

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"  
Институт математики и механики им. Н.И. Лобачевского



**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по образовательной деятельности КФУ  
проф. Таюрский Д.А.

"\_\_" \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

## **Программа дисциплины**

Методы решения сеточных уравнений Б1.В.ДВ.02.01

Направление подготовки: 01.04.03 - Механика и математическое моделирование

Профиль подготовки: Компьютерная механика

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2019

**Автор(ы):** Мазо А.Б.

**Рецензент(ы):** Егоров А.Г.

### **СОГЛАСОВАНО:**

Заведующий(ая) кафедрой: Поташев К. А.

Протокол заседания кафедры No \_\_\_ от "\_\_\_" \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Учебно-методическая комиссия Института математики и механики им. Н.И. Лобачевского :

Протокол заседания УМК No \_\_\_ от "\_\_\_" \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

## Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы
2. Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы высшего образования
3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся
4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий
  - 4.1. Структура и тематический план контактной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю)
  - 4.2. Содержание дисциплины
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)
6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)
  - 6.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы и форм контроля их освоения
  - 6.2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания
  - 6.3. 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
  - 6.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций
7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
  - 7.1. Основная литература
  - 7.2. Дополнительная литература
8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)
11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)
12. Средства адаптации преподавания дисциплины к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья

Программу дисциплины разработал(а)(и) профессор, д.н. (профессор) Мазо А.Б. (Кафедра аэрогидромеханики, отделение механики), Alexander.Mazo@kpfu.ru

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

Выпускник, освоивший дисциплину, должен обладать следующими компетенциями:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ПК-3	способностью публично представить собственные новые научные результаты
ПК-5	способностью к творческому применению, развитию и реализации математически сложных алгоритмов в современных программных комплексах
ПК-8	способностью различным образом представлять и адаптировать математические знания с учетом уровня аудитории

Выпускник, освоивший дисциплину:

Должен знать:

основные прямые и итерационные методы решения больших разреженных систем алгебраических уравнений

Должен уметь:

применять основные прямые и итерационные методы для решения больших разреженных систем алгебраических уравнений

Должен владеть:

прямыми и итерационными методами решения сеточных уравнений

Должен демонстрировать способность и готовность:

методы получения, хранения и обработки больших разреженных систем уравнений. Приемы конструирования предобуславливающих матриц.

### 2. Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы высшего образования

Данная учебная дисциплина включена в раздел "Б1.В.ДВ.02.01 Дисциплины (модули)" основной профессиональной образовательной программы 01.04.03 "Механика и математическое моделирование (Компьютерная механика)" и относится к дисциплинам по выбору.

Осваивается на 1 курсе в 1 семестре.

### 3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных(ые) единиц(ы) на 180 часа(ов).

Контактная работа - 36 часа(ов), в том числе лекции - 18 часа(ов), практические занятия - 18 часа(ов), лабораторные работы - 0 часа(ов), контроль самостоятельной работы - 0 часа(ов).

Самостоятельная работа - 90 часа(ов).

Контроль (зачёт / экзамен) - 54 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины: экзамен в 1 семестре.

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

#### 4.1 Структура и тематический план контактной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю)

N	Разделы дисциплины / модуля	Семестр	Виды и часы контактной работы, их трудоемкость (в часах)			Самостоятельная работа
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
1.	Тема 1. Сеточные схемы МКР, МКО и МКЭ для задач термогидродинамики как большие разреженные системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ).	1	2	2	0	4
2.	Тема 2. Схемы хранения разреженных матриц и элементы алгебры разреженных матриц. Связь топологии сеток и портретов матриц. Алгоритм перенумерации узлов Катхилла-Макки и минимальной степени. Ленточные матрицы. Разреженный строчный формат хранения.	1	2	2	0	4
3.	Тема 3. Прямые методы решения СЛАУ. Метод прогонки для ленточных матриц. Метод факторизации Холецкого и LDU-разложение.	1	2	2	0	4
4.	Тема 4. Итерационные методы решения СЛАУ. Общая теория итерационных методов. Сведения из алгебры и функционального анализа. Сеточные уравнения как матричные и операторные уравнения. Условия сходимости итерационных методов. Базовые стационарные итерационные методы: Рундсона, Якоби, Зейделя, простой итерации, наискорейшего спуска. Выбор оптимальных параметров. Методы релаксации SOR, SSOR.	1	4	2	0	50
5.	Тема 5. Быстрые нестационарные итерационные процессы. Метод сопряженных направлений, чебышевский метод	1	2	2	0	4
6.	Тема 6. Предобуславливающие операторы (preconditioners). Предобуславливатель Якоби. Неполное разложение Холецкого, модифицированное неполное разложение. Предобуславливание и масштабирование	1	2	2	0	6
7.	Тема 7. Многосеточный метод. Операторы сглаживания, ограничения и продолжения. V и W циклы	1	4	6	0	18
	Итого		18	18	0	90

#### 4.2 Содержание дисциплины

##### Тема 1. Сеточные схемы МКР, МКО и МКЭ для задач термогидродинамики как большие разреженные системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ).

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Построение сеточных схем методами конечных разностей (МКР), конечных объемов (МКО) и конечных элементов (МКЭ). Сеточные схемы как разреженные системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) большой размерности. Свойства матриц СЛАУ: симметричность, положительная определенность, невырожденность. Учет граничных условий

Дирихле и симметризация матриц. Собственные числа и собственные векторы матриц.

Спектр, нормы и число обусловленности матриц.

практическое занятие (4 часа(ов)):

Построение линейризованных сеточных схем методами конечных разностей (МКР), конечных объемов (МКО) и конечных элементов (МКЭ) для типичных уравнений термогидродинамики.

**Тема 2. Схемы хранения разреженных матриц и элементы алгебры разреженных матриц. Связь топологии сеток и портретов матриц. Алгоритм перенумерации узлов Катхилла-Макки и минимальной степени. Ленточные матрицы. Разреженный строчный формат хранения.**

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Различные схемы хранения разреженных матриц большой размерности. Портрет матрицы.

Ширина ленты и профиль. Связь топологии сеток и портретов матриц для МКР, МКЭ и МКО.

Разреженный строчный формат хранения с упорядочением и без. Элементы алгебры

разреженных матриц. Экономичные алгоритмы умножения матрицы на вектор, умножения

матриц, скалярного произведения векторов. Эффект заполнения при треугольной

факторизации матрицы. Ленточная схема хранения матрицы. Алгоритм перенумерации узлов

Катхилла-Макки для минимизации ширины ленты. Алгоритм минимальной степени для

минимизации заполнения.

практическое занятие (4 часа(ов)):

Представление матрицы сеточной схемы для двумерного уравнения теплопроводности в

обычном, разреженном строчном и ленточном формате хранения. Реализация экономичных

алгоритмов алгебры разреженных матриц. Применение алгоритмов перенумерации узлов

Катхилла-Макки и минимальной степени.

**Тема 3. Прямые методы решения СЛАУ. Метод прогонки для ленточных матриц. Метод факторизации Холецкого и LDU-разложение.**

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Трехточечные схемы МКР и МКЭ для одномерных уравнений конвекции-диффузии. Ленточная

схема хранения трехдиагональной матрицы. Метод прогонки (алгоритм Томаса). Метод

факторизации Холецкого (метод квадратного корня) и тройной факторизации

(LDU-разложение) для положительно определенных матриц. Методы прямого решения СЛАУ с

факторизованной матрицей.

практическое занятие (4 часа(ов)):

Численное решение одномерного уравнения конвекции-диффузии для с применением метода

прогонки. Численное решение двумерного уравнения теплопроводности с применением

метода тройной факторизации.

**Тема 4. Итерационные методы решения СЛАУ. Общая теория итерационных методов. Сведения из алгебры и функционального анализа. Сеточные уравнения как матричные и операторные уравнения. Условия сходимости итерационных методов. Базовые стационарные итерационные методы: Ричардсона, Якоби, Зейделя, простой итерации, наискорейшего спуска. Выбор оптимальных параметров. Методы релаксации SOR, SSOR.**

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Итерационные методы решения СЛАУ. Общая теория итерационных методов. Сведения из

алгебры и функционального анализа: свойства операторов и матриц, некоторые нормы

векторов и матриц, сходимость по норме. Сеточные уравнения как матричные и операторные

уравнения. Каноническая форма 1 двухслойного итерационного процесса. Оператор

перехода и матрица расщепления. Условия сходимости итерационных методов. Скорость

сходимости. Базовые стационарные итерационные методы: Ричардсона, Якоби, Зейделя,

простой итерации, наискорейшего спуска, минимальных невязок. Выбор оптимальных

параметров. Каноническая форма 2 двухслойного итерационного процесса. Условие

сходимости. Методы релаксации SOR, SSOR. Условия сходимости.

практическое занятие (4 часа(ов)):

Численное решение модельной эллиптической задачи с применением базовых стационарных и

вариационных методов. Сравнение скорости сходимости. Численное исследование влияния

параметра релаксации на скорости сходимости методов SOR и SSOR.

**Тема 5. Быстрые нестационарные итерационные процессы. Метод сопряженных направлений, чебышевский метод**

лекционное занятие (4 часа(ов)):

Метод сопряженных направлений (CGM). Теория и вывод формул метода, различные формы реализации CGM. Модификация метода при использовании предобуславливателя. Итерационный метод решения СЛАУ с чебышевским набором параметров. Сравнение скорости сходимости метода с SOR и CGM.

практическое занятие (6 часа(ов)):

Численное решение модельной эллиптической задачи с применением итерационных методов сопряженных направлений и чебышевского метода.

#### **Тема 6. Предобуславливающие операторы (preconditioners). Предобуславливатель Якоби. Неполное разложение Холецкого, модифицированное неполное разложение. Предобуславливание и масштабирование**

лекционное занятие (4 часа(ов)):

Предобуславливающие матрицы как средство ускорения сходимости. Требование к предобуславливателю: близость спектральных свойств к исходной матрице и простота обращения. Диагональный предобуславливатель Якоби. Трехдиагональный предобуславливатель. Факторизованный треугольный предобуславливатель неполное разложение Холецкого (ILU) и модифицированного неполного разложения (MILU). Два варианта MILU и MILDU. Предобуславливание и масштабирование для плохообусловленных матриц с сильно меняющимися коэффициентами.

практическое занятие (6 часа(ов)):

Численное решение модельной задачи методом CGM с предобуславливателем Якоби. Построение предобуславливателей ILU и MILDU. Численное решение модельной задачи с сильно меняющимися коэффициентами методом CGM с предобуславливателями ILU и MILDU. Реализация масштабирования матрицы. Сравнение скорости сходимости.

#### **Тема 7. Многосеточный метод. Операторы сглаживания, ограничения и продолжения. V и W циклы**

лекционное занятие (4 часа(ов)):

Метод двухсеточной коррекции. Операторы сглаживания (метод Зейделя), варианты операторов ограничения (fine-to-coarse) и продолжения (coarse-to-fine). Прямая инъекция, полное и неполное взвешивание. Многосеточный геометрический метод для сеточных схем на структурированных сетках. V и W циклы. Понятие о негнездованных (non-nested) многосеточных методах для неструктурированных сеток.

практическое занятие (6 часа(ов)):

Решение модельной эллиптической задачи методом двухсеточной коррекции. Численное решение модельной эллиптической задачи на прямоугольной равномерной сетке многосеточным геометрическим методом (V-циклы).

### **5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)**

Самостоятельная работа обучающихся выполняется по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Самостоятельная работа подразделяется на самостоятельную работу на аудиторных занятиях и на внеаудиторную самостоятельную работу. Самостоятельная работа обучающихся включает как полностью самостоятельное освоение отдельных тем (разделов) дисциплины, так и проработку тем (разделов), осваиваемых во время аудиторной работы. Во время самостоятельной работы обучающиеся читают и конспектируют учебную, научную и справочную литературу, выполняют задания, направленные на закрепление знаний и отработку умений и навыков, готовятся к текущему и промежуточному контролю по дисциплине.

Организация самостоятельной работы обучающихся регламентируется нормативными документами, учебно-методической литературой и электронными образовательными ресурсами, включая:

Порядок организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования - программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры (утвержден приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 5 апреля 2017 года №301).

Письмо Министерства образования Российской Федерации №14-55-996ин/15 от 27 ноября 2002 г. "Об активизации самостоятельной работы студентов высших учебных заведений"

Положение от 24 декабря 2015 г. № 0.1.1.67-06/265/15 "О порядке проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Положение № 0.1.1.67-06/241/15 от 14 декабря 2015 г. "О формировании фонда оценочных средств для проведения текущей, промежуточной и итоговой аттестации обучающихся федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Положение № 0.1.1.56-06/54/11 от 26 октября 2011 г. "Об электронных образовательных ресурсах федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет""

Регламент № 0.1.1.67-06/66/16 от 30 марта 2016 г. "Разработки, регистрации, подготовки к использованию в учебном процессе и удаления электронных образовательных ресурсов в системе электронного обучения федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет""

Регламент № 0.1.1.67-06/11/16 от 25 января 2016 г. "О балльно-рейтинговой системе оценки знаний обучающихся в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет""

Регламент № 0.1.1.67-06/91/13 от 21 июня 2013 г. "О порядке разработки и выпуска учебных изданий в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего профессионального образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет""

## 6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)

### 6.1 Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы и форм контроля их освоения

Этап	Форма контроля	Оцениваемые компетенции	Темы (разделы) дисциплины
<b>Семестр 1</b>			
	<b>Текущий контроль</b>		
1	Контрольная работа	ПК-3	1. Сеточные схемы МКР, МКО и МКЭ для задач термодинамики как больших разреженных систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ).
2	Контрольная работа	ПК-5	2. Схемы хранения разреженных матриц и элементы алгебры разреженных матриц. Связь топологии сетки портретов матриц. Алгоритм перенумерации узлов Катхилла-Макки и минимальной степени. Ленточные матрицы. Разреженный строчный формат хранения.
3	Контрольная работа	ПК-8	3. Прямые методы решения СЛАУ. Метод прогонки для ленточных матриц. Метод факторизации Холецкого и LDU-разложение.
	<b>Экзамен</b>		
		ПК-3, ПК-5, ПК-8	

### 6.2 Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

Форма контроля	Критерии оценивания				Этап
	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неуд.	
<b>Семестр 1</b>					
<b>Текущий контроль</b>					
Контрольная работа	Правильно выполнены все задания. Продемонстрирован высокий уровень владения материалом. Проявлены превосходные способности применять знания и умения к выполнению конкретных заданий.	Правильно выполнена большая часть заданий.	Задания выполнены более чем наполовину.	Задания выполнены менее чем наполовину.	1
		Присутствуют незначительные ошибки.	Присутствуют серьезные ошибки.	Продемонстрирован неудовлетворительный уровень владения материалом.	2
		Продемонстрирован хороший уровень владения материалом. Проявлены средние способности применять знания и умения к выполнению конкретных заданий.	Продемонстрирован удовлетворительный уровень владения материалом. Проявлены низкие способности применять знания и умения к выполнению конкретных заданий.	Продемонстрирован неудовлетворительный уровень владения материалом. Проявлены недостаточные способности применять знания и умения к выполнению конкретных заданий.	3

Форма контроля	Критерии оценивания				Этап
	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неуд.	
<b>Экзамен</b>	Обучающийся обнаружил всестороннее, систематическое и глубокое знание учебно-программного материала, умение свободно выполнять задания, предусмотренные программой, усвоил основную литературу и знаком с дополнительной литературой, рекомендованной программой дисциплины, усвоил взаимосвязь основных понятий дисциплины в их значении для приобретаемой профессии, проявил творческие способности в понимании, изложении и использовании учебно-программного материала.	Обучающийся обнаружил полное знание учебно-программного материала, успешно выполнил предусмотренные программой задания, усвоил основную литературу, рекомендованную программой дисциплины, показал систематический характер знаний по дисциплине и способен к их самостоятельному пополнению и обновлению в ходе дальнейшей учебной работы и профессиональной деятельности.	Обучающийся обнаружил знание основного учебно-программного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, справился с выполнением заданий, предусмотренных программой, знаком с основной литературой, рекомендованной программой дисциплины, допустил погрешности в ответе на экзамене и при выполнении экзаменационных заданий, но обладает необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя.	Обучающийся обнаружил значительные пробелы в знаниях основного учебно-программного материала, допустил принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий и не способен продолжить обучение или приступить по окончании университета к профессиональной деятельности без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.	

**6.3 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**

**Семестр 1**

**Текущий контроль**

**1. Контрольная работа**

**Тема 1**

Сеточные схемы МКР, МКО и МКЭ для задач термогидродинамики как большие разреженные системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ).

Как строятся сетки в МКР, МКО и МКЭ? Как строятся сеточные схемы для типичных задач вычислительной гидродинамики методами МКР, МКО и МКЭ? Как связан портрет матрицы СЛАУ с топологией сетки?

Схемы хранения разреженных матриц и элементы алгебры разреженных матриц.

Связь топологии сеток и портретов матриц. Алгоритм перенумерации узлов

Катхилла-Макки и минимальной степени. Ленточные матрицы. Разреженный строчный формат хранения.

Написать программу на C++, реализующую разреженный строчный формат хранения матрицы и элементарные операции алгебры разреженных матриц. Построить неструктурированную МКЭ-сетку с помощью генератора GridGen, нарисовать портрет матрицы, проверить как влияет перенумерация узлов сетки на портрет и заполнение матрицы.

Тема 3. Прямые методы решения СЛАУ. Метод прогонки для ленточных матриц. Метод факторизации Холецкого и LDU-разложение.

Сеточные схемы МКР, МКО, МКЭ. Элементы технологии разреженных матриц. Прямые методы решения СЛАУ большой размерности.

Тема 4. Итерационные методы решения СЛАУ. Общая теория итерационных методов.

Сведения из алгебры и функционального анализа. Сеточные уравнения как матричные и операторные уравнения. Условия сходимости итерационных методов. Базовые стационарные итерационные методы: Рундсона, Якоби, Зейделя, простой итерации, наискорейшего спуска. Выбор оптимальных параметров. Методы релаксации SOR, SSOR.



Запрограммировать итерационные методы Ричардсона, Якоби, Зейделя, простой итерации, наискорейшего спуска SOR, SSOR. Решить модельную эллиптическую задачу. Сравнить скорость сходимости. Результаты представить в графическом виде.

Тема 5. Быстрые нестационарные итерационные процессы. Метод сопряженных направлений, чебышевский метод

Запрограммировать итерационный метод CG. Решить модельную эллиптическую задачу.

Сравнить скорость сходимости с методом SOR. Результаты представить в графическом виде.

Тема 6. Предобуславливающие операторы (preconditioners). Предобуславливатель Якоби. Неполное разложение Холецкого, модифицированное неполное разложение.

Предобуславливание и масштабирование

Запрограммировать итерационный метод CG с предобуславливателями J, ILU, MILU. Решить модельную эллиптическую задачу с осциллирующими коэффициентами. Сравнить скорость сходимости с классическим методом CG. Проверить эффект от масштабирования.

Тема 7. Многосеточный метод. Операторы сглаживания, ограничения и продолжения. V и W циклы

Тема реферата: Решение задачи теплопроводности с применением многосеточного метода. В реферате, помимо теоретического описания метода, должны быть представлены результаты расчета.

## **2. Контрольная работа**

Тема 2

Схемы хранения разреженных матриц и элементы алгебры разреженных матриц. Связь топологии сеток и портретов матриц. Алгоритм перенумерации узлов Катхилла-Макки и минимальной степени. Ленточные матрицы. Разреженный строчный формат хранения.

## **3. Контрольная работа**

Тема 3

Прямые методы решения СЛАУ. Метод прогонки для ленточных матриц. Метод факторизации Холецкого и LDU-разложение.

## **Экзамен**

Вопросы к экзамену:

1. Схемы хранения разреженных матриц и элементы алгебры разреженных матриц.
2. Связь топологии сеток и портретов матриц.
3. Алгоритм перенумерации узлов Катхилла-Макки и минимальной степени.
4. Ленточные матрицы.
5. Разреженный строчный формат хранения.
6. Прямые методы решения СЛАУ.
7. Метод прогонки для ленточных матриц.
8. Метод факторизации Холецкого и LDU-разложение.
9. Общая теория итерационных методов. Сведения из алгебры и функционального анализа.
10. Сеточные уравнения как матричные и операторные уравнения. Условия сходимости итерационных методов.
11. Стационарные итерационные методы: Ричардсона, Якоби, Зейделя, простой итерации.
12. Метод наискорейшего спуска. Выбор оптимальных параметров.
13. Методы релаксации SOR, SSOR.
14. Метод сопряженных направлений (CG и его варианты).
15. Предобуславливатель Якоби.
16. Предобуславливатели: Неполное разложение Холецкого, модифицированное неполное разложение.
17. Предобуславливание и масштабирование.
18. Геометрический многосеточный метод.
19. Операторы сглаживания, ограничения и продолжения.
20. V и W циклы. Полный цикл MGM.

## **6.4 Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций**

В КФУ действует балльно-рейтинговая система оценки знаний обучающихся. Суммарно по дисциплине (модулю) можно получить максимум 100 баллов за семестр, из них текущая работа оценивается в 50 баллов, итоговая форма контроля - в 50 баллов.

Для зачёта:

56 баллов и более - "зачтено".

55 баллов и менее - "не зачтено".

Для экзамена:

86 баллов и более - "отлично".

71-85 баллов - "хорошо".

56-70 баллов - "удовлетворительно".

55 баллов и менее - "неудовлетворительно".

Форма контроля	Процедура оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций	Этап	Количество баллов
<b>Семестр 1</b>			
<b>Текущий контроль</b>			
Контрольная работа	Контрольная работа проводится в часы аудиторной работы. Обучающиеся получают задания для проверки усвоения пройденного материала. Работа выполняется в письменном виде и сдается преподавателю. Оцениваются владение материалом по теме работы, аналитические способности, владение методами, умения и навыки, необходимые для выполнения заданий.	1	15
		2	15
		3	20
<b>Экзамен</b>	Экзамен нацелен на комплексную проверку освоения дисциплины. Экзамен проводится в устной или письменной форме по билетам, в которых содержатся вопросы (задания) по всем темам курса. Обучающемуся дается время на подготовку. Оценивается владение материалом, его системное освоение, способность применять нужные знания, навыки и умения при анализе проблемных ситуаций и решении практических заданий.		50

## 7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

### 7.1 Основная литература:

Особенности численной реализации методов решения прямых и обратных краевых задач аэрогидродинамики, Марданов, Ренат Фаритович, 2013г.

Механика сплошной среды, Нигматулин, Роберт Искандерович, 2014г.

1.Бухгольц, Н.Н. Основной курс теоретической механики. Ч. 1: Кинематика, статика, динамика материальной точки : учебник Издательство: Лань, 2009. - 480 с. //

<http://e.lanbook.com/view/book/32/>

2.Бухгольц, Н.Н. Основной курс теоретической механики. Ч. 2: Динамика системы материальных точек : учебник Издательство: Лань, 2009. - 336 с. //

<http://e.lanbook.com/view/book/33/>

### 7.2. Дополнительная литература:

1.Мещерский И.В. Сборник задач по теоретической механике: учебник Издательство: Лань, 2012. - 448 с.

//<http://e.lanbook.com/view/book/2786/>

2.Бать М.И., Джанелидзе Г.Ю., Кельзон А.С. Теоретическая механика в примерах и задачах. Том 1: Статика и кинематика: учебник Издательство: Лань, 2013. - 672 с.

//<http://e.lanbook.com/view/book/4551/>

3. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа: учебник. - Издание 7-е, исправленное. - Москва: Дрофа, 2003. - 840 с.

## 8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

А.А.Самарский, Е.С.Николаев. Методы решения сеточных -

[http://eknigi.org/estestvennye\\_nauki/146927-metody-resheniya-setochnyx-uravnenij.html](http://eknigi.org/estestvennye_nauki/146927-metody-resheniya-setochnyx-uravnenij.html)

Бесплатная электронная библиотека. А.А. Самарский, А.В. Гулин, Численные методы - - <http://www.mat.net.ua/mat/Gulin-Chislennye-metodi.htm>

Научная электронная библиотека - <http://elibrary.ru/>

## 9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Вид работ	Методические рекомендации
лекции	Студентам необходимо посещать лекции, вести конспект лекций вслед за изложением материала преподавателем. Рекомендуется прорабатывать конспект в течение дня после лекции и просматривать его вновь накануне следующей лекции. В случае обнаружения ошибок или возникновения вопросов по предыдущему материалу необходимо обратиться к преподавателю.
практические занятия	Для подготовки к практическим занятиям студенту рекомендуется предварительно прорабатывать как лекционный материал, так и материал предыдущих практических занятий. Основой для подготовки служит добросовестное выполнение домашнего задания. Для успешного решения задач первой части курса студентам рекомендуется вспомнить материал, освоенный в предыдущих семестрах в рамках базовых математических дисциплин.
самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов состоит из двух основных частей - проработка лекционного материала и выполнения домашних заданий. Для освоения теоретического и практического материала, в случае, когда конспекты оказываются недостаточным, или для более детальной проработки отдельных тем рекомендуется использовать литературу, указанную в соответствующем разделе. Все возникающие вопросы рекомендуется заранее четко сформулировать и впоследствии обсудить с преподавателем.
контрольная работа	При подготовке к выполнению контрольных работ студентам рекомендуется проработать соответствующий материал, заблаговременно сформулировать и задать преподавателю возникшие вопросы, подготовить краткий справочный материал по используемым уравнениям и формулам при решении задач для сокращения затрачиваемого времени.
экзамен	Подготовку к экзамену рекомендуется разделить на два этапа. На первом этапе прорабатываются все экзаменационные вопросы и формулируются вопросы к преподавателю в рамках консультации по разделам, недостаточно подробно описанным в рамках лекционного курса или более трудным в освоении материала. После консультации происходит окончательная проработка и закрепление материала по всем экзаменационным вопросам.

#### **10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

Освоение дисциплины "Методы решения сеточных уравнений" предполагает использование следующего программного обеспечения и информационно-справочных систем:

Операционная система Microsoft Windows Professional 7 Russian

Пакет офисного программного обеспечения Microsoft Office 2010 Professional Plus Russian

Adobe Reader XI

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе Издательства "Лань", доступ к которой предоставлен обучающимся. ЭБС Издательства "Лань" включает в себя электронные версии книг издательства "Лань" и других ведущих издательств учебной литературы, а также электронные версии периодических изданий по естественным, техническим и гуманитарным наукам. ЭБС Издательства "Лань" обеспечивает доступ к научной, учебной литературе и научным периодическим изданиям по максимальному количеству профильных направлений с соблюдением всех авторских и смежных прав.

#### **11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)**

Освоение дисциплины "Методы решения сеточных уравнений" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

Мультимедийная аудитория, вместимостью более 60 человек. Мультимедийная аудитория состоит из интегрированных инженерных систем с единой системой управления, оснащенная современными средствами воспроизведения и визуализации любой видео и аудио информации, получения и передачи электронных документов. Типовая комплектация мультимедийной аудитории состоит из: мультимедийного проектора, автоматизированного проекционного экрана, акустической системы, а также интерактивной трибуны преподавателя, включающей тач-скрин монитор с диагональю не менее 22 дюймов, персональный компьютер (с техническими характеристиками не ниже Intel Core i3-2100, DDR3 4096Mb, 500Gb), конференц-микрофон, беспроводной микрофон, блок управления оборудованием, интерфейсы подключения: USB, audio, HDMI. Интерактивная трибуна преподавателя является ключевым элементом управления, объединяющим все устройства в единую систему, и служит полноценным рабочим местом преподавателя. Преподаватель имеет возможность легко управлять всей системой, не отходя от трибуны, что позволяет проводить лекции, практические занятия, презентации, вебинары, конференции и другие виды аудиторной нагрузки обучающихся в удобной и доступной для них форме с применением современных интерактивных средств обучения, в том числе с использованием в процессе обучения всех корпоративных ресурсов. Мультимедийная аудитория также оснащена широкополосным доступом в сеть интернет. Компьютерное оборудование имеет соответствующее лицензионное программное обеспечение.

Компьютерный класс, представляющий собой рабочее место преподавателя и не менее 15 рабочих мест студентов, включающих компьютерный стол, стул, персональный компьютер, лицензионное программное обеспечение. Каждый компьютер имеет широкополосный доступ в сеть Интернет. Все компьютеры подключены к корпоративной компьютерной сети КФУ и находятся в едином домене.

## **12. Средства адаптации преподавания дисциплины к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья**

При необходимости в образовательном процессе применяются следующие методы и технологии, облегчающие восприятие информации обучающимися инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья:

- создание текстовой версии любого нетекстового контента для его возможного преобразования в альтернативные формы, удобные для различных пользователей;
- создание контента, который можно представить в различных видах без потери данных или структуры, предусмотреть возможность масштабирования текста и изображений без потери качества, предусмотреть доступность управления контентом с клавиатуры;
- создание возможностей для обучающихся воспринимать одну и ту же информацию из разных источников - например, так, чтобы лица с нарушениями слуха получали информацию визуально, с нарушениями зрения - аудиально;
- применение программных средств, обеспечивающих возможность освоения навыков и умений, формируемых дисциплиной, за счёт альтернативных способов, в том числе виртуальных лабораторий и симуляционных технологий;
- применение дистанционных образовательных технологий для передачи информации, организации различных форм интерактивной контактной работы обучающегося с преподавателем, в том числе вебинаров, которые могут быть использованы для проведения виртуальных лекций с возможностью взаимодействия всех участников дистанционного обучения, проведения семинаров, выступления с докладами и защиты выполненных работ, проведения тренингов, организации коллективной работы;
- применение дистанционных образовательных технологий для организации форм текущего и промежуточного контроля;
- увеличение продолжительности сдачи обучающимся инвалидом или лицом с ограниченными возможностями здоровья форм промежуточной аттестации по отношению к установленной продолжительности их сдачи:
- продолжительности сдачи зачёта или экзамена, проводимого в письменной форме, - не более чем на 90 минут;
- продолжительности подготовки обучающегося к ответу на зачёте или экзамене, проводимом в устной форме, - не более чем на 20 минут;
- продолжительности выступления обучающегося при защите курсовой работы - не более чем на 15 минут.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО и учебным планом по направлению 01.04.03 "Механика и математическое моделирование" и магистерской программе Компьютерная механика .