

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

Вычислительная гидродинамика Б1.В.ДВ.6

Направление подготовки: 01.03.03 - Механика и математическое моделирование

Профиль подготовки: Общий профиль

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Автор(ы):

Мазо А.Б.

Рецензент(ы):

Егоров А.Г.

СОГЛАСОВАНО:

Заведующий(ая) кафедрой: Егоров А. Г.

Протокол заседания кафедры No _____ от "_____" _____ 201__ г

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

Протокол заседания УМК No _____ от "_____" _____ 201__ г

Регистрационный No

Содержание

1. Цели освоения дисциплины
2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля
4. Структура и содержание дисциплины/ модуля
5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения
6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов
7. Литература
8. Интернет-ресурсы
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины/модуля согласно утвержденному учебному плану

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

1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины "Вычислительная гидродинамика" (ВГ) являются: изучение и практическое освоение основных этапов математического моделирования гидродинамических процессов, включая физическую постановку задачи, выбор математической модели и формулировку начально-краевой задачи, построение сеточной модели области, выбор или разработка сеточных аппроксимаций. Рассматриваются различные алгоритмы построения конечно-разностных и конечноэлементных сеток. Изучаются метод конечных разностей, конечных объемов и конечных элементов. На модельных задачах гидродинамики демонстрируются методы построения сеточных схем, обсуждаются их аппроксимация, устойчивость, консервативность, диссипация и дисперсия. Лекционный курс сопровождается лабораторными и самостоятельными занятиями, где студенты обязаны решить набор задач ВГ, закрепить полученные теоретические навыки и приемы программирования.

2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы высшего профессионального образования

Данная учебная дисциплина включена в раздел "Б1.В.ДВ.6 Дисциплины (модули)" основной образовательной программы 01.03.03 Механика и математическое моделирование и относится к дисциплинам по выбору. Осваивается на 4 курсе, 7, 8 семестры.

Дисциплина входит в базовую часть профессионального цикла нужны первоначальные знания из курсов математического анализа, дифференциальных уравнений, алгебры, механики сплошной среды, методов вычислений. Получаемые знания, умения и навыки необходимы для выполнения бакалаврских и магистерских диссертаций, связанных численным решением систем уравнений в частных производных, математическим моделированием технологических и природных процессов, в основе которых лежат гидродинамика и тепломассообмен.

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ПК-1 (профессиональные компетенции)	способность к определению общих форм, закономерностей, инструментальных средств отдельной предметной области
ПК-10 (профессиональные компетенции)	понимание корректности постановок задач
ПК-12 (профессиональные компетенции)	глубокое понимание сути точности фундаментального знания
ПК-18 (профессиональные компетенции)	умение публично представить собственные и известные научные результаты
ПК-20 (профессиональные компетенции)	владение методами математического и алгоритмического моделирования при решении прикладных и инженерно-технических задач

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ПК-7 (профессиональные компетенции)	умение грамотно пользоваться языком предметной области

В результате освоения дисциплины студент:

1. должен знать:

предмет и задачи ВГ, основные этапы численного моделирования процессов термогидродинамики.

2. должен уметь:

строить сеточные схемы методом конечных разностей, конечных объемов и конечных элементов для типичных задач гидродинамики и теплообмена.

3. должен владеть:

методами построения конечно-разностных, конечнообъемных и конечноэлементных сеток.

4. должен демонстрировать способность и готовность:

построения конечно-разностных, конечнообъемных и конечноэлементных сеточных схем для уравнений гидродинамики и теплообмена

4. Структура и содержание дисциплины/ модуля

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 зачетных(ые) единиц(ы) 216 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины: отсутствует в 7 семестре; экзамен в 8 семестре.

Суммарно по дисциплине можно получить 100 баллов, из них текущая работа оценивается в 50 баллов, итоговая форма контроля - в 50 баллов. Минимальное количество для допуска к зачету 28 баллов.

86 баллов и более - "отлично" (отл.);

71-85 баллов - "хорошо" (хор.);

55-70 баллов - "удовлетворительно" (удов.);

54 балла и менее - "неудовлетворительно" (неуд.).

4.1 Структура и содержание аудиторной работы по дисциплине/ модулю

Тематический план дисциплины/модуля

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
1.	Тема 1. Предмет, задачи и методы вычислительной гидродинамики (ВГ). Классификация течений жидкости. Этапы решения задач ВГ.	7	1-3	6	6	0	Устный опрос

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практи- ческие занятия	Лабора- торные работы	
2.	Тема 2. Основные уравнения и математические модели аэрогидромеханики, фильтрации и теплопереноса.	7	4-7	14	14	0	Контрольная работа
3.	Тема 3. Сетки и основные алгоритмы их построения. Генераторы сеток в CFD-пакетах.	7	8-10	4	4	0	Письменная работа
4.	Тема 4. Метод конечных разностей. Методы построения разностных схем (РС) для типичных задач ВГ. Аппроксимация, устойчивость и сходимости РС. Оценка дисперсии и диссипации РС. Основные РС для уравнений конвекции-диффузии. Схемы 2-го порядка. РС для уравнений Кортвегега де Вриза, Бюргерса. Схемы коррекции потоков и TVD. Факторизованные РС для многомерных уравнений. РС для задач фильтрации.	7	11-18	12	12	0	Письменное домашнее задание
5.	Тема 5. Метод конечных элементов (МКЭ). Базисные функций в методе Галеркина. Интегральные тождества для типичных задач ВГ. Триангуляция, канонический базисный элемент. Дифференцирование и интегрирование. Матрицы масс и жесткости, вектор нагрузок. Численное интегрирование. Сборка системы МКЭ.	8	1-4	4	2	0	Устный опрос
6.	Тема 6. МКЭ для двумерной смешанной задачи теплопроводности. МКЭ для уравнений Навье-Стокса.	8	5-8	4	4	0	Устный опрос
7.	Тема 7. Метод конечных объемов (МКО) Простейшие схемы МКО для 1-мерных уравнений переноса и диффузии. МКО на неструктурированных сетках. Алгоритмы сборки сеточных схем МКО.	8	9-11	2	4	0	Письменное домашнее задание
8.	Тема 8. МКО для задач двухфазной фильтрации. МКО для уравнений Навье-Стокса.	8	12-14	4	4	0	Контрольная работа
.	Тема . Итоговая форма контроля	8		0	0	0	Экзамен

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практи- ческие занятия	Лабора- торные работы	
Итого				50	50	0	

4.2 Содержание дисциплины

Тема 1. Предмет, задачи и методы вычислительной гидродинамики (ВГ). Классификация течений жидкости. Этапы решения задач ВГ.

лекционное занятие (6 часа(ов)):

Предмет, задачи и методы ВГ. Внутренние и внешние течения, сдвиг, струи, пограничный слой, отрыв; стационарные и периодические режимы; ламинарные и турбулентные течения; фильтрация. Этапы решения задач ВГ: физическая постановка, математическая модель, сетка, аппроксимация, алгоритмы численного решения; тестирование схем и алгоритмов, визуализация; калибровка модели.

практическое занятие (6 часа(ов)):

Примеры решения задач вычислительной гидродинамики. Решение типовых задач на построение сеток, аппроксимацию, тестирование схем и алгоритмов; визуализация результатов расчетов; калибровка модели.

Тема 2. Основные уравнения и математические модели аэрогидромеханики, фильтрации и теплопереноса.

лекционное занятие (14 часа(ов)):

Уравнения неразрывности и движения вязкой жидкости. Уравнения Навье-Стокса. Уравнение энергии. Фазовые превращения. Динамический и тепловой пограничные слои. Уравнения Рейнольдса для турбулентных течений и их замыкания. Уравнения фильтрации.

практическое занятие (14 часа(ов)):

Вывод уравнений неразрывности и движения вязкой жидкости, уравнений Навье-Стокса, уравнения энергии, уравнения фильтрации в различных системах координат.

Тема 3. Сетки и основные алгоритмы их построения. Генераторы сеток в CFD-пакетах.

лекционное занятие (4 часа(ов)):

Сетки. Алгоритмы построения сгущающихся и адаптивных сеток. Структурированные и неструктурированные сетки. Композитные, многоблочные, адаптивные и скользящие сетки. Генераторы сеток в CFD-пакетах Fluent-Gambit и GridGen.

практическое занятие (4 часа(ов)):

Построение сгущающихся и адаптивных сеток; структурированных и неструктурированных сеток при помощи генераторов Fluent-Gambit и GridGen.

Тема 4. Метод конечных разностей. Методы построения разностных схем (РС) для типичных задач ВГ. Аппроксимация, устойчивость и сходимости РС. Оценка дисперсии и диссипации РС. Основные РС для уравнений конвекции-диффузии. Схемы 2-го порядка. РС для уравнений Кортвегеа де Вриза, Бюргерса. Схемы коррекции потоков и TVD. Факторизованные РС для многомерных уравнений. РС для задач фильтрации.

лекционное занятие (12 часа(ов)):

Метод конечных разностей. Аппроксимация, устойчивость, сходимость, консервативность, дисперсия и диссипация. Метод Неймана исследования устойчивости явных и неявных РС для уравнений теплопроводности, переноса и конвекции-диффузии. Разностные схемы (РС) 2-го порядка: Кранка-Николсона; Дюффорта-Франкела; Лакса-Вендроффа, ?чехарда?. РС для уравнений конвекции-диффузии, Кортвегеа де Вриза, Бюргерса. Схемы Лакса-Вендроффа, Кранка-Николсона. Слабодиссипативные схемы коррекции потоков и TVD. Экономичные факторизованные РС для многомерных уравнений: ?классики?, Писмена-Рэкфорда, Кранка-Николсона с поправкой. РС для задач двухфазной фильтрации.

практическое занятие (12 часа(ов)):

Построение линеаризованных сеточных схем методом конечных разностей (МКР) для типичных уравнений термогидродинамики. Исследование устойчивости явных и неявных РС.

Тема 5. Метод конечных элементов (МКЭ). Базисные функции в методе Галеркина. Интегральные тождества для типичных задач ВГ. Триангуляция, канонический базисный элемент. Дифференцирование и интегрирование. Матрицы масс и жесткости, вектор нагрузок. Численное интегрирование. Сборка системы МКЭ.

лекционное занятие (4 часа(ов)):

Метод конечных элементов (МКЭ). МКЭ как метод взвешенных невязок. Базисные функции в методе Галеркина. Интегральное тождество как обобщенная (слабая) форма постановки краевых задач. Интегральные тождества для типичных задач ВГ. Триангуляция, канонический базисный элемент, преобразования локальных координат в глобальные и обратно. Базисные функции, дифференцирование и интегрирование. Конечные элементы с линейными, квадратичными и кубическими базисными функциями. Элементные вектора и матрицы: матрицы масс и жесткости, вектор нагрузок. Численное интегрирование. Поэлементная сборка системы МКЭ.

практическое занятие (2 часа(ов)):

Построение линеаризованных сеточных схем методом конечных элементов (МКЭ) для типичных уравнений термогидродинамики. Преобразование локальных координат в глобальные и обратно, дифференцирование и интегрирование с использованием линейных базисных функций.

Тема 6. МКЭ для двумерной смешанной задачи теплопроводности. МКЭ для уравнений Навье-Стокса.

лекционное занятие (4 часа(ов)):

Задачи. Построение сеточной схемы МКЭ для двумерной смешанной задачи теплопроводности. Применение МКЭ для построения сеточной схемы решения уравнений Навье-Стокса.

практическое занятие (4 часа(ов)):

Построение сеточных схем методом конечных элементов (МКЭ) для двумерной смешанной задачи теплопроводности.

Тема 7. Метод конечных объемов (МКО) Простейшие схемы МКО для 1-мерных уравнений переноса и диффузии. МКО на неструктурированных сетках. Алгоритмы сборки сеточных схем МКО.

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Метод конечных объемов (МКО) Принципы построения схем МКО. Простейшие схемы МКО для 1-мерных уравнений переноса и диффузии. Способы вычисления потоков через грани. Граничные условия. Многомерные схемы МКО. Неструктурированные сетки. Структура данных, ориентированная на грани. Алгоритмы сборки сеточных схем МКО.

практическое занятие (4 часа(ов)):

Построение простейших сеточных схем методом конечных объемов (МКО) для 1-мерных уравнений переноса и диффузии. Задание различных граничных условий.

Тема 8. МКО для задач двухфазной фильтрации. МКО для уравнений Навье-Стокса.

лекционное занятие (4 часа(ов)):

Задачи. МКО для задач двухфазной фильтрации. Противопотоковые схемы. МКО для уравнений Навье-Стокса.

практическое занятие (4 часа(ов)):

Построение сеточных схем методом конечных объемов (МКО) для задач двухфазной фильтрации. Применение противопотоковых схем расчета.

4.3 Структура и содержание самостоятельной работы дисциплины (модуля)

N	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
1.	Тема 1. Предмет, задачи и методы вычислительной гидродинамики (ВГ). Классификация течений жидкости. Этапы решения задач ВГ.	7	1-3	подготовка к устному опросу	6	Устный опрос
2.	Тема 2. Основные уравнения и математические модели аэрогидромеханики, фильтрации и теплопереноса.	7	4-7	подготовка к контрольной работе	18	Контрольная работа
3.	Тема 3. Сетки и основные алгоритмы их построения. Генераторы сеток в CFD-пакетах.	7	8-10	подготовка к письменной работе	6	Письменная работа

N	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
4.	<p>Тема 4. Метод конечных разностей. Методы построения разностных схем (РС) для типичных задач ВГ. Аппроксимация, устойчивость и сходимости РС. Оценка дисперсии и диссипации РС. Основные РС для уравнений конвекции-диффузии. Схемы 2-го порядка. РС для уравнений Кортевега де Вриза, Бюргерса. Схемы коррекции потоков и TVD. Факторизованные РС для многомерных уравнений. РС для задач фильтрации.</p>	7	11-18	подготовка домашнего задания	6	Письменное домашнее задание

N	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
5.	Тема 5. Метод конечных элементов (МКЭ). Базисные функции в методе Галеркина. Интегральные тождества для типичных задач ВГ. Триангуляция, канонический базисный элемент. Дифференцирование и интегрирование. Матрицы масс и жесткости, вектор нагрузок. Численное интегрирование. Сборка системы МКЭ.	8	1-4	подготовка к устному опросу	8	Устный опрос
6.	Тема 6. МКЭ для двумерной смешанной задачи теплопроводности. МКЭ для уравнений Навье-Стокса.	8	5-8	подготовка к устному опросу	10	Устный опрос
7.	Тема 7. Метод конечных объемов (МКО) Простейшие схемы МКО для 1-мерных уравнений переноса и диффузии. МКО на неструктурированных сетках. Алгоритмы сборки сеточных схем МКО.	8	9-11	подготовка домашнего задания	6	Письменное домашнее задание

N	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
8.	Тема 8. МКО для задач двухфазной фильтрации. МКО для уравнений Навье-Стокса.	8	12-14	подготовка к контрольной работе	20	Контрольная работа
	Итого				80	

5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения

лекции с применением средств мультимедиа, самостоятельная работа (программирование) с использованием учебного пособия по курсу ВГ, лабораторные занятия, контрольные работы, экзамен. В течение семестра студенты решают набор задач ВГ, указанных преподавателем, к каждому лабораторному занятию. В каждом семестре проводятся контрольные работы (на лабораторных занятиях). К экзамену допускаются студенты, сдавшие все задачи и показавшие положительные результаты по текущей работе в течение семестра.

6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов

Тема 1. Предмет, задачи и методы вычислительной гидродинамики (ВГ). Классификация течений жидкости. Этапы решения задач ВГ.

Устный опрос, примерные вопросы:

Численное моделирование (симуляция) сложных термо- и гидродинамических процессов. Сетки, методы вычислительной математики. Внешние и внутренние, ламинарные и турбулентные течения жидкости. Этапы решения задач ВГ: математическая модель, сеточная модель области, аппроксимация, методы алгебры больших разреженных систем. Тестирование и отладка.

Тема 2. Основные уравнения и математические модели аэрогидромеханики, фильтрации и теплопереноса.

Контрольная работа, примерные вопросы:

Уравнения Навье-Стокса и конвективной теплопроводности. Уравнения Рейнольдса. Уравнения Эйлера и Стокса. Плоские модели в естественных и преобразованных переменных. Уравнения Ламба-Громеки и Бернулли. Уравнения пограничного слоя. Модели фильтрационных течений в подземных резервуарах.

Тема 3. Сетки и основные алгоритмы их построения. Генераторы сеток в CFD-пакетах.

Письменная работа, примерные вопросы:

Алгоритма триангуляции Делоне, диаграммы Вороного. С-сетки, О-сетки. Управление сгущением узлов. Построение двумерной сетки в многосвязной области с помощью генератора GridGen.

Тема 4. Метод конечных разностей. Методы построения разностных схем (РС) для типичных задач ВГ. Аппроксимация, устойчивость и сходимости РС. Оценка дисперсии и диссипации РС. Основные РС для уравнений конвекции-диффузии. Схемы 2-го порядка. РС для уравнений Кортевега де Вриза, Бюргерса. Схемы коррекции потоков и TVD. Факторизованные РС для многомерных уравнений. РС для задач фильтрации.

Письменное домашнее задание, примерные вопросы:

Построение конечно-разностных схем (РС) для типичных задач ВГ. Исследование их аппроксимации, устойчивости и сходимости. Решение типичных задач ВГ для уравнений конвекции-диффузии. Решение уравнений Кортвега де Вриза, Бюргерса. Программирование схем коррекции потоков и TVD. Решение двумерных уравнений с помощью факторизованных РС.

Тема 5. Метод конечных элементов (МКЭ). Базисные функции в методе Галеркина. Интегральные тождества для типичных задач ВГ. Триангуляция, канонический базисный элемент. Дифференцирование и интегрирование. Матрицы масс и жесткости, вектор нагрузок. Численное интегрирование. Сборка системы МКЭ.

Устный опрос , примерные вопросы:

Метод конечных элементов (МКЭ) как метод Галеркина. Интегральные тождества для уравнений ВГ, учет граничных условий 2-го и 3-го рода с помощью теоремы Гаусса-Остроградского. Учет главных граничных условий. Триангуляция, канонический базисный элемент. Дифференцирование и интегрирование. Сборка матрицы масс и жесткости, вектор нагрузок. Численное интегрирование.

Тема 6. МКЭ для двумерной смешанной задачи теплопроводности. МКЭ для уравнений Навье-Стокса.

Устный опрос , примерные вопросы:

Построение схемы МКЭ для двумерной смешанной задачи теплопроводности. Элементные вклады и сборка глобальной системы МКЭ для уравнений Навье-Стокса.

Тема 7. Метод конечных объемов (МКО) Простейшие схемы МКО для 1-мерных уравнений переноса и диффузии. МКО на неструктурированных сетках. Алгоритмы сборки сеточных схем МКО.

Письменное домашнее задание , примерные вопросы:

Решение 1-мерных задач конвекции-диффузии методом конечных объемов (МКО) Применение МКО на неструктурированных сетках для двумерных задач. Реализация алгоритмов сборки сеточных схем МКО по граням.

Тема 8. МКО для задач двухфазной фильтрации. МКО для уравнений Навье-Стокса.

Контрольная работа , примерные вопросы:

Сеточные схемы МКО для уравнений пьезопроводности и переноса насыщенности. Схемы SIMPLE на основе МКО для уравнений Навье-Стокса в переменных UVP для несжимаемой жидкости.

Итоговая форма контроля

экзамен (в 8 семестре)

Примерные вопросы к итоговой форме контроля

ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ

1. Предмет, задачи и методы вычислительной гидродинамики (ВГ). Классификация течений жидкости. Этапы решения задач ВГ.
2. Уравнения Навье-Стокса.
3. Уравнение конвективной теплопроводности.
4. Турбулентность: уравнения Рейнольдса.
5. Уравнения Эйлера и Стокса.
6. Плоские модели в естественных и преобразованных переменных.
7. Уравнения Ламба-Громеки и Бернулли.
8. Уравнения динамического и теплового пограничного слоя.
9. Модели фильтрационных течений в подземных резервуарах.
10. Сетки и основные алгоритмы их построения. Генераторы сеток в CFD-пакетах.
11. Построение конечно-разностных схем (РС) для типичных задач ВГ.
12. Исследование аппроксимации, устойчивости и сходимости КРС.

13. Численное решение уравнений конвекции-диффузии.
14. Решение уравнений Кортвегега де Вриза, Бюргерса.
15. Программирование схем коррекции потоков и TVD.
16. Решение двумерных уравнений с помощью факторизованных РС.
17. Метод конечных элементов (МКЭ) как метод Галеркина.
19. Интегральные тождества для уравнений ВГ, учет граничных условий 2-го и 3-го рода с помощью теоремы Гаусса-Остроградского.
20. Учет главных граничных условий в схемах МКЭ.
21. Триангуляция, канонический базисный элемент. Дифференцирование и интегрирование.
22. Сборка матриц масс и жесткости, вектора нагрузок. Численное интегрирование.
23. Метод конечных объемов (МКО). Простейшие схемы МКО для уравнений переноса и диффузии.
24. МКО на неструктурированных сетках. Алгоритмы сборки сеточных схем МКО.
25. Сеточные схемы МКО для уравнений пьезопроводности и переноса насыщенности.
26. Схемы SIMPLE на основе МКО для уравнений Навье-Стокса в переменных UVP для несжимаемой жидкости.

7.1. Основная литература:

1. Бухгольц, Н.Н. Основной курс теоретической механики: учебное пособие: в 2 частях / Н.Н. Бухгольц. - 10-е изд., стер. - Санкт-Петербург : Лань, [б. г.]. - Часть 1 : Кинематика, статика, динамика материальной точки. - 2009. - 480 с. - ISBN 978-5-8114-0919-8. - Текст : электронный // Электронно-библиотечная система 'Лань' : [сайт]. - URL: <https://e.lanbook.com/book/32>
2. Бухгольц, Н.Н. Основной курс теоретической механики: учебное пособие / Н.Н. Бухгольц. - 8-е изд., стер. - Санкт-Петербург : Лань, [б. г.]. - Часть 2 : Динамика системы материальных точек. - 2016. - 336 с. - ISBN 978-5-8114-0926-6. - Текст : электронный // Электронно-библиотечная система 'Лань' : [сайт]. - URL: <https://e.lanbook.com/book/72973>
3. Мещерский, И.В. Задачи по теоретической механике: учебное пособие / И.В. Мещерский. - 5-е изд., стер. - Санкт-Петербург : Лань, 2012. - 448 с. - ISBN 978-5-8114-0019-1. - Текст : электронный // Электронно-библиотечная система 'Лань' : [сайт]. - URL: <https://e.lanbook.com/book/2786>

7.2. Дополнительная литература:

1. Семенов, В. П. Основы механики жидкости [Электронный ресурс]: учеб. пособие / В. П. Семенов. - М.: ФЛИНТА, 2013. - 375 с. - ISBN 978-5-9765-0870-5 - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/462982>
2. Волков, К.Н. Вычислительные технологии в задачах механики жидкости и газа: учебное пособие / К.Н. Волков, В.Н. Емельянов. - Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2012. - 468 с. - ISBN 978-5-9221-1438-7. - Текст: электронный // Электронно-библиотечная система 'Лань': [сайт]. - URL: <https://e.lanbook.com/book/59637>

7.3. Интернет-ресурсы:

- Ильин В. П. Методы конечных разностей и конечных объемов для эллиптических уравнений - <http://opac.mpei.ru/notices/index/IdNotice:51845/Source:default>
- Мазо А.Б. Основы теории и методы расчета теплопередачи: учебное пособие / ? Казань: Казан. ун-т, 2013. - 144 с. - http://www.kpfu.ru/docs/F139730217/Mazo_Teploperedacha.pdf
- Научная электронная библиотека - <http://elibrary.ru/>
- Норри Д., де Фриз Ж. Введение в метод конечных элементов - <http://download.nehudlit.ru/area001/self0004/norry.rar>

Электронные ресурсы издательства - <http://link.springer.com/>

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины(модуля)

Освоение дисциплины "Вычислительная гидродинамика" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

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.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "ZNANIUM.COM", доступ к которой предоставлен студентам. ЭБС "ZNANIUM.COM" содержит произведения крупнейших российских учёных, руководителей государственных органов, преподавателей ведущих вузов страны, высококвалифицированных специалистов в различных сферах бизнеса. Фонд библиотеки сформирован с учетом всех изменений образовательных стандартов и включает учебники, учебные пособия, УМК, монографии, авторефераты, диссертации, энциклопедии, словари и справочники, законодательно-нормативные документы, специальные периодические издания и издания, выпускаемые издательствами вузов. В настоящее время ЭБС ZNANIUM.COM соответствует всем требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования (ФГОС ВПО) нового поколения.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе Издательства "Лань" , доступ к которой предоставлен студентам. 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.

учебные аудитории для проведения лекционных и семинарских занятий, компьютерный класс с набором базового программного обеспечения разработчика - системы программирования на языках C++ и Delphi с возможностью многопользовательской работы и централизованного администрирования.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и учебным планом по направлению 01.03.03 "Механика и математическое моделирование" и профилю подготовки Общий профиль .

Автор(ы):

Мазо А.Б. _____

"__" _____ 201__ г.

Рецензент(ы):

Егоров А.Г. _____

"__" _____ 201__ г.