновывать	Умение на основе	Способность быстро

варианты их решения (ОК-4)		принимаемые аналитические и численные методы решения задач прикладной механики	анализа научно-технической проблемы предложить альтернативный вариант ее решения	сформулировать альтернативные варианты решения научной проблемы
	Владеет	навыками математического и компьютерного моделирования задач прикладной механики с привлечением соответствующего программного обеспечения	Владение навыками выработки альтернативных решений с использованием компьютерных технологий моделирования	Способность предлагать эффективные альтернативные решения научно-технических проблем Способность предлагать современные наукоемкие технологии для решения научно-технических проблем
способностью понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества, сознавать опасности и угрозы, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны (ОК-12)	Знает	правила и методы защиты информации при использовании информационных и сетевых технологий.	Знание значения информационных технологий в развитии общества, основных угроз с точки зрения информационной безопасности	способность применения информационных технологий в научно-исследовательской, научно-педагогической деятельности с учетом основных требований информационной безопасности
	Умеет	анализировать информацию на предмет информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны, и предоставить её в защищенном формате.	умение применять современные информационные технологии в решении научно-технических и педагогических задач с учетом требований информационной безопасности	Способность применять современные информационные технологии и методы компьютерного моделирования в решении научно-технических и педагогических задач с учетом требований информационной безопасности
	Владеет	навыками работы с информационными технологиями с соблюдением основных требований информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны.	владение навыками работы с современными программными комплексами компьютерного моделирования и компьютерного инжиниринга и другими информационными технологиями с соблюдением основных требований информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны.	способность самостоятельно осваивать и применять программные комплексы компьютерного моделирования и компьютерного инжиниринга и другие информационные технологии с соблюдением основных требований информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны.
способностью применять физико-	Знает	основы применения физико-математического аппарата для создания математической	знание принципов моделирования, приемов, методов,	- способность сформулировать и описать основные

<p>математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности (ПК-2)</p>		<p>модели изучаемого процесса, систем компьютерного моделирования и экспериментального исследования</p>	<p>способов формализации объектов, процессов, явлений и реализации их на компьютере; знание достоинств и недостатков различных способов представления моделей систем и процессов; знание особенностей компьютерного моделирования механических систем.</p>	<p>принципы моделирования, приемы, методы, способы формализации объектов, процессов, явлений и реализации их на компьютере; - способность проанализировать различные модели системы, выделить их достоинства и недостатки; - способность выявить и объяснить особенности компьютерного моделирования механических систем.</p>
	Умеет	<p>применять физико-математический аппарат механики сплошных сред, механики деформируемого твердого тела для создания математической модели изучаемого процесса, системы компьютерного моделирования и экспериментального исследования для решения задач прикладной механики</p>	<p>умение применять на практике основные методы исследования математических моделей реальных процессов и конструкций; умение работать с компьютерными системами; умение пользоваться современными программными средствами.</p>	<p>способность применять на практике основные методы исследования математических моделей реальных процессов и конструкций; способность работать с компьютерными системами; способность пользоваться современными программными средствами.</p>
	Владеет	<p>навыками применения физико-математического аппарата механики сплошных сред, механики деформируемого твердого тела для адекватного математического моделирования изучаемого процесса, современных систем конечно-элементного анализа и экспериментального исследования для эффективного решения задач прикладной механики</p>	<p>- владение математическим аппаратом, необходимым для построения математических моделей, - владение пакетами прикладных программ для инженерного анализа.</p>	<p>- способность использовать математический аппарат, необходимый для построения математических моделей, - способность применять пакеты прикладных программ для инженерного анализа</p>
<p>ПК-5 способностью самостоятельно выполнять научные исследования в области прикладной механики для различных отраслей промышленности, топливно-энергетического</p>	Знает	<p>Классические математические модели механики, их свойства, а также экспериментальные и теоретические методы построения математических Моделей. Основные понятия, идеи и методики проведения математического моделирования применительно к задачам механики сплошной среды. Основные Программные</p>	<p>Знание проблематики задач прикладной механики с учетом потребностей промышленности</p>	<p>Способность объяснить и использовать современные математические и компьютерные модели, программные системы мультидисциплинарного анализа для решения задач в научно-исследовательской и профессиональной деятельности</p>

<p>комплекса, транспорта и строительства, решать сложные научно-технические задачи, которые для своего изучения требуют разработки и применения математических и компьютерных моделей, применения программных систем мультидисциплинарного анализа (CAE-систем мирового уровня)</p>		<p>комплексы конечно-элементного анализа.</p>		
	Умеет	<p>Формализовать поставленную задачу, применить классические математические модели к поставленной задаче, обосновать корректность математической модели. Применять основные методы математического и численного моделирования для решения теоретических и прикладных задач в механике сплошной среды. Самостоятельно осуществлять построение и анализ математических моделей в теории упругости, решать статические и динамические задачи теории пластин и оболочек.</p>	<p>Умение осуществлять проведение расчетно-экспериментальных исследований в области прикладной механики на основе классических и технических теорий и методов</p>	<p>способность самостоятельно осваивать и применять высокопроизводительные вычислительные системы и используемые в промышленности наукоемкие компьютерные технологии (CAD/CAE-системы мирового уровня)</p>
	Владеет	<p>Навыками формализации поставленной задачи, экспериментальными и теоретическими методами построения математических моделей. Основными методами математического и численного моделирования, применяющихся для моделирования в механике сплошной среды. Основными методами стационарной динамики деформируемых тел, нелинейной теории упругих оболочек.</p>	<p>Владение навыками работы с новыми системами компьютерной математики, автоматизированного проектирования и компьютерного инжиниринга</p>	<p>Способность эффективно применять высокопроизводительные вычислительные системы, с использованием CAD/CAE технологий для решения задач в научно-исследовательской и профессиональной деятельности</p>
<p>способностью самостоятельно овладевать современными языками программирования и разрабатывать оригинальные пакеты прикладных программ и проводить с их помощью расчеты машин и приборов на динамику и прочность, устойчивость, надежность, трение и износ для специализированных задач</p>	Знает	<p>основы программирования для разработки пакетов прикладных программ с целью проведения с их помощью расчетов машин и приборов на динамику и прочность, устойчивость, надежность, трение и износ для специализированных задач прикладной механики</p>	<p>Знание современных языков программирования, и методов использования программных средств по избранной тематике</p>	<p>Способность применять современные программные комплексы для решения задач прикладной механики, разрабатывать оригинальные пакеты прикладных программ .</p>
	Умеет	<p>применять современные языки программирования для разработки пакетов прикладных программ с целью проведения с их помощью расчетов машин и приборов на динамику и прочность, устойчивость, надежность, трение и износ для специализированных задач прикладной механики</p>	<p>Умение применять физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований для специализированных задач прикладной механики</p>	<p>Умение формулировать технические задания и применять программные системы компьютерного проектирования (CAD-системы) в процессе конструирования деталей машин и элементов конструкций с учетом обеспечения их прочности, жесткости, устойчивости,</p>

прикладной механики (ПК-6)				долговечности, надежности и износостойкости
	Владеет	навыками разработки пакетов прикладных программ и проведения с их помощью расчетов машин и приборов на динамику и прочность, устойчивость, надежность, трение и износ для специализированных задач прикладной механики	Владение навыками работы с мощными современными программными пакетами вычислительной математики, автоматического компьютерного проектирования и инжиниринга	Способность применять программные системы компьютерного моделирования (CAE-системы); применять методы математического и компьютерного моделирования в теоретических и расчетно-экспериментальных исследованиях
способностью принимать непосредственно участие в учебной и учебно-методической работе кафедр и других учебных подразделений по профилю направления, участвовать в разработке программ учебных дисциплин и курсов (ПК-10)	Знает	соответствующие нормативные документы и инструкции по обеспечению учебно-методического процесса	Знание нормативных документов, регламентирующих учебный процесс, должностных инструкций, локальных и распорядительных актов по учебной и учебно-методической работе кафедр	Способность работать с учебной, методической литературой, необходимой для обеспечения учебных занятий и самостоятельной работы учащихся
	Умеет	выполнять учебную, учебно-методическую, организационную и консультативную работу по профилю направления	Умение выполнять учебно-методическую, организационную и консультативную работу по выбранной тематике	Способность работать с учебной и научной литературой при проведении учебно-методической работы кафедр
	Владеет	навыками работы с электронными базами данных, подбора научно-технической и справочной литературы при разработке программ учебных дисциплин и курсов	Владение навыками работы с учебно-методической литературой для разработки программ учебных дисциплин и курсов	Способность самостоятельно разрабатывать программы учебных дисциплин и курсов

**Методические материалы, определяющие процедуры оценивания
результатов освоения дисциплины**

Оценочные средства для промежуточной аттестации

Перечень типовых вопросов к экзамену

1. Основные современные численные методы расчета конструкций.
2. Суть (основная идея) метода конечных элементов.
3. Дискретизация расчетной области конструкции при расчете МКЭ.

4. Суть дискретной модели рассчитываемой конструкции по МКЭ.
5. Основные шаги общего алгоритма статического расчета по МКЭ.
6. Конечные элементы, их типы. Степени свободы конечного элемента. Конечно-элементная расчетная схема. Приведение нагрузки на систему к узловой.
7. Матрица жесткости конечного элемента. Ее структура. Связь между перемещениями узлов элемента и усилиями, действующими на них.
8. Смысл коэффициентов матрицы влияния изгибающих моментов.
9. Формулы вычисления элементов матрицы жесткости конечного элемента.
10. Формулы вычисления элементов матрицы геометрической жесткости конечного элемента.
11. Формулы вычисления элементов матрицы масс конечного элемента.
12. Метод разложения по собственным формам.
13. Участие собственных формы матрицы в расчетах.
14. Функции матриц.
15. Преобразование матрицы жесткости конечного элемента при повороте координатных осей.
16. Матрица жесткости системы конечных элементов. Ее структура. Связь между перемещениями узлов конечно-элементной схемы и усилиями, действующими на них.
17. Векторы перемещений и усилий, действующих на элемент. Векторы перемещений и усилий, действующих и на систему элементов, их структура и связь между собой.
18. Соединение конечных элементов. Условие равновесия узлов в конечно-элементной схеме. Формирование системы разрешающих уравнений метода конечных элементов.
19. Формирование глобальной матрицы жесткости конечно-элементной схемы из матриц жесткости конечных элементов.

20. Определение внутренних усилий в стержневых конечных элементах после нахождения узловых перемещений в конечно-элементной схеме. Учет направленности осей местной системы координат конечного элемента по отношению к глобальной системе осей координат конечно-элементной схемы.

21. Учет связей и заданных узловых перемещений в системе разрешающих уравнений метода конечных элементов.

22. Расчёт плиты методом конечных элементов и ее разделение на элементы.

23. Зависимость между величинами в матрице жесткости отдельного элемента в методе конечных элементов.

24. Общая процедура расчета стержневых систем методом конечных элементов в форме метода перемещений.

25. Реализация алгоритма МКЭ в современных программных комплексах.

26. Препроцессор, процессор, постпроцессор, библиотеки конечных элементов.

27. Решение задачи определения перемещений для произвольного силового воздействия в матричной форме.

28. Решение задачи определения внутренних сил для произвольного силового воздействия в матричной форме.

29. Решение задачи определения перемещений для гармонического воздействия в матричной форме.

Перечень типовых задач к экзамену

1. Триангулировать область, заданную уравнениями

1. $t = 0, 2\pi; \quad x = (a + 1) + a * \cos(t); \quad y = (b + 1) + b * \sin(t);$

2. $t = 0, 1; \quad x = (2a + 2) * t; \quad y = 0;$

3. $t = 0, 1; \quad x = (2a + 2); \quad y = (2b + 2) * t;$

4. $t = 0, 1; \quad x = (2a + 2) * t, \quad y = (2b + 2);$

5. $t = 0, 1; \quad x = 0, \quad y = (2b + 2) * t;$

где a — номер варианта, $b = 15 - a$.

2. Записать вариационную формулировку задачи

$$- \left((1 + \sin^2(x))u'(x) \right)' + tg(x)u(x) = 1 + \cos(x), \quad x \in (0, 1);$$

$$u(0) = -1, \quad 2u'(1) + u(1) = 1.$$

3. Для заданного комплексного потенциала $w(z) = \varphi(x, y) + i\psi(x, y)$ построить действительную и мнимую часть. Построить векторное поле скорости по формуле:

$$\vec{v} = \frac{\partial \varphi}{\partial x} + \frac{\partial \varphi}{\partial y}.$$

а. $w(z) = \frac{3}{2\pi} \cdot \frac{1}{z};$

б. $w(z) = 10 \cdot z + \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{1}{z};$

в. $w(z) = \frac{3}{2\pi} \cdot \ln(z);$

4. Создать элементарную функцию. Сделать триангуляцию области.

Астроида, $a = 2, b = 3,$

а.
$$\begin{cases} x(t) = a \cos^3(t), \\ y(t) = b \sin^3(t), \quad t \in [0, 2\pi]. \end{cases}$$

Улитка Паскаля $a = 3, b = 4,$

б.
$$\begin{cases} x(t) = 2a \cos^2(t) + b \cos(t), \\ y(t) = 2a \sin(t) \cos(t) + b \sin(t), \quad t \in [0, 2\pi]. \end{cases}$$

Принцип составления экзаменационного билета

Первые два вопроса являются теоретическими и предназначены для оценивания порогового уровня освоения дисциплины. Третий вопрос, в котором необходимо решить задачу, предназначен для оценки продвинутого и высокого уровня освоения.

Пример экзаменационного билета

1. Конечные элементы, их типы. Степени свободы конечного элемента. Конечно-элементная расчетная схема. Приведение нагрузки на систему к узловой.
2. Зависимость между величинами в матрице жесткости отдельного элемента в методе конечных элементов.
3. Для заданного комплексного потенциала

$$w(z) = \frac{3}{2\pi} \cdot \frac{1}{z};$$

построить действительную и мнимую часть. Построить векторное поле скорости по формуле:

$$\vec{v} = \frac{\partial \varphi}{\partial x} + \frac{\partial \varphi}{\partial y}.$$

Критерии выставления оценки студенту на экзамене по дисциплине

Баллы	Оценка	Требования к сформированным компетенциям
-------	--------	--

(рейтингово й оценки)	экзамена (стандартная)	
86-100	«отлично»	Оценка «отлично» выставляется студенту: обнаружившему всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного материала, умение применять его и владение изученным материалом; излагающему ответы полно, последовательно и логически стройно; усвоившему взаимосвязь основных и производных понятий; проявившему творческие способности в знании, умении и владении изученным материалом; знающему, умеющему и владеющему навыками приемами выполнения практических заданий и профессиональных задач; показывающему знакомство с основной и дополнительной учебной литературой; способному самостоятельно пополнять и развивать знания, умения и навыки в профессиональной деятельности
76-85	«хорошо»	Оценка «хорошо» выставляется студенту: обнаружившему системное знание, хорошее умение и владение учебным материалом; излагающему ответы грамотно и по существу заданных вопросов; не допускающему грубых неточностей; умеющему применять основные методики решения стандартных задач; способному самостоятельно пополнять умения и навыки в учебной деятельности
61-75	«удовлетворительно»	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту: обнаружившему знание учебного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и профессиональной деятельности; усвоившему взаимосвязь основных понятий; допускающему в ответах неточности, испытывающему затруднения при решении практических задач, способному ликвидировать пробелы в знаниях и умениях под руководством преподавателя
0-60	«неудовлетворительно»	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту: обнаружившему большие пробелы в знании основного учебного материала; допускающему принципиальные ошибки в изложении материала или в ответах на вопросы; не умеющему применять имеющиеся знания в решении практических и профессиональных задач; не владеющему основными методиками решения задач или испытывающему значительные затруднения в этом; изучившим материал в объеме, недостаточном для дальнейшей учебы и профессиональной деятельности; не могущему продолжить обучение без дополнительных занятий дисциплине

Оценочные средства для текущей аттестации

Текущая аттестация по дисциплине «Программные комплексы конечно-элементного анализа» проводится в форме контрольных мероприятий (устного опроса, расчетно-графического задания, контрольных работ) по

оцениванию фактических результатов обучения студентов и осуществляется ведущим преподавателем.

Объектами оценивания выступают:

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

Вопросы для устных опросов по дисциплине «Программные комплексы конечно-элементного анализа»

1. Численное моделирование. Основной принцип численного моделирования. Особенности решения задач математической физики.

2. Метод конечных элементов и этапы применения МКЭ. Получение основной системы разрешающих уравнений МКЭ. Построение интерполирующего полинома в МКЭ. Построение матрицы жесткости конечного элемента и системы конечных элементов. Сходимость и точность МКЭ.

3. Метод суперэлементов (МСЭ). Алгоритм, назначение, преимущества, недостатки.

4. Подготовка исходных данных в МКЭ и МСЭ. Структура и содержание исходных данных для расчета методами конечных элементов и суперэлементов.

5. Принципы построения программных систем на базе МКЭ и МСЭ

6. Сеточные генераторы. Назначение, эффективность, условия оптимальности сеток. Оценка качества сетки. Основные алгоритмы и методы формирования сетки конечных элементов.

7. Проблема хранения данных. Представление целочисленных, булевых и вещественных матриц в памяти компьютеров (обзор).

8. Проблема упорядочения матриц, методы упорядочения матриц, использование графов для приведения матриц.

9. Обзор современных программ конечно-элементного анализа: Freefem, Ansys. Особенности работы в Freefem и AnSys с демонстрацией на компьютере.

10. Пакет Freefem.

11. Назначение и состав пакета. Общая характеристика метода конечных элементов. Режимы работы системы: графический и командный.

12. Основные этапы расчета в среде Freefem на примере простейших механических систем.

13. Типы конечных элементов используемых в пакете Freefem. Ключевые опции и константы конечных элементов. Задание свойств материала.

14. Функции основных модулей пакета Freefem/

15. Геометрическое моделирование. Способы создания геометрических моделей Команды создания ключевых точек, линий, поверхностей и объемных тел. Использование примитивов. Операции над геометрическими моделями.

16. Разбивка геометрической модели на конечные элементы. Управление параметрами конечно-элементной сетки.

17. Приложение нагрузок к геометрической модели. Поверхностные нагрузки.

18. Постпроцессорная обработка результатов. Основные и производные результаты расчетов. Табличное и графическое представление результатов расчета.

19. Язык программирования в Freefem. Назначение, основные характеристики.

20. Работа с массивами, циклы, условия. Получение и запись параметров из модели.

21. Реализация метода суперэлементов. Назначение, преимущества, недостатки.

Критерии оценки устного опроса:

✓ 100-85 баллов - если ответ показывает прочные знания основных положений изучаемого раздела механики, отличается глубиной и полнотой раскрытия темы; владение терминологическим аппаратом; умение объяснять сущность, явлений, процессов, событий, делать выводы и обобщения, давать аргументированные ответы, приводить примеры; свободное владение монологической речью, логичность и последовательность ответа; умение приводить примеры современных проблем изучаемой области.

✓ 85-76 - баллов - ответ, обнаруживающий прочные знания основных положений изучаемого раздела механики, отличается глубиной и полнотой раскрытия темы; владение терминологическим аппаратом; умение объяснять сущность, явлений, процессов, событий, делать выводы и обобщения, давать аргументированные ответы, приводить примеры; свободное владение монологической речью, логичность и последовательность ответа. Однако допускается одна - две неточности в ответе.

✓ 75-61 - балл - оценивается ответ, свидетельствующий в основном о знании основных положений изучаемого раздела механики, отличающийся недостаточной глубиной и полнотой раскрытия темы; знанием основных вопросов теории; слабо сформированными навыками анализа явлений, процессов, недостаточным умением давать аргументированные ответы и приводить примеры; недостаточно свободным владением монологической речью, логичностью и последовательностью ответа. Допускается несколько ошибок в содержании ответа; неумение привести пример развития ситуации, провести связь с другими аспектами изучаемой области.

✓ 60-50 баллов - ответ, обнаруживающий незнание основных положений изучаемого раздела механики, отличающийся неглубоким раскрытием темы; незнанием основных вопросов теории, сформированными навыками анализа явлений, процессов; неумением давать аргументированные ответы, слабым владением монологической речью, отсутствием логичности и последовательности. Допускаются серьезные ошибки в содержании ответа; незнание современной проблематики изучаемой области.

Лабораторные работы

Типовая лабораторная работа на тему «Введение в язык FreeFem++»

Способы задания Границ. Визуализация векторных полей»

Задание 1. Для заданного комплексного потенциала $w(z) = \varphi(x, y) + i\psi(x, y)$ построить действительную и мнимую функции. Построить векторное поле скорости по формуле

$$\vec{v} = \frac{\partial \varphi}{\partial x} + \frac{\partial \varphi}{\partial y}.$$

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Построить квадрат, сторона которого равна d . С помощью оператора **plot** создать графическое отображение фигуры, подписать график и вывести значение стороны квадрата.

Например, для созданного квадрата, имеющего границы G1, G2, G3, G4, где G1 — нижняя граница, G2 — правая, G3 — верхняя и G4 — левая оператор вывода имеет вид

```
plot(G1(m)+G2(m)+G3(-m)+G4(-m), cmm="square, d="+d, wait=1);
```

На рисунке 1 изображен результат выполнения оператора **plot**.

Направления стрелок на сторонах квадрата соответствуют способу построения соответствующей границы.

2. Создать FE пространство (пространство конечных элементов), задать комплексно значную функцию, описывающую заданный вид движения, построить линии уровня ее действительной и мнимой части.

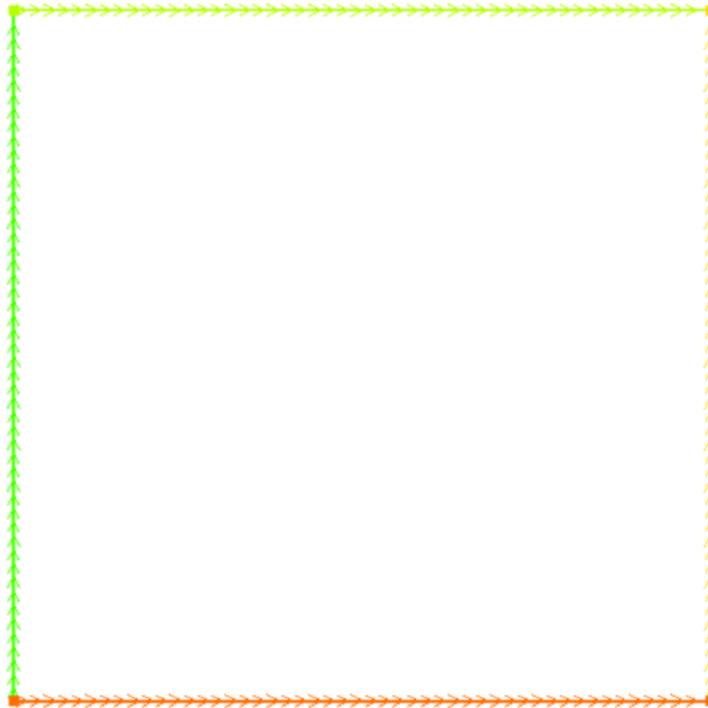


Рис. 1: Квадрат

FE пространство задается оператором **fespace**

```
fespace Vh(Th,P2)
```

С помощью оператора **func** создаем двумерные функции $z = x + iy$, $f = \text{Im}(\text{sqrt}(z))$, $g = \text{Re}(\text{sqrt}(z))$

```
func z = x+y*i;  
func f = imag(sqrt(z));  
func g = real(sqrt(z));
```

Для построения f и g создадим две функции на пространстве FE

```
Vh fh,fg;  
fh=f;  
gh=g;
```

Построим линии уровня функций f и g

```
plot(fh, cmm="Im(sqrt(z))", fill=1, wait=1,value=1);  
plot(gh,cmm="Re(sqrt(z))", fill=1, wait=1,value=1);
```

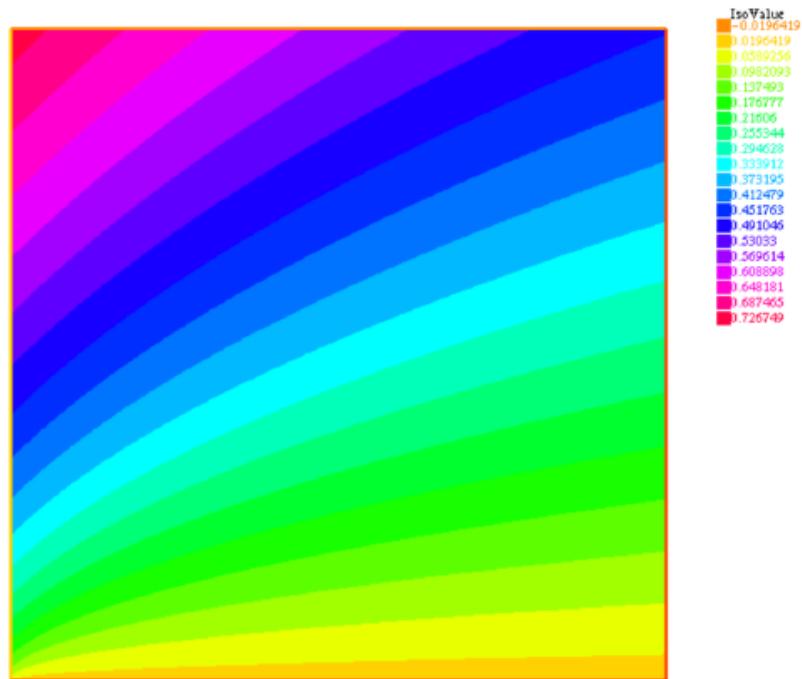


Рис. 2: Линии уровня f

3. Вычислить частные производные потенциальной функции $\varphi(x, y)$. Построить векторное поле скоростей.

Для функции $\varphi(x, y)$ из пространства FE операторы производных имеют вид:

$$dx(\varphi) = \partial\varphi/\partial x, \quad dy(\varphi) = \partial\varphi/\partial y.$$

```
Vh phi= real(z);
Vh u=dx(phi);
Vh v=dy(phi);
```

Команда для рисования векторного поля:

```
plot([u,v]);
```

```
plot([u,v], cmm="vector v", wait=1,value=1);
```

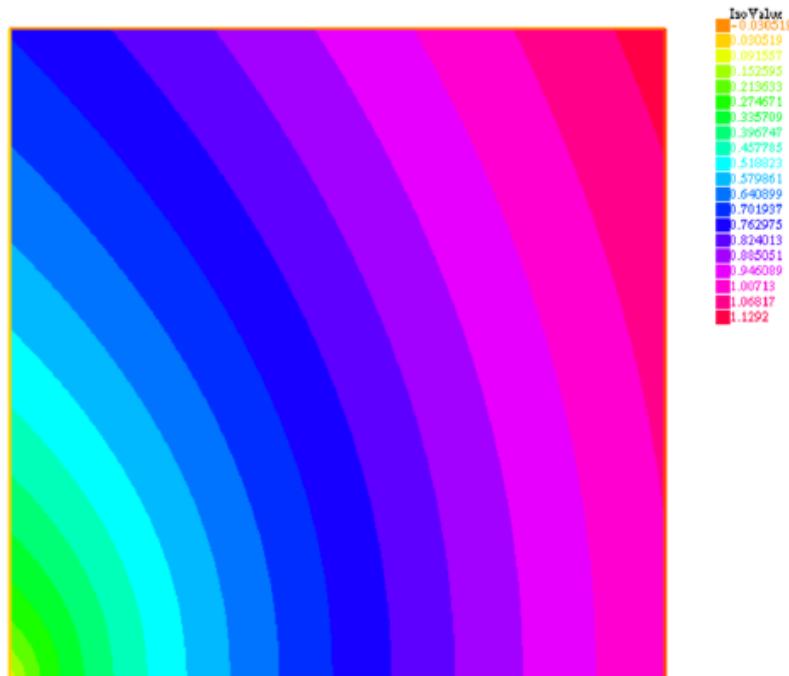


Рис. 3: Линии уровня g

Самостоятельный задания:

$$w(z) = z + \frac{1}{z} - \frac{1}{2\pi i} \cdot \ln(z);$$

$$w(z) = (-1 + 4i) \cdot z;$$

$$w(z) = (-2 - 5i) \cdot z;$$

Критерии оценки лабораторной работы

✓ 10-8 баллов выставляется студенту, если студент выполнил все задания лабораторной работы, в том числе и самостоятельные. Фактических ошибок, связанных с пониманием задачи, нет; ошибок в расчетах нет, изучаемые инструментальные средства пакета FreeFem применяются верно. При защите студент отвечает на все вопросы преподавателя.

✓ 7-6 баллов – работа выполнена полностью; студент выполнил все предложенные в лабораторной работе задания, ошибок в расчетах нет, одно самостоятельное задание реализовано не полностью или изучаемые инструментальные средства FreeFem применяются не эффективно. При защите студент отвечает на все вопросы преподавателя.

✓ 5-4 балла – работа выполнена по предложенному описанию; но студент не выполнил самостоятельные задания, или допустил одну или две ошибки в расчетах, или изучаемые инструментальные средства FreeFem студент использует с затруднениями. При защите студент не отвечает на 1-2 вопроса преподавателя.

✓ 1-3 балла – работа выполнена не полностью. Есть ошибки в расчетах и в понимании решаемой задачи, большая часть изучаемых инструментальных средств студентом не используется. При защите студент не отвечает более, чем на 2 вопроса преподавателя.