

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Факультет компьютерных технологий и прикладной математики

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе,
качеству образования – первый
проректор

Хагуров Т.А.

подпись

« 26 » мая 2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)
Б1.В.ДВ.04.01 ОСНОВЫ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Направление подготовки 01.03.02 Прикладная математика и информатика

Направленность (профиль) Математические и информационные технологии
в цифровой экономике

Форма обучения Очная

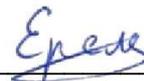
Квалификация Бакалавр_____

Краснодар 2023__

Рабочая программа дисциплины «Основы метода конечных элементов» составлена в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки 01.03.02 Прикладная математика и информатика, профиль Математические и информационные технологии в цифровой экономике

Программу составил:

А.А. Еремин, кандидат физико-математических наук,
доцент кафедры прикладной математики



ПОДПИСЬ

Рабочая программа дисциплины «Основы метода конечных элементов» утверждена на заседании кафедры прикладной математики протокол № 10 от «18» мая 2023 г.

И.о. заведующего кафедрой (разработчика) Письменский А.В.



Утверждена на заседании учебно-методической комиссии факультета компьютерных технологий и прикладной математики протокол № 5 от «19» мая 2023 г.

Председатель УМК факультета Коваленко А.В.



Рецензенты:

Свидлов А.А., кандидат физ.-мат. наук, научный сотрудник лаборатории проблем распределения стабильных изотопов в живых системах ЮНЦ РАН, г. Краснодар,

Голуб М.В., доктор. физ.-мат. наук, доцент, заведующий кафедрой теории функций ФГБОУ ВО «КубГУ»

1 Цели и задачи изучения дисциплины (модуля)

1.1 Цель освоения дисциплины

Целью изучения дисциплины «Основы метода конечных элементов» является освоение ключевых понятий и формирование практических навыков в области применения метода конечных элементов для решения краевых задач для обыкновенных дифференциальных уравнений и уравнений в частных производных.

1.2 Задачи дисциплины

- сформировать у обучающихся представление об основных понятиях, используемых в методе конечных элементов (конечный элемент, конечно-элементная сетка, матрица жесткости и т.д.);
- освоить базовые методики применения метода конечных элементов для численного решения краевых задач для уравнений в частных производных;
- развить умения анализа и практической интерпретации полученных численных результатов;
- поднять общий уровень математической культуры обучающихся;
- выработать умения использовать разного рода справочные материалы и пособия, самостоятельно расширяя математические знания, необходимые для решения практических задач.

1.3 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина «Методы моделирования в волновой механике» относится к относится к части блока 1, формируемой участниками образовательных отношений (Б1.В), учебного плана.

Она является естественным продолжением читаемых ранее курсов по современному анализу и программированию. Для успешного освоения дисциплины студент должен владеть знаниями, умениями и навыками по дисциплинам «Математический анализ», «Алгебра и аналитическая геометрия», «Дифференциальные уравнения», «Численные методы», «Методы программирования» и «Уравнения математической физики».

1.4 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Изучение данной учебной дисциплины направлено на формирование у обучающихся следующих компетенций:

Код и наименование индикатора*	Результаты обучения по дисциплине
ПК-1 Способен решать актуальные и значимые задачи прикладной математики и информатики	
ИПК-1.8 (40.001 А/02.5 Др.2) Деятельность, направленная на решение задач актуальные и значимые задачи прикладной математики и информатики аналитического характера, предполагающих выбор и многообразие актуальных способов решения задач	Знает основные методы математического и компьютерного моделирования, особенности работы с конечноэлементными пакетами, справочными пособиями и технической и математической литературой по методу конечных элементов
	Умеет применять основные методы конечно-элементного моделирования и работать со справочными пособиями и технической и математической литературой по методу конечных элементов
	Владеет навыками применения знаний по современному математическому аппарату для решения математических задач, способностями эффективно планировать необходимые ресурсы для проектирования и организации вычислений; навыками подготовки отчетов о результатах исследовательских и профессиональных работ.
ПК-3 Способен ориентироваться в современных алгоритмах компьютерной математики; обладать способностями к эффективному применению и реализации математически сложных алгоритмов	

Код и наименование индикатора*	Результаты обучения по дисциплине
ИПК-3.1 (06.001 D/03.06 Зн.3) Методы и средства проектирования программного обеспечения при реализации математически сложных алгоритмов	Знает основные понятия, положения и приемы метода конечных элементов как одного из самых эффективных методов моделирования и численного анализа
	Умеет реализовывать элементы алгоритмов или математических моделей для метода конечных элементов в виде компьютерных программ, а также использовать существующие конечно-элементные программные продукты для создания компьютерных моделей и проведения расчетов
	Владеет навыками анализа программного кода с точки зрения его адекватности той математической модели, которую он реализует и его вычислительной сложности, вывода, интерпретации и анализа численных результатов.

Результаты обучения по дисциплине достигаются в рамках осуществления всех видов контактной и самостоятельной работы обучающихся в соответствии с утвержденным учебным планом.

Индикаторы достижения компетенций считаются сформированными при достижении соответствующих им результатов обучения.

2. Структура и содержание дисциплины

2.1 Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 2 зачетных единицы (72 часа), их распределение по видам работ представлено в таблице

Виды работ		Всего часов	Форма обучения
			очная
			8 семестр (часы)
Контактная работа, в том числе:		32,2	32,2
Аудиторные занятия (всего):		28	42
занятия лекционного типа		14	14
лабораторные занятия		14	14
Иная контактная работа:		4,2	4,2
Контроль самостоятельной работы (КСР)		4	4
Промежуточная аттестация (ИКР)		0,2	0,2
Самостоятельная работа, в том числе:		39,8	39,8
Расчётно-графическая работа (РГР) (подготовка)		29,8	29,8
Самостоятельное изучение разделов, самоподготовка (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников и учебных пособий, подготовка к лабораторным и практическим занятиям, коллоквиумам и т.д.)		10	10
Общая трудоёмкость	час.	72	72
	в том числе контактная работа	32,2	32,2
	зач. ед	2	2

2.2 Содержание дисциплины

Распределение видов учебной работы и их трудоемкости по разделам дисциплины.

Разделы (темы) дисциплины, изучаемые в 8 семестре (4 курса) (очная форма обучения)

№	Наименование разделов (тем)	Количество часов				
		Всего	Аудиторная работа			Внеаудиторная работа
			Л	ПЗ	ЛР	
1.	Вариационные и проекционные методы аппроксимации	11	4		2	5
2.	Метод конечных элементов для решения одномерных краевых задач для уравнений в частных производных	21,8	4		6	11,8
3.	Метод конечных элементов для решения двумерных краевых задач для уравнений в частных производных	20	4		4	12
4.	Проприетарные и свободнораспространяющиеся программные средства для конечноэлементного моделирования	15	2		2	11
<i>ИТОГО по разделам дисциплины</i>		67,8	14		14	39,8
Контроль самостоятельной работы (КСР)		4				
Промежуточная аттестация (ИКР)		0,2				
Общая трудоемкость по дисциплине		72				

Примечание: Л – лекции, ПЗ – практические занятия / семинары, ЛР – лабораторные занятия, СРС – самостоятельная работа студента

2.3 Содержание разделов (тем) дисциплины

2.3.1 Занятия лекционного типа

№	Наименование раздела (темы)	Тематика занятий/работ	Форма текущего контроля
1.	Вариационные и проекционные методы аппроксимации	Задача минимизации невязки; слабая постановка задачи и обобщенные решения; вариация, функционал энергии, метод Ритца, метод наименьших квадратов; проекционные методы Галеркина, метод коллокаций	Устный опрос
2.	Метод конечных элементов для решения одномерных краевых задач для обыкновенных дифференциальных уравнений	Понятие о конечном элементе, функции формы; слабая постановка; одномерный элемент с кусочно-линейными базисными функциями; элементная матрица, ансамблирование, матрица жёсткости; решение систем уравнений ленточного типа.	Устный опрос
3.	Метод конечных элементов для решения двумерных краевых задач для уравнений в частных производных	Триангуляция, линейный треугольный элемент и применение четырехугольных элементов в задачах аппроксимации; решение двумерных задач теплопроводности и волновых задач упругости.	Устный опрос
4.	Проприетарные и свободнораспространяющиеся программные средства для конечноэлементного моделирования	Обзор основных проприетарного и свободнораспространяющегося программного обеспечения для конечноэлементного моделирования. Разработка конечноэлементных моделей в специализированных пакетах программ.	Устный опрос

2.3.2 Занятия семинарского типа (лабораторные работы)

№	Наименование раздела (темы)	Содержание раздела (номера и наименования лабораторных работ)	Форма текущего контроля
1.	Вариационные и проекционные методы аппроксимации	1. Вариационные методы аппроксимации и проекционные методы Галеркина.	ЛР
2.	Метод конечных элементов для решения	2. Одномерный конечный элемент с кусочнолинейными базисными функциями	ЛР, РГЗ

	одномерных краевых задач для обыкновенных дифференциальных уравнений	3. Программирование элементных матриц и матриц жесткости для краевых задач одномерной краевой задачи для обыкновенного дифференциального уравнения 4. Программная реализация и решение разрешающих уравнений; численный анализ сходимости решения краевых задач методом конечных элементов	
3.	Метод конечных элементов для решения двумерных краевых задач для уравнений в частных производных	5. Триангуляция и линейный треугольный конечный элемент; Элементные матрицы и матрица жесткости для краевых задач на плоскости 6. Программная реализация и приемы решения разрешающих систем линейных уравнений для конечных элементов на плоскости	ЛР, РГЗ
4.	Проприетарные и свободнораспространяющиеся программные средства для конечноэлементного моделирования	7. Решение двумерных задач в конечно-элементных пакетах	РГЗ

Защита лабораторной работы (ЛР), выполнение курсового проекта (КП), курсовой работы (КР), расчетно-графического задания (РГЗ), написание реферата (Р), эссе (Э), коллоквиум (К), тестирование (Т) и т.д.

При изучении дисциплины могут применяться электронное обучение, дистанционные образовательные технологии в соответствии с ФГОС ВО.

2.4 Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)

№	Вид самостоятельной работы	Перечень учебно-методического обеспечения дисциплины по выполнению самостоятельной работы
1	2	3
1	Проработка и повторение лекционного материала, материала учебной и научной литературы	Методические указания для подготовки к лекционным и семинарским занятиям, утвержденные на заседании кафедры прикладной математики факультета компьютерных технологий и прикладной математики ФГБОУ ВО «КубГУ», протокол №10 от 15.05.2019 г. Методические указания по выполнению самостоятельной работы, утвержденные на заседании кафедры прикладной математики факультета компьютерных технологий и прикладной математики ФГБОУ ВО «КубГУ», протокол №10 от 15.05.2019 г.
2	Подготовка к лабораторным занятиям	Методические указания по выполнению лабораторных работ, утвержденные на заседании кафедры прикладной математики факультета компьютерных технологий и прикладной математики ФГБОУ ВО «КубГУ», протокол №10 от 15.05.2019 г.
3	Подготовка к решению задач	Методические указания по выполнению самостоятельной работы, утвержденные на заседании кафедры прикладной математики факультета компьютерных технологий и прикладной математики ФГБОУ ВО «КубГУ», протокол №10 от 15.05.2019 г.
4	Подготовка к решению расчетно-графических заданий (РГЗ)	Методические указания по выполнению расчетно-графических заданий, утвержденные на заседании кафедры прикладной математики факультета компьютерных технологий и прикладной математики ФГБОУ ВО «КубГУ», протокол №10 от 15.05.2019 г. Методические указания по выполнению самостоятельной работы, утвержденные на заседании кафедры прикладной математики факультета компьютерных технологий и прикладной математики ФГБОУ ВО «КубГУ», протокол №10 от 15.05.2019 г.
5	Подготовка к текущему контролю	Методические указания по выполнению самостоятельной работы, утвержденные на заседании кафедры прикладной математики факультета компьютерных технологий и прикладной математики ФГБОУ ВО «КубГУ», протокол №10 от 15.05.2019 г.

Учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся из числа инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ) предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

Для лиц с нарушениями зрения:

- в печатной форме увеличенным шрифтом,
- в форме электронного документа,
- в форме аудиофайла,
- в печатной форме на языке Брайля.

Для лиц с нарушениями слуха:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа,
- в форме аудиофайла.

Данный перечень может быть конкретизирован в зависимости от контингента обучающихся.

3. Образовательные технологии, применяемые при освоении дисциплины (модуля)

Лекционные материалы реализуются с помощью электронных презентаций. При реализации учебной работы по дисциплине «Основы метода конечных элементов» используются следующие образовательные технологии:

- интерактивная подача материала с мультимедийной системой;
- обсуждение сложных и дискуссионных вопросов;
- разбор конкретных исследовательских задач.

Занятия, проводимые с использованием интерактивных технологий

№	Наименование разделов (тем)	Используемые интерактивные образовательные технологии	Количество интерактивных часов
1.	Вариационные и проекционные методы аппроксимации	интерактивная подача материала с мультимедийной системой	4
2.	Метод конечных элементов для решения одномерных краевых задач для обыкновенных дифференциальных уравнений	интерактивная подача материала с мультимедийной системой	4
3.	Метод конечных элементов для решения двумерных краевых задач для уравнений в частных производных	интерактивная подача материала с мультимедийной системой	4
4.	Проприетарные и свободнораспространяющиеся программные средства для конечноэлементного моделирования	интерактивная подача материала с мультимедийной системой	2
	<i>Итого по дисциплине:</i>		14

Лабораторное занятие позволяет научить студента применять теоретические знания при решении и исследовании конкретных задач, развить математическую интуицию и творческое мышление. Разбор конкретных ситуаций, математическое моделирование задач, встречающихся на практике (проблемное обучение), командная работа, визуализация и обсуждение результатов анализа широко используется при проведении лабораторных, а

также самостоятельных работ.

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья предусмотрена организация консультаций с использованием электронной почты.

4. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации

Оценочные средства предназначены для контроля и оценки образовательных достижений обучающихся, освоивших программу учебной дисциплины «Методы моделирования в волновой механике».

Оценочные средства включает контрольные материалы для проведения **текущего контроля** в форме индивидуальных расчетно-графических задач и **промежуточной аттестации** в форме вопросов и заданий к зачету.

Структура оценочных средств для текущей и промежуточной аттестации

№ п/п	Код и наименование индикатора	Результаты обучения	Наименование оценочного средства	
			Текущий контроль	Промежуточная аттестация
1	ИПК-1.8 (40.001 А/02.5 Др.2) Деятельность, направленная на решение актуальных и значимых задач прикладной математики и информатики аналитического характера, предполагающих выбор и многообразие актуальных способов решения задач	- знает основные методы математического и компьютерного моделирования, особенности работы с конечноэлементными пакетами, справочными пособиями и технической и математической литературой по методу конечных элементов - умеет применять основные методы конечно-элементного моделирования и работать со справочными пособиями и технической и математической литературой по методу конечных элементов - владеет навыками применения знаний по современному математическому аппарату для решения математических задач, способностями эффективно планировать необходимые ресурсы для проектирования и организации вычислений; навыками подготовки отчетов о результатах исследовательских и профессиональных работ.	Индивидуальные расчетно-графические задачи 1, 2	Вопросы на зачете 1-7
2	ИПК-3.1 (06.001 Д/03.06 Зн.3) Методы и средства проектирования программного обеспечения при реализации математически сложных алгоритмов	- знает основные понятия, положения и приемы метода конечных элементов как одного из самых эффективных методов моделирования и численного анализа - умеет реализовывать элементы алгоритмов или	Индивидуальные расчетно-графические задачи 1, 2	Вопросы на зачете 10, 18, 19

		<p>математических моделей для метода конечных элементов в виде компьютерных программ, а также использовать существующие конечно-элементные программные продукты для создания компьютерных моделей и проведения расчетов</p> <p>- владеет навыками анализа программного кода с точки зрения его адекватности той математической модели, которую он реализует и его вычислительной сложности, вывода, интерпретации и анализа численных результатов.</p>		
--	--	--	--	--

Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

Примеры вопросов для устных теоретических опросов

1. Как производится дискретизация одномерного уравнения в рамках МКЭ?
2. Каким требованиям должен отвечать конечный элемент стержня?
3. Какие типы конечных элементов используются стержневых систем?
4. Какие конечные элементы используются при расчете пластин, оболочек, массивных тел?
5. Что представляют собой местная и общая системы координат в МКЭ?
6. Для чего нужна матрица направляющих косинусов?
7. Каким образом получена матрица жесткости одномерного уравнения в местной системе координат?
8. Что представляют собой элементы матрицы жесткости?
9. Как перевести матрицу жесткости одномерного элемента из местной системы координат в общую систему?
10. Как перевести матрицу жесткости одномерного элемента из общей в местную систему координат?
11. Что представляет собой вектор узловых нагрузок?
12. Каким образом учитываются опорные связи?
13. В каком порядке вычисляются внутренние усилия?
14. Какая нумерация узлов является оптимальной?
15. Перечислите основные этапы расчета по МКЭ.
16. Каким образом осуществляется проверка результатов расчета в МКЭ

Примеры индивидуальных расчетно-графических заданий к лабораторным работам

Лабораторные работа № 1 и 2.

РГЗ 1: Разработать алгоритм и компьютерную вычислительную программу для решения краевой задачи для гармонических колебаний струны методом конечных элементов с кусочно-линейной аппроксимацией; найти точное аналитическое решение, сравнить его с приближенным, исследовать сходимость решения в зависимости от частоты колебаний ω :

- B 1. $u''(x) + k^2u(x) = x^2, \quad u(0) = 1, \quad u'(1) = 0, \quad k = \omega/2$
- B 2. $u''(x) + k^2u(x) = 2x, \quad u'(0) = 1, \quad u(1) = 0, \quad k = \omega/3$
- B 3. $u''(x) + k^2u(x) = 2x-1, \quad u(0) = 2, \quad u'(1) = 0, \quad k = \omega/3$
- B 4. $u''(x) + k^2u(x) = \frac{x^2}{2}, \quad u'(0) = 1, \quad u(1) = 0, \quad k = \omega/4$
- B 5. $u''(x) + k^2u(x) = e^x, \quad u(0) = 1, \quad u(1) = 0, \quad k = \omega$
- B 6. $u''(x) + k^2u(x) = e^{-x}, \quad u'(0) = 1, \quad u(1) = 0, \quad k = \omega/2$
- B 7. $u''(x) + k^2u(x) = x(1-x), \quad u'(0) = 1, \quad u(1) = 0, \quad k = \omega/2$
- B 8. $u''(x) + k^2u(x) = x(1-x^2), \quad u(0) = 1, \quad u'(1) = 0, \quad k = \omega$
- B 9. $u''(x) + k^2u(x) = x^3, \quad u'(0) = 2, \quad u'(1) = 0, \quad k = \omega$
- B 10. $u''(x) + k^2u(x) = \cos x, \quad u(0) = 1, \quad u'(1) = 0, \quad k = \omega$

Лабораторная работа № 3.

РГЗ 2: Разработать алгоритм и компьютерную программу для численного решения уравнения Гельмгольца $\Delta u(x,y) + k^2u(x,y) = 0$ в области Ω (ограниченная линиями Γ_k) методом конечных элементов с триангуляцией кусочно-линейными функциями; исследовать численную сходимость решения. Граничные условия и волновые числа даны в соответствии с вариантом:

B 1.

$$\frac{\partial u}{\partial n} = \begin{cases} 1 & (x,y) \in \Gamma_1 \\ 0 & (x,y) \in \Gamma_2 \cup \Gamma_4 \cup \Gamma_5 \end{cases}; \quad u|_{\Gamma_3} = 0$$

$k = \omega;$

B 2.

$$\frac{\partial u}{\partial n} = \begin{cases} 1 & (x,y) \in \Gamma_4 \\ 0 & (x,y) \in \Gamma_1 \cup \Gamma_2 \cup \Gamma_5 \end{cases}; \quad u|_{\Gamma_3} = 0$$

$k = 2\omega;$

B 3.

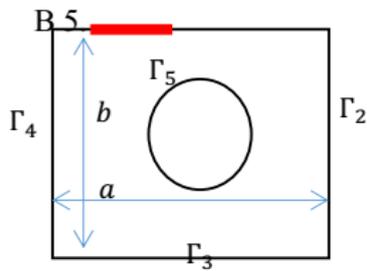
$$\frac{\partial u}{\partial n} = \begin{cases} 1 & (x,y) \in \Gamma_0 \\ 0 & (x,y) \in \Gamma_1/\Gamma_5 \cup \Gamma_2 \cup \Gamma_4 \end{cases}; \quad u|_{\Gamma_3} = 0$$

непрерывность u и $\partial u / \partial y$

B 4.

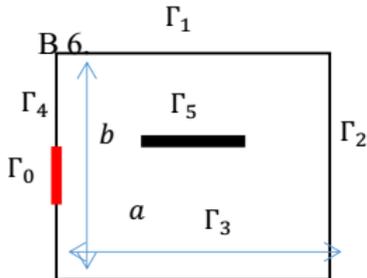
$$\frac{\partial u}{\partial n} = \begin{cases} 1 & (x,y) \in \Gamma_0 \\ 0 & (x,y) \in \Gamma_1/\Gamma_0 \cup \Gamma_2 \cup \Gamma_4 \end{cases}; \quad u|_{\Gamma_3} = 0$$

$k = \omega;$



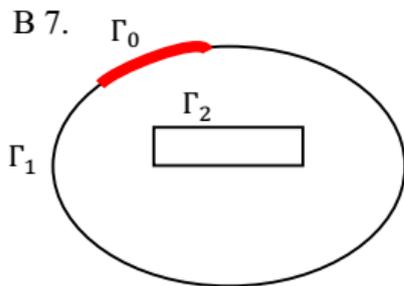
$$\frac{\partial u}{\partial n} = \begin{cases} 1 & (x,y) \in \Gamma_0 \\ 0 & (x,y) \in \Gamma_1/\Gamma_0 \cup \Gamma_2 \cup \Gamma_4 \end{cases}; u|_{\Gamma_3} = 0$$

$$k = 2\omega;$$



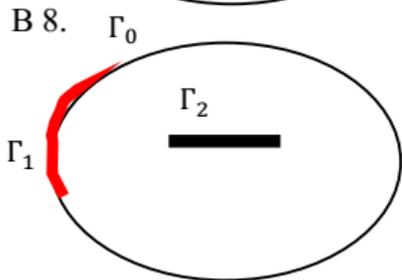
$$\frac{\partial u}{\partial n} = \begin{cases} 1 & (x,y) \in \Gamma_0 \\ 0 & (x,y) \in \Gamma_1 \cup \Gamma_2 \cup \Gamma_4/\Gamma_0 \end{cases}; u|_{\Gamma_3} = 0$$

$$k = 0.5\omega;$$



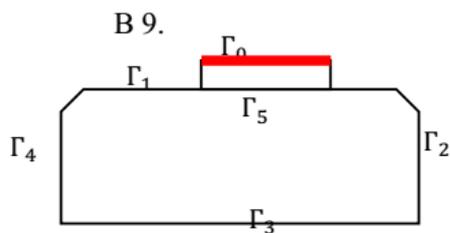
$$\frac{\partial u}{\partial n} = \begin{cases} 1 & (x,y) \in \Gamma_0 \\ 0 & (x,y) \in \Gamma_1/\Gamma_0 \cup \Gamma_2 \end{cases}$$

$$k = 0.5\omega;$$



$$\frac{\partial u}{\partial n} = \begin{cases} 1 & (x,y) \in \Gamma_0 \\ 0 & (x,y) \in \Gamma_1/\Gamma_0 \cup \Gamma_2 \end{cases}$$

$$k = 2\omega;$$



$$\frac{\partial u}{\partial n} = \begin{cases} 1 & (x,y) \in \Gamma_0 \\ 0 & (x,y) \in \Gamma_1/\Gamma_5 \cup \Gamma_2 \cup \Gamma_4 \end{cases}; u|_{\Gamma_3} = 0$$

непрерывность u и $\frac{\partial u}{\partial n}$

Лабораторная работа № 4.

РГЗ 3: Используя средства конечноэлементного пакета Comsol (или свободно распространяемого пакета конечноэлементного моделирования) построить численное решение краевой задачи из РГЗ 2.

По результатам выполнения лабораторных работ необходимо подготовить презентацию, включающую в себя описание постановки задачи, метода решения, а визуализации получаемых результатов.

Зачетно-экзаменационные материалы для промежуточной аттестации (экзамен/зачет)

Перечень вопросов, которые выносятся на зачет в восьмом семестре

1. Слабая постановка задачи и обобщенные решения.

2. Вариация, функционал энергии.
3. Метод Рунге, метод наименьших квадратов.
4. Проекционные методы Галеркина, метод коллокаций.
5. Понятие о конечном элементе, функции формы; слабая постановка.
6. Одномерный элемент с кусочно-линейными базисными функциями;
7. Элементная матрица, ансамблирование, матрица жёсткости.
8. Решение систем уравнений ленточного типа.
9. Триангуляция, линейный треугольный элемент
10. Применение четырехугольных элементов в задачах аппроксимации
11. Общая схема решения двумерных задач теплопроводности и волновых задач упругости с использованием МКЭ.
12. Основные проприетарные и свободнораспространяющиеся программные продукты для конечноэлементного моделирования.
13. Особенности разработки конечно-элементных моделей в специализированных пакетах программ.

Критерии оценивания результатов обучения

Критерии оценивания по зачету:

«зачтено»: студент владеет теоретическими знаниями по данному разделу, знает основные методы обработки и анализа нестационарных сигналов с использованием интегральных преобразований и их дискретных аналогов, допускает незначительные ошибки; студент умеет правильно объяснять теоретический материал, иллюстрируя его примерами; студент выполнил не менее одного индивидуального задания, работоспособность программной реализации которого подтверждается сопоставлением с результатами готовых программных решений.

«не зачтено»: материал не усвоен или усвоен частично, студент затрудняется привести примеры по применению интегральных преобразований и их дискретных аналогов для обработки и анализа нестационарных сигналов; не выполнено ни одно из индивидуальных заданий.

Оценочные средства для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья выбираются с учетом их индивидуальных психофизических особенностей.

– при необходимости инвалидам и лицам с ограниченными возможностями здоровья предоставляется дополнительное время для подготовки ответа на экзамене;

– при проведении процедуры оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья предусматривается использование технических средств, необходимых им в связи с их индивидуальными особенностями;

– при необходимости для обучающихся с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов процедура оценивания результатов обучения по дисциплине может проводиться в несколько этапов.

Процедура оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья по дисциплине (модулю) предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

Для лиц с нарушениями зрения:

- в печатной форме увеличенным шрифтом,
- в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями слуха:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа.

Данный перечень может быть конкретизирован в зависимости от контингента обучающихся.

5. Перечень учебной литературы, информационных ресурсов и технологий

5.1. Учебная литература

1. Солдаткин, А. В. Введение в метод конечных элементов : учебное пособие / А. В. Солдаткин, Е. С. Баранова. — Санкт-Петербург : БГТУ "Военмех" им. Д.Ф. Устинова, 2020. — 123 с. — ISBN 978-5-907324-05-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/172238> (дата обращения: 05.06.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Клунникова, Ю. В. Метод конечных элементов для моделирования устройств и систем : учебное пособие / Ю. В. Клунникова. — Ростов-на-Дону : ЮФУ, 2019. — 85 с. — ISBN 978-5-9275-3277-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/141043> (дата обращения: 05.06.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Ермолаев, И. А. Метод конечных элементов Галеркина в задачах конвекции : учебно-методическое пособие / И. А. Ермолаев. — Саратов : СГУ, 2020. — 36 с. — ISBN 978-5-292-04654-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/170592> (дата обращения: 05.06.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

5.2. Периодическая литература

1. Базы данных компании «Ист Вью» <http://dlib.eastview.com>
2. Электронная библиотека GREBENNIKON.RU <https://grebennikon.ru/>
3. Acta Mechanica <https://www.springer.com/journal/707>
4. Computational Mechanics <https://www.springer.com/journal/466>

5.3. Интернет-ресурсы, в том числе современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

Электронно-библиотечные системы (ЭБС):

1. ЭБС «ЮРАЙТ» <https://urait.ru/>
2. ЭБС «УНИВЕРСИТЕТСКАЯ БИБЛИОТЕКА ОНЛАЙН» www.biblioclub.ru
3. ЭБС «BOOK.ru» <https://www.book.ru>
4. ЭБС «ZNANIUM.COM» www.znanium.com
5. ЭБС «ЛАНЬ» <https://e.lanbook.com>

Профессиональные базы данных:

1. Web of Science (WoS) <http://webofscience.com/>
2. Scopus <http://www.scopus.com/>
3. ScienceDirect www.sciencedirect.com
4. Журналы издательства Wiley <https://onlinelibrary.wiley.com/>
5. Научная электронная библиотека (НЭБ) <http://www.elibrary.ru/>
6. Полнотекстовые архивы ведущих западных научных журналов на Российской платформе научных журналов НЭИКОН <http://archive.neicon.ru>
7. Национальная электронная библиотека (доступ к Электронной библиотеке диссертаций Российской государственной библиотеки (РГБ) <https://rusneb.ru/>
8. Президентская библиотека им. Б.Н. Ельцина <https://www.prilib.ru/>

9. Электронная коллекция Оксфордского Российского Фонда <https://ebookcentral.proquest.com/lib/kubanstate/home.action>
10. Springer Journals <https://link.springer.com/>
11. Nature Journals <https://www.nature.com/siteindex/index.html>
12. Springer Nature Protocols and Methods <https://experiments.springernature.com/sources/springer-protocols>
13. Springer Materials <http://materials.springer.com/>
14. zbMath <https://zbmath.org/>
15. Nano Database <https://nano.nature.com/>
16. Springer eBooks: <https://link.springer.com/>
17. "Лекториум ТВ" <http://www.lektorium.tv/>
18. Университетская информационная система РОССИЯ <http://uisrussia.msu.ru>

Информационные справочные системы:

1. Консультант Плюс - справочная правовая система (доступ по локальной сети с компьютеров библиотеки)

Ресурсы свободного доступа:

1. Американская патентная база данных <http://www.uspto.gov/patft/>
2. Полные тексты канадских диссертаций <http://www.nlc-bnc.ca/thesescanada/>
3. КиберЛенинка (<http://cyberleninka.ru/>);
4. Министерство науки и высшего образования Российской Федерации <https://www.minobrnauki.gov.ru/>;
5. Федеральный портал "Российское образование" <http://www.edu.ru/>;
6. Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам" <http://window.edu.ru/>;
7. Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов <http://school-collection.edu.ru/>.
8. Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов (<http://fcior.edu.ru/>);
9. Проект Государственного института русского языка имени А.С. Пушкина "Образование на русском" <https://pushkininstitute.ru/>;
10. Справочно-информационный портал "Русский язык" <http://gramota.ru/>;
11. Служба тематических толковых словарей <http://www.glossary.ru/>;
12. Словари и энциклопедии <http://dic.academic.ru/>;
13. Образовательный портал "Учеба" <http://www.ucheba.com/>;
14. Законопроект "Об образовании в Российской Федерации". Вопросы и ответы http://xn--273--84d1f.xn--plai/voprosy_i_otvety

Собственные электронные образовательные и информационные ресурсы КубГУ:

1. Среда модульного динамического обучения <http://moodle.kubsu.ru>
2. База учебных планов, учебно-методических комплексов, публикаций и конференций <http://mschool.kubsu.ru/>
3. Библиотека информационных ресурсов кафедры информационных образовательных технологий <http://mschool.kubsu.ru/>;
4. Электронный архив документов КубГУ <http://docspace.kubsu.ru/>
5. Электронные образовательные ресурсы кафедры информационных систем и технологий в образовании КубГУ и научно-методического журнала "ШКОЛЬНЫЕ ГОДЫ" <http://icdau.kubsu.ru/>

6. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.

По курсу предусмотрено проведение лабораторных занятий, позволяющих студентам в полной мере ознакомиться с понятиями и методами волновой механики и навыками их применением в решении практических задач.

Важнейшим этапом является самостоятельная работа по дисциплине. Целью самостоятельной работы магистра является углубление знаний, полученных в результате аудиторных занятий. Вырабатываются навыки самостоятельной работы. Закрепляются опыт и знания, полученные во время лабораторных занятий.

Самостоятельная работа студентов в ходе изучения дисциплины состоит в выполнении индивидуальных заданий, задаваемых преподавателем, ведущим лабораторные занятия, подготовки теоретического материала к лабораторным занятиям, на учебной литературы, согласно календарному плану и подготовки теоретического материала к тестовому опросу, зачету и экзамену, согласно вопросам к экзамену.

Указания по оформлению работ:

Отчет по выполнению индивидуальных заданий при промежуточной аттестации должен быть подготовлен в соответствии с ГОСТ 7.32-2001 и содержать:

- титульный лист;
- введение;
- постановку задачи;
- краткое описание последовательного алгоритма;
- подробное описание параллельного алгоритма;
- текст разработанной программы на выбранном языке программирования;
- тестовые примеры и результаты тестирования программы: оценка ускорения и эффективности разработанного параллельного алгоритма, оптимальные размеры входных данных на которых достигается максимум ускорения при различном числе узлов вычислительной системы и др.;
- заключение
- список использованной литературы.

Проверка индивидуальных заданий по темам, разобранным на лабораторных занятиях, осуществляется через неделю на текущем лабораторном занятии, либо в течение недели после этого занятия на консультации.

Для разъяснения непонятных вопросов лектором и ассистентом еженедельно проводятся консультации, о времени которых группы извещаются заранее.

В освоении дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья большое значение имеет индивидуальная учебная работа (консультации) – дополнительное разъяснение учебного материала.

Индивидуальные консультации по предмету являются важным фактором, способствующим индивидуализации обучения и установлению воспитательного контакта между преподавателем и обучающимся инвалидом или лицом с ограниченными возможностями здоровья.

Учебная деятельность проходит в соответствии с графиком учебного процесса. Процесс самостоятельной работы контролируется во время аудиторных занятий и индивидуальных консультаций. Самостоятельная работа студентов проводится в форме изучения отдельных теоретических вопросов по предлагаемой литературе и выполнении практических заданий по разобранным во время аудиторных занятий примерам.

Фонд оценочных средств дисциплины состоит из средств текущего контроля (см. список задач и вопросов коллоквиума) и итоговой аттестации (зачета, экзамена).

В качестве оценочных средств, используемых для текущего контроля успеваемости, предлагается перечень вопросов, которые прорабатываются в процессе освоения курса. Данный перечень охватывает все основные разделы курса, включая знания, получаемые во время самостоятельной работы. Кроме того, важным элементом технологии является

самостоятельное решение студентами и сдача заданий. Это полностью индивидуальная форма обучения. Студент рассказывает свое решение преподавателю, отвечает на дополнительные вопросы

Методические рекомендации, определяющие процедуры оценивания результатов выполнения расчетно-графических заданий к лабораторным работам: баллы начисляются за решенные по каждой из тем задачи. Если задача решена верно (полученные численные результаты верны), за нее начисляется 2 балла, если имеются некритические недочеты в программной реализации и/или в представлении отчетной презентации – 1 балл, иначе - 0 баллов. Таким образом, максимальная суммарная оценка за выполнение данного типа оценочного средства составляет 6 баллов (2 балла * 3 расчетно-графических заданий).

Методические рекомендации, определяющие процедуры оценивания на зачете:

Зачет является заключительным этапом процесса формирования компетенции студента при изучении дисциплины и имеет целью проверку и оценку знаний студентов по теории и применению полученных знаний, умений и навыков при решении практических задач. Зачет проводится по расписанию, сформированному учебным отделом и утвержденному проректором по учебной работе, в сроки, предусмотренные календарным графиком учебного процесса. Расписание зачета доводится до сведения студентов не менее чем за две недели до начала сессии. Зачет принимается преподавателем, ведущими занятия.

Зачет проводится только при предъявлении студентом зачетной книжки и при условии выполнения всех контрольных мероприятий, предусмотренных учебным планом и рабочей программой по изучаемой дисциплине. Студентам на зачете должен быть представлены ответы на два теоретических вопроса из приведенного выше списка вопросов к зачету.

- оценка «зачтено» выставляется студенту, если вопросы освещены правильно и достаточно раскрыты, расчетно-графические задания к лабораторным работам выполнены в соответствии с приведенными выше критериями оценки не менее, чем на 3 балла; при ответе на вопрос обучающийся показывает достаточный уровень профессиональных знаний, свободно оперирует понятиями, увязывает знания, полученные при изучении различных дисциплин, умеет анализировать практические ситуации. Ответ построен логично, материал излагается хорошим языком, при ответе допускаются некоторые погрешности.

- оценка «не зачтено», если ответ не соответствует вопросу или изложен недостаточно полно, расчетно-графические задания к лабораторным работам выполнены в соответствии с приведенными выше критериями оценки менее, чем на 3 балла.

В освоении дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья большое значение имеет индивидуальная учебная работа (консультации) – дополнительное разъяснение учебного материала.

Индивидуальные консультации по предмету являются важным фактором, способствующим индивидуализации обучения и установлению воспитательного контакта между преподавателем и обучающимся инвалидом или лицом с ограниченными возможностями здоровья.

7. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

№	Вид работ	Материально-техническое обеспечение дисциплины и оснащенность
1.	Лекционные занятия	Лекционные аудитории, оснащенные презентационной техникой (проектор, экран, ноутбук) и соответствующим программным обеспечением (ПО): А305, 133.

2.	Лабораторные занятия	Аудитории для проведения лабораторных и практических занятий, оснащенные учебной мебелью (столы, стулья), соответствующей количеству студентов, доской: 133, 149, 150.
3.	Групповые (индивидуальные) консультации	Аудитории А305, 133, 150, 148, . оснащенные учебной мебелью (столы, стулья), презентационной техникой для проведения групповых и индивидуальных консультаций
4.	Текущий контроль, промежуточная аттестация	Аудитории А305, 133. оснащенные учебной мебелью (столы, стулья)
5.	Самостоятельная работа	Кабинет для самостоятельной работы, оснащенный компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет», программой экранного увеличения и обеспеченный доступом в электронную информационно-образовательную среду университета: 102-А, а также студентский читальный зал библиотеки КубГУ (к.109С) и зал доступа к электронным ресурсам и каталогам (к. А213).

Для самостоятельной работы обучающихся предусмотрены помещения, укомплектованные специализированной мебелью, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета.

Наименование помещений для самостоятельной работы обучающихся	Оснащенность помещений для самостоятельной работы обучающихся	Перечень лицензионного программного обеспечения
Помещение для самостоятельной работы обучающихся (читальный зал Научной библиотеки)	Мебель: учебная мебель Комплект специализированной мебели: компьютерные столы Оборудование: компьютерная техника с подключением к информационно-коммуникационной сети «Интернет» и доступом в электронную информационно-образовательную среду образовательной организации, веб-камеры, коммуникационное оборудование, обеспечивающее доступ к сети интернет (проводное соединение и беспроводное соединение по технологии Wi-Fi)	
Помещение для самостоятельной работы обучающихся (ауд. 102А)	Мебель: учебная мебель Комплект специализированной мебели: компьютерные столы Оборудование: компьютерная техника с подключением к информационно-коммуникационной сети «Интернет» и доступом в электронную информационно-образовательную среду образовательной организации, веб-камеры, коммуникационное оборудование, обеспечивающее доступ к сети интернет (проводное соединение и беспроводное соединение по технологии Wi-Fi)	