




МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Дальневосточный федеральный университет»
(ДВФУ)

ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА

«СОГЛАСОВАНО»

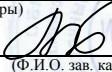
Руководитель ОП
«Прикладная механика»


(подпись) Озерова Г.П.
(Ф.И.О. рук.ОП)

«25» июня 2016г.

«УТВЕРЖДАЮ»

Заведующий кафедрой
Механики и математического моделирования
(название кафедры)


(подпись) Бочарова А.А.
(Ф.И.О. зав. каф.)

«24» июня 2016г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ (РПУД)
ОСНОВЫ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО АНАЛИЗА

Направление подготовки: 15.03.03 Прикладная механика

Профиль подготовки:

«Математическое и компьютерное моделирование механических систем и процессов»

Форма подготовки (очная)

курс 4 семестр 8
лекции 11 час.
практические занятия 11 час.
лабораторные работы 22 час.
в том числе с использованием МАО лек.4 час. /пр.4 час. /лаб.12 час.
всего часов аудиторной нагрузки час.
в том числе с использованием МАО 20 час.
самостоятельная работа 100 час.
в том числе на подготовку к экзамену 27 час.
контрольные работы -
курсовая работа / курсовой проект -
зачет – семестр
экзамен - 8 семестр

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями образовательного стандарта высшего образования Дальневосточного федерального университета, принятого решением Ученого совета ДВФУ, протокол от 25.02.2016 № 02-16, введенного в действие приказом ректора ДВФУ от 10.03.2016 № 12-13-391.

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры механики и математического моделирования, протокол № 9 от «23» июня 2016 г.

Заведующий кафедрой: к.ф.-м.н., доц. Бочарова А.А.
Составитель: доцент Амосова Е.В.

Оборотная сторона титульного листа РПУД

I. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:

Протокол от «14» _ июня 2018 г. № 10

Заведующий кафедрой _____ Бочарова А.А.
(подпись) (И.О. Фамилия)

В целях повышения качества знаний студентов в РПУД внесены следующие изменения:

- добавлены расчетно-графические задания (РГР)

II. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:

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

Заведующий кафедрой _____
(подпись) (И.О. Фамилия)

Аннотация

Учебная дисциплина «Основы конечно-элементного анализа» предназначена для студентов 4 курса, обучающихся по направлению 15.03.03 «Прикладная механика», профиль «Математическое и компьютерное моделирование механических систем и процессов». Дисциплина входит в базовую часть математического и естественнонаучного цикла. Дисциплина «Основы конечно-элементного анализа» логически и содержательно связана с такими курсами как «Численные методы в механике», «Механика сплошных сред», «Вычислительная механика», «CAD/CAE-технологии».

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 144 часа. Учебным планом предусмотрены лекционные занятия (11 часов), практические занятия (11 часов), лабораторные работы (22 часа) самостоятельная работа студента (100 часов). Дисциплина реализуется на 4 курсе в 8 семестре. Форма контроля – экзамен.

Цель: дать представление о методе конечных элементов (МКЭ)– численном методе решения задач прикладной физики. Метод широко используется для решения задач механики деформируемого твёрдого тела, теплообмена, гидродинамики и электродинамики.

Задачи:

Обучить студентов применению методов конечно-элементного анализа, для решения задач:

- механики деформируемого твёрдого тела;
- теплообмена;
- гидро- и газодинамики.
- электро- и магнитостатики.

Для успешного изучения дисциплины «Основы 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 обучающихся формируются следующие общепрофессиональные и профессиональные компетенции (элементы компетенций):

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
ОПК-6 умением собирать, обрабатывать, анализировать и систематизировать научно-техническую информацию по тематике исследования, использовать достижения отечественной и зарубежной науки, техники и технологии	Знает	методы анализа научно-технической информации, критерии сравнения, современные достижения отечественной и зарубежной науки, техники и технологии
	Умеет	искать, обрабатывать, анализировать и систематизировать информацию, связанную с конечно-элементным анализом
	Владеет	навыками анализа и сравнения научно-технической информации по тематике исследования.
ОПК-7 умением использовать современные программные средства подготовки конструкторско-технологической документации	Знает	характеристики современных программных пакетов, поддерживающих метод конечных элементов (МКЭ)
	Умеет	применять стандартные методы расчетов МКЭ к реальным процессам, машинам и конструкциям в программном пакете, поддерживающем МКЭ
	Владеет	методиками проведения и обработки

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
		результатов численных экспериментов в программном пакете, поддерживающем МКЭ

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

- проблемная лекция;
- лабораторная работа с использованием программных средств;
- групповая консультация

I. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА

РАЗДЕЛ 1. Основы метода конечных элементов (5 часов)

Тема 1. Метод конечных элементов (1 час) Определение задачи и нагрузки. Построение геометрической модели конструкции. Создание КЭ сетки.

Тема 2. Создание сетки (2 часа) Определение сетки. Структурные и неструктурные сетки. Влияние допущений на точность решения.

Тема 3. Конечные элементы (2 часа) Линейные элементы. Параболические элементы. Матрица жесткости и ее компоненты.

РАЗДЕЛ 2. Граничные условия и анализ результатов(6 часов)

Тема 1. Граничные условия для МКЭ (2 часа) Правильность приложения граничных условий. Принцип Сен-Венана. Примеры распределения нагрузок.

Тема 3. Анализ результатов. Деформация (2 часа) Метод перемещений. Представление уравнений равновесия в матричной форме. Взаимосвязь между жесткостью и деформацией.

Тема 3. Анализ результатов. Точность (2 часа) Требования соответствия анализа для разных задач. Возможность применения упрощений в различных ситуациях. Влияние типа и количества элементов на точность моделирования.

II. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА

Практические занятия (11 час.)

Занятие 1. Статический анализ и теплообмен. (2 часа)

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

Занятие 2. Динамика (2 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 (3 часа)

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

Лабораторные работы (22 часа)

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. (6 часов)

III. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся по дисциплине «Основы конечно-элементного анализа» представлено в Приложении 1 и включает в себя:

- план-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине, в том числе примерные нормы времени на выполнение по каждому заданию;
- требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы
- характеристика заданий для самостоятельной работы обучающихся и методические рекомендации по их выполнению;
- критерии оценки выполнения самостоятельной работы.

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»	ОПК-6	Знает методы анализа научно-технической информации, критерии сравнения, современные достижения отечественной и зарубежной науки, техники и технологии	Устный опрос (УО-1)	Вопросы к экзамену
			Умеет искать, обрабатывать, анализировать и систематизировать информацию, связанную с конечно-элементным анализом	Лабораторная работа (ЛР-6)	Задачи к экзамену
			Владеет навыками анализа и сравнения научно-технической информации по тематике исследования.	Расчетно-графическое задание (ЛР-12)	
2	Раздел	ОПК-7,	Знает характеристики современных	Устный опрос	Вопросы к экзамену

№ п/п	Контролируемые модули/разделы / темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций		Оценочные средства - наименование	
				текущий контроль	промежуточная аттестация
	«Граничные условия и анализ результатов»		программных пакетов, поддерживающих метод конечных элементов (МКЭ)	(УО-1)	
			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	Расчетное задание (ПР-12)	

Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности, а также критерии и показатели, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы представлены в Приложении 2.

V. СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Основная литература

И. Л. Елисеенко Вариационное исчисление : учебно-методический комплекс для вузов / И. Л. Елисеенко ; Дальневосточный государственный технический университет - Владивосток : Изд-во Дальневосточного технического университета, 2008. – 102 с.

<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:385009&theme=FEFU>

А. Ю. Быканова, А. В. Старков Основы SolidWorks. Построение моделей деталей : учебно-методическое пособие / А. Ю. Быканова, А. В. Старков ; Дальневосточный государственный технический университет Владивосток : Изд-во Дальневосточного технического университета,

2009.119 с. <http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:383066&theme=FEFU>

3. Котович А.В. Решение задач теории упругости методом конечных элементов [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.В. Котович, И.В. Станкевич. — Электрон. текстовые данные. — М. : Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, 2012. — 112 с. — 978-5-7038-3567-8. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/31229.html>

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

5. 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. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/16043.html>

6. Мурашов, М. В. Решение задач механики сплошной среды в программном комплексе ANSYS [Электронный ресурс] : методические указания / М. В. Мурашов, С. Д. Панин. — Электрон. текстовые данные. — М. : Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, 2009. — 40 с. — 2227-8397. <http://www.iprbookshop.ru/31538.html>

Дополнительная литература

1. Самогин Ю. Н. Метод конечных элементов в задачах сопротивления материалов / Самогин Ю.Н., Хроматов В.Е., Чирков В.П. - М.:Физматлит, 2012. - 200 с. <http://znanium.com/bookread2.php?book=544799>

2. Димитриенко Ю.И. Метод конечных элементов для решения локальных задач механики композиционных материалов [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Димитриенко Ю.И., Соколов А.П.— Электрон. текстовые данные.— М.: Московский государственный технический

университет имени Н.Э. Баумана, 2010.— 68 с.— Режим доступа:
<http://www.iprbookshop.ru/31057.html>

3. Холопов И.С. Расчет плоских конструкций методом конечного элемента [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Холопов И.С., Лосева И.В.— Электрон. текстовые данные.— Саратов: Самарский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2014.— 102 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/43399.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 44 часа аудиторных занятий и 100 часа самостоятельной работы.

На практических занятиях 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 соответствующую литературу, посмотреть практикум с разобранными примерами. После выполнения задания, студент защищает его преподавателю в назначенное время.

VII. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Для проведения лекционных занятий необходима мультимедийная аудитория со следующим оборудованием:

Акустическая система для потолочного монтажа с низким профилем,
Extron SI 3CT LP (пара)

Акустическая система для потолочного монтажа с низким профилем,
Extron SI 3CT LP (пара)

Врезной интерфейс с системой автоматического втягивания кабелей TLS
ТАМ 201 Standart III

Документ-камера AVervision CP355AF

ЖК-панель 47", Full HD, LG M4716CCBA

Кодек видеоконференцсвязи LifeSizeExpress 220- Codeonly- Non-AES в
составе: кодек – 1 шт.;

беспроводное дистанционное управление – 1 шт.;

источник питания – 1 шт.;

кабели для подключения – 1 комплект

Комплект удлинителей DVI по витой паре (передатчик/приёмник),
Extron DVI 201 Tx/Rx

Матричный коммутатор DVI 4x4. Extron DXP 44 DVI PRO

Микрофонная петличная радиосистема УВЧ диапазона Sennheiser EW
122 G3 в составе рэкового приёмника EM 100 G3,

передатчика SK 100 G3, петличного микрофон ME 4 с ветрозащитой и
антенн (2 шт.)

Мультимедийный проектор, Mitsubishi EW330U, 3000 ANSI Lumen,
1280x800

Преобразователь сигнала SD/HD/3G-SDI в формат HDMI 1.3. Multipix
3G HD-SDI TO HDMI converter

Расширение для контроллера управления Extron IPL T CR48

Сетевая видеокамера Multipix MP-HD718

Сетевой контроллер управления Extron IPL T S4

Стойка металлическая для ЖК-дисплея У SMS Flatscreen FH T1450

Усилитель мощности, Extron XPA 2001-100V

Усилитель-распределитель DVI сигнала, Extron DVI DA2

Цифровой аудиопроцессор, Extron DMP 44 LC

Шкаф настенный 19" 7U, Abacom VSP-W960SG60

Экран проекционный ScreenLine Trim White Ice, 50 см черная кайма
сверху, размер рабочей области 236x147 см

Для проведение практических занятий необходим компьютерный класс
со следующим оборудованием:

Моноблок Lenovo C306G-i34164G500UDK (20 шт),

Акустическая система для потолочного монтажа с низким профилем,
Extron SI 3CT LP (пара)

Акустическая система для потолочного монтажа с низким профилем,
Extron SI 3CT LP (пара)

Акустическая система для потолочного монтажа с низким профилем,
Extron SI 3CT LP (пара)

Врезной интерфейс с системой автоматического втягивания кабелей TLS
TAM 201 Standart III

Документ-камера AVervision CP355AF

ЖК-панель 47", Full HD, LG M4716CCBA

Комплект удлинителей DVI по витой паре (передатчик/приёмник),
Extron DVI 201 Tx/Rx

Матричный коммутатор DVI 4x4. Extron DXP 44 DVI PRO

Микрофонная петличная радиосистема УВЧ диапазона Sennheiser EW 122 G3 в составе речевого приёмника EM 100 G3, передатчика SK 100 G3, петличного микрофон ME 4 с ветрозащитой и антенн (2 шт.)

Мультимедийный проектор, Mitsubishi EW330U, 3000 ANSI Lumen, 1280x800

Расширение для контроллера управления Extron IPL T CR48

Сетевая видеокамера Multipix MP-HD718

Сетевой контроллер управления Extron IPL T S4

Стойка металлическая для ЖК-дисплея У SMS Flatscreen FH T1450

Усилитель мощности, Extron XPA 2001-100V

Цифровой аудиопроцессор, Extron DMP 44 LC

Шкаф настенный 19" 7U, Abacom VSP-W960SG60

Экран проекционный ScreenLine Trim White Ice, 50 см черная кайма сверху, размер рабочей области 236x147 см



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Дальневосточный федеральный университет»
(ДВФУ)

ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ
РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ**

по дисциплине «Основы конечно-элементного анализа»

Направление подготовки: 15.03.03 Прикладная механика

**Профиль подготовки: «Математическое и компьютерное моделирование
механических систем и процессов»**

Форма подготовки очная

**Владивосток
2016**

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	24 часа	ПР-6
2	7-8 недели	Выполнение расчетно-графического задания по разделу «Основы конечных элементов»	8 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	24 часа	ПР-6
5	16-17 недели	Выполнение расчетно-графического задания по разделу «Граничные условия и анализ результатов»	8 часов	ПР-12
6	18 неделя	Устный опрос по разделу «Граничные условия и анализ результатов»	5 часов	УО-1
7	Экзаменационная сессия	Подготовка к экзамену	27 часов	
		Итого:	100 часов	

Требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы

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 почту 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:

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

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 приложении 2.



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Дальневосточный федеральный университет»
(ДФУ)

ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ
по дисциплине «Основы конечно-элементного анализа»
Направление подготовки: 15.03.03 Прикладная механика
Профиль подготовки: «Математическое и компьютерное моделирование
механических систем и процессов»
Форма подготовки очная

Владивосток
2016

Паспорт ФОС

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
ОПК-6 умением собирать, обрабатывать, анализировать и систематизировать научно-техническую информацию по тематике исследования, использовать достижения отечественной и зарубежной науки, техники и технологии	Знает	методы анализа научно-технической информации, критерии сравнения, современные достижения отечественной и зарубежной науки, техники и технологии
	Умеет	искать, обрабатывать, анализировать и систематизировать информацию, связанную с конечно-элементным анализом
	Владеет	навыками анализа и сравнения научно-технической информации по тематике исследования.
ОПК-7 умением использовать современные программные средства подготовки конструкторско-технологической документации	Знает	характеристики современных программных пакетов, поддерживающих метод конечных элементов (МКЭ)
	Умеет	применять стандартные методы расчетов МКЭ к реальным процессам, машинам и конструкциям в программном пакете, поддерживающем МКЭ
	Владеет	методиками проведения и обработки результатов численных экспериментов в программном пакете, поддерживающем МКЭ

№ 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»	ОПК-6	Знает методы анализа научно-технической информации, критерии сравнения, современные достижения отечественной и зарубежной науки, техники и технологии	Устный опрос (УО-1)	Вопросы к экзамену
			Умеет искать, обрабатывать, анализировать и систематизировать информацию, связанную с конечно-элементным анализом	Лабораторная работа (ЛР-6)	Задачи к экзамену
			Владеет навыками анализа и сравнения научно-технической информации по тематике	Расчетно-графическое	

№ п/п	Контролируемые модули/разделы / темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций		Оценочные средства - наименование	
				текущий контроль	промежуточная аттестация
			исследования.	задание (ПР-12)	
2	Раздел «Граничные условия и анализ результатов»	ОПК-7,	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	Расчетное-графическое задание (ПР-12)	

Шкала оценивания уровня сформированности компетенций

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции		критерии	показатели
ОПК-6 умением собирать, обрабатывать, анализировать и систематизировать научно-техническую информацию по тематике исследования, использовать достижения отечественной и зарубежной науки, техники и технологии	Знает	методы анализа научно-технической информации, критерии сравнения, современные достижения отечественной и зарубежной науки, техники и технологии	- знание основных отечественных и зарубежных источников научно-технической информации по тематике исследования; - знание методов обработки преобразования и систематизации научно-технической информации	- способность перечислить и охарактеризовать основные отечественные и зарубежные источники научно-технической информации по тематике исследования; - способность дать определения основных понятий и развернутое описание методов обработки, преобразования и систематизации научно-технической информации
	Умеет	искать, обрабатывать, анализировать и систематизировать информацию,	- умение использовать поисковые системы сети Интернет и библиотечных ресурсов	- способность использовать поисковые системы сети Интернет и библиотечных ресурсов

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции		критерии	показатели
		связанную с конечно-элементным анализом	для поиска информации по конечно-элементного анализу; - умение использовать пакеты программ для хранения и систематизации информации по конечно-элементному анализу; - умение анализировать информацию и применять ее р решению задач с использованием метода конечных элементов	для поиска информации по конечно-элементного анализу; - способность использовать пакеты программ для хранения и систематизации информации по конечно-элементному анализу; - способность анализировать информацию и применять ее р решению задач с использованием метода конечных элементов
	Владеет	навыками анализа и сравнения научно-технической информации по тематике исследования.	- владение навыками поиска научно-технической информации по тематике исследования в различных научно-метрических базах; - владение навыками обработки и систематизации научно-технической информации по тематике исследования	- способность найти и отобрать научно-техническую информацию по тематике исследования в различных научно-метрических базах; - способность обработать и систематизировать научно-техническую информацию по тематике исследования, в том числе и с применением компьютерных технологий
ОПК-7 умением использовать современные программные средства подготовки конструкторско-технологической документации	Знает	характеристики современных программных пакетов, поддерживающих метод конечных элементов (МКЭ)	- знание основных характеристик и области применения современных пакетов, поддерживающих метод МКЭ - знание основных инструментов программных пакетов и их назначение; - знание этапов применения МКЭ в программном пакете	- способность выделить и подробно описать основные характеристики и области применения современных пакетов, поддерживающих метод МКЭ - способность перечислить основные инструменты программных пакетов и пояснить их назначение; - способность перечислить и объяснить суть этапов применения МКЭ в программном пакете
	Умеет	применять стандартные методы расчетов МКЭ к реальным процессам, машинам и конструкциям в программном пакете,	- умение реализовать расчеты методом конечных элементов для реальных процессов, машин и конструкций	- способность реализовать расчеты методом конечных элементов для реальных процессов, машин и конструкций

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции		критерии	показатели
		поддерживающем МКЭ		
	Владеет	методиками проведения и обработки результатов численных экспериментов в программном пакете, поддерживающем МКЭ	- владение методиками проведения численных экспериментов в программном пакете, поддерживающем МКЭ - владение методиками обработки и оценки численных экспериментов в программном пакете, поддерживающем МКЭ	- способность применять методики проведения численных экспериментов в программном пакете, поддерживающем МКЭ - способность использовать методики обработки и оценки численных экспериментов в программном пакете, поддерживающем МКЭ

Методические рекомендации, определяющие процедуры оценивания результатов освоения дисциплины

Оценочные средства для промежуточной аттестации

Вопросы 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

«Основы конечно-элементного анализа»

Баллы (рейтингово й оценки)	Оценка экзамена (стандартная)	Требования к сформированным компетенциям
86-100	«отлично»	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал по дисциплине; исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, использует в ответе материал монографической литературы, правильно обосновывает принятое решение, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических задач.
76-85	«хорошо»	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твердо знает материал по дисциплине, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения.
61-75	«удовлетворительно»	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, испытывает затруднения при выполнении практических работ.
0-60	«неудовлетворительно»	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала по дисциплине, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы. Оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине

Оценочные средства для текущей аттестации

Перечень вопросов для устных опросов по темам дисциплины

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.

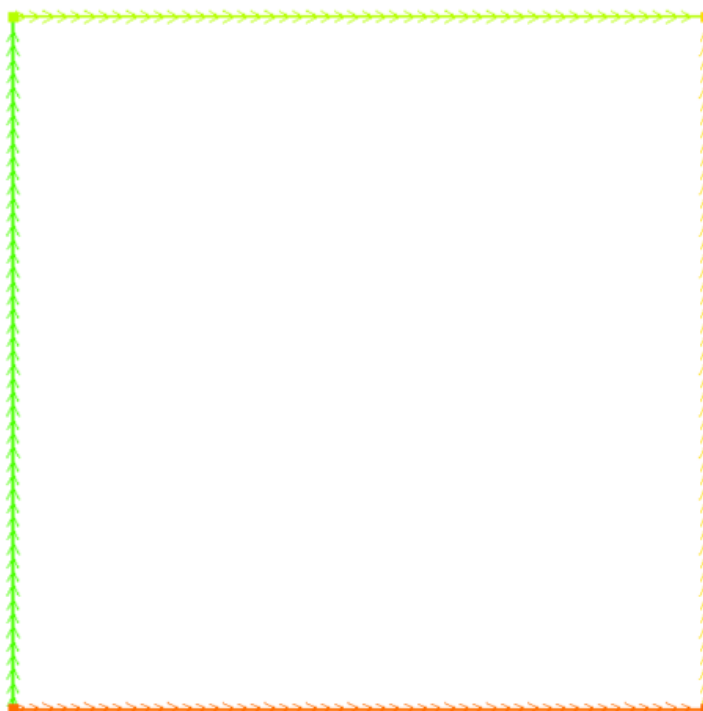


Рис. 1: Квадрат

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*1i;  
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);
```

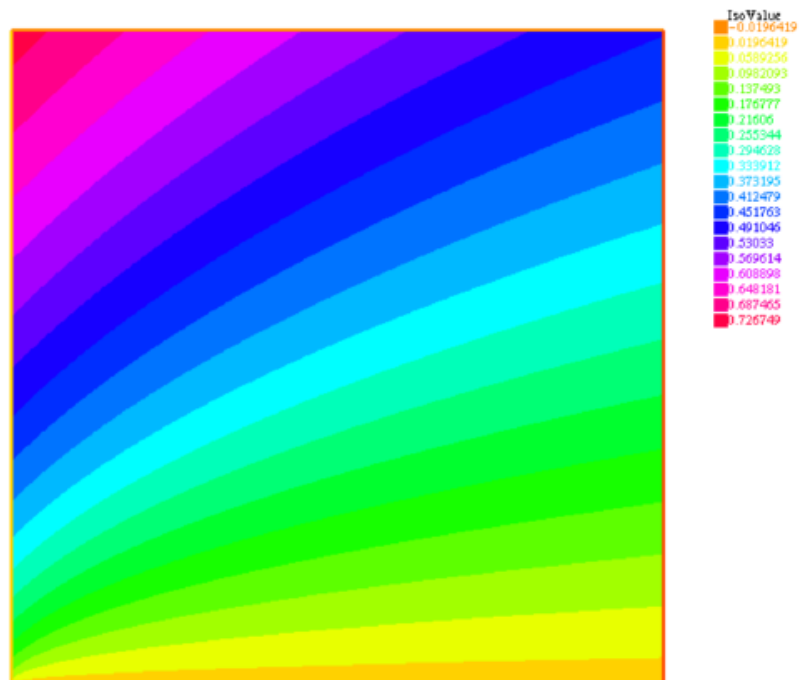


Рис. 2: Линии уровня f

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);

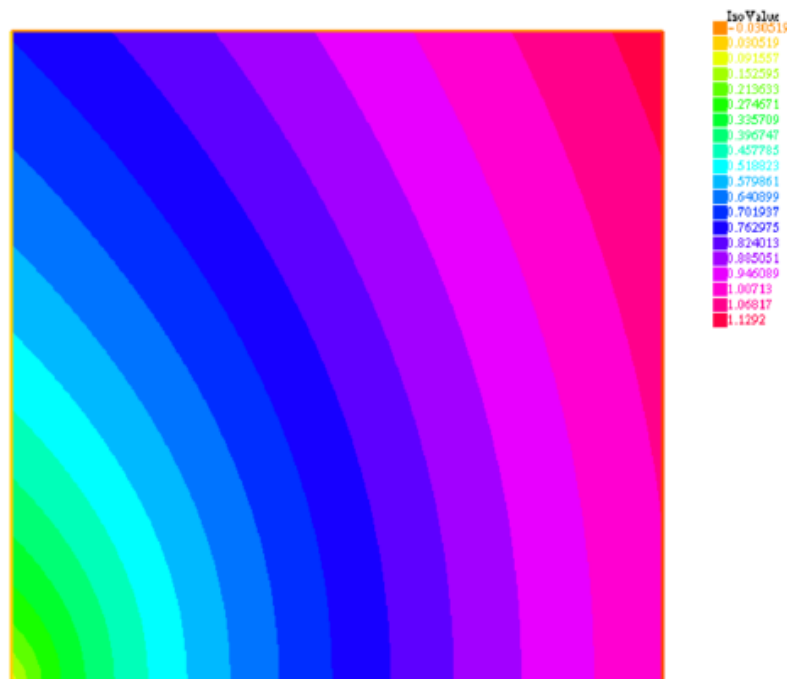


Рис. 3: Линии уровня g

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.

Критерии оценки расчетно-графического задания

✓ 10-8 баллов выставляется студенту, если студент выполнил все задания индивидуального задания. При защите студент отвечает на все вопросы преподавателя.

✓ 7-6 баллов – работа выполнена полностью; студент выполнил все предложенные в индивидуальном задании задания. Присутствует математическая ошибка счета. При защите студент отвечает на все вопросы преподавателя.

✓ 5-4 балла – работа выполнена полностью. Присутствует математическая ошибка счета. При защите студент не отвечает на 1-2 вопроса преподавателя.

✓ 1-3 балла – работа выполнена не полностью. Присутствует математическая ошибка счета. При защите студент не отвечает более, чем на 2 вопроса преподавателя.