



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

ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ И КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ (ШКОЛА)

«СОГЛАСОВАНО»

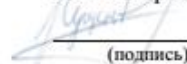
Руководитель ОП


(подпись)

Пак Т.В.
(Ф.И.О.)

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор департамента Математического и
компьютерного моделирования


(подпись)



« 26 » января

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Метод конечных элементов

Направление подготовки 01.04.02 Прикладная математика и информатика

Математические и компьютерные технологии

Форма подготовки очная

курс 2 семестр 3

лекции 18 час.

практические занятия 00 час.

лабораторные работы 36 час.

в том числе с использованием МАО лек. 8 / пр. 0 / лаб. 26 час.

всего часов аудиторной нагрузки 54 час.

в том числе с использованием МАО 34 час.

самостоятельная работа 54 час.

контрольные работы (количество) не предусмотрены

курсовая работа / курсовой проект не предусмотрены

Зачет 3 семестр

экзамен не предусмотрен

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта по направлению подготовки 01.04.02 Прикладная математика и информатика, утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 10 января 2018 г. № 13.

Рабочая программа обсуждена на заседании департамента математического и компьютерного моделирования протокол № 5 от «17» января 2022 г.

Директор департамента Сущенко А.А.

Составители Алексей Г.В., Спивак Ю.Э.

Владивосток
2022

I. Рабочая программа пересмотрена на заседании департамента:

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

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

II. Рабочая программа пересмотрена на заседании департамента:

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

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

III. Рабочая программа пересмотрена на заседании департамента:

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

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

IV. Рабочая программа пересмотрена на заседании департамента:

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

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

1. Цель и задачи освоения дисциплины

Дисциплина «Метод конечных элементов» предназначена для магистрантов 1 курса магистратуры 01.04.02 Прикладная математика и информатика, магистерской программы «Математические и компьютерные технологии».

Дисциплина «Метод конечных элементов» входит в вариативную часть блока дисциплин образовательной программы (Б1.В.ДВ.04.03), реализуется на 2 курсе, в 3 семестре, завершается зачетом. Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 3 З.Е. (108 час.). Учебным планом предусмотрены лекционные занятия (18 час.), лабораторные работы (36 час.), самостоятельная работа (54 час.).

Язык реализации – русский.

Цель: получить представление о методе конечных элементов (МКЭ) как об одном из наиболее эффективных методов численного решения краевых задач математической физики и научиться основным правилам применения МКЭ для дискретизации и численного исследования различных задач математической физики.

Задачи:

- Развить целостное представление о проекционных методах дискретизации краевых задач математической физики, включая методы коллокаций, Галеркина, Бубнова-Галеркина, Ритца, наименьших квадратов и метод конечных элементов.

- Разобрать схему и основные этапы применения МКЭ для решения прикладных задач из разных областей науки и техники, описываемым краевыми задачами для дифференциальных уравнений.

- Научиться качественному анализу свойств дискретных задач, являющихся МКЭ – аппроксимациями непрерывных задач, и, в частности, исследованию сходимости приближенных решений к точному при стремлении к нулю шага разностной сетки либо стремлении к бесконечности размерности конечномерного подпространства, в котором ищется приближенное решение.

- Научиться методам решения систем разностных уравнений, возникающих при дискретизации краевых задач математической физики методом конечных элементов.

Для успешного изучения дисциплины «Метод конечных элементов» у обучающихся должны быть сформированы следующие предварительные компетенции:

- ПК-1 - способность проводить научные исследования и получать новые научные и прикладные результаты самостоятельно и в составе научного коллектива;

- ПК-2 - способность разрабатывать и анализировать концептуальные и теоретические модели решаемых научных проблем и задач.

В результате изучения данной дисциплины у обучающихся формируются

профессиональные компетенции и индикаторы их достижения:

| Тип задач | Код и наименование профессиональной компетенции (результат освоения) | Код и наименование индикатора достижения компетенции |
|---------------------------------|---|--|
| производственно-технологический | ПК-6 Способен разработать и отладить программный код, протестировать программное обеспечение, своевременно принять меры по выявлению и устранению сбоев и отказов в работе программного обеспечения, ликвидации их последствий и восстановлению работоспособности | ПК 6.1 Демонстрирует знание принципов разработки и отладки программного кода, методов тестирования программного обеспечения |
| | | ПК-6.2 Использует методы по выявлению и устранению сбоев и отказов в работе программного обеспечения, ликвидации их последствия и восстановления работоспособности |
| | | ПК-6.3 Разрабатывает программный код, проводит его отладку и тестирование, своевременно принимает меры по выявлению и устранению сбоев и отказов в работе программного обеспечения, ликвидации их последствий и восстановлению работоспособности |

2. Трудоёмкость дисциплины и видов учебных занятий по дисциплине

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 3 зачётные единицы (108 академических часов). Форма обучения – очная.

Видами учебных занятий и работы обучающегося по дисциплине являются:

| | |
|-------------|--|
| Обозначение | Виды учебных занятий и работы обучающегося |
|-------------|--|

| | |
|----------|---|
| Лек | Лекции |
| Пр | Практические занятия |
| Лаб | Лабораторные работы |
| СР | Самостоятельная работа обучающегося в период теоретического обучения |
| Контроль | Самостоятельная работа обучающегося и контактная работа обучающегося с преподавателем в период промежуточной аттестации |

Структура дисциплины:

| № | Наименование раздела дисциплины | Семестр | Количество часов по видам учебных занятий и работы обучающегося | | | | | Формы промежуточной аттестации |
|---|--|---------|---|----|-----|----|----------|--------------------------------|
| | | | Лек | Пр | Лаб | СР | Контроль | |
| 1 | Раздел 1. Вариационные формулировки краевых задач | 2 | 2 | | 12 | 18 | | УО-1, ПР-6 |
| 2 | Раздел 2. Дискретизация одномерных краевых задач | 2 | 6 | | 12 | 18 | | УО-2, ПР-6 |
| 3 | Раздел 3. Дискретизация двумерных краевых задач | 2 | 6 | | 10 | 16 | | УО-3, ПР-6 |
| 4 | Раздел 4. Дискретизация начально-краевых задач методом конечных элементов | 2 | 4 | | 2 | 2 | | |
| | Итого: | | 18 | 36 | | 54 | | |

I. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА

Лекционные занятия (18 часов)

Раздел 1. Вариационные формулировки краевых задач (2 часа)

Тема 1. Введение. Сущность МКЭ (1 час)

Сущность метода конечных элементов. Постановки основных краевых задач: пяти задач для обыкновенных дифференциальных уравнений 2-го и 4-го порядков и трех задач для уравнений второго порядка эллиптического типа. Постановки основных краевых задач: задача Дирихле для простейшего ОДУ 2-го порядка (задача 1), задача Дирихле для ОДУ 2-го порядка с переменными коэффициентами (задача 2), смешанная краевая задача для ОДУ 2-го порядка с переменными коэффициентами (задача 3), задача Дирихле для ОДУ 4-го порядка с переменными коэффициентами (задача 4), смешанная краевая задача для ОДУ 4-го порядка (задача 5), смешанная краевая задача для двумерного уравнения Лапласа (задача 6), смешанная краевая задача для двумерного уравнения Гельмгольца (задача 7), третья краевая задача для уравнения конвекции-диффузии (задача 8).

Тема 2. Вариационные формулировки одномерных краевых задач (1 час)

Вариационные формулировки задачи 1.

Раздел 2. Дискретизация одномерных краевых задач (6 часов)

Тема 1. Проекционные методы дискретизации краевых задач (2 часа)

Сущность метода проекций (моментов). Метод коллокаций для задачи 1. Метод Галеркина для задачи 1. Метод Бубнова-Галеркина для задачи 1. Методы Ритца и наименьших квадратов для задачи 1. Основная теорема для метода Ритца. Методы коллокаций, Галеркина, Ритца и наименьших квадратов для других одномерных задач. Сущность метода проекций дискретизации многомерных краевых задач. Методы коллокаций и Галеркина для задач 6 и 7. Методы Бубнова-Галеркина и Ритца для задач 6 и 7. Методы наименьших квадратов для задач 6 и 7.

Тема 2. Метод конечных элементов дискретизации одномерных краевых задач (4 часа)

Понятие сплайна. Степень и дефект сплайна. Свойства сплайнов. Использование сплайнов в качестве базисных функций. Применение МКЭ для решения задачи 1. Исследование сходимости МКЭ для задачи 1.

Раздел 3. Дискретизация двумерных краевых задач (6 часов)

Тема 1. Проекционные методы дискретизации двумерных краевых задач. (2 часа)

Методы коллокаций, Галеркина, Бубнова-Галеркина, Ритца, наименьших квадратов.

Тема 2. Метод конечных элементов дискретизации двумерных краевых задач (4 часа)

Основные этапы применения МКЭ для двумерных задач. Триангуляция области и построение базисных функций. Формирование матрицы коэффициентов. Введение барицентрических координат. Формирование матрицы в случае прямоугольной области I. Вычисление коэффициентов матрицы, отвечающих внутренним узлам. Вычисление коэффициентов, обусловленных краевыми условиями 3-го рода. Построение разностной схемы на основе МКЭ. Исследование сходимости МКЭ для решения задачи 6.

Раздел 4. Дискретизация (нестационарных) начально-краевых задач методом конечных элементов (4 часа)

Тема 1. Дискретизация начально-краевой задачи для двумерного уравнения теплопроводности (2 часа)

Дискретизация начально-краевой задачи для двумерного уравнения теплопроводности.

Тема 2. Обзор курса (2 час)

Повторение всех тем курса.

II. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА И САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Лабораторные работы (36 часов)

Лабораторная работа 1.

Занятие 1. Вариационные формулировки задач 2, 3, 4 и 5. (2 часа)

Занятие 2. Проекционные методы для одномерных краевых задач 2, 3, 4, 5. (2 часа)

Занятие 3. Применение МКЭ для решения задачи 2. Исследование сходимости МКЭ для решения задачи 2. (2 часа)

Занятие 4. Применение МКЭ для решения задачи 3. Исследование сходимости МКЭ для решения задачи 3. (2 часа)

Лабораторная работа 2.

Занятие 5. Вариационные формулировки задач 7 и 8. (2 часа)

Занятие 6. Проекционные методы для двумерных краевых задач 7 и 8. (2 часа)

Занятие 7. Применение МКЭ для задачи 7. (2 часа)

Занятие 8. Применение МКЭ для задачи 8. (2 часа)

Лабораторная работа 3.

Занятие 9. Выдача задания №1: численное решение одномерной задачи. Выбора алгоритма. (2 часа)

Занятие 10. Описание программы, реализующей численный метод. (2 часа)

Занятие 11. Составление и отладка программы. (2 часа)

Занятие 12. Проведение численных экспериментов. Анализ результатов. (2 часа)

Лабораторная работа 4.

Занятие 13. Выдача задания № 2: численное решение двумерной краевой задачи. Выбора алгоритма. (2 часа.)

Занятие 14. Описание программы, реализующей численный метод. (2 часа)

Занятие 15. Составление и отладка программы. (2 часа)

Занятие 16. Проведение численных экспериментов. Анализ результатов. (2 часа)

Занятие 17. Защита отчетов по выполнению задания. (2 часа)

В рамках практических занятий предполагается численное решение на ЭВМ методом конечных элементов двух краевых задач: для обыкновенного дифференциального уравнения и уравнения эллиптического типа второго порядка. Численное решение каждой из задач подразумевает: постановку соответствующей краевой задачи, выбор численного алгоритма, исследование сходимости, составление программы, реализующей численный алгоритм, составление и отладка программы, проведение численных экспериментов и

визуализацию полученных результатов, оформление отчета. Особое внимание уделяется использованию студентами готовых (лицензионных) программных продуктов и, в частности, свободно распространяемого пакета FreeFEM++.

Задания для самостоятельной работы

Самостоятельная работа №1. Написания реферата по теме из списка экзаменационных вопросов по пройденному материалу и списка дополнительных вопросов.

Требования:

1. Свободно ориентироваться в представленном материале.
2. Знать основные методы доказательства основных результатов.

Самостоятельная работа № 2. Написание реферата по теме из второй части экзаменационных вопросов и из списка дополнительных вопросов.

Требования.

1. Свободно ориентироваться в представленном материале.
2. Знать основные методы доказательства основных результатов.
3. Уметь самостоятельно разбирать новые вопросы из читаемого курса.

Самостоятельная работа № 3. Устный доклад.

Требования.

Грамотное и краткое изложение материала.

III. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся по дисциплине включает в себя:

- план-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине, в том числе примерные нормы времени на выполнение по каждому заданию;
- требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы;
- критерии оценки выполнения самостоятельной работы.

План-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине

| № п/п | Дата/сроки выполнения | Вид самостоятельной работы | Примерные нормы времени на выполнение | Форма контроля |
|--------------|------------------------------|-----------------------------------|--|--|
| 1 | В течение семестра | Подготовка к лабораторным | 14часов | Работа на практических занятиях (ПР-6) |

| | | | | |
|--------|--------------------------|---|----------|---|
| | | занятиям, изучение литературы | | |
| 2 | 1-6 неделя семестра | Выполнение самостоятельной работы № 1 | 12 часов | УО-1 (собеседование/устный опрос) |
| 3 | 7-12 неделя семестра | Выполнение самостоятельной работы № 2 | 12 часов | УО-1 (собеседование/устный опрос) |
| 5 | 13-16 неделя семестра | Выполнение самостоятельной работы № 3 | 12 часов | УО-3 (презентация/сообщение) |
| 7 | 16-18 неделя семестра | Сдача зачета по дисциплине | 4 часа | |
| Итого: | | | 54 часа | |

Рекомендации по самостоятельной работе студентов

Для работы над рефератами по текущему курсу МКЭ рекомендуем тщательно вести конспект лекций и пользоваться в первую очередь электронным учебным пособием Г.В. Алексеева «Введение в метод конечных элементов». При написании рефератов по дополнительным вопросам рекомендуем использовать источники из основного и дополнительного списка литературы, а также некоторые главы из монографий Г.В. Алексеева за 2008 и 2010 гг.

При подготовке доклада рекомендуем его написание и самостоятельную отработку с целью уложиться в отведенное время.

Методические рекомендации по выполнению заданий для самостоятельной работы и критерии оценки

Самостоятельные работы №1 и №2. От обучающегося требуется:

1. Владение изложенным в рефератах материалом.
2. Знание базовых и смежных с темами рефератов вопросов.

Собеседование (устный опрос) позволяет объективно оценить, как студент владеет излагаемым материалом.

Критерии оценки. Используется зачетная система.

Самостоятельная работа № 3. Результатом выполнения является устный доклад. Студент так же должен ответить на два вопроса по теме доклада.

Критерии оценки.

| Оценка | Требования |
|------------------|---|
| «зачтено» | Студент владеет навыками самостоятельной работы по теме исследования, умеет реферировать литературные |

| | |
|---------------------|--|
| | <p>источники; владеет методами анализа теоретических и/или практических аспектов изучаемой области. Работа соответствует требованиям и выполнена в установленные сроки.</p> <p>Студент умеет делать короткие устные сообщения по теме исследования и отвечать на задаваемые вопросы.</p> |
| «не зачтено» | <p>Не раскрыта структура и теоретическая составляющая темы. Студент не владеет изложенным материалом.</p> <p>Студент не в состоянии сделать доклад или не владеет материалом доклада и не в состоянии ответить на вопросы.</p> |

IV. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА

| № п/п | Контролируемые модули/разделы / темы дисциплины | Код индикатора достижения компетенции | Результаты обучения | Оценочные средства – наименование | | |
|-------|---|---|--|-----------------------------------|--------------------------|------------------------------------|
| | | | | текущий контроль | промежуточная аттестация | |
| 1 | Раздел I. Вариационные формулировки краевых задач | ПК-6.1 Демонстрирует знание принципов разработки и отладки программного кода, методов тестирования программного обеспечения | Знает основы математики, естественнонаучных дисциплин, вычислительной техники и программирования. | УО-1 собеседование, устный опрос; | вопросы к зачету 1-6 | |
| | | | Умеет анализировать, решать стандартные профессиональные задачи с применением естественнонаучных и общеинженерных знаний, методов математического анализа и моделирования. | | | УО-1 собеседование / устный опрос; |
| | | | Владеет методами теоретического и экспериментального | | | УО-1 собеседование / устный |

| | | | | | |
|---|--|---|---|--|-----------------------|
| | | | о исследования решаемых научных проблем прикладной математики; современными информационно-коммуникационными технологиями. | опрос, ПР-6 практическая (лабораторная) работа | |
| | | ПК-6.2 Использует методы по выявлению и устранению сбоев и отказов в работе программного обеспечения, ликвидации их последствия и восстановления работоспособности | Знает основные методы исследования процессов и явлений математической физики. | УО-1 собеседование / устный опрос | вопросы к зачету 1-6, |
| | Умеет анализировать, решать стандартные профессиональные задачи с применением естественнонаучных и общеинженерных знаний, методов математического анализа и моделирования. | | УО-1 собеседование / устный опрос; ПР-6 практическая работа | | |
| | Владеет методологией теоретических и экспериментальных исследований в области решаемых научных проблем. | | УО-2 коллоквиум | | |
| 2 | Раздел 2. Дискретизация одномерных краевых задач | ПК-6.2 Использует методы по выявлению и устранению сбоев и отказов в работе | Знает основные методы исследования процессов и явлений математической физики. | УО-1 собеседование / устный опрос; | вопросы к зачету 7-29 |
| | | | Умеет анализировать, | ПР-6 практическая | |

| | | | | | |
|---|--|---|--|---------------------------------------|------------------------|
| | | программного обеспечения, ликвидации их последствия и восстановления работоспособности | решать стандартные профессиональные задачи с применением естественнонаучных и общеинженерных знаний, методов математического анализа и моделирования. | я работа | |
| | | | Владеет методологией теоретических и экспериментальных исследований в области решаемых научных проблем. | УО-2 коллоквиум | |
| 3 | Раздел 3. Дискретизация двумерных краевых задач | ПК-6.3 Разрабатывает программный код, проводит его отладку и тестирование, своевременно принимает меры по выявлению и устранению сбоев и отказов в работе программного обеспечения, ликвидации их последствий и восстановлению работоспособности | Знает методы построения и анализа математических моделей в современном естествознании, технике, экономике и управлении | УО-1 собеседование / устный опрос; | вопросы к зачету 30-41 |
| | | | Умеет разрабатывать вычислительные алгоритмы, реализующие современные математические методы защиты информации; использовать пакеты программ для решения прикладных задач в различных областях знаний | ПР-6 практическая работа | |
| | | | Владеет методикой построения и анализа математических моделей в современном | УО-2 коллоквиум | |

| | | | | | |
|--|--|--|---|--|--|
| | | | естествознании, технике, экономике и управлении | | |
|--|--|--|---|--|--|

Типовые контрольные задания, методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности, а также качественные критерии оценивания, которые описывают уровень сформированности компетенций, представлены в разделе VIII.

V. СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Основная литература

1. Амосов А.А., Дубинский Ю.А., Копченова Н.В. Вычислительные методы. Изд-во. Лань. 2014. -672 с.- Режим доступа: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=42190
2. Волков К.Н., Емельянов В.Н. Вычислительные технологии в задачах механики жидкости и газа. Изд-во Физматлит. 2012. -468 с. Режим доступа: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=59637
3. Марьянц Г.М., Прокофьев А.Б. Основы метода конечных элементов: учебн. пособ. - Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2013. – 80 с.: ил. Режим доступа: <http://aseu.ssau.ru/i/b/OMKE.pdf>
4. Трушин С.И. Строительная механика: Метод конечных элементов: учебн. пособие. - Изд-во НИЦ ИНФРА М. 2019 – 305 с. <https://znanium.com/catalog/document?id=342533> (можно через lib.dvfu.ru).
5. Самогин С.Ю., Хроматов В.Е., Чирков В.П. Метод конечных элементов в задачах сопротивления материалов: учебн. пособие. – Изд-во Физматлит. М. 2012 -200 с. <https://znanium.com/catalog/document?id=61429> (lib.dvfu.ru)
6. Радин В.П. Метод конечных элементов в динамических задачах сопротивления. – учебн. пособие. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2013. - 316 с. <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922114851.html> (lib.dvfu.ru)
7. Каменев С.В. Основы метода конечных элементов в инженерных приложениях. –учебн. пособие. Изд-во Оренбург: ОГУ, 2019 -110с. http://elib.osu.ru/bitstream/123456789/11908/1/94203_20190515.pdf

Дополнительная литература

1. Васильев Ф.П. Методы оптимизации. Кн.1. Изд-во МЦНМО. 2011. –с. 624. http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=9304
2. Алексеев Г.В. Классические методы математической физики: Учебное пособие. Часть 1. - Владивосток: Изд-во Дальневост. ун-та, 2005. – 224 с. <http://window.edu.ru/resource/008/63008>

3. Алексеев Г.В. Классические методы математической физики: Учебное пособие. Часть 2. - Владивосток: Изд-во Дальневост. ун-та, 2005. - 195 с.
<http://window.edu.ru/resource/009/63009>

4. Ильин А.М. Уравнения математической физики. Издательство Физматлит. 2009. 192 с.

5. Васильев Ф.П. Методы оптимизации. Кн.2. Изд-во МЦНМО. 2011. –с. 434. http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=930

6. Даутов Р.З. Программирование МКЭ в MATLAB: Учебное пособие. - Казань: Изд-во Казанского гос. ун-та, 2010. - 71 с.
<http://window.edu.ru/resource/069/76069>

7. Котович А.В., Станкевич И.В. Решение задач теплопроводности методом конечных элементов. Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2010. 87 с.

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

1. <http://www.freefem.org/ff++/ftp/freefem++doc.pdf> Nech F. FreeFEM++. Third Edition. Version 3.0. Руководство пользователя по свободно распространяемому пакету программ с открытым кодом FreeFEM++

2. <http://www.freefem.org/ff++/index.htm> Адрес для скачивания свободно распространяемого пакета программ с открытым кодом FreeFEM++

3. <http://window.edu.ru/resource/152/27152> Вервейко Н.Д., Семькина Т.Д., Гребенников Д.Ю., Яковлев А.Ю. Применение метода конечных элементов в механике сплошных сред: Учебно-методическое пособие. - Воронеж: Изд-во ВГУ, 2003. - 51 с.

4. <http://window.edu.ru/resource/978/32978> Смирнов В.В. Метод конечных элементов. Учебное пособие.
<http://www.exponenta.ru/educat/systemat/smironov/main.asp>

5. <http://window.edu.ru/resource/330/79330> Трудошин В.А. Моделирование систем с распределенными параметрами. Учебное пособие. МГТУ им. Н.Э. Баумана. <http://bigor.bmstu.ru/?cnt/?doc=Mkr/base.cou>

6. <http://window.edu.ru/resource/552/72552> Гергель В.П., Фурсов В.А. Лекции по параллельным вычислениям: Учебное пособие. - Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2009. - 164 с.

7. Электронная каталог библиотеки ДВФУ: <http://lib.dvfu.ru/>

8. Exponenta.Ru <http://www.exponenta.ru/> (Сайт показывает возможности популярных математических пакетов (Mathcad, Matlab, Maple, Mathematica, Statistica) для решения учебных и практических задач; содержит рекомендации, руководства по работе с математическими пакетами. Ссылки на основные ресурсы российского Интернета, посвященные использованию математических

пакетов в образовании и в науке, опыт использования компьютера в математическом образовании. Математика – онлайн)

9. Интернет-библиотека по математике <http://ilib.mccme.ru/> (Сайт Московского Центра непрерывного математического образования)

10. Издательство «Лань»: <http://e.lanbook.com>, к ресурсам которого есть доступ с ДВФУ

11. Math.ru - библиотека <http://www.math.ru/lib/formats> (В библиотеке представлены книги, которые многие годы пользуются популярностью у студентов, преподавателей и просто любителей математики. Также содержит книги по физике).

Перечень информационных технологий и программного обеспечения

1. <http://www.freefem.org/ff++/ftp/freefem++doc.pdf> Nech F. FreeFEM++. Third Edition. Version 3.0. Руководство пользователя по свободно распространяемому пакету программ с открытым кодом FreeFEM++

2. <http://www.freefem.org/ff++/index.htm> Адрес для скачивания свободно распространяемого пакета программ с открытым кодом FreeFEM++

Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. База данных Scopus <http://www.scopus.com/home.url>

2. База данных Web of Science <http://apps.webofknowledge.com/>

VI. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Основа подготовки – конспект студента, где должны быть отражены все основные формулы, определения. Лектор за ограниченное время может лишь дать основы курса. Поэтому конспект - это навигатор по курсу, а не единственный источник знаний. Рекомендуем оставлять поля для своих вопросов, замечаний и дополнений, взятых из учебников или других источников, писать четко, выделять главное, отделять абзацы для лучшего восприятия и осмысления. Конспект с беспорядочными записями делает его почти бесполезным, а качественный экономит время подготовки.

Рекомендуем работать с качественными электронными учебниками и пособиями, содержащими навигатор по курсу, полный глоссарий, тестирование для самоконтроля.

Освоение теоретического курса осуществляется не только в результате работы с традиционными печатными учебными изданиями, своим конспектом, электронными ресурсами сети ДВФУ (Ресурсы научной библиотеки) и Интернета, но и в ходе подготовки к лабораторным занятиям.

Подготовка к практическим занятиям и лабораторным работам

Тема практического задания объявляется преподавателям заранее, поэтому к занятию можно изучить теоретический материал с использованием уже перечисленных ресурсов, в том числе, ЭОР.

Практическая часть курса «Метод конечных элементов» полностью согласована с теоретической частью курса. Темы практических занятий выбраны с таким расчетом, чтобы обеспечить приобретение студентами основных навыков в работе с вариационными формулировками краевых задач, которые лежат в основе применения метода конечных элементов.

От студентов требуется посещение лекций и практических занятий, обязательное участие в аттестационных испытаниях. Особо ценится активное участие в самостоятельной работе, а также качество выполненных работ.

Для успешной работы студент должен освоить предыдущий материал и ознакомиться с заданной преподавателем литературой, активно участвовать при обсуждении рефератов, вынесенных на самостоятельное изучение тем и уметь правильно оформить документацию, а также грамотно изложить основные идеи прочитанной литературы.

Работа с литературой. Рекомендуется использовать различные возможности работы с литературой: фонды научной библиотеки ДВФУ и электронные библиотеки (<http://www.dvfu.ru/library/>), а также доступные для использования другие научно-библиотечные системы.

Подготовка к зачету. К сдаче зачета допускаются обучающиеся, выполнившие все задания (лабораторные работы, самостоятельные работы), предусмотренные учебной программой дисциплины, посетившие не менее 85% аудиторных занятий.

VII. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Перечень материально-технического и программного обеспечения дисциплины приведен в таблице.

Материально-техническое и программное обеспечение дисциплины

| Наименование специальных помещений и | Оснащенность специальных помещений и | Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты |
|--------------------------------------|--------------------------------------|--|
|--------------------------------------|--------------------------------------|--|

| помещений для лекционных, практических занятий и самостоятельной работы | помещений для лекционных, практических занятий и самостоятельной работы | подтверждающего документа |
|---|--|---------------------------|
| <p>D945 - учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации (36 п.м.)</p> <p>При дистанционном обучении занятия проводятся в MS Teams</p> | <p>Мультимедийное оборудование: Экран проекционный ScreenLine Trim White Ice 50 см черная кайма сверху, размер рабочей области 236x147 см Документ-камера AVervision CP355AF ЖК-панель 47", Full HD, LG M4716 ССВА Мультимедийный проектор Mitsubishi EW330U, 3000 ANSI Lumen, 1280x800 Сетевая видеочамера Multipix MP-HD718.</p> | |
| <p>D732 - учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации (45 п.м.)</p> <p>При дистанционном обучении занятия проводятся в MS Teams</p> | <p>Мультимедийное оборудование: Экран проекционный Projecta Elpro Large Electron, 300x173 см, размер рабочей области 290x163 Документ-камера AVervision CP 355 AF Мультимедийный проектор, Mitsubishi FD630U, 4000 ANSI Lumen, 1920x1080 Сетевая видеочамера Multipix MP-HD718 ЖК-панель 47", Full</p> | |

| | | |
|--|---|--|
| | HD, LG M4716 ССВА ЖК-панель 42", Full HD, LG M4214 ССВА ЖК-панель 42", Full HD, LG M4214 ССВА. | |
|--|---|--|

Для проведения учебных занятий по дисциплине, а также для организации самостоятельной работы студентам доступно следующее лабораторное оборудование и специализированные кабинеты, соответствующие действующим санитарным и противопожарным нормам, а также требованиям техники безопасности при проведении учебных и научно-производственных работ.

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

VIII. ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Для дисциплины «Метод конечных элементов» используются следующие оценочные средства:

Устный опрос:

1. Собеседование (УО-1)
2. Коллоквиум (УО-2)
3. Презентация / сообщение (УО-3)

Письменные работы:

1. Практическая работа (ПР-6)

Методические рекомендации, определяющие процедуры оценивания результатов освоения дисциплины

Оценочные средства для промежуточной аттестации

Промежуточная аттестация студентов по дисциплине «Метод конечных элементов» проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной. Форма отчётности по дисциплине – зачет (3-й семестр).

Методические указания по сдаче зачета

Зачет принимается ведущим преподавателем. При большом количестве групп у одного преподавателя или при большой численности потока по распоряжению директора департамента (заместителя директора по учебной и воспитательной работе) допускается привлечение в помощь ведущему преподавателю других преподавателей. В первую очередь привлекаются преподаватели, которые проводили практические занятия по дисциплине в группах.

В исключительных случаях, по согласованию с заместителем директора Института по учебной и воспитательной работе, директор департамента имеет право принять экзамен в отсутствие ведущего преподавателя.

Вопросы к зачету

1. Постановки основных краевых задач: задачи 1 – задачи 8. Вариационные формулировки задачи 1.
2. Вариационные формулировки задач 2 и 3.
3. Вариационные формулировки задач 4 и 5.
4. Вариационные формулировки задач 6 и 7.
5. Вариационные формулировки задачи 8.
6. Сущность метода проекций (моментов). Методы коллокаций, Галеркина, Бубнова-Галеркина, Ритца, наименьших квадратов для задачи 1.
7. Проекционные методы для задач 2 и 3.
8. Проекционные методы для задач 4 и 5.
9. Понятие сплайна. Свойства сплайнов.
10. МКЭ для задачи 1.
11. Исследование сходимости МКЭ для задачи 1.
12. Применение МКЭ для решения задачи 2.
13. Применение МКЭ для решения задачи 3.
14. Сущность метода проекций (моментов) дискретизации двумерной краевой задачи. Метод коллокаций, Галеркина, Бубнова-Галеркина, Ритца, наименьших квадратов для задачи 6.
15. Основные этапы применения МКЭ для дискретизации двумерной краевой задачи 6.
16. Построение разностной схемы для задачи 6 на основе МКЭ и исследование сходимости МКЭ.
17. Применение МКЭ для дискретизации двумерной краевой задачи 8.
18. Пакет Free-FEM. Основные правила применения пакета Free Fem при решении эллиптических краевых задач.

Перечень вопросов для промежуточной аттестации

1. Сущность метода проекций дискретизации краевых задач. Основные проекционные методы.
2. Сущность метода коллокаций дискретизации краевых задач.
3. Сущность метода Галеркина дискретизации краевых задач. Сведение дифференциальной формулировки к вариационной формулировке.
4. Эквивалентность вариационных формулировок для простейшей одномерной краевой задачи Дирихле.
5. Понятие о сильном, полусильном, полуслабом и слабом решениях краевой задачи на примере одномерной задачи Дирихле.
6. Понятие о сильном, полусильном, полуслабом и слабом решениях краевой задачи на примере одномерной краевой задачи 3-го рода.
7. Связь между дифференциальной краевой задачей и задачей минимизации квадратичного функционала.
8. Сущность метода Бубнова-Галеркина дискретизации краевых задач.
9. Сущность метода Ритца дискретизации краевых задач.
10. Связь между методами Бубнова-Галеркина и Ритца дискретизации краевых задач.
11. Основная теорема о свойствах метода Ритца дискретизации краевых задач.
12. Сущность метода наименьших квадратов дискретизации краевых задач.

Дополнительные вопросы

1. Применение математического моделирования в динамике жидкости. Примеры гидродинамических моделей.
2. Модели гидродинамики идеальной жидкости.
3. Модели гидродинамики вязкой жидкости.
4. Модели колебательных процессов.
5. Усложненные модели гидродинамики. Методы построения математических моделей.
6. Модель распространения звуковых волн в жидкой среде.
7. Основные методы дискретизации краевых задач.
8. Сущность метода конечных разностей. Исследование сходимости метода. Правило Рунге-Кутты. Уточнение порядка точности метода с помощью экстраполяции по Ричардсону.
9. Сущность метода конечных элементов. Связь с методом Бубнова-Галеркина.
10. Применение пакетов прикладных программ для дискретизации и численного решения краевых задач.
11. Сущность и основные особенности пакета FreeFem++.
12. Некоторые сведения о математическом аппарате метода конечных элементов.

13. Понятие обобщенной функции. Пространство обобщенных функций.
14. Основные операции с обобщенными функциями.
15. Пространства Соболева. Основные факты. Примеры.
16. Понятие сопряженного пространства. Сопряженные к пространствам Соболева.
17. Понятие области с липшицевой границей. Пространства следов. Сопряженные к пространствам следов.
18. Понятие об операторе вложения. Примеры теорем вложения.
19. Теорема об эквивалентности вариационной задачи и задачи минимизации квадратичного функционала.
20. Коэрцитивные билинейные формы. Теорема Лакса-Мильграма.

Критерии оценивания студента на экзамене

| Оценка | Требования к сформированным компетенциям |
|------------------|---|
| «зачтено» | <p>Студент глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, использует в ответе материал монографической литературы, правильно обосновывает принятое решение, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических задач.</p> <p>Студент твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения.</p> <p>Студент имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, испытывает затруднения при</p> |

| | |
|--------------------|---|
| | выполнении практических работ. |
| «незачтено» | Студент не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по дисциплине. |

Оценочные средства для промежуточной аттестации

Темы для рефератов

1. Элементы теории обобщенных функций.
2. Пространства Соболева. Пространства следов.
3. Эквивалентность вариационной задачи и задачи минимизации квадратичного функционала.
4. Теорема Лакса-Мильграма. Доказательство существования и единственности решения задачи 2.
5. Доказательство существования и единственности решения задачи 3.
6. Доказательство существования и единственности решения задачи 4.
7. Доказательство существования и единственности решения задачи 5.
8. Доказательство существования и единственности решения задачи 6.
9. Доказательство существования и единственности решения задачи 7.
10. Доказательство существования и единственности решения задачи 8.
11. Некоторые методы решения сеточных уравнений.
12. Метод прогонки решения систем с трехдиагональной матрицей.
13. Метод разделения переменных решения разностных задач.

Вопросы к зачету

1. Постановки основных краевых задач: задачи 1 – задачи 8.
2. Вариационные формулировки задач 1 и 2.
3. Вариационные формулировки задачи 3.
4. Вариационные формулировки задач 4 и 5.
5. Вариационные формулировки задач 6 и 7.
6. Вариационные формулировки задачи 8.
7. Сущность метода проекций (моментов). Метод коллокаций для задачи 1.
8. Метод Галеркина для задачи 1. Метод Бубнова--Галеркина для задачи 1.
9. Методы Рунге и наименьших квадратов для задачи 1.

10. Основная теорема для метода Рунге.
11. Проекционные методы для задачи 2.
12. Проекционные методы для задач 3 и 4.
13. Сущность метода проекций. Методы коллокаций и Галеркина для задач 4 и 5.
14. Методы Бубнова--Галеркина и Рунге для задач 4 и 5.
15. Методы наименьших квадратов для задач 4 и 5.
16. Понятие сплайна. Свойства сплайнов.
17. МКЭ для задачи 1.
18. Исследование сходимости МКЭ для задачи 1.
19. Применение МКЭ для решения задачи 2.
20. Исследование сходимости МКЭ для решения задачи 2.
21. Применение МКЭ для решения задачи 3.
22. Исследование сходимости МКЭ для решения задачи 3.
23. Сущность метода проекций (моментов). Метод коллокаций для задачи 1.
24. Метод Галеркина для задачи 1. Метод Бубнова--Галеркина для задачи 1.
25. Методы Рунге и наименьших квадратов для задачи 1.
26. Основная теорема для метода Рунге.
27. Понятие сплайна. Свойства сплайнов.
28. МКЭ для задачи 1.
29. Применение МКЭ для задач 4 и 5.
30. Основные этапы МКЭ для двумерных задач.
31. Триангуляция области и построение базисных функций.
32. Формирование матрицы коэффициентов. Введение барицентрических координат.
33. Формирование матрицы в случае прямоугольной области I.
34. Формирование матрицы в случае прямоугольной области II.
35. Вычисление коэффициентов, обусловленных краевыми условиями 3--го рода.
36. Построение разностной схемы на основе МКЭ.
37. Исследование сходимости МКЭ для решения задачи 6.
38. Применение МКЭ для задачи 7.
39. Исследование сходимости МКЭ для решения задачи 7.
40. Применение МКЭ для задачи 8.
41. Пакет Free-FEM. Основные правила применения пакета Free Fem при решении эллиптических краевых задач.

Перечень вопросов для промежуточной аттестации

1. Основные модели динамики идеальной жидкости.
 2. Основные модели динамики вязкой жидкости.
 3. Уравнение переноса в качестве модели адвекции (переноса) вещества.
- Модель адвекции-реакции.

4. Уравнение теплопроводности в качестве простейшей диффузионной модели распространения тепла. Физический смысл коэффициента a^2 , входящего в уравнение теплопроводности. Уравнение конвекции-диффузии вещества. Уравнение конвекции-диффузии-реакции.

5. Уравнение Пуассона в качестве простейшей модели стационарных процессов: стационарного распределения температуры в теле, потенциального (безвихревого) течения несжимаемой жидкости, распределения гравитационного потенциала в пространстве, распределения электростатического (кулонова) потенциала в области.

6. Волновое уравнение в качестве простейшей модели волновых процессов распространения акустических волн (в однородной среде), распространения электромагнитных волн (в вакууме). Физический смысл коэффициента a^2 , входящего в волновое уравнение.

7. Сущность метода проекций дискретизации краевых задач. Основные проекционные методы.

8. Сущность метода коллокаций дискретизации краевых задач.

9. Сущность метода Галеркина дискретизации краевых задач. Сведение дифференциальной формулировки к вариационной формулировке.

10. Эквивалентность вариационных формулировок для простейшей одномерной краевой задачи Дирихле.

11. Понятие о сильном, полусильном, полуслабом и слабом решениях краевой задачи на примере одномерной задачи Дирихле.

12. Понятие о сильном, полусильном, полуслабом и слабом решениях краевой задачи на примере одномерной краевой задачи 3-го рода.

13. Связь между дифференциальной краевой задачей и задачей минимизации квадратичного функционала.

14. Сущность метода Бубнова-Галеркина дискретизации краевых задач.

15. Сущность метода Ритца дискретизации краевых задач.

16. Связь между методами Бубнова-Галеркина и Ритца дискретизации краевых задач.

17. Основная теорема о свойствах метода Ритца дискретизации краевых задач.

18. Сущность метода наименьших квадратов дискретизации краевых задач.

Дополнительные вопросы

1. Применение математического моделирования в динамике жидкости.

Примеры гидродинамических моделей.

2. Модели гидродинамики идеальной жидкости.

3. Модели гидродинамики вязкой жидкости.

4. Модели колебательных процессов.

5. Усложненные модели гидродинамики. Методы построения математических моделей.

6. Модель распространения звуковых волн в жидкой среде.
7. Основные методы дискретизации краевых задач.
8. Сущность метода конечных разностей. Исследование сходимости метода. Правило Рунге-Кутты. Уточнение порядка точности метода с помощью экстраполяции по Ричардсону.
9. Сущность метода конечных элементов. Связь с методом Бубнова-Галеркина.
10. Применение пакетов прикладных программ для дискретизации и численного решения краевых задач.
11. Сущность и основные особенности пакета FreeFem++.
12. Некоторые сведения о математическом аппарате метода конечных элементов.
13. Понятие обобщенной функции. Пространство обобщенных функций.
14. Основные операции с обобщенными функциями.
15. Пространства Соболева. Основные факты. Примеры.
16. Понятие сопряженного пространства. Сопряженные к пространствам Соболева.
17. Понятие области с липшицевой границей. Пространства следов. Сопряженные к пространствам следов.
18. Понятие об операторе вложения. Примеры теорем вложения.
19. Теорема об эквивалентности вариационной задачи и задачи минимизации квадратичного функционала.
20. Коэрцитивные билинейные формы. Теорема Лакса-Мильграма.

Текущая аттестация студентов по дисциплине «Метод конечных элементов» проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ в форме практических и лабораторных работ по оцениванию фактических результатов обучения студентов. Объектами оценивания выступают:

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

Промежуточная аттестация студентов по дисциплине «Метод конечных элементов» проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ в виде зачета в устной форме (ответы на вопросы билетов).

Критерии выставления оценки «зачтено» студенту на зачете по дисциплине «Метод конечных элементов»

Оценка «зачтено» выставляется студенту, если он твердо знает, по крайней мере, основной материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения.

Оценка «не зачтено» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по дисциплине.

Критерии выставления оценки по результатам коллоквиума:

«отлично» - если ответ показывает прочные знания основных процессов изучаемой предметной области; отличается глубиной и полнотой раскрытия темы, владением терминологического аппарата, умением объяснять сущность, явлений, процессов, событий, делать выводы и обобщения, давать аргументированные ответы, приводить примеры; характеризуется свободным владением монологической речи, логичностью и последовательностью ответа, умением приводить примеры современных проблем изучаемой области.

«хорошо» - ответ, обнаруживающий прочные знания основных процессов изучаемой предметной области; отличающийся глубиной и полнотой раскрытия темы, владением терминологического аппарата, умением объяснять сущность, явлений, процессов, событий, делать выводы и обобщения, давать аргументированные ответы, приводить примеры; характеризуется свободным владением монологической речи, логичностью и последовательностью ответа. Но допускаются одна - две неточности в ответе.

«удовлетворительно» - оценивается ответ, свидетельствующий в основном о знании процессов изучаемой предметной области; отличающийся недостаточной глубиной и полнотой раскрытия темы, знанием основных вопросов теории, слабо сформированными навыками анализа явлений и процессов, недостаточным умением давать аргументированные ответы и приводить примеры; характеризуется недостаточно свободным владением монологической речи, недостаточной логичностью и последовательностью ответа. Допускается несколько ошибок в содержании ответа; неумение привести пример развития ситуации, провести связь с другими аспектами изучаемой области.

«неудовлетворительно» - ответ, обнаруживающий незнание процессов изучаемой предметной области; отличающийся неглубоким раскрытием темы,

незнанием основных вопросов теории, несформированными навыками анализа явлений, процессов; характеризующийся неумением давать аргументированные ответы, слабым владением монологической речью, отсутствием логичности и последовательности; допускающий серьезные ошибки в содержании ответа и незнание современной проблематики изучаемой области.

Критерии оценивания практической работы

Результатом лабораторной работы является отчет по лабораторной работе.

В процессе подготовки отчетов к практическим работам у студентов развиваются навыки составления письменной документации и систематизации имеющихся знаний. При составлении отчетов рекомендуется придерживаться следующей структуры:

- Постановка задачи;
- Метод решения;
- Алгоритм метода;
- Программная реализация алгоритма;
- Спецификация используемых функций и типов данных;
- Описание тестов, на которых программа проходила проверку;
- Результаты численного эксперимента.

Отчет по практической работе должен полностью удовлетворять условию задачи. В случае некачественно выполненных отчетов (не соответствующих заявленным требованиям) результирующий балл за работу может быть снижен. Студент должен продемонстрировать отчетливое и свободное владение концептуально-понятийным аппаратом, научным языком и терминологией. Наличие всех отчетов является допуском к зачету.