

**Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова**

**ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА АКУСТИКИ**

УТВЕРЖДАЮ

«__» _____ //
20 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины:

Метод конечных элементов (Finite element method)

Уровень высшего образования:

Специалитет

Специальность:

03.05.02 Фундаментальная и прикладная физика

Направленность (профиль)/специализация образовательной программы:

Акустика

Форма обучения:

Очная

Москва 2023

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по специальности 03.05.02 «Фундаментальная и прикладная физика», утвержденным приказом МГУ от 21.12.2018 г. № 1780.

Год (годы) приема на обучение_____

Автор-составитель:

Д.ф.-м.н., б.з., Шанин Андрей Владимирович, кафедра акустики физического факультета МГУ

Заведующий кафедрой

Д.ф.-м.н., профессор, Руденко Олег Владимирович, заведующий кафедрой акустики

Аннотация к рабочей программе дисциплины

Курс представляет собой введение в методы конечных элементов (МКЭ) для решения задач акустики. Описываются основы МКЭ и даются практические рекомендации по написанию программ.

Дисциплина реализуется в специалитете на 5 курсе в 10 семестре и является спецкурсом кафедры по выбору.

Объем дисциплины составляет 2 з.е., в том числе 34 академических часа, отведенных на контактную работу с преподавателем, 38 академических часов, отведенных на самостоятельную работу обучающихся.

Аттестация по дисциплине – зачет.

1. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина "по выбору". Вариативная часть, профессиональный блок, спецкурс кафедры по выбору для обучающихся по специализации «Акустика».

2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия

Математический анализ, численные методы, дифференциальные уравнения, методы математической физики, теоретические основы акустики.

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора (индикаторов) достижения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с индикаторами достижения компетенций
		Знать теоретические основы МКЭ Уметь создавать программы на основе МКЭ на языке МАТЛАБ Владеть опытом самостоятельного написания программ

4. Объем дисциплины (модуля) составляет 2 з.е., в том числе: 34 академических часа, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем, 38 академических часов, отведенных на самостоятельную работу обучающихся.

Контактная работа включает в себя: занятия лекционного типа (лекции).

5. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (ак.ч.)	В том числе					Самостоятельная работа обучающегося, академические часы	Форма текущего контроля успеваемости, наименование
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) <i>Виды контактной работы, академические часы¹</i>				Всего		
		Занятия лекционного типа (лекции)	Занятия семинарского типа					
Семинары	Лабораторные занятия*		Практические занятия*					
1. Аппроксимация. Функции формы. Понятие функции формы. Аппроксимация непрерывных функций. Интерполяция. Изопараметрические отображения. Производные функций формы	8	4				4	4	<i>Домашнее задание, Контрольная работа</i>
2. Метод взвешенных невязок Понятие функции формы. Аппроксимация непрерывных функций. Интерполяция. Изопараметрические отображения. Производные функций формы	8	4				4	4	<i>Домашнее задание, Контрольная работа</i>
3. Матрицы массы и	8	4				4	4	<i>Домашнее задание,</i>

¹Текущий контроль успеваемости может быть реализован в рамках занятий лекционного и(или) семинарского типа.

<p>жесткости Роль матриц массы и жесткости при решении уравнения Гельмгольца. Структура матриц массы и жесткости. Выражения для потенциальной и кинетической энергии. Вычисление матриц массы и жесткости. Структура простейшей МКЭ-программы.</p>								<i>Контрольная работа</i>
<p>4. Решение задачи во времени. Построение системы дифференциальных уравнений в рамках МКЭ. Split-FEM и Non-split FEM. Численная схема "крест". Схема Эйлера. Устойчивость. Приближенное обращение матрицы массы.</p>	8	4				4	4	<i>Домашнее задание, Контрольная работа</i>
<p>5. Гауссовы квадратуры. Необходимость гауссовых квадратур для вычисления матриц массы и жесткости. Структура квадратурных формул.</p>	4	2				2	2	<i>Домашнее задание, Контрольная работа</i>
<p>6. Методы Рунге-Кутты. Общая схема методов Рунге-Кутты. Таблицы Бутчера. Явные и неявные методы РК. Реализация РК-4.</p>	8	4				4	4	<i>Домашнее задание, Контрольная работа</i>
<p>7. Жесткие задачи. Явно-неявные методы. Понятие жесткой задачи. Анализ собственных значений матрицы жесткости. Необходимость построения неявной схемы. Пример IMEX DIRK схемы</p>	8	4				4	4	<i>Домашнее задание, Контрольная работа</i>
<p>8. Идеально согласованный слой. Задача эвакуации волн на бесконечность и возможные пути ее решение. Структура 1D идеально согласованного слоя. Структура 2D идеально</p>	8	4				4	4	<i>Домашнее задание, Контрольная работа</i>

согласованного слоя.								
9. Метод граничных элементов. Основные уравнения метода граничных элементов (постановка Гельмгольца, представления с помощью потенциалов). Сравнение МКЭ и МГЭ. Проблемы, связанные с реализацией МГЭ	8	4				4	4	<i>Домашнее задание, Контрольная работа</i>
Промежуточная аттестация_зачет_	4						4²	<i>Зачёт</i>
Итого	72	34					38	

*Лабораторные занятия, практические занятия относятся к практической подготовке обучающихся.

²Часы на проведение промежуточной аттестации выделяются из часов самостоятельной работы обучающегося

6. Фонд оценочных средств для оценивания результатов обучения по дисциплине

6.1. Типовые задания и иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения:

Пример домашнего задания:

1. Написать программу, моделирующую распространение волны в двумерной квадратной 2D области с жесткими границами.
2. Реализовать решение одномерной задачи распространения волн с идеально согласованным слоем. Задать коэффициент отражения 0.1.

Пример заданий для контрольной работы

1. Вывести формулу для элементной подматрицы матрицы массы в двумерном случае.
2. Написать MATLAB реализацию RK метода, описываемого схемой Бутчера

$$\begin{array}{c|cc} 0 & & \\ 1/3 & | & 1/3 \\ 2/3 & | & 0 & 2/3 \\ \hline & | & 1/4 & 0 & 3/4 \end{array}$$

Теоретические вопросы:

1. Функции формы. Изопараметрическое представление конечных элементов.
2. Метод взвешенных невязок. Метод Галеркина.
3. Матрицы массы и упругости для уравнения Гельмгольца.
4. Метод конечных элементов для линеаризованных уравнений Эйлера.
5. Гауссовы квадратуры.
6. Таблицы Бутчера для схем Рунге-Кутты. Явные и неявные схемы.
7. Понятие жесткой задачи. Явно-неявные схемы. DIRK схемы. Пример DIRK схемы.
8. Идеально согласованный слой для линеаризованных уравнений Эйлера.

6.2. Шкала и критерии оценивания

7. Ресурсное обеспечение

Основная литература

1. О. Зенкевич, К. Морган. Конечные элементы и аппроксимация. М.: Мир, 1986. 318 с.
2. О. Зенкевич. Метод конечных элементов в технике. М.: Мир, 1975. 541 с.
3. N. Atalla, Finite element and boundary element methods in structural acoustics and vibration, Taylor&Francis, 2015.

Дополнительная литература

1. К. Бреббия, Ж. Теллес, Л. Вроубел. Методы граничных элементов. М.: Мир. 1987. 524 с.
2. F.Q. Hu. On absorbing boundary conditions for linearized Euler equations by a perfectly matched layer. Journal of Computational Physics, V. 129. 201-219 (1996).

3. U.Asher, S.Ruuth, R.J.Spiteri, Implicit-explicit Runge-Kutta methods for time dependent partial differential equations, Appl. Numer. Math. 25, (1997), pp. 151-167.
4. A.K.Ashari, N.G.Stephen, On wave propagation in repetitive structures: Two forms of transfer matrix, J. Sound Vibr. V. 439, P.99-112 (2019)

Перечень лицензионного и (или) свободно распространяемого программного обеспечения:

Среда MATLAB

Описание материально-технической базы

Компьютер, проектор, экран

8. Язык преподавания: русский и английский