

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
Методы конечноэлементного анализа

Образовательная программа: 01.04.02 Прикладная математика и информатика, магистерская программа: Математическое моделирование детерминированных и стохастических процессов

Курс: 1 2, семестры : 1 2 3

Факультет прикладной математики и информатики,

		Семестр		
№	Вид деятельности	1	2	3
1	Всего зачетных единиц (кредитов)	6	5	5
2	Всего часов	216	180	180
3	Всего занятий в контактной форме, час.	64	57	49
4	Лекции, час.	16	14	12
5	Практические занятия, час.	0	0	0
6	Лабораторные занятия, час.	32	28	24
7	из них в активной и интерактивной форме, час.	4	10	12
8	Аттестация, час.	2	2	2
9	Консультации, час.	14	13	11
10	Самостоятельная работа, час.	152	123	131
11	Виды самостоятельной работы (курсовой проект, курсовая работа, РГЗ, подготовка к контрольной работе)	КП	КП	КП
12	Вид аттестации	Э	Э	Э

Рабочая программа составлена на основании федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению (специальности): 01.04.02 Прикладная математика и информатика

ФГОС введен в действие приказом №911 от 28.08.2015 г. , дата утверждения: 23.09.2015 г.

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

Рабочая программа разработана на основе компетентностной модели выпускника по направлению (специальности): 01.04.02 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: ОК.2 готовность действовать в нестандартных ситуациях, нести социальную и этическую ответственность за принятые решения; в части следующих результатов обучения:	
у2. уметь решать нестандартные научные и практические задачи, связанные с профессиональной деятельностью	
Компетенция ФГОС: ОК.3 готовность к саморазвитию, самореализации, использованию творческого потенциала; в части следующих результатов обучения:	
з1. знать сферу для самореализации в области прикладной математики и информатики	
у2. уметь видеть источники для саморазвития в области прикладной математики и информатики	
Компетенция ФГОС: ОПК.4 способность использовать и применять углубленные знания в области прикладной математики и информатики; в части следующих результатов обучения:	
з1. обладать углубленными знаниями в области профессиональной деятельности	
у1. уметь применять современные методы исследований в области профессиональной деятельности	
у2. уметь использовать современные методы математического моделирования при решении профессиональных задач	
Компетенция ФГОС: ПК.1 способность проводить научные исследования и получать новые научные и прикладные результаты самостоятельно и в составе научного коллектива; в части следующих результатов обучения:	
у3. уметь самостоятельно оценить необходимость и трудоёмкость исследований, научную значимость возможных результатов и перспективу их использования	
Компетенция ФГОС: ПК.2 способность разрабатывать концептуальные и теоретические модели решаемых научных проблем и задач; в части следующих результатов обучения:	
з1. знать основные математические модели в области профессиональной деятельности	
у1. уметь оценивать адекватность математической модели для решаемой проблемы или задачи	
у2. уметь адаптировать математические модели к решаемой научной проблеме или задаче	
Компетенция ФГОС: ПК.3 способность разрабатывать и применять математические методы, системное и прикладное программное обеспечение для решения задач научной и проектно-технологической деятельности; в части следующих результатов обучения:	
з2. знать сферу применения используемых методов прикладной математики и информатики, предпосылки, обуславливающие корректность их применения соответствующих методов	
Компетенция НГТУ: ПК.14.В/ППТ способность разрабатывать и анализировать модели высокотехнологичных технических устройств и наукоемких технологий; в части следующих результатов обучения:	
з1. знать методы математического моделирования в области профессиональной деятельности	
у2. уметь оценивать погрешность математического моделирования	

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>Методы конечноэлементного анализа</i>	
ПК.1.у3 уметь самостоятельно оценить необходимость и трудоёмкость исследований, научную значимость возможных результатов и перспективу их использования	
1. Уметь оценить возможности метода конечных элементов (МКЭ) и его вычислительную трудоёмкость	Лекции; Самостоятельная работа
ОК.2.у2 уметь решать нестандартные научные и практические задачи, связанные с профессиональной деятельностью	
2. Владеть методами конечноэлементного моделирования сложных физических процессов, описываемых дифференциальными уравнениями с частными производными	Лекции; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
ПК.2.з1 знать основные математические модели в области профессиональной деятельности	

3.Знать математические модели в виде краевых и начально-краевых задач	Лекции; Самостоятельная работа
4.Знать основные алгоритмы и структуры данных МКЭ	Лекции; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
ПК.2.y1 уметь оценивать адекватность математической модели для решаемой проблемы или задачи	
5.Уметь оценивать адекватность используемых математических моделей в виде краевых и начально-краевых задач различной размерности для описания изучаемых физических процессов	Лекции; Самостоятельная работа
ПК.2.y2 уметь адаптировать математические модели к решаемой научной проблеме или задаче	
6.Уметь использовать математические модели в виде краевых и начально-краевых задач различной размерности для описания изучаемых физических процессов	Лекции; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
ОК.3.z1 знать сферу для самореализации в области прикладной математики и информатики	
7.Знать сферу использования возможностей методов конечноэлементного моделирования для повышения качества решения важных научно-практических задач	Лекции; Самостоятельная работа
ОК.3.y2 уметь видеть источники для саморазвития в области прикладной математики и информатики	
8.Видеть пути развития методов конечноэлементного моделирования при решении важных научно-практических задач	Лекции; Самостоятельная работа
ПК.3.z2 знать сферу применения используемых методов прикладной математики и информатики, предпосылки, обуславливающие корректность их применения соответствующих методов	
9.Знать сферу использования методов конечноэлементного моделирования при решении важных научно-практических задач	Лекции; Самостоятельная работа
ОПК.4.z1 обладать углубленными знаниями в области профессиональной деятельности	
10.Знать алгоритмы и методы моделирования с использованием конечноэлементных аппроксимаций	Лекции; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
ОПК.4.y1 уметь применять современные методы исследований в области профессиональной деятельности	
11.Уметь применять методы компьютерного моделирования для решения важных научно-практических задач	Лекции; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
ОПК.4.y2 уметь использовать современные методы математического моделирования при решении профессиональных задач	
12.Уметь применять МКЭ для решения важных научно-практических задач	Лекции; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
ПК.14.В/ППТ.z1 знать методы математического моделирования в области профессиональной деятельности	
13.Знать методы численного моделирования при моделировании физических процессов в высокотехнологичных технических устройствах и наукоемких технологиях	Лекции; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
ПК.14.В/ППТ.y2 уметь оценивать погрешность математического моделирования	
14.Уметь оценивать точность конечноэлементных решений	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: 1				
Дидактическая единица: Методы компьютерного моделирования сложных физических процессов, описываемых уравнениями в частных производных				

1. Классы задач, решаемых с использованием МКЭ. Основные идеи и принципы МКЭ.	0	1	13, 3	Краевые задачи для уравнения эллиптического типа. Начально-краевые задачи для уравнений параболического и гиперболического типа. Вариационные постановки на основе МНК. Аппроксимация на конечномерном подпространстве, определяемом набором базисных функций. Вариационные постановки, используемые в методах Рунге и Галёркина. Применение финитных кусочно-линейных функций для построения конечноэлементных решений одномерных краевых задач. Метод коллокации.
2. Вариационные формулировки и конечномерные подпространства для узлового МКЭ. Точность и сходимость конечноэлементных решений.	0	1	13, 14	Вариационная формулировка в форме минимизации функционала. Вариационная формулировка в форме уравнения Галёркина. Аппроксимации на конечномерных подпространствах. Конечноэлементные СЛАУ. Основные принципы построения базисных функций конечномерных подпространств. Сходимость и точность конечноэлементных решений. О сравнении погрешностей конечноэлементных решений, полученных на различных сетках. Способы представления параметров краевых задач в эквивалентных вариационных постановках. Погрешности МКЭ при решении задач в областях с искривлёнными границами.

6. Применение МКЭ для решения нестационарных задач. Подходы к решению задач с гармоническим по времени источником.	0	2	10, 13	Дискретизация по времени. Аппроксимация начально-краевых задач для дифференциальных уравнений параболического типа. Аппроксимация начально-краевых задач для дифференциальных уравнений гиперболического типа. Решение задач с гармоническими по времени источниками. Блочные форматы хранения. Разреженный блочный формат. Процедура сборки глобальной матрицы, хранящейся в разреженном блочном формате.
7. Типы и учет сосредоточенных источников при построении конечноэлементных аппроксимаций.	0	1	10, 13	Типы и учет сосредоточенных источников при построении конечноэлементных аппроксимаций.
8. Разработка фрагментов программного комплекса конечноэлементного моделирования физических процессов в высокотехнологичных устройствах и наукоемких технологиях	0	2	1, 13, 2, 3, 4	Структура отдельных модулей программного комплекса конечноэлементного моделирования физических процессов.
9. Общие подходы к верификации математических моделей и вычислительных схем конечноэлементного моделирования.	0	1	14, 5	Способы тестирования конечноэлементных вычислительных схем. Способы проверки адекватности математических моделей.
Дидактическая единица: Алгоритмы работы с согласованными и несогласованными сетками				

3. Структуры данных и построение сеток в МКЭ	0	4	4	Основные методы описания расчетной области. Структуры данных для описания двумерных задач. Двумерные сетки. Описание двумерных расчётных областей с прямоугольными подобластями. Общие принципы построения структур данных для хранения конечноэлементных сеток. Хранение регулярных прямоугольных сеток. Описание двумерных областей с криволинейными границами. Регулярные сетки с четырехугольными ячейками. Структуры данных для описания трехмерных задач. Трехмерные сетки. Описание трёхмерных областей и принципы построения трехмерных сеток с ячейками в виде параллелепипедов и шестигранников. Метод тиражирования сечений. Построение тетраэдральных сеток методом тиражирования сечений.
5. Основные алгоритмы МКЭ	0	2	4	Структуры данных для хранения матриц конечноэлементных СЛАУ. Особенности матриц конечноэлементных СЛАУ. Алгоритмы занесения локальных матриц в глобальную матрицу, хранящуюся в разреженном формате. Построение портрета конечноэлементной матрицы. Алгоритмы нумерации базисных функций, граней и рёбер конечных элементов. Нумерация глобальных базисных функций. Построение списков граней трёхмерных конечных элементов. Использование упорядоченного списка граней для ускорения процедуры нумерации базисных функций. Построение списка рёбер конечных элементов и их нумерация. Алгоритмы работы с конечноэлементными решениями.

Дидактическая единица: Конечноэлементные аппроксимации с использованием скалярных и векторных базисных функций различных порядков в одномерных, двумерных и трехмерных областях

4. Одномерные, двумерные и трехмерные задачи. Использование четырехугольных, шестигранных элементов и элементов с криволинейными границами.	0	2	10, 4	Особенности вариационных постановок для одномерных задач. Одномерные элементы первого порядка. Использование шаблонных базисных функций при решении одномерных задач. Одномерные элементы второго и третьего порядка. Одномерные лагранжевы и эрмитовы элементы третьего порядка. Тестирование процедур построения конечноэлементных решений. Одномерные конечные элементы в цилиндрических и сферических координатах. Согласованные результаты. Технология построения согласованного результата. Основные особенности технологии построения МКЭ-аппроксимаций при решении двумерных задач. Построение МКЭ-аппроксимаций на прямоугольных сетках. Применение МКЭ для решения двумерных краевых задач на треугольных сетках. Четырехугольные элементы. Базисные функции на четырехугольных элементах. Сходимость аппроксимаций на четырехугольных конечных элементах. Четырехугольные элементы высоких порядков. Двумерные конечные элементы с криволинейными границами. Построение МКЭ-аппроксимаций на сетках из прямоугольных параллелепипедов.
--	---	---	-------	--

Семестр: 2

Дидактическая единица: Алгоритмы работы с согласованными и несогласованными сетками

1. Согласованные и несогласованные сетки и конечные элементы. Понятие p -технологии, h -технологии, p - h -технологии уточнения решений. Иерархические базисы. Согласование элементов различных порядков.	0	4	4	Комбинированные согласованные сетки из треугольников и прямоугольников с базисными функциями одного порядка. Несогласованные сетки с прямоугольными ячейками. Построение согласованных конечных элементов с несогласованными локальными базисными функциями. Общая схема построения конечноэлементной СЛАУ при согласовании элементов на несогласованных сетках с использованием матрицы перехода. Алгоритм сборки матрицы конечноэлементной СЛАУ из локальных матриц элементов с несогласованными локальными базисными функциями. Способы хранения матрицы перехода и алгоритм её построения. Использование иерархических базисов для согласования элементов разных порядков.
2. Повышение точности и вычислительной эффективности программных комплексов конечноэлементного моделирования физических процессов в высокотехнологичных устройствах и наукоемких технологиях	0	2	1, 10, 14, 2, 3, 4, 7	Повышение точности и вычислительной эффективности конечноэлементного моделирования за счет использования несогласованных сеток и локального повышения порядка базисных функций.
Дидактическая единица: Конечноэлементные аппроксимации с использованием скалярных и векторных базисных функций различных порядков в одномерных, двумерных и трехмерных областях				
3. Узловой МКЭ для решения векторных задач электромагнетизма. Вариационная постановка. Структура матриц.	0	2	13, 3, 4	Математическая модель для решения трехмерных задач электромагнетизма с использованием узлового МКЭ. Вариационная постановка. Структура матриц. Основные соотношения, определяющие конечноэлементные матрицы и векторы.

4. Векторный МКЭ для решения задач электромагнетизма. Вариационная постановка. Edge-элементы первого и второго типа. Иерархические и лагранжевы базисы. Построение портрета.	0	5	10, 13, 3, 4	Векторные дифференциальные уравнения второго порядка с разрывными решениями. Вариационная постановка. Приближение решения на подпространствах. Учёт неоднородных главных краевых условий. Энергетическое скалярное произведение и погрешность приближенного решения в энергетической норме. Принципы построения базисных вектор-функций на двумерных сетках. Базисные вектор-функции на прямоугольнике. Базисные вектор-функции на треугольнике. Базисные вектор-функции на четырёхугольнике. Особенности вариационной постановки для двумерной векторной задачи. О ранге глобальной матрицы жёсткости в векторном МКЭ и связанных с этим трудностях решения стационарных и некоторых нестационарных электромагнитных задач. Базисные вектор-функции на трёхмерных сетках. Генерация конечноэлементной СЛАУ в векторном МКЭ при решении трёхмерных задач. Основные соотношения, определяющие конечноэлементные матрицы и векторы. Генерация вектора правой части. Учёт вкладов от конечных элементов. Учёт краевых условий.
5. Способы тестирования численных процедур решения задач электромагнетизма	0	1	14, 5	Способы тестирования конечноэлементных схем в векторном МКЭ. Способы тестирования численных процедур решения многомерных задач электромагнетизма с использованием решений задач меньшей размерности.
Семестр: 3				
Дидактическая единица: Методы компьютерного моделирования сложных физических процессов, описываемых уравнениями в частных производных				
1. Технология выделения поля в МКЭ. Примеры.	0	3	3	Технология выделения поля в МКЭ. Примеры.
2. Тестирование вычислительных схем с выделением поля.	0	1	14, 5	Тестирование вычислительных схем с выделением поля.

3. Разработка программного комплекса численного моделирования физических процессов в высокотехнологичных устройствах и наукоемких технологиях	0	2	10, 11, 12, 14, 5, 6, 7, 8, 9	Общая архитектура программного комплекса конечноэлементного моделирования физических процессов. Пре- и постпроцессоры.
4. Интегральные уравнения. Принципы построения вычислительных схем на примере решения задач электроразведки.	0	4	13	Интегральные уравнения. Принципы построения вычислительных схем на примере решения задач электроразведки.
5. Нелинейные задачи.	0	2	13, 3	Нелинейные задачи.

Таблица 3.2

Темы лабораторных работ	Активные формы, час.	Часы	Ссылки на результаты обучения	Учебная деятельность
Семестр: 1				
Дидактическая единица: Алгоритмы работы с согласованными и несогласованными сетками				
1. Реализация алгоритмов и структур данных для работы с конечноэлементными сетками	0	6	10, 4	Выполняя работу, студент изучает: - структуры данных метода конечных элементов; - хранение информации о сетке, краевых условиях; - алгоритмы построения сеток.
2. Разработка и реализация алгоритмов нумерации базисных функций в узловом МКЭ	0	6	10, 4	Выполняя работу, студент изучает: - алгоритмы нумерации ребер и граней; - алгоритмы нумерации базисных функций высоких порядков в узловом МКЭ.
3. Реализация алгоритмов построения портрета и сборки конечноэлементной матрицы в узловом МКЭ. Верификация получаемых конечноэлементных решений	4	14	10, 14, 4	Выполняя работу, студент изучает: - алгоритм построения портрета по конечноэлементной сетке для разреженного строчно-столбцового формата хранения СЛАУ при использовании элементов различного порядка в узловом МКЭ; - алгоритм сборки конечноэлементной матрицы в узловом МКЭ. 4 часа проводится в форме компьютерных симуляций - студенты исследуют работоспособность программы на тестах и оценивают порядок сходимости численного решения.

4. Реализация методов построения изображений конечноэлементных решений	0	6	10, 4	Выполняя работу, студент изучает: - методы построения изображений конечноэлементного решения при решении различных задач, в том числе для элементов высоких порядков.
Семестр: 2				
Дидактическая единица: Конечноэлементные аппроксимации с использованием скалярных и векторных базисных функций различных порядков в одномерных, двумерных и трехмерных областях				
1. Реализация алгоритмов нумерации базисных функций в векторном МКЭ и расчет локальных матриц. Реализация алгоритмов построения портрета и сборки конечноэлементной матрицы в векторном МКЭ, верификация получаемых конечноэлементных решений	10	28	10, 14, 4	Выполняя работу, студент изучает: - алгоритмы нумерации базисных функций различных порядков в векторном МКЭ; - способы расчета локальных матриц для базисных функций различных порядков в векторном МКЭ. - алгоритм построения портрета по конечноэлементной сетке для разреженного строчно-столбцового формата хранения СЛАУ при использовании элементов различного порядка в векторном МКЭ; - алгоритм сборки конечноэлементной матрицы в векторном МКЭ; - методы тестирования. 10 часов проводится в форме компьютерных симуляций - студенты исследуют работоспособность программы на тестах и оценивают порядок сходимости численного решения.
Семестр: 3				
Дидактическая единица: Методы компьютерного моделирования сложных физических процессов, описываемых уравнениями в частных производных				

1. Разработка и реализация вычислительных схем с использованием технологии выделения поля.	12	24	10, 11, 12, 13, 14, 2, 4, 6	Выполняя работу, студент изучает: - методы построения конечноэлементных аппроксимаций с использованием технологии выделения поля; способы реализации и тестирования соответствующих программ. 12 часов проводится в форме компьютерных симуляций - студенты исследуют работоспособность разработанной программы на примере решения задач электроразведки и сравнивают ее по вычислительной эффективности с методом интегральных уравнений, реализованном в ходе курсового проектирования.
--	----	----	-----------------------------	--

4. Самостоятельная работа обучающегося

№	Виды самостоятельной работы	Ссылки на результаты обучения	Часы на выполнение	Часы на консультации
Семестр: 1				
1	Курсовой проект	1, 13, 2, 3, 4	78	6
В течение семестра во время самостоятельной работы студенты решают задачи в соответствии с темой их курсового проекта. Общей тематикой курсовых проектов является : "Разработка фрагментов программного комплекса конечноэлементного моделирования физических процессов в высокотехнологичных устройствах и наукоемких технологиях". Конкретная тема проекта выдаётся, как правило, в соответствии с темой научной работы студента следующим образом: - студенты, научная работа которых связана с МКЭ, получают задание на разработку фрагментов программного комплекса конечноэлементного моделирования с использованием тех типов элементов и сеток, которые могут быть полезны в научной работе; - студенты, научная работа которых не связана с МКЭ, получают задание на разработку фрагментов программного комплекса конечноэлементного моделирования с использованием регулярных или нерегулярных конечноэлементных сеток с элементами первого порядка. При этом решаемая задача выбирается, по возможности, с учётом тематики научной работы студента, подробная информация приведена в приложении №3 : Методы конечноэлементного анализа [Электронный ресурс] : электронный учебно-методический комплекс / М. Г. Персова, Ю. Г. Соловейчик, П. А. Домников, М. Г. Токарева ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, [2014]. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000186196. - Загл. с экрана.				
2	Подготовка к занятиям	10, 14, 2, 4	62	6
При подготовке к занятиям студенты изучают лекционный материал с использованием конспекта лекций и разрабатывают основные программные модули, необходимые для выполнения заданий на лабораторной работе.: Методы конечноэлементного анализа : методические указания к лабораторным работам по курсу "Методы конечноэлементного анализа" для 4 и 6 курсов ФПМИ, направление 010500 / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: М. Г. Персова и др.]. - Новосибирск, 2011. - 19 с. : ил. - Режим доступа:http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000152314 Методы конечноэлементного анализа [Электронный ресурс] : электронный учебно-методический комплекс / М. Г. Персова, Ю. Г. Соловейчик, П. А. Домников, М. Г. Токарева ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, [2014]. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000186196. - Загл. с экрана.				
3	Подготовка к аттестации	10, 14, 3, 4, 7, 9	12	2

При подготовке к аттестации студенты повторяют лекционный материал и анализируют основные результаты, полученные при проведении лабораторных работ., подробная информация приведена в приложении №2 : Методы конечноэлементного анализа [Электронный ресурс] : электронный учебно-методический комплекс / М. Г. Персова, Ю. Г. Соловейчик, П. А. Домников, М. Г. Токарева ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, [2014]. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000186196. - Загл. с экрана.

Семестр: 2

1	Курсовой проект	1, 10, 14, 2, 3, 4, 7	62	5
---	-----------------	-----------------------	----	---

Общей тематикой курсового проекта является: "Повышение точности и вычислительной эффективности программных комплексов конечноэлементного моделирования физических процессов в высокотехнологичных устройствах и наукоемких технологиях". Повышение точности и вычислительной эффективности в рамках выполнения курсового проекта предлагается выполнять путем построения конечноэлементных аппроксимаций на несогласованных сетках или использования элементов высокого порядка. Курсовой проект во втором семестре может выполняться на базе курсового проекта первого семестра по возможности с учетом тематики научной работы студента., подробная информация приведена в приложении №5 : Методы конечноэлементного анализа [Электронный ресурс] : электронный учебно-методический комплекс / М. Г. Персова, Ю. Г. Соловейчик, П. А. Домников, М. Г. Токарева ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, [2014]. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000186196. - Загл. с экрана.

2	Подготовка к занятиям	10, 14, 2, 4	51	5
---	-----------------------	--------------	----	---

При подготовке к занятиям студенты изучают лекционный материал с использованием конспекта лекций и разрабатывают основные программные модули, необходимые для выполнения заданий на лабораторной работе. : Методы конечноэлементного анализа [Электронный ресурс] : электронный учебно-методический комплекс / М. Г. Персова, Ю. Г. Соловейчик, П. А. Домников, М. Г. Токарева ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, [2014]. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000186196. - Загл. с экрана.

3	Подготовка к аттестации	10, 11, 12, 13, 14, 3, 4, 8	10	3
---	-------------------------	-----------------------------	----	---

При подготовке к аттестации студенты повторяют лекционный материал и анализируют основные результаты, полученные при проведении лабораторных работ., подробная информация приведена в приложении №4 : Методы конечноэлементного анализа [Электронный ресурс] : электронный учебно-методический комплекс / М. Г. Персова, Ю. Г. Соловейчик, П. А. Домников, М. Г. Токарева ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, [2014]. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000186196. - Загл. с экрана.

Семестр: 3

1	Курсовой проект	10, 11, 12, 13, 14, 5, 6, 7, 8, 9	65	5
---	-----------------	-----------------------------------	----	---

Общей тематикой курсовых проектов является: "Разработка программного комплекса численного моделирования физических процессов в высокотехнологичных устройствах и наукоемких технологиях".
В том числе тематика курсового проекта в этом семестре может быть связана с решением трехмерных задач электроразведки с использованием метода интегральных уравнений или метода конечных элементов, а также с сравнением вычислительной эффективности этих методов. Курсовой проект покрывает все дидактические единицы, подробная информация приведена в приложении №7 : Методы конечноэлементного анализа [Электронный ресурс] : электронный учебно-методический комплекс / М. Г. Персова, Ю. Г. Соловейчик, П. А. Домников, М. Г. Токарева ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, [2014]. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000186196. - Загл. с экрана.

2	Подготовка к занятиям	10, 11, 12, 13, 14, 2, 4, 6	54	4
---	-----------------------	-----------------------------	----	---

При подготовке к занятиям студенты изучают лекционный материал с использованием конспекта лекций и разрабатывают основные программные модули, необходимые для выполнения заданий на лабораторной работе. : Уравнения математической физики : методические указания к выполнению лабораторных работ для 3 курса ФПМИ специальности 010500 дневного отделения / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. М. Г. Персова и др.]. - Новосибирск, 2007. - 31, [1] с. - Режим доступа: <http://www.library.nstu.ru/fulltext/metodics/2007/3390.rar> Методы конечноэлементного анализа [Электронный ресурс] : электронный учебно-методический комплекс / М. Г. Персова, Ю. Г. Соловейчик, П. А. Домников, М. Г. Токарева ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, [2014]. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000186196. - Загл. с экрана.

3	Подготовка к аттестации	10, 11, 12, 13, 14, 3, 8	12	2
---	-------------------------	--------------------------	----	---

При подготовке к аттестации студенты повторяют лекционный материал и анализируют основные результаты, полученные при проведении лабораторных работ., подробная информация приведена в приложении №6 : Уравнения математической физики : методические указания к выполнению лабораторных работ для 3 курса ФПМИ специальности 010500 дневного отделения / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. М. Г. Персова и др.]. - Новосибирск, 2007. - 31, [1] с. - Режим доступа: <http://www.library.nstu.ru/fulltext/metodics/2007/3390.rar> Методы конечноэлементного анализа [Электронный ресурс] : электронный учебно-методический комплекс / М. Г. Персова, Ю. Г. Соловейчик, П. А. Домников, М. Г. Токарева ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, [2014]. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000186196. - 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; ЭБС
Консультирование	Среда электронного обучения НГТУ; ЭБС
Контроль	Личный типовой сайт
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	ОПК.4;
Формируемые умения: з1. обладать углубленными знаниями в области профессиональной деятельности; у1. уметь применять современные методы исследований в области профессиональной деятельности; у2. уметь использовать современные методы математического моделирования при решении профессиональных задач		
Краткое описание применения: Занятия проводятся в форме компьютерных симуляций - студенты исследуют работоспособность разработанной программы на примере решения задач электроразведки.		
Подробная информация об использовании технологии приводится в "Методы конечноэлементного анализа [Электронный ресурс] : электронный учебно-методический комплекс / М. Г. Персова, Ю. Г. Соловейчик, П. А. Домников, М. Г. Токарева ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, [2014]. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000186196 . - Загл. с экрана."		

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: 1		
Лабораторная №1: Выполнение, защита	7	15
Контролирующие материалы (список вопросов) приводятся в "Методы конечногоэлементного анализа [Электронный ресурс] : электронный учебно-методический комплекс / М. Г. Персова, Ю. Г. Соловейчик, П. А. Домников, М. Г. Токарева ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, [2014]. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000186196 . - Загл. с экрана."		
Лабораторная №2: Выполнение, защита	7	15
Контролирующие материалы (список вопросов) приводятся в "Методы конечногоэлементного анализа [Электронный ресурс] : электронный учебно-методический комплекс / М. Г. Персова, Ю. Г. Соловейчик, П. А. Домников, М. Г. Токарева ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, [2014]. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000186196 . - Загл. с экрана."		
Лабораторная №3: Выполнение, защита	9	15
Контролирующие материалы (список вопросов) приводятся в "Методы конечногоэлементного анализа [Электронный ресурс] : электронный учебно-методический комплекс / М. Г. Персова, Ю. Г. Соловейчик, П. А. Домников, М. Г. Токарева ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, [2014]. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000186196 . - Загл. с экрана."		
Лабораторная №4: Выполнение, защита	7	15
Контролирующие материалы (список вопросов) приводятся в "Методы конечногоэлементного анализа [Электронный ресурс] : электронный учебно-методический комплекс / М. Г. Персова, Ю. Г. Соловейчик, П. А. Домников, М. Г. Токарева ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, [2014]. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000186196 . - Загл. с экрана."		
Курсовой проект:	50	100 (в состав баллов за КП)
Контролирующие материалы (список вопросов) приводятся в "Методы конечногоэлементного анализа [Электронный ресурс] : электронный учебно-методический комплекс / М. Г. Персова, Ю. Г. Соловейчик, П. А. Домников, М. Г. Токарева ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, [2014]. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000186196 . - Загл. с экрана."		
Экзамен:	20	40
Контролирующие материалы - список вопросов		
Семестр: 2		
Лабораторная: Выполнение, защита	30	60
Контролирующие материалы (список вопросов) приводятся в "Методы конечногоэлементного анализа [Электронный ресурс] : электронный учебно-методический комплекс / М. Г. Персова, Ю. Г. Соловейчик, П. А. Домников, М. Г. Токарева ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, [2014]. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000186196 . - Загл. с экрана."		
Курсовой проект:	50	100 (в состав баллов за КП)
Контролирующие материалы (список вопросов) приводятся в "Методы конечногоэлементного анализа [Электронный ресурс] : электронный учебно-методический комплекс / М. Г. Персова, Ю. Г. Соловейчик, П. А. Домников, М. Г. Токарева ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, [2014]. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000186196 . - Загл. с экрана."		
Экзамен:	20	40
Контролирующие материалы - список вопросов		
Семестр: 3		
Лабораторная: Выполнение, защита	30	60
Контролирующие материалы (список вопросов) приводятся в "Методы конечногоэлементного анализа [Электронный ресурс] : электронный учебно-методический комплекс / М. Г. Персова, Ю. Г. Соловейчик, П. А. Домников, М. Г. Токарева ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, [2014]. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000186196 . - Загл. с экрана."		
Курсовой проект:	50	100 (в состав баллов за КП)
Контролирующие материалы (список вопросов) приводятся в "Методы конечногоэлементного анализа [Электронный ресурс] : электронный учебно-методический комплекс / М. Г. Персова, Ю. Г. Соловейчик, П. А. Домников, М. Г. Токарева ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, [2014]. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000186196 . - 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
ОК.2	у2. уметь решать нестандартные научные и практические задачи, связанные с профессиональной деятельностью	+	
ОК.3	з1. знать сферу для самореализации в области прикладной математики и информатики	+	
	у2. уметь видеть источники для саморазвития в области прикладной математики и информатики	+	
ОПК.4	з1. обладать углубленными знаниями в области профессиональной деятельности	+	+
	у1. уметь применять современные методы исследований в области профессиональной деятельности	+	
	у2. уметь использовать современные методы математического моделирования при решении профессиональных задач	+	
ПК.1	у3. уметь самостоятельно оценить необходимость и трудоёмкость исследований, научную значимость возможных результатов и перспективу их использования	+	
ПК.2	з1. знать основные математические модели в области профессиональной деятельности	+	+
	у1. уметь оценивать адекватность математической модели для решаемой проблемы или задачи	+	+
	у2. уметь адаптировать математические модели к решаемой научной проблеме или задаче	+	
ПК.3	з2. знать сферу применения используемых методов прикладной математики и информатики, предпосылки, обуславливающие корректность их применения соответствующих методов	+	
	ПК.14.В/ППТ з1. знать методы математического моделирования в области профессиональной деятельности	+	+
	ПК.14.В/ППТ у2. уметь оценивать погрешность математического моделирования	+	+

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

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.
11. Математический аппарат и программное обеспечение конечноэлементного 3D-моделирования для сопровождения электромагнитных методов инженерной геофизики / Ю. Г. Соловейчик, М. Г. Персова, Д. В. Вагин, П. А. Домников, О. С. Трубачева // Инженерные изыскания. – № 10-11. – С. 54-59.
12. Persova M.G. Computer Modeling of Geoelectromagnetic Fields in Three-Dimensional Media by the Finite Element Method [Electronic resource] // M.G. Persova, Yu.G. Soloveichik, G.M. Trigubovich // Izvestiya, Physics of the Solid Earth - 2011. - Vol. 47, No. 2. - P. 79-89. - Mode of access: <http://link.springer.com/article/10.1134%2FS1069351311010095>. - Title from screen
13. Methods and algorithms for reconstructing three-dimensional distributions of electric conductivity and polarization in the medium by finite-element 3D modeling using the data of electromagnetic sounding [Electronic resource] / M. G. Persova, Y. G. Soloveichik, G. M. Trigubovich, M. G. Tokareva // Izvestiya, Physics of the Solid Earth. - 2013. - Vol. 49, iss. 3. - P. 329-343. - Mode of access: <http://www.springerlink.com/>. - Title from screen.
14. Transient electromagnetic modelling of an isolated wire loop over a conductive medium [Electronic resource] / M. G. Persova, Y. G. Soloveichik, G. M. Trigubovich, D. V. Vagin, P. A. Domnikov // Geophysical Prospecting. - 2014. - Vol. 62, iss. 5. - P. 1193-1201. - Mode of access: <http://www.sciencedirect.com>. - Title from screen.

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. Методы конечноэлементного анализа : методические указания к лабораторным работам по курсу "Методы конечноэлементного анализа" для 4 и 6 курсов ФПМИ, направление 010500 / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: М. Г. Персова и др.]. - Новосибирск, 2011. - 19 с. : ил. - Режим доступа:http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000152314
2. Методы конечноэлементного анализа [Электронный ресурс] : электронный учебно-методический комплекс / М. Г. Персова, Ю. Г. Соловейчик, П. А. Домников, М. Г. Токарева ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, [2014]. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000186196. - Загл. с экрана.
3. Уравнения математической физики : методические указания к выполнению лабораторных работ для 3 курса ФПМИ специальности 010500 дневного отделения / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. М. Г. Персова и др.]. - Новосибирск, 2007. - 31, [1] с.. - Режим доступа: <http://www.library.nstu.ru/fulltext/metodics/2007/3390.rar>

8.2 Специализированное программное обеспечение

- 1 Watcom Fortran
- 2 Open Watcom
- 3 Visual Studio 2010

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

Методы конечноэлементного анализа

Образовательная программа: 01.04.02 Прикладная математика и информатика, магистерская
программа: Математическое моделирование детерминированных и стохастических
процессов

1. Обобщенная структура фонда оценочных средств учебной дисциплины

Обобщенная структура фонда оценочных средств по дисциплине Методы конечноэлементного анализа 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)
ОК.2 готовность действовать в нестандартных ситуациях, нести социальную и этическую ответственность за принятые решения	у2. уметь решать нестандартные научные и практические задачи, связанные с профессиональной деятельностью	Разработка фрагментов программного комплекса конечноэлементного моделирования физических процессов в высокотехнологичных устройствах и наукоемких технологиях	Курсовой проект (1 семестр).	
ОК.3 готовность к саморазвитию, самореализации, использованию творческого потенциала	з1. знать сферу для самореализации в области прикладной математики и информатики	Повышение точности и вычислительной эффективности программных комплексов конечноэлементного моделирования физических процессов в высокотехнологичных устройствах и наукоемких технологиях Разработка программного комплекса численного моделирования физических процессов в высокотехнологичных устройствах и наукоемких технологиях	Курсовой проект (2-й и 3-й семестр).	
ОК.3	у2. уметь видеть источники для саморазвития в области прикладной математики и информатики	Разработка программного комплекса численного моделирования физических процессов в высокотехнологичных устройствах и наукоемких технологиях	Курсовой проект (3 семестр).	
ОПК.4 способность использовать и применять углубленные знания в области прикладной математики и информатики	з1. обладать углубленными знаниями в области профессиональной деятельности	Векторный МКЭ для решения задач электромагнетизма. Вариационная постановка. Edge-элементы первого и второго типа. Иерархические и лагранжевы базисы. Построение портрета. Одномерные, двумерные и трехмерные задачи. Использование четырехугольных, шестигранных элементов и элементов с криволинейными границами. Повышение точности и вычислительной эффективности программных комплексов конечноэлементного моделирования физических процессов в высокотехнологичных устройствах и наукоемких	Курсовой проект (2-й и 3-й семестр).	Экзамен, вопросы: – семестр 2, дидактическая ед. 3, № 4–12; – семестр 1, дидактическая ед. 3, № 1–16; – семестр 2, дидактическая ед. 2, № 1–6; – семестр 1, дидактическая ед. 1, № 5–12; – семестр 3, дидактическая ед. 1, № 1–4.

		технологиях Применение МКЭ для решения нестационарных задач. Подходы к решению задач с гармоническим по времени источником. Разработка программного комплекса численного моделирования физических процессов в высокотехнологичных устройствах и наукоемких технологиях Типы и учет сосредоточенных источников при построении конечноэлементных аппроксимаций.		
ОПК.4	у1. уметь применять современные методы исследований в области профессиональной деятельности	Разработка программного комплекса численного моделирования физических процессов в высокотехнологичных устройствах и наукоемких технологиях	Курсовой проект (3 семестр).	
ОПК.4	у2. уметь использовать современные методы математического моделирования при решении профессиональных задач	Разработка программного комплекса численного моделирования физических процессов в высокотехнологичных устройствах и наукоемких технологиях	Курсовой проект (3 семестр).	
ПК.1/НИ способность проводить научные исследования и получать новые научные и прикладные результаты самостоятельно и в составе научного коллектива	у3. уметь самостоятельно оценить необходимость и трудоёмкость исследований, научную значимость возможных результатов и перспективу их использования	Разработка фрагментов программного комплекса конечноэлементного моделирования физических процессов в высокотехнологичных устройствах и наукоемких технологиях	Курсовой проект (1 семестр).	
ПК.14.В/ППТ способность разрабатывать и анализировать модели высокотехнологичных технических устройств и наукоемких технологий	з1. знать методы математического моделирования в области профессиональной деятельности	Вариационные формулировки и конечномерные подпространства для узлового МКЭ. Точность и сходимость конечноэлементных решений. Векторный МКЭ для решения задач электромагнетизма. Вариационная постановка. Edge-элементы первого и второго типа. Иерархические и лагранжевы базисы. Построение портрета. Интегральные уравнения. Принципы построения вычислительных схем на примере решения задач электроразведки. Классы задач, решаемых с использованием МКЭ. Основные идеи и принципы	Курсовой проект (1-й и 3-й семестр).	Экзамен, вопросы – семестр 1, дидактическая ед. 1, № 1–12; – семестр 2, дидактическая ед. 3, № 1–12; – семестр 3, дидактическая ед. 1, № 5,6, 8–12.

		МКЭ. Нелинейные задачи. Применение МКЭ для решения нестационарных задач. Подходы к решению задач с гармоническим по времени источником. Разработка фрагментов программного комплекса конечноэлементного моделирования физических процессов в высокотехнологичных устройствах и наукоемких технологиях Типы и учет сосредоточенных источников при построении конечноэлементных аппроксимаций. Узловой МКЭ для решения векторных задач электромагнетизма. Вариационная постановка. Структура матриц.		
ПК.14.В/ППТ	у2. уметь оценивать погрешность математического моделирования	Вариационные формулировки и конечномерные подпространства для узлового МКЭ. Точность и сходимость конечноэлементных решений. Общие подходы к верификации математических моделей и вычислительных схем конечноэлементного моделирования. Повышение точности и вычислительной эффективности программных комплексов конечноэлементного моделирования физических процессов в высокотехнологичных устройствах и наукоемких технологиях Разработка программного комплекса численного моделирования физических процессов в высокотехнологичных устройствах и наукоемких технологиях Способы тестирования численных процедур решения задач электромагнетизма Тестирование вычислительных схем с выделением поля.	Курсовой проект (2-й и 3-й семестр).	Экзамен, вопросы – семестр 1, дидактическая ед. 1, № 3,13; – семестр 2, дидактическая ед. 3, № 13–14; – семестр 3, дидактическая ед. 1, № 7.
ПК.2/НИ способность разрабатывать концептуальные и теоретические модели решаемых научных проблем и задач	з1. знать основные математические модели в области профессиональной деятельности	Векторный МКЭ для решения задач электромагнетизма. Вариационная постановка. Edge-элементы первого и второго типа. Иерархические и лагранжевы базисы. Построение портрета. Классы задач, решаемых с использованием МКЭ. Основные идеи и принципы МКЭ. Нелинейные задачи. Основные алгоритмы МКЭ Разработка фрагментов программного комплекса конечноэлементного	Курсовой проект (1 семестр).	Экзамен, вопросы – семестр 2, дидактическая ед. 3, № 1–12; – семестр 2, дидактическая ед. 2, № 1–6; – семестр 1, дидактическая ед. 2, № 1–13; – семестр 3,

		моделирования физических процессов в высокотехнологичных устройствах и наукоемких технологиях. Согласованные и несогласованные сетки и конечные элементы. Понятие р-технологии, h-технологии, р-h-технологии уточнения решений. Иерархические базисы. Согласование элементов различных порядков. Структуры данных и построение сеток в МКЭ. Технология выделения поля в МКЭ. Примеры. Узловой МКЭ для решения векторных задач электромагнетизма. Вариационная постановка. Структура матриц.		дидактическая ед. 1, № 1–4; – семестр 1, дидактическая ед. 1, № 1–2; – семестр 3, дидактическая ед. 1, № 8–12.
ПК.2/НИ	у1. уметь оценивать адекватность математической модели для решаемой проблемы или задачи	Общие подходы к верификации математических моделей и вычислительных схем конечноэлементного моделирования. Разработка программного комплекса численного моделирования физических процессов в высокотехнологичных устройствах и наукоемких технологиях. Способы тестирования численных процедур решения задач электромагнетизма. Тестирование вычислительных схем с выделением поля.	Курсовой проект (3 семестр).	Экзамен, вопросы – семестр 1, дидактическая ед. 1, № 3,13; – семестр 2, дидактическая ед. 3, № 13–14; – семестр 3, дидактическая ед. 1, № 7.
ПК.2/НИ	у2. уметь адаптировать математические модели к решаемой научной проблеме или задаче	Разработка программного комплекса численного моделирования физических процессов в высокотехнологичных устройствах и наукоемких технологиях	Курсовой проект (3 семестр).	
ПК.3/ППТ способность разрабатывать и применять математические методы, системное и прикладное программное обеспечение для решения задач научной и проектно-технологической деятельности	з2. знать сферу применения используемых методов прикладной математики и информатики, предпосылки, обуславливающие корректность их применения соответствующих методов	Разработка программного комплекса численного моделирования физических процессов в высокотехнологичных устройствах и наукоемких технологиях	Курсовой проект (3 семестр).	

2. Методика оценки этапов формирования компетенций в рамках дисциплины.

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в 1 семестре - в форме экзамена, в 2 семестре - в форме экзамена, в 3 семестре - в форме экзамена, который направлен на оценку сформированности компетенций ОК.2, ОК.3, ОПК.4, ПК.1/НИ, ПК.14.В/ППТ, ПК.2/НИ,

Форма проведения экзамена, принцип формирования билета, примерный перечень вопросов, а также критерии оценивания сформулированы в паспортах экзамена за 1-й, 2-й и 3-й семестр.

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

В 1 семестре обязательным этапом текущей аттестации являются курсовой проект. Требования к выполнению курсового проекта, состав и правила оценки сформулированы в паспорте курсового проекта.

В 2 семестре обязательным этапом текущей аттестации являются курсовой проект. Требования к выполнению курсового проекта, состав и правила оценки сформулированы в паспорте курсового проекта.

В 3 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 ОК.2, ОК.3, ОПК.4, ПК.1/НИ, ПК.14.В/ППТ, ПК.2/НИ, ПК.3/ППТ, 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 «Методы конечноэлементного анализа», 1 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 вопрос – из вопросов по второй дидактической единице, третий вопрос – из вопросов по третьей 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 15 баллов, за второй – от 0 до 10 баллов, за третий – от 0 до 15 баллов.

Форма экзаменационного билета

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Факультет ФПМИ

Билет № _____

к экзамену по дисциплине «Методы конечноэлементного анализа»

1. Классы задач, решаемых с использованием МКЭ (15 баллов).
2. Поиск конечного элемента в нерегулярной сетке (10 баллов).
3. Одномерные лагранжевы элементы, структуры конечноэлементных матриц (15 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 все лабораторные работы, т.е. 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 «Методы конечноэлементного анализа»

Дидактическая единица 1: Методы компьютерного моделирования сложных физических процессов, описываемых уравнениями в частных производных

1. Классы задач, решаемых с использованием МКЭ.
2. Вариационные постановки и конечномерные подпространства для узлового МКЭ. Энергетическая норма.
3. Сходимость и точность конечноэлементных решений.
4. Учёт главных краевых условий.
5. Принципы построения аппроксимаций начально-краевых задач для дифференциальных уравнений параболического типа с использованием неявных схем.
6. Принципы построения аппроксимаций начально-краевых задач для дифференциальных уравнений гиперболического типа с использованием неявных схем.
7. Принципы построения аппроксимаций начально-краевых задач для дифференциальных уравнений гиперболического типа с использованием явных схем.
8. Подходы к решению задач с гармоническим по времени источником.
9. Типы сосредоточенных источников.
10. Учет поверхностных источников при использовании конечноэлементных аппроксимаций.
11. Учет источников, сосредоточенных на линии, при использовании конечноэлементных аппроксимаций.
12. Учет точечных источников при использовании конечноэлементных аппроксимаций.
13. Тестирование конечноэлементных вычислительных схем. Способы тестирования. Примеры.

Дидактическая единица 2: Алгоритмы работы с согласованными и несогласованными сетками

1. Структуры данных для хранения двумерных расчетных областей с прямоугольными подобластями и для областей с криволинейными границами.
2. Структуры данных для хранения регулярных прямоугольных и четырехугольных сеток.
3. Структуры данных для хранения нерегулярных двумерных сеток с треугольными ячейками и алгоритмы их построения.
4. Структуры данных для хранения трехмерных расчетных областей.
5. Принципы построения трехмерных сеток с ячейками в виде параллелепипедов и шестигранников.
6. Метод тиражирования сечений. Построение тетраэдральных сеток и структуры данных для их хранения.
7. Форматы хранения матриц конечноэлементных СЛАУ.
8. Блочные форматы хранения.
9. Алгоритмы занесения локальных матриц в глобальную матрицу, хранящуюся в разреженном формате.
10. Алгоритмы занесения локальных матриц в глобальную матрицу, хранящуюся в разреженном блочном формате.
11. Алгоритмы построения списка граней трехмерных конечных элементов.
12. Алгоритмы построения списка ребер конечных элементов и их нумерация.
13. Поиск конечного элемента в нерегулярной сетке.

Дидактическая единица 3: Конечноэлементные аппроксимации с использованием скалярных и векторных базисных функций различных порядков в одномерных, двумерных и трехмерных областях

1. Одномерные лагранжевы элементы, структуры конечноэлементных матриц.
2. Одномерные эрмитовы элементы, структуры конечноэлементных матриц.
3. Прямоугольные конечные элементы различных порядков. Вид лагранжевых базисных функций. Способы расчета локальных матриц.
4. Эрмитовы базисные функции на прямоугольниках. Способы расчета локальных матриц.
5. Конечные элементы различных порядков на симплексах. L-координаты, их использование при построении базисных функций и вычислении интегралов.
6. Четырехугольные конечные элементы различных порядков. Построение локальных матриц.
7. Четырехугольные конечные элементы с криволинейными границами.
8. Треугольные конечные элементы с криволинейными границами.
9. Параллелепипедальные конечные элементы различных порядков. Вид лагранжевых базисных функций. Способы расчета локальных матриц.
10. Эрмитовы базисные функции на параллелепипедах. Способы расчета локальных матриц.
11. Тетраэдральные конечные элементы различных порядков. L-координаты, их использование при построении базисных функций и вычислении интегралов.
12. Конечные элементы различных порядков на прямых призмах с треугольным основанием. Вид базисных функций. Расчет локальных матриц.
13. Конечные элементы различных порядков на прямых призмах с четырехугольным основанием. Вид базисных функций. Расчет локальных матриц.
14. Конечные элементы различных порядков на шестигранниках. Вид базисных функций. Расчет локальных матриц.
15. Шестигранные конечные элементы с криволинейными границами.
16. Тетраэдральные конечные элементы с криволинейными границами.

Паспорт курсового проекта

по дисциплине «Методы конечноэлементного анализа», 1 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).

Общей тематикой курсовых проектов является "Разработка фрагментов программного комплекса конечноэлементного моделирования физических процессов в высокотехнологичных устройствах и наукоемких технологиях".

Конкретная тема проекта выдаётся, как правило, в соответствии с темой научной работы студента следующим образом:

- студенты, научная работа которых связана с МКЭ, получают задание на разработку фрагментов программного комплекса конечноэлементного моделирования с использованием тех типов элементов и сеток, которые могут быть полезны в научной работе;

- студенты, научная работа которых не связана с МКЭ, получают задание на разработку фрагментов программного комплекса конечноэлементного моделирования с использованием регулярных или нерегулярных конечноэлементных сеток с элементами первого порядка. При этом решаемая задача выбирается, по возможности, с учётом тематики научной работы студента.

Примерный перечень тем:

- 1) Построение конечноэлементных аппроксимаций для расчета стационарного электрического поля, возбуждаемого вертикальной электрической линией, методом конечных элементов в цилиндрических координатах.

- 2) Построение конечноэлементных аппроксимаций для решения задачи магнитотеллурических зондирований с использованием четырехугольных конечных элементов.

- 3) Построение конечноэлементных аппроксимаций для решения задачи сопряженного теплообмена с использованием базисных функций на четырехугольниках.

- 4) Разработка и реализация конечноэлементных вычислительных схем для моделирования трехмерного температурного поля на призмах с четырехугольным основанием.

- 5) Разработка и реализация конечноэлементных вычислительных схем на призмах.

- 6) Разработка и реализация конечноэлементных вычислительных схем для решения трехмерной задачи упругости с использованием шестигранных элементов.

- 7) Разработка и реализация конечноэлементных вычислительных схем для решения задачи конвекции на четырехугольниках с квадратичными базисными функциями.

- 8) Решение задачи сглаживания на треугольниках в трехмерном пространстве.

9) Решение двумерной задачи с использованием векторного метода конечных элементов.

10) Решение задачи векторным методом конечных элементов с использованием тетраэдральных конечных элементов.

11) Построение двумерного сплайна с использованием биэрмитовых функций.

12) Решение трехмерной эллиптической задачи методом конечных элементов на шестигранниках.

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.

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

Паспорт экзамена

по дисциплине «Методы конечноэлементного анализа», 2 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 второй дидактической единице, второй вопрос – из вопросов по третьей дидактической единице (список вопросов, сгруппированных в соответствии с дидактическими единицами, приведен ниже, в п.4). За каждый вопрос студент получает оценку в диапазоне от 0 до 20 баллов.

Форма экзаменационного билета

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Факультет ФПМИ

Билет № _____

к экзамену по дисциплине «Методы конечноэлементного анализа»

1. Несогласованные сетки с прямоугольными ячейками (20 баллов).
2. Математические модели для описания векторных полей в случае применения узлового МКЭ (20 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 все лабораторные работы, т.е. 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 «Методы конечноэлементного анализа»

Дидактическая единица 2: Алгоритмы работы с согласованными и несогласованными сетками

1. Несогласованные сетки с прямоугольными ячейками.
2. Несогласованные сетки с параллелепипедальными ячейками.
3. Способы построения конечноэлементных аппроксимаций на несогласованных сетках.
4. Иерархические базисы на прямоугольниках.
5. Согласование иерархических элементов разных порядков.
6. Понятие p-технологии, h-технологии, p-h-технологии уточнения решений.

Дидактическая единица 3: Конечноэлементные аппроксимации с использованием скалярных и векторных базисных функций различных порядков в одномерных, двумерных и трехмерных областях

1. Математические модели для описания векторных полей в случае применения узлового МКЭ.
2. Вариационные постановки для векторных задач при использовании узлового МКЭ.
3. Конечноэлементная аппроксимация для векторных задач при использовании узлового МКЭ. Структура матриц.
4. Математические модели для описания векторных полей в случае применения векторного МКЭ.
5. Вариационные постановки и конечномерные подпространства для векторного МКЭ. Энергетическая норма.
6. Принципы построения базисных вектор-функций на прямоугольных сетках.
7. Принципы построения базисных вектор-функций на треугольных сетках.
8. Принципы построения базисных вектор-функций на четырехугольных сетках.
9. Принципы построения базисных вектор-функций на параллелепипедальных сетках.
10. Принципы построения базисных вектор-функций на тетраэдральных сетках.
11. Принципы построения базисных вектор-функций на треугольной призме.
12. Принципы построения базисных вектор-функций на шестиграннике.
13. Тестирование конечноэлементных вычислительных схем, построенных для решения векторных задач электромагнетизма. Способы тестирования. Примеры.
14. Тестирование численных процедур решения многомерных задач электромагнетизма с использованием решений задач меньшей размерности. Способы тестирования. Примеры.

Паспорт курсового проекта

по дисциплине «Методы конечноэлементного анализа», 2 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).

Общей тематикой курсового проекта является: "Повышение точности и вычислительной эффективности программных комплексов конечноэлементного моделирования физических процессов в высокотехнологичных устройствах и наукоемких технологиях". Повышение точности и вычислительной эффективности в рамках выполнения курсового проекта предлагается выполнять путем построения конечноэлементных аппроксимаций на несогласованных сетках или использования элементов высокого порядка. Курсовой проект во втором семестре может выполняться на базе курсового проекта первого семестра по возможности с учетом тематики научной работы студента.

Примерный перечень тем:

1) Построение конечноэлементных аппроксимаций для расчета осесимметричного электромагнитного поля петлевого источника с использованием несогласованных сеток.

2) Построение конечноэлементных аппроксимаций для решения задачи магнитостатики с использованием иерархических базисных функций до третьего порядка на треугольниках.

3) Построение конечноэлементных аппроксимаций для решения трехмерной задачи на тетраэдральных элементах с использованием функций высоких порядков.

4) Построение конечноэлементных аппроксимаций для решения стационарной эллиптической задачи с использованием базисных функций различных порядков.

5) Построение конечноэлементных аппроксимаций с использованием иерархических базисных функций второго порядка при возбуждении электромагнитного поля петлевым источником.

6) Построение конечноэлементных аппроксимаций с использованием комбинированных иерархических базисных функций первого и второго порядка в трехмерных областях.

7) Построение конечноэлементных аппроксимаций с локальным повышением порядка на параллелепипедах для решения для решения эллиптической задачи.

8) Построение конечноэлементных аппроксимаций с локальным повышением порядка на прямоугольниках для решения для решения эллиптической задачи.

9) Построение несогласованных сеток и конечноэлементных аппроксимаций в 3D

области для решения эллиптической задачи с точечным источником.

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) построение иерархических базисных функций высокого порядка;
- 2) построение несогласованных сеток;
- 3) построение согласованных базисных функций на несогласованных сетках;
- 4) нумерация базисных функций;
- 5) построение портрета;
- 6) сборка глобальной матрицы и вектора правой части для сеток, содержащих элементы различного порядка;
- 7) сборка глобальной матрицы и вектора правой части для несогласованных сеток;
- 8) построение тестовых задач.

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

Паспорт экзамена

по дисциплине «Методы конечноэлементного анализа», 3 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: два вопроса по темам из первой и второй частей вопросов по первой дидактической единице (список вопросов, сгруппированных в соответствии первой и второй части, приведен ниже в п.4). За каждый вопрос студент получает оценку в диапазоне от 0 до 20 баллов.

Форма экзаменационного билета

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Факультет ФПМИ

Билет № _____

к экзамену по дисциплине «Методы конечноэлементного анализа»

1. Интегральные уравнения. Принципы построения вычислительных схем для скалярных задач. (20 баллов).
2. Метод Ньютона для решения нелинейных задач с использованием МКЭ. (20 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 все лабораторные работы, т.е. 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 «Методы конечноэлементного анализа»

Дидактическая единица 1: Методы компьютерного моделирования сложных физических процессов, описываемых уравнениями в частных производных

Часть 1

1. Общая схема построения конечноэлементных процедур решения задач с выделением части поля.
2. Построение конечноэлементных вычислительных схем с использованием технологии выделения поля для задач с сосредоточенными источниками. Примеры.
3. Примеры конечноэлементных вычислительных схем с использованием технологии выделения поля для скалярных задач.
4. Примеры конечноэлементных вычислительных схем с использованием технологии выделения поля для векторных задач.
5. Интегральные уравнения. Принципы построения вычислительных схем для скалярных задач.
6. Интегральные уравнения. Принципы построения вычислительных схем для векторных задач.
7. Способы тестирования конечноэлементных вычислительных схем с выделением поля.

Часть 2

8. Нелинейные эллиптические краевые задачи.
9. Нелинейные параболические краевые задачи.
10. Метод простой итерации для решения нелинейных задач с использованием МКЭ.
11. Метод Ньютона для решения нелинейных задач с использованием МКЭ.
12. Использование релаксации при решении нелинейных задач.

Паспорт курсового проекта

по дисциплине «Методы конечноэлементного анализа», 3 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).

Общей тематикой курсовых проектов является: "Разработка программного комплекса численного моделирования физических процессов в высокотехнологичных устройствах и наукоемких технологиях".

В том числе тематика курсового проекта в этом семестре может быть связана с решением трехмерных задач электроразведки с использованием метода интегральных уравнений или метода конечных элементов, а также с сравнением вычислительной эффективности этих методов. Среди трехмерных задач электроразведки в рамках курсового проектирования решаются следующие задачи:

- 1) Моделирование электромагнитных полей в технологиях на постоянном токе.
- 2) Моделирование электромагнитных полей в технологиях с гармоническим индукционным источником.
- 3) Моделирование электромагнитных полей в технологиях с гармоническим гальванически заземленным источником.

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) физический смысл коэффициентов уравнения;
- 3) вычислительная схема в зависимости от используемого численного метода;
- 4) тестирование;
- 5) классы задач, которые могут быть решены с использованием разработанного метода;
- 6) возможные пути совершенствования разработанных методов для решения более широкого класса задач рассматриваемой тематики.