

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»

Кафедра прикладной математики

“УТВЕРЖДАЮ”
ДЕКАН ФПМИ

д.т.н. Тимофеев В. С.

“ ____ ” _____ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
Метод конечных элементов

Образовательная программа: 01.03.02 Прикладная математика и информатика, профиль:
Компьютерное моделирование и информационные технологии

Курс: 4, семестр : 8

Факультет прикладной математики и информатики,

		Семестр
№	Вид деятельности	8
1	Всего зачетных единиц (кредитов)	4
2	Всего часов	144
3	Всего занятий в контактной форме, час.	46
4	Лекции, час.	14
5	Практические занятия, час.	0
6	Лабораторные занятия, час.	20
7	из них в активной и интерактивной форме, час.	10
8	Аттестация, час.	2
9	Консультации, час.	10
10	Самостоятельная работа, час.	98
11	Виды самостоятельной работы (курсовой проект, курсовая работа, РГЗ, подготовка к контрольной работе)	КП
12	Вид аттестации	Э

Рабочая программа составлена на основании федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению (специальности): 01.03.02 Прикладная математика и информатика

ФГОС введен в действие приказом №228 от 12.03.2015 г. , дата утверждения: 14.04.2015 г.

Место дисциплины в структуре учебного плана: Блок 1, вариативная, по выбору студента

Рабочая программа разработана на основе компетентностной модели выпускника по направлению (специальности): 01.03.02 Прикладная математика и информатика

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры

ПМт, протокол заседания кафедры №6 от 20.06.2017

Утверждена на совете факультета прикладной математики и информатики, протокол № 6 от 21.06.2017

Программу разработал:

профессор, д.т.н. Персова М. Г.

Заведующий кафедрой:

профессор, д.т.н. Соловейчик Ю. Г.

Ответственный за образовательную программу:

заведующий кафедрой Соловейчик Ю. Г.

1. Внешние требования

Таблица 1.1

Компетенция ФГОС: ПК.1 способность собирать, обрабатывать и интерпретировать данные современных научных исследований, необходимые для формирования выводов по соответствующим научным исследованиям; в части следующих результатов обучения:
у1. уметь оценивать погрешности вычислительных алгоритмов
Компетенция ФГОС: ПК.2 способность понимать, совершенствовать и применять современный математический аппарат; в части следующих результатов обучения:
з3. знать основы метода конечных элементов и других сеточных методов
у2. уметь применять основные математические методы при построении моделей
Компетенция ФГОС: ПК.3 способность критически переосмысливать накопленный опыт, изменять при необходимости вид и характер своей профессиональной деятельности; в части следующих результатов обучения:
у1. уметь оценивать результаты моделирования и сопоставлять их с результатами натурных экспериментов

2. Требования НГТУ к результатам освоения дисциплины

Таблица 2.1

Результаты изучения дисциплины по уровням освоения (иметь представление, знать, уметь, владеть)	Формы организации занятий
<i>Метод конечных элементов</i>	
ПК.2.з3 знать основы метода конечных элементов и других сеточных методов	
1. Знать основы метода конечных элементов (МКЭ) и метода конечных разностей. Иметь представление о других сеточных методах.	Лекции; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
2. Знать методы и алгоритмы построения конечноэлементных сеток.	Лекции; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
3. Знать основные методы описания расчётных областей; способ построения локальных матриц на симплексах с использованием барицентрических координат; алгоритм сборки СЛАУ в МКЭ с использованием локальных матриц.	Лекции; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
ПК.2.у2 уметь применять основные математические методы при построении моделей	
4. Уметь применять структуры данных МКЭ; уметь решать двумерные и трёхмерные краевые задачи с использованием МКЭ.	Лекции; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
5. Уметь строить конечноэлементные схемы различного порядка аппроксимации.	Лекции; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
ПК.1.у1 уметь оценивать погрешности вычислительных алгоритмов	
6. Уметь оценивать погрешность конечноэлементного решения.	Лекции; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
ПК.3.у1 уметь оценивать результаты моделирования и сопоставлять их с результатами натурных экспериментов	
7. Уметь оценивать погрешность конечноэлементного решения применительно к решаемой практической задаче, знать способы ее уменьшения	Лекции; Лабораторные работы; Самостоятельная работа

3. Содержание и структура учебной дисциплины

Таблица 3.1

Темы лекций	Активные формы, час.	Часы	Ссылки на результаты обучения	Учебная деятельность
Семестр: 8				
Дидактическая единица: Принципы сеточных аппроксимаций краевых задач.				

1. Сеточные методы. Идеи методов конечных разностей, конечных объёмов, наименьших квадратов, коллокации. Метод конечных элементов, его основные отличия от других сеточных методов.	0	1	1	Сеточные методы. Идеи методов конечных разностей, конечных объёмов, наименьших квадратов, коллокации. Метод конечных элементов, его основные отличия от других сеточных методов.
2. Порядок аппроксимации. Порядок точности. Устойчивость. Порядок аппроксимации в МКР. Схема второго порядка.	0	1	1	Порядок аппроксимации. Порядок точности. Устойчивость. Порядок аппроксимации в МКР.
3. Выбор базиса МКЭ. Фinitные функции. Сборка из локальных матриц. Конечномерные пространства. Энергетическая норма. Оценка погрешности решения в МКЭ.	0	1	1, 5, 6	Выбор базиса МКЭ. Фinitные функции. Сборка из локальных матриц. Конечномерные пространства. Энергетическая норма. Оценка погрешности решения в МКЭ.
4. Повышение порядка аппроксимации в МКЭ. Квадратичный базис. Кубический базис. Точность и вычислительные затраты. Одномерные лагранжевы и эрмитовы элементы, структуры конечноэлементных матриц.	0	1	1, 5, 6	Повышение порядка аппроксимации в МКЭ. Квадратичный базис. Кубический базис. Точность и вычислительные затраты. Одномерные лагранжевы и эрмитовы элементы, структуры конечноэлементных матриц.
Дидактическая единица: Технологии реализации метода конечных элементов.				
5. Двумерные конечные элементы. Билинейные, биквадратичные, бикубические эрмитовы и лагранжевы элементы. Нумерация узлов, сборка глобальной матрицы, её структура.	0	1	1, 3, 5	Двумерные конечные элементы. Билинейные, биквадратичные, бикубические эрмитовы и лагранжевы элементы. Нумерация узлов, сборка глобальной матрицы, её структура.
6. Конечные элементы на симплексах. L-координаты, их использование при вычислении интегралов. Квадратичные элементы на треугольниках, нумерация узлов, построение портрета. Конечные элементы на несогласованных сетках.	0	1	3, 5	Конечные элементы на симплексах. L-координаты, их использование при вычислении интегралов. Квадратичные элементы на треугольниках, нумерация узлов, построение портрета. Конечные элементы на несогласованных сетках.
7. Трёхмерные задачи. Трилинейные, триквадратичные, трикубические элементы. Конечные элементы на тетраэдрах, призмах. Смешанные конечные элементы.	0	1	3, 5	Трёхмерные задачи. Трилинейные, триквадратичные, трикубические элементы. Конечные элементы на тетраэдрах, призмах. Смешанные конечные элементы.
8. Методы описания двумерных расчётных областей. Алгоритмы построения сеток. Триангуляции. Наброс узлов. Фронтальные методы построения триангуляций.	0	2	2, 3	Методы описания двумерных расчётных областей. Алгоритмы построения сеток. Триангуляции. Наброс узлов. Фронтальные методы построения триангуляций.

9. Описание трёхмерных расчётных областей. Наброс узлов. Метод тиражирующихся сечений, его модификации с изменением числа узлов.	0	2	2, 3	Описание трёхмерных расчётных областей. Наброс узлов. Метод тиражирующихся сечений, его модификации с изменением числа узлов.
10. Структуры данных метода конечных элементов. Хранение информации о сетке, краевых условиях. Учёт условий симметрии задачи. Структура конечноэлементных пакетов. Препроцессоры и постпроцессоры.	0	2	4	Структуры данных метода конечных элементов. Хранение информации о сетке, краевых условиях. Учёт условий симметрии задачи. Структура конечноэлементных пакетов. Препроцессоры и постпроцессоры.
11. Разработка программ конечноэлементного решения краевых задач.	0	1	4, 5, 6, 7	Общая архитектура программного обеспечения, реализующего конечноэлементные расчеты. Структура отдельных программных модулей.

Таблица 3.2

Темы лабораторных работ	Активные формы, час.	Часы	Ссылки на результаты обучения	Учебная деятельность
Семестр: 8				
Дидактическая единица: Принципы сеточных аппроксимаций краевых задач.				
3. Решение эллиптических краевых задач	0	6	1, 2, 3, 4, 5, 6	Студент изучает особенности реализации нахождения численного решения эллиптической краевой задачи методом конечных элементов, методов конечных разностей и методом коллокации на прямоугольных сетках. Сравнивает полученные результаты по точности и скорости сходимости при решении эллиптической задачи различными методами.
Дидактическая единица: Технологии реализации метода конечных элементов.				
1. Решение линейных и нелинейных задач магнитостатики с использованием готового конечноэлементного пакета	6	6	7	Занятие проводится в форме компьютерных симуляций - студент изучает поведение стационарного магнитного поля в двумерной расчетной области и его характеристики при решении линейной и нелинейной задачи, оценивает точность полученных численных решений, приобретает навыки построения конечноэлементных сеток для решения рассматриваемой задачи с заданной точностью.

2. Решение линейных и нелинейных задач магнитостатики. Построение интерполяционных и сглаживающих сплайнов.	4	8	1, 2, 3, 4, 6, 7	Студент разрабатывает программу решения линейной и (или) нелинейной задачи магнитостатики методом конечных элементов. Сравнивает полученные численные результаты с результатами, полученными при решении задачи в готовом конечноэлементном пакете. Разрабатывает программу построения интерполяционных или сглаживающих сплайнов для одномерной или двумерной задачи. 4 часа проводится в форме компьютерных симуляций - студенты демонстрируют работоспособность разработанных программ.
---	---	---	------------------	--

4. Самостоятельная работа обучающегося

№	Виды самостоятельной работы	Ссылки на результаты обучения	Часы на выполнение	Часы на консультации
Семестр: 8				
1	Курсовой проект	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7	57	0
В течение семестра студенты выполняют курсовой проект, тематика которого определяется преподавателем с учётом темы бакалаврской работы. Курсовой проект должен быть сдан и защищен преподавателю в течение семестра. В ходе защиты студент должен продемонстрировать понимание используемого метода решения и доказать работоспособность программы. , подробная информация приведена в приложении №3 : Персова М. Г. Метод конечных элементов [Электронный ресурс] : электронный учебно-методический комплекс / М. Г. Персова, Ю. Г. Соловейчик ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, [2014]. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000186203. - Загл. с экрана. Персова М. Г. Методические указания к выполнению курсового проекта по дисциплине «Метод конечных элементов» [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие / М. Г. Персова, Ю. Г. Соловейчик ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, [2010]. - Режим доступа: http://ciu.nstu.ru/fulltext/unofficial/2012/lib_869_1326175425.doc. - Загл. с экрана.				
2	Подготовка к занятиям	4, 5	20	0
В процессе самостоятельной работы студент готовится к лабораторным работам, разрабатывает отдельные модули программ, требуемых для выполнения лабораторных работ. : Метод конечных элементов : методические указания к выполнению лабораторных работ для 4 курса ФПМИ специальности 010500 дневного отделения / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. М. Г. Персова и др.]. - Новосибирск, 2007. - 29, [2] с. : ил.. - Режим доступа: http://www.library.nstu.ru/fulltext/metodics/2007/3391.rar Персова М. Г. Метод конечных элементов [Электронный ресурс] : электронный учебно-методический комплекс / М. Г. Персова, Ю. Г. Соловейчик ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, [2014]. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000186203. - Загл. с экрана.				
3	Подготовка к аттестации	1, 2, 3	21	10

При подготовке к экзамену студенты повторяют лекционный материал и материал, представленный в учебных пособиях по курсу, подробная информация приведена в приложении №2 : Современные компьютерные технологии [Электронный ресурс] : электронный учебно-методический комплекс / М. Г. Персова и др. ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, [2014]. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000186027. - Загл. с экрана. Персова М. Г. Метод конечных элементов [Электронный ресурс] : электронный учебно-методический комплекс / М. Г. Персова, Ю. Г. Соловейчик ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, [2014]. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000186203. - Загл. с экрана.

5. Технология обучения

Для организации и контроля самостоятельной работы обучающихся, а также проведения консультаций применяются информационно-коммуникационные технологии (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Деятельность	Информационно-коммуникационные технологии
Информирование	Личный типовой сайт; Портал НГТУ; Среда электронного обучения НГТУ
Консультирование	Личный типовой сайт; Среда электронного обучения НГТУ
Контроль	Среда электронного обучения НГТУ
Размещение учебных материалов	Личный типовой сайт; Среда электронного обучения НГТУ; ЭБС

Таблица 5.2

Активные и интерактивные формы проведения занятий

№	Наименование активных форм	Коды формируемых компетенций
1	Кейс-стади	ПК.1; ПК.2; ПК.3;
Формируемые умения: з3. знать основы метода конечных элементов и других сеточных методов; у1. уметь оценивать погрешности вычислительных алгоритмов; у1. уметь оценивать результаты моделирования и сопоставлять их с результатами натурных экспериментов; у2. уметь применять основные математические методы при построении моделей		
Краткое описание применения: Занятия проводятся в форме компьютерных симуляций - студенты демонстрируют работоспособность разработанных программ, анализируют полученные результаты в сравнении с результатами готовых конечноэлементных пакетов.		

6. Правила аттестации обучающихся по учебной дисциплине

Для аттестации обучающихся по дисциплине используется балльно-рейтинговая система (БРС), позволяющая выставять оценки по традиционной шкале и 15-уровневой ECTS. Краткая информация о БРС приведена в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Оцениваемые виды деятельности обучающихся	Мин. балл	Максимальный балл
Семестр: 8		
Лабораторная №1: Выполнение, защита	5	10
Контролирующие материалы (список вопросов) приводятся в "Метод конечных элементов : методические указания к выполнению лабораторных работ для 4 курса ФПИ специальности 010500 дневного отделения / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. М. Г. Персова и др.]. - Новосибирск, 2007. - 29, [2] с. : ил. - Режим доступа: http://www.library.nstu.ru/fulltext/metodics/2007/3391.rar "		
Лабораторная №2: Выполнение, защита	20	40

Контролирующие материалы (список вопросов) приводятся в "Метод конечных элементов : методические указания к выполнению лабораторных работ для 4 курса ФПМИ специальности 010500 дневного отделения / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. М. Г. Персова и др.]. - Новосибирск, 2007. - 29, [2] с. : ил. - Режим доступа: http://www.library.nstu.ru/fulltext/metodics/2007/3391.rar "		
Лабораторная №3: Выполнение, защита	5	10
Контролирующие материалы (список вопросов) приводятся в "Метод конечных элементов : методические указания к выполнению лабораторных работ для 4 курса ФПМИ специальности 010500 дневного отделения / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. М. Г. Персова и др.]. - Новосибирск, 2007. - 29, [2] с. : ил. - Режим доступа: http://www.library.nstu.ru/fulltext/metodics/2007/3391.rar "		
Курсовой проект:	50	100 (в состав баллов за КП)
Контролирующие материалы (список вопросов) приводятся в "Персова М. Г. Методические указания к выполнению курсового проекта по дисциплине «Метод конечных элементов» [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие / М. Г. Персова, Ю. Г. Соловейчик ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, [2010]. - Режим доступа: http://ciu.nstu.ru/fulltext/unofficial/2012/lib_869_1326175425.doc . - Загл. с экрана."		
Экзамен:	20	40
Контролирующие материалы - список вопросов		

В таблице 6.2 представлено соответствие форм контроля заявляемым требованиям к результатам освоения дисциплины.

Таблица 6.2

Коды компетенций ФГОС	Результаты обучения	Формы контроля	
		Защита КП/КР	Экзамен
ПК.1	у1. уметь оценивать погрешности вычислительных алгоритмов	+	+
ПК.2	з3. знать основы метода конечных элементов и других сеточных методов		+
	у2. уметь применять основные математические методы при построении моделей	+	+
ПК.3	у1. уметь оценивать результаты моделирования и сопоставлять их с результатами натурных экспериментов	+	

Фонд оценочных средств по дисциплине представлен в приложении № 1 к рабочей программе.

7. Литература

Основная литература

1. Соловейчик Ю. Г. Метод конечных элементов для решения скалярных и векторных задач : [учебное пособие] / Ю. Г. Соловейчик, М. Э. Рояк, М. Г. Персова ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2007. - 895 с. : ил.
2. Персова М. Г. Методы конечноэлементного анализа : конспект лекций / М. Г. Персова, Ю. Г. Соловейчик ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2015. - 203, [1] с. : ил. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000214705
3. Численные методы в уравнениях математической физики : учебное пособие / [М. Г. Персова и др.] ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2016. - 57, [2] с. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232319
4. Персова М. Г. Современные компьютерные технологии : конспект лекций / М. Г. Персова, Ю. Г. Соловейчик, П. А. Домников ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2014. - 78, [2] с. : ил. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000202730

Дополнительная литература

1. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. пер. с англ. : [монография] / О. Зенкевич ; под ред. Б. Е. Победри. - М., 1975. - 541 с. : ил.
2. Зенкевич О. Конечные элементы и аппроксимация / О. Зенкевич, К. Морган ; пер. с англ. Б. И. Квасова ; под ред. Н. С. Бахвалова. - М., 1986. - 318 с. : ил.
3. Марчук Г. И. Методы вычислительной математики : учебное пособие / Г. И. Марчук. - СПб. [и др.], 2009. - 608 с. - На обл.: Знание! Уверенность! Успех!.

4. Голуб Д. Матричные вычисления / Дж. Голуб, Ч. Ван Лоун ; пер. с англ. Ю. М. Нечепуренко и др. под ред. В. В. Воеводина. - М., 1999. - 548 с. : ил.
5. Сабоннадьер Ж. Метод конечных элементов и САПР : Пер. с фр. / Под ред. Стрельбицкого Э. К. - М., 1989. - 192 с.
6. Лаевский Ю. М. Метод конечных элементов (основы теории, задачи) / Ю. М. Лаевский ; Новосиб. гос. ун-т. - Новосибирск, 1999. - 166 с. : ил
7. Марчук Г. И. Введение в проекционно-сеточные методы : Учеб. пособие для вузов по спец. "Прикл. математика". - М., 1981. - 416 с. : ил.
8. Марчук Г. И. Методы вычислительной математики : Учеб. пособие для вузов по спец. "Прикл. математика". - М., 1980. - 535 с.
9. Ортега Д. М. Введение в численные методы решения дифференциальных уравнений / Дж. Ортега, У. Пул ; пер. с англ. Н. Б. Конюховой, под ред. А. А. Абрамова. - М., 1986. - 288 с. : ил., схемы, табл.
10. Сильвестер П. Метод конечных элементов для радиоинженеров и инженеров-электриков / П. Сильвестер, Р. Феррари ; пер. с англ. С. Н. Хотяинцева, Ф. Ф. Дубровки. - М., 1986. - 229 с. : ил.

Интернет-ресурсы

1. ЭБС НГТУ : <http://elibrary.nstu.ru/>
2. ЭБС «Издательство Лань» : <https://e.lanbook.com/>
3. ЭБС IPRbooks : <http://www.iprbookshop.ru/>
4. ЭБС "Znaniy.com" : <http://znaniy.com/>
5. :

8. Методическое и программное обеспечение

8.1 Методическое обеспечение

1. Персова М. Г. Методические указания к выполнению курсового проекта по дисциплине «Метод конечных элементов» [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие / М. Г. Персова, Ю. Г. Соловейчик ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, [2010]. - Режим доступа: http://ciu.nstu.ru/fulltext/unofficial/2012/lib_869_1326175425.doc. - Загл. с экрана.
2. Персова М. Г. Метод конечных элементов [Электронный ресурс] : электронный учебно-методический комплекс / М. Г. Персова, Ю. Г. Соловейчик ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, [2014]. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000186203. - Загл. с экрана.
3. Метод конечных элементов : методические указания к выполнению лабораторных работ для 4 курса ФПМИ специальности 010500 дневного отделения / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. М. Г. Персова и др.]. - Новосибирск, 2007. - 29, [2] с. : ил. - Режим доступа: <http://www.library.nstu.ru/fulltext/metodics/2007/3391.rar>
4. Численные методы решения систем уравнений : методические указания к выполнению работ по курсу "Численные методы" для III курса ФПМИ / Новосиб. гос. техн. ун-т ; сост. : М. Г. Персова, М. Э. Рояк, Ю. Г. Соловейчик, А. В. Чернышев. - Новосибирск, 2004. - 29 с. : ил. - Режим доступа: <http://www.library.nstu.ru/fulltext/metodics/2004/2735.rar>
5. Современные компьютерные технологии [Электронный ресурс] : электронный учебно-методический комплекс / М. Г. Персова и др. ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, [2014]. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000186027. - Загл. с экрана.

8.2 Специализированное программное обеспечение

1 Visual Studio 2010

2 Watcom Fortran

3 Open Watcom

9. Материально-техническое обеспечение

Компьютерный класс

№	Наименование	Назначение
1	Компьютерный класс (Компьютеры объединены в локальную сеть с выходом в Internet)	Компьютеры объединены в локальную сеть с выходом в Internet

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»

Кафедра прикладной математики

“УТВЕРЖДАЮ”
ДЕКАН ФПМИ
д.т.н., доцент В.С. Тимофеев
“ ” _____ Г.

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Метод конечных элементов

Образовательная программа: 01.03.02 Прикладная математика и информатика, профиль:
Компьютерное моделирование и информационные технологии

1. Обобщенная структура фонда оценочных средств учебной дисциплины

Обобщенная структура фонда оценочных средств по дисциплине Метод конечных элементов приведена в Таблице.

Таблица

Формируемые компетенции	Показатели сформированности компетенций (знания, умения, навыки)	Темы	Этапы оценки компетенций	
			Мероприятия текущего контроля (курсовой проект, РГЗ(Р) и др.)	Промежуточная аттестация (экзамен, зачет)
ПК.1/НИ способность собирать, обрабатывать и интерпретировать данные современных научных исследований, необходимые для формирования выводов по соответствующим научным исследованиям	у1. уметь оценивать погрешности вычислительных алгоритмов	Выбор базиса МКЭ. Фinitные функции. Сборка из локальных матриц. Конечномерные пространства. Энергетическая норма. Оценка погрешности решения в МКЭ. Повышение порядка аппроксимации в МКЭ. Квадратичный базис. Кубический базис. Точность и вычислительные затраты. Одномерные лагранжевы и эрмитовы элементы, структуры конечноэлементных матриц. Разработка программ конечноэлементного решения краевых задач.	Курсовой проект.	Экзамен, вопросы №4–12.
ПК.2/НИ способность понимать, совершенствовать и применять современный математический аппарат	з3. знать основы метода конечных элементов и других сеточных методов	Двумерные конечные элементы. Билинейные, биквадратичные, бикубические эрмитовы и лагранжевы элементы. Нумерация узлов, сборка глобальной матрицы, её структура. Конечные элементы на симплексах. L-координаты, их использование при вычислении интегралов. Квадратичные элементы на треугольниках, нумерация узлов, построение портрета. Конечные элементы на несогласованных сетках. Методы описания двумерных расчётных областей. Алгоритмы построения сеток. Триангуляции. Наброс узлов. Фронтальные методы построения триангуляций. Описание трёхмерных расчётных областей. Наброс узлов. Метод тиражирующихся сечений, его модификации с изменением числа узлов. Сеточные методы. Идеи методов конечных разностей, конечных объёмов, наименьших квадратов, коллокации. Метод конечных элементов, его основные отличия от других сеточных методов. Трёхмерные задачи.		Экзамен, вопросы №1–3, 13–33

		Трилинейные, триквадратичные, трикубические элементы. Конечные элементы на тетраэдрах, призмах. Смешанные конечные элементы.		
ПК.2/НИ	у2. уметь применять основные математические методы при построении моделей	Выбор базиса МКЭ. Фinitные функции. Сборка из локальных матриц. Конечномерные пространства. Энергетическая норма. Оценка погрешности решения в МКЭ. Двумерные конечные элементы. Билинейные, биквадратичные, бикубические эрмитовы и лагранжевы элементы. Нумерация узлов, сборка глобальной матрицы, её структура. Конечные элементы на симплексах. L-координаты, их использование при вычислении интегралов. Квадратичные элементы на треугольниках, нумерация узлов, построение портрета. Конечные элементы на несогласованных сетках. Повышение порядка аппроксимации в МКЭ. Квадратичный базис. Кубический базис. Точность и вычислительные затраты. Одномерные лагранжевы и эрмитовы элементы, структуры конечноэлементных матриц. Разработка программ конечноэлементного решения краевых задач. Решение линейных и нелинейных задач магнитостатики. Построение интерполяционных и сглаживающих сплайнов. Решение эллиптических краевых задач Структуры данных метода конечных элементов. Хранение информации о сетке, краевых условиях. Учёт условий симметрии задачи. Структура конечноэлементных пакетов. Препроцессоры и постпроцессоры. Трёхмерные задачи. Трилинейные, триквадратичные, трикубические элементы. Конечные элементы на тетраэдрах, призмах. Смешанные конечные элементы.	Курсовой проект.	Экзамен, вопросы № 4–23, 29–33
ПК.3/НИ способность критически переосмысливать накопленный опыт, изменять при	у1. уметь оценивать результаты моделирования и сопоставлять их с результатами натурных	Разработка программ конечноэлементного решения краевых задач.	Курсовой проект.	

необходимости вид и характер своей профессиональной деятельности	экспериментов			
--	---------------	--	--	--

2. Методика оценки этапов формирования компетенций в рамках дисциплины.

Промежуточная аттестация по **дисциплине** проводится в 8 семестре - в форме экзамена, который направлен на оценку сформированности компетенций ПК.1/НИ, ПК.2/НИ, ПК.3/НИ.

Форма проведения экзамена, принцип формирования билета, примерный перечень вопросов, а также критерии оценивания сформулированы в паспорте экзамена.

Кроме того, сформированность компетенций проверяется при проведении мероприятий текущего контроля, указанных в таблице раздела 1.

В 8 семестре обязательным этапом текущей аттестации являются курсовой проект. Требования к выполнению курсового проекта, состав и правила оценки сформулированы в паспорте курсового проекта.

Общие правила выставления оценки по дисциплине определяются балльно-рейтинговой системой, приведенной в рабочей программе учебной дисциплины.

На основании приведенных далее критериев можно сделать общий вывод о сформированности компетенций ПК.1/НИ, ПК.2/НИ, ПК.3/НИ, за которые отвечает дисциплина, на разных уровнях.

Общая характеристика уровней освоения компетенций.

Ниже порогового. Уровень выполнения работ не отвечает большинству основных требований, теоретическое содержание курса освоено частично, пробелы носят существенный характер, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы недостаточно, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий не выполнены или выполнены с существенными ошибками.

Пороговый. Уровень выполнения работ отвечает большинству основных требований, теоретическое содержание курса освоено частично, но пробелы не носят существенного характера, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом в основном сформированы, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий выполнено, возможно, с некоторыми ошибками.

Базовый. Уровень выполнения работ отвечает всем основным требованиям, теоретическое содержание курса освоено в достаточной степени, некоторые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы недостаточно, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество выполнения ни одного из них не оценено минимальным числом баллов, некоторые из выполненных заданий, возможно, содержат ошибки.

Продвинутый. Уровень выполнения работ отвечает всем требованиям, теоретическое содержание курса освоено полностью, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к максимальному.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»
Кафедра прикладной математики

Паспорт экзамена

по дисциплине «Метод конечных элементов», 8 семестр

1. Методика оценки

Экзамен проводится в устной форме, по билетам. Студенту выделяется время на подготовку (2 часа). При подготовке студент может использовать лекционный материал и учебные пособия по курсу. Билет формируется по следующему правилу: первый вопрос выбирается из вопросов по первой дидактической единице, второй и третий вопросы – из вопросов по второй дидактической единице (список вопросов, сгруппированных в соответствии с дидактическими единицами, приведен ниже, в п.4). За первый вопрос студент получает оценку в диапазоне от 0 до 12 баллов, за второй – от 0 до 14 баллов, за третий – от 0 до 14 баллов.

Форма экзаменационного билета

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Факультет ФПМИ

Билет № _____

к экзамену по дисциплине «Метод конечных элементов»

1. Метод конечных объемов. Общие принципы. (12 баллов).
2. Биквадратичные элементы. Нумерация узлов, сборка глобальной матрицы, её структура. (14 баллов).
3. Фронтальные методы построения триангуляций. (14 баллов).

Утверждаю: зав. кафедрой _____ должность, ФИО
(подпись)
(дата)

2. Критерии оценки

- Ответ на экзаменационный билет считается **неудовлетворительным**, если студент при ответе на вопросы не дает определений основных понятий, не имеет представления об области применения соответствующих методов, оценка составляет *менее 20 баллов*.
- Ответ на экзаменационный билет засчитывается на **пороговом** уровне, если студент при ответе на вопросы дает определение основных понятий, знает область применения соответствующих методов, может привести примеры, оценка составляет *от 20 до 29 баллов*.

- Ответ на экзаменационный билет засчитывается на **базовом** уровне, если студент при ответе на вопросы формулирует основные понятия, знает область применения соответствующих методов, может записать их вычислительные схемы, используемые при их реализации
оценка составляет *от 30 до 35 баллов*.
- Ответ на экзаменационный билет засчитывается на **продвинутом** уровне, если студент при ответе на вопросы грамотно оперирует теоретическими понятиями, может объяснить в деталях вычислительные схемы, используемые при реализации соответствующих методов, способен провести сравнительный анализ подходов, обозначить проблемы, привести конкретные примеры из практики,
оценка составляет *от 36 до 40 баллов*.

3. Шкала оценки

К экзамену допускаются студенты, выполнившие в семестре лабораторные работы и получившие по каждой из лабораторных работ не менее минимального количества баллов в соответствии с таблицей 6.1 и набравшие суммарно не менее 30 баллов.

Экзамен считается сданным, если сумма баллов по всем заданиям билета оставляет не менее *20 баллов* (из 40 возможных).

В общей оценке по дисциплине экзаменационные баллы учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

Перевод баллов, полученных по дисциплине, в традиционную шкалу оценок осуществляется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе оценки достижений студентов НГТУ.

4. Вопросы к экзамену по дисциплине «Метод конечных элементов»

Дидактическая единица 1: Принципы сеточных аппроксимаций краевых задач.

1. Метод конечных объемов. Общие принципы.
2. Метод коллокаций. Общие принципы.
3. Метод наименьших квадратов. Общие принципы.
4. Выбор базиса МКЭ. Фinitные функции.
5. Сборка из локальных матриц.
6. Конечномерные пространства. Энергетическая норма.
7. Оценка погрешности решения в МКЭ.
8. Повышение порядка аппроксимации в МКЭ.

Дидактическая единица 2: Технологии реализации метода конечных элементов.

9. Квадратичный базис. Точность и вычислительные затраты.
10. Кубический базис. Точность и вычислительные затраты.
11. Одномерные лагранжевы элементы, структуры конечноэлементных матриц.
12. Одномерные эрмитовы элементы, структуры конечноэлементных матриц.
13. Билинейные элементы. Нумерация узлов, сборка глобальной матрицы, её структура.
14. Биквадратичные элементы. Нумерация узлов, сборка глобальной матрицы, её структура.
15. Конечные элементы на симплексах. L-координаты, их использование при вычислении интегралов.
16. Квадратичные элементы на треугольниках, нумерация узлов, построение портрета.
17. Конечные элементы на несогласованных сетках.
18. Трёхмерные задачи. Трилинейные, элементы.
19. Трёхмерные задачи. Триквадратичные элементы.
20. Трёхмерные задачи. Трикубические элементы.

21. Конечные элементы на тетраэдрах.
22. Конечные элементы на призмах.
23. Комбинированные конечные элементы.
24. Методы описания двумерных расчётных областей.
25. Алгоритмы построения сеток. Триангуляции. наброс узлов.
26. Фронтальные методы построения триангуляций.
27. Описание трёхмерных расчётных областей. наброс узлов.
28. Метод тиражирующихся сечений, его модификации с изменением числа узлов.
29. Структуры данных метода конечных элементов. Хранение информации о краевых условиях.
30. Структуры данных метода конечных элементов. Хранение информации о сетке.
31. Структура конечноэлементных пакетов.
32. Препроцессоры.
33. Постпроцессоры.

Паспорт курсового проекта

по дисциплине «Метод конечных элементов», 8 семестр

1. Методика оценки.

Перед выполнением курсового проекта студент получает у руководителя задание на курсовой проект (тематика представлена ниже), учебную и методическую литературу и график выполнения работы.

Выполнение курсового проекта включает в себя

а) теоретическую часть, которая содержит:

- математические выкладки;
- описание алгоритмов;
- описание тестов;

б) практическую часть, которая содержит:

- программную реализацию разработанных алгоритмов;
- результаты тестирования программ;
- исследования, выполняемые по заданию преподавателя;

в) выводы, в которых должны быть отражены результаты тестирования и исследований;

г) оформление пояснительной записки, которая включает в себя описание основных пунктов работы (см. а)–в)), тексты программ.

Для защиты студент должен иметь при себе пояснительную записку и программу на электронном носителе. В ходе защиты курсового проекта студент должен ответить на вопросы преподавателя по всем пунктам пояснительной записки. По требованию преподавателя в ходе защиты студент должен сделать изменения в программе и выдать необходимые результаты, которые будут свидетельствовать о правильности ее работы, а также о самостоятельности выполнения студентом курсового проекта и глубины понимания реализуемых в курсовом проекте методов.

2. Критерии оценки.

- проект считается **не выполненным**, если студент не понимает суть решаемой задачи и выполнил меньше половины задания, оценка составляет *менее 50 баллов*.
- проект считается выполненным **на пороговом** уровне, если студент понимает основную суть решаемой задачи, выполнил не менее половины задания, но допустил существенные ошибки в программах, оценка составляет *от 50 до 72 баллов*.
- проект считается выполненным **на базовом** уровне, если студент выполнил большую часть задания и продемонстрировал понимание изученного метода решения задачи, а также разработал программу, проходящую основные тесты, оценка составляет *от 73 до 86 баллов*.
- проект считается выполненным **на продвинутом** уровне, если студент полностью и самостоятельно выполнил задание, продемонстрировал владение изученным методом

решения задачи, правильно спроектировал программу и, при наличии незначительных ошибок в программах, обнаруженных в ходе тестирования преподавателем, понимает способы их исправления, оценка составляет *от 87 до 100 баллов*.

3. Шкала оценки.

Оценка за курсовой проект не входит в общую оценку по дисциплине. Курсовой проект оценивается отдельно. Максимальная оценка составляет 100 баллов, минимальная оценка составляет 50 баллов. Курсовой проект считается сданным, если оценка за него составляет не менее 50 баллов.

Перевод баллов, полученных по дисциплине, в традиционную шкалу оценок осуществляется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе оценки достижений студентов НГТУ.

4. Примерный перечень тем курсового проекта (работы).

- 1 Реализация метода конечных элементов для моделирования нестационарного электромагнитного поля.
- 2 Реализация метода конечных элементов для расчета температурных полей на прямоугольных конечных элементах с биквадратичными базисными функциями.
- 3 Реализация метода конечных элементов для расчета нестационарных температурных полей на четырехугольных призмах.
- 4 Реализация метода конечных элементов для решения трехмерных задач магнитостатики.
- 5 Реализация метода конечных элементов для решения задачи упругости в трехмерной области.
- 6 Реализация метода конечных элементов для моделирования электромагнитного поля в трехмерной области с использованием векторного метода конечных элементов на параллелепипедах.
- 7 Реализация метода конечных элементов для решения задачи сопряженного теплообмена.
- 8 Реализация метода конечных элементов для решения двумерного уравнения Пуассона на прямоугольной сетке.
- 9 Реализация метода конечных элементов для решения задачи фильтрации на шестигранниках.
- 10 Реализация метода конечных элементов для численного моделирования стационарного электрического поля в проводящей среде
- 11 Реализация метода конечных элементов для моделирования трехмерного электромагнитного поля с использованием векторных конечных элементов.
- 12 Реализация метода конечных элементов для решения ротор-роторного уравнения с использованием векторных функций на тетраэдрах.
- 13 Реализация метода конечных элементов для решения двумерной задачи магнитостатики с использованием неполного магнитного потенциала.
- 14 Реализация метода конечных элементов для расчета поля деформаций на конечных элементах в виде призм.
- 15 Реализация методов построения тетраэдральных сеток.
- 16 Реализация алгоритмов построения треугольных конечноэлементных сеток для расчетной области, заданной в sat-формате.
- 17 Построение триангуляции Делоне в двумерном случае.
- 18 Применение pardiso для решения серий эллиптических задач.

- 19 Визуализация конечноэлементного решения эллиптической задачи, полученного с использованием биквадратичных базисных функций.
- 20 Построение поверхностей равного уровня на тетраэдральной сетке с заданным решением.
- 21 Разработка фрагмента препроцессора для отрисовки трехмерных сеток.
- 22 Построение конечноэлементных аппроксимаций с использованием квадратичного базиса на тетраэдрах. Программная реализация для решения эллиптического уравнения.
- 23 Построение конечноэлементных аппроксимаций на четырехугольных призмах. Программная реализация для решения эллиптического уравнения.
- 24 Построение конечноэлементных аппроксимаций на пятиузловых прямоугольниках. Программная реализация для решения эллиптического уравнения.
- 25 Построение конечноэлементных аппроксимаций на четырехугольных конечных элементах с криволинейными границами. Программная реализация для решения эллиптического уравнения.
- 26 Построение конечноэлементных аппроксимаций на треугольных конечных элементах с криволинейными границами. Программная реализация для решения эллиптического уравнения.
- 27 Построение конечноэлементных аппроксимаций на криволинейных треугольниках с использованием кубических базисных функций. Программная реализация для решения эллиптического уравнения.
- 28 Построение конечноэлементных аппроксимаций на криволинейных элементах в трехмерной области. Программная реализация для решения эллиптического уравнения.
- 29 Построение конечноэлементных аппроксимаций аппроксимаций высокого порядка на криволинейных элементах в трехмерной области. Программная реализация для решения эллиптического уравнения.
- 30 Построение конечноэлементных аппроксимаций аппроксимаций на параллелепипедах. Программная реализация для решения эллиптического уравнения.
- 31 Построение конечноэлементных аппроксимаций аппроксимаций на криволинейных тетраэдрах второго порядка. Программная реализация для решения эллиптического уравнения.
- 32 Использование решения краевых задач для контроля четырехугольных и треугольных сеток.
- 33 Использование решения краевых задач для контроля треугольных сеток, построенных с помощью фронтального метода.

5. Перечень вопросов к защите курсового проекта (работы).

В ходе защиты курсового проекта студент должен ответить на вопросы преподавателя по всем пунктам пояснительной записки. Вопросы касаются следующих тем:

- 1) математическая модель применительно к тематике курсового проекта;
- 2) вариационная постановка применительно к используемой математической модели;
- 3) выбор и построение базисных функций применительно к тематике курсового проекта; алгоритмы построения конечноэлементной сетки;
- 4) нумерация базисных функций;
- 5) построение портрета;
- 6) сборка глобальной матрицы и вектора правой части;
- 7) метод решения конечноэлементной системы;
- 8) построение тестовых задач.