

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**

Аналитические методы гидродинамики

Направление подготовки: 01.03.03 - Механика и математическое моделирование

Профиль подготовки: Механика и математическое моделирование

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2020

## Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО
2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО
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 (модуля)
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)
6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)
7. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
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 (модуля) к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья
13. Приложение №1. Фонд оценочных средств
14. Приложение №2. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
15. Приложение №3. Перечень информационных технологий, используемых для освоения дисциплины (модуля), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

Программу дисциплины разработал(а)(и) профессор, д.н. (профессор) Маклаков Д.В. (Кафедра аэрогидромеханики, отделение механики), dmaklak@kpfu.ru

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

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль), должен обладать следующими компетенциями:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ОПК-2	Способен применять методы математического и алгоритмического моделирования, современный математический аппарат в научно-исследовательской и опытно-конструкторской деятельности
ПК-5	Способен математически корректно ставить естественнонаучные задачи математики и механики

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль):

Должен знать:

Обучающийся должен знать основы метода особых точек С.А. Чаплыгина.

Должен уметь:

Обучающийся должен уметь применять метод особых точек для струйных задач обтекания полигональных препятствий.

Должен владеть:

Обучающийся должен владеть основными методами решения задач гидродинамики со свободными границами.

Должен демонстрировать способность и готовность:

Моделировать физические явления, связанные с течениями жидкости, на языке математики. Освоить ряд аналитических методов, применяемых в гидродинамике.

### 2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО

Данная дисциплина (модуль) включена в раздел "Б1.В.ДВ.04.01 Дисциплины (модули)" основной профессиональной образовательной программы 01.03.03 "Механика и математическое моделирование (Механика и математическое моделирование)" и относится к дисциплинам по выбору. Осваивается на 3, 4 курсах в 6, 7, 8 семестрах.

### 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 7 зачетных(ые) единиц(ы) на 252 часа(ов).

Контактная работа - 103 часа(ов), в том числе лекции - 50 часа(ов), практические занятия - 50 часа(ов), лабораторные работы - 0 часа(ов), контроль самостоятельной работы - 3 часа(ов).

Самостоятельная работа - 131 часа(ов).

Контроль (зачёт / экзамен) - 18 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины: зачет в 6 семестре; зачет в 7 семестре; экзамен в 8 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. Кинематика плоских потенциальных течений.	6	2	2	0	5

N	Разделы дисциплины / модуля	Семестр	Виды и часы контактной работы, их трудоемкость (в часах)			Самостоятельная работа
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
2.	Тема 2. Обтекание кругового цилиндра.	6	2	2	0	5
3.	Тема 3. Обтекание цилиндра произвольного сечения: метод конформных отображений.	6	2	2	0	5
4.	Тема 4. Постулат Жуковского? Чаплыгина. Профили Жуковского.	6	2	2	0	5
5.	Тема 5. Формулы Жуковского и Чаплыгина для главного вектора и главного момента сил давления на профиль.	6	2	2	0	5
6.	Тема 6. Фокус профиля. Теорема Чаплыгина. Статическая устойчивость профиля.	6	2	2	0	5
7.	Тема 7. Обратная задача об обтекании профиля. Построение профиля по $v(s)$ . Метод конформного отображения односвязных областей.	6	6	6	0	5
8.	Тема 8. Исторические сведения о теории струй. Метод особых точек С.А. Чаплыгина для решения плоских задач теории струйных и кавитационных течений.	7	2	2	0	4
9.	Тема 9. Задача Гельмгольца о всасывании жидкости в трубку.	7	2	2	0	4
10.	Тема 10. Задача Рэлея.	7	2	2	0	4
11.	Тема 11. Обтекание симметричного клина.	7	2	2	0	4
12.	Тема 12. Явление глиссирования. Задача о глиссировании плоской пластины.	7	2	2	0	4
13.	Тема 13. Применение теоремы об изменении количества движения при решении задач теории струй.	7	2	2	0	4
14.	Тема 14. Натекание струи на стенку (полное решение)	7	2	2	0	4
15.	Тема 15. Обтекание криволинейных препятствий. Метод Леви-Чивиты.	7	4	4	0	7
16.	Тема 16. Условия гладкого отрыва Бриллюэна-Вилла.	8	2	2	0	10
17.	Тема 17. Формулы Леви-Чивиты для сил, действующих на криволинейное препятствие. Асимптотическое поведение струй на бесконечности. Формула Чаплыгина.	8	2	2	0	10
18.	Тема 18. Аналог теоремы Кутта-Жуковского при обтекании профиля с отрывом струй (формулы Маклакова для подъемной силы и сопротивления)	8	2	2	0	10

N	Разделы дисциплины / модуля	Семестр	Виды и часы контактной работы, их трудоемкость (в часах)			Самостоятельная работа
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
19.	Тема 19. Явление кавитации. Первое условие Бриллюэна. Теорема о вогнутости границ каверны. Парадокс Бриллюэна. Обзор различных кавитационных схем.	8	2	2	0	10
20.	Тема 20. Обтекание пластинки по схеме Эфроса. Общее решение и система уравнений для определения математических параметров.	8	2	2	0	10
21.	Тема 21. Вычисление сил для схемы Эфроса.	8	2	2	0	11
22.	Тема 22. Обтекание пластинки по схеме Тулина-Трентьева. Общее решение и система уравнений для определения математических параметров.	8	2	2	0	0
	Итого		50	50	0	131

#### 4.2 Содержание дисциплины (модуля)

##### Тема 1. Кинематика плоских потенциальных течений.

Комплексный потенциал и комплексно-сопряженная скорость.

Свойства комплексного потенциала.

Потенциалы простейших течений. Равномерный поток.

Источник в точке  $z_0$ . Диполь (дублет) в точке  $z_0$ .

Вихрь в точке  $z_0$ . Вихреисточник в точке  $z_0$ .

Потенциалы особенностей высших порядков.

Источник или вихрь вблизи твердой стенки (метод отражения).

##### Тема 2. Обтекание кругового цилиндра.

Комплексный потенциал и комплексно-сопряженная скорость для бесциркуляционного обтекания цилиндра.

Переход к случаю произвольного угла натекания.

Комплексный потенциал и комплексно-сопряженная скорость для циркуляционного обтекания цилиндра. Три случая расположения критических точек. Переход к случаю произвольного угла натекания.

##### Тема 3. Обтекание цилиндра произвольного сечения: метод конформных отображений.

Обтекание цилиндра произвольного сечения: метод конформных отображений. Теорема о сохранении циркуляции. Параметрическое представление решения. Конформное отображение внешности круга на внешность эллипса. Обтекание эллипса и пластики. Переход в физическую плоскость. Применение постулата Жуковского-Чаплыгина для пластинки.

##### Тема 4. Постулат Жуковского-Чаплыгина. Профили Жуковского.

Постулат Жуковского-Чаплыгина. Что такое крыловой профиль?

Постулат Жуковского-Чаплыгина об ограниченности скорости на острой кромке. Линия нулевой подъемной силы. Конформное отображение внешности круга на внешность профиля Жуковского.

Параметры профиля Жуковского. Обобщенные профили Жуковского.

##### Тема 5. Формулы Жуковского и Чаплыгина для главного вектора и главного момента сил давления на профиль.

Формулы Чаплыгина для главного вектора и главного

момента сил давления на профиль. Разложение комплексно-сопряженной скорости в окрестности бесконечно-удаленной точки при обтекании одиночного профиля,

теорема Кутты-Жуковского, формула Чаплыгина для главного момента.

Обтекание пластинки при выполнении постулата Жуковского-Чаплыгина.

##### Тема 6. Фокус профиля. Теорема Чаплыгина. Статическая устойчивость профиля.

Фокус профиля. Теорема Чаплыгина. Формулы для нахождения фокуса профиля. Линия действия результирующей силы. Теорема об огибающих срединных перпендикуляров отрезков, соединяющих фокус параболы с директрисой.

Парабола устойчивости (метацентров). Геометрический способ построения линии действия. Статическая устойчивость профиля.

#### **Тема 7. Обратная задача об обтекании профиля. Построение профиля по $v(s)$ . Метод конформного отображения односвязных областей.**

Постановка обратной задачи. Разложение комплексного потенциала вблизи острой кромки. Условия согласования. Нелинейное трансцендентное уравнение для определения теоретического угла атаки.

Сведение обратной задачи к краевой задаче Шварца для внешности круга. Параметризация, квазирешения, аналитические формулы. Программа расчета.

#### **Тема 8. Исторические сведения о теории струй. Метод особых точек С.А. Чаплыгина для решения плоских задач теории струйных и кавитационных течений.**

Метод параметризации. Задача о всасывании жидкости в трубку без образования застойных зон. Теорема Кристоффеля-Шварца. Метод особых точек С.А. Чаплыгина. Принцип симметрии Римана-Шварца. Симметрия на круге, преобразование инверсии. Теорема Лиувилля и следствие из нее.

Замечание о локальных свойствах конформных отображений.

#### **Тема 9. Задача Гельмгольца о всасывании жидкости в трубку.**

Задача Гельмгольца о всасывании жидкости в трубку. Модель застойной зоны Гельмгольца.

Построение комплексно-сопряженной скорости  $dw/dt$  по особенностям. Таблица особенностей.

Построение фиктивного течения в параметрической плоскости. Построение  $dw/(v_0 dz)$  по особенностям. Годограф. Определение гидродинамических характеристик.

#### **Тема 10. Задача Рэлея.**

Задача Рэлея о струйном обтекании пластики под углом атаки. Построение комплексно-сопряженной скорости  $dw/dt$  фиктивного течения и комплексного потенциала  $w(t)$ . Построение  $dw/(v_0 dz)$ . Гидродинамические характеристики. Формула Рэлея для нормальной силы, действующей на пластинку. Истечение струи из воронки. Частные случаи задачи.

#### **Тема 11. Обтекание симметричного клина.**

Задача о струйном обтекании симметричного клина. Построение комплексно-сопряженной скорости  $dw/dt$  фиктивного течения и комплексного потенциала  $w(t)$ . Построение  $dw/(v_0 dz)$  по особенностям и исходя из годографа скорости. Формула для гидродинамического сопротивления клина. Угол раствора клина максимального сопротивления.

#### **Тема 12. Явление глиссирования. Задача о глиссировании плоской пластины.**

Задача о глиссировании плоской пластины. Построение комплексно-сопряженной скорости  $dw/dt$  фиктивного течения и комплексного потенциала  $w(t)$ . Построение  $dw/(v_0 dz)$  по особенностям и исходя из годографа скорости. Гипотеза Вагнера для определения длины омываемой части пластины. План решения задачи в пакете Математика.

#### **Тема 13. Применение теоремы об изменении количества движения при решении задач теории струй.**

Формулировка теоремы об изменении количества движений для задач теории струй. Пример 1. Задача о симметричном натекании жидкости на клин. Пример 2. Натекание струи на стенку.

Применение теоремы об изменении количества движений для определения коэффициента нормального давления в задаче о глиссировании плоской пластины.

#### **Тема 14. Натекание струи на стенку (полное решение)**

Постановка задачи о натекании струи на плоскую стенку. Построение комплексно-сопряженной скорости  $dw/dt$  фиктивного течения и комплексного потенциала  $w(t)$ . Построение  $dw/(v_0 dz)$  по особенностям и исходя из годографа скорости. Гидродинамические характеристики. Зависимость

толщин разделившейся струи от угла натекания.

Контрольная работа.

#### **Тема 15. Обтекание криволинейных препятствий. Метод Леви-Чивиты.**

Обтекание криволинейных препятствий. Метод Леви-Чивиты.

Способ Некрасова задания формы дуги. Параметризация Леви-Чивиты.

Основное представление искомой функции. Краевая задача для аналитической функции

$\Omega(z)$ . Представление  $\Omega(z)$  в виде степенного ряда. Алгоритм определения коэффициентов ряда.

#### **Тема 16. Условия гладкого отрыва Бриллюэна-Вилла.**

Вывод условия гладкого отрыва Бриллюэна-Вилла. Логарифмический годограф для криволинейного препятствия. Анализ разложений вблизи угловых точек годографа. Вычисление кривизн в точках отрыва потока. Случаи конечной кривизны струй в точках отрыва. Неприемлимые случаи обтекания: пересечение препятствия оторвавшейся струей и образование струй с точками перегиба.

**Тема 17. Формулы Леви-Чивиты для сил, действующих на криволинейное препятствие. Асимптотическое поведение струй на бесконечности. Формула Чаплыгина.**

Вывод формулы Леви-Чивиты для сил, действующих на криволинейное препятствие. Свойства функции Леви-Чивиты и функции  $dw/dt$  при аналитическом продолжении с параметрического полу-круга на весь круг. Сведение задачи о вычислении силы к тореме о вычетах. Вычисление вычета в начале координат. Асимптотическое поведение струй на бесконечности. Вывод формулы Чаплыгина.

**Тема 18. Аналог теоремы Кутта-Жуковского при обтекании профиля с отрывом струй (формулы Маклакова для подъемной силы и сопротивления)**

Анализ формул Леви-Чивиты и раскрытие физического смысла параметров, входящих в формулы.

Представление функции Леви-Чивиты через интеграл Шварца. Формулы для параметров Леви-Чивиты через интеграл Шварца. Переход из параметрической плоскости в физическую. Интегралы в физической плоскости. Вывод формул Маклакова.

**Тема 19. Явление кавитации. Первое условие Бриллюэна. Теорема о вогнутости границ каверны. Парадокс Бриллюэна. Обзор различных кавитационных схем.**

Явление кавитации. Первое условие Бриллюэна. Теорема о вогнутости границ каверны. Парадокс Бриллюэна. Обзор различных кавитационных схем.

- 1) Схема Рябушинского с зеркалом.
- 2) Схема Эфроса с возвратной струйкой.
- 3) Схема Тулина-Терентьева с одинарным спиральным вихрем.
- 4) Схема Тулина с двойным спиральным вихрем.
- 5) Схема Жуковского-Рошко-Эпплера.
- 6) Схема Ву.

**Тема 20. Обтекание пластинки по схеме Эфроса. Общее решение и система уравнений для определения математических параметров.**

Обтекание пластинки по схеме Эфроса. Построение комплексно-сопряженной скорости  $dw/dt$  и фиктивного течения в параметрической плоскости. Построение  $dw/(v_0 dz)$  по особенностям. Общее решение и система уравнений для определения математических параметров. Вывод в пакете Математика системы уравнений для схемы Эфроса. Решение системы для схемы Эфроса с помощью программы FindRoot.

**Тема 21. Вычисление сил для схемы Эфроса.**

Вывод формулы для сил в схеме Эфроса. Свойства функции Леви-Чивиты и функции  $dw/dt$  при аналитическом продолжении с параметрического полуокруга круга на весь круг. Сведение задачи о вычислении силы к тореме о вычетах. Вычисление вычетов в характерных точках. Выражение вектора силы через циркуляцию вокруг системы тело-каверна, расход и направление возвратной струйки.

**Тема 22. Обтекание пластинки по схеме Тулина-Терентьева. Общее решение и система уравнений для определения математических параметров.**

Обтекание пластинки по схеме Тулина-Терентьева. Построение комплексно-сопряженной скорости  $dw/dt$  и фиктивного течения в параметрической плоскости. Построение  $dw/(v_0 dz)$  по особенностям. Общее решение и система уравнений для определения математических параметров. Вывод в пакете Математика системы уравнений для схемы Тулина-Терентьева. Решение системы для схемы Тулина-Терентьева с помощью программы FindRoot.

**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"

Устав федерального государственного автономного образовательного учреждения "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Правила внутреннего распорядка федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Локальные нормативные акты Казанского (Приволжского) федерального университета

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

Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю) включает оценочные материалы, направленные на проверку освоения компетенций, в том числе знаний, умений и навыков. Фонд оценочных средств включает оценочные средства текущего контроля и оценочные средства промежуточной аттестации.

В фонде оценочных средств содержится следующая информация:

- соответствие компетенций планируемым результатам обучения по дисциплине (модулю);
- критерии оценивания сформированности компетенций;
- механизм формирования оценки по дисциплине (модулю);
- описание порядка применения и процедуры оценивания для каждого оценочного средства;
- критерии оценивания для каждого оценочного средства;
- содержание оценочных средств, включая требования, предъявляемые к действиям обучающихся, демонстрируемым результатам, задания различных типов.

Фонд оценочных средств по дисциплине находится в Приложении 1 к программе дисциплины (модулю).

### 7. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

Освоение дисциплины (модуля) предполагает изучение основной и дополнительной учебной литературы. Литература может быть доступна обучающимся в одном из двух вариантов (либо в обоих из них):

- в электронном виде - через электронные библиотечные системы на основании заключенных КФУ договоров с правообладателями;
- в печатном виде - в Научной библиотеке им. Н.И. Лобачевского. Обучающиеся получают учебную литературу на абонементе по читательским билетам в соответствии с правилами пользования Научной библиотекой.

Электронные издания доступны дистанционно из любой точки при введении обучающимся своего логина и пароля от личного кабинета в системе "Электронный университет". При использовании печатных изданий библиотечный фонд должен быть укомплектован ими из расчета не менее 0,5 экземпляра (для обучающихся по ФГОС 3++ - не менее 0,25 экземпляра) каждого из изданий основной литературы и не менее 0,25 экземпляра дополнительной литературы на каждого обучающегося из числа лиц, одновременно осваивающих данную дисциплину.

Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля), находится в Приложении 2 к рабочей программе дисциплины. Он подлежит обновлению при изменении условий договоров КФУ с правообладателями электронных изданий и при изменении комплектования фондов Научной библиотеки КФУ.

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

А.В. Гулин, О.С. Мажорова, В.А. Морозова Введение в численные методы в задачах и упражнениях - <http://www.znaniyum.com/bookread.php?book=454592>

Бармасов, А. В. Курс общей физики для природопользователей. Колебания и волны: учеб. - <http://www.znaniyum.com/bookread.php?book=349952>

Методы научного познания: Учебное пособие / С.А. Лебедев. - <http://www.znaniyum.com/bookread.php?book=450183>

### 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.



Вид работ	Методические рекомендации
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 конспектов оказывается 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.
зачет	Подготовку к зачету рекомендуется разделить на два этапа. На первом этапе прорабатываются все вопросы к зачету 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 вопросам.
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)**

Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем, представлен в Приложении 3 к рабочей программе дисциплины (модуля).

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

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине (модулю) включает в себя следующие компоненты:

Помещения для самостоятельной работы обучающихся, укомплектованные специализированной мебелью (столы и стулья) и оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду КФУ.

Учебные аудитории для контактной работы с преподавателем, укомплектованные специализированной мебелью (столы и стулья).

Компьютер и принтер для распечатки раздаточных материалов.

Мультимедийная аудитория.

Компьютерный класс.

#### **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, выступлений 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 01.03.03 "Механика и математическое моделирование" и профилю подготовки "Механика и математическое моделирование".

Приложение 2  
к рабочей программе дисциплины (модуля)  
Б1.В.ДВ.04.01 Аналитические методы гидродинамики

**Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)**

Направление подготовки: 01.03.03 - Механика и математическое моделирование

Профиль подготовки: Механика и математическое моделирование

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2020

**Основная литература:**

1. Нигматулин, Р. И. Механика сплошной среды: учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 010701 'Фундаментальная механика и механика' и направлению подготовки 010800 'Механика и математическое моделирование'. Кинематика. Динамика. Термодинамика. Статистическая динамика / Р. И. Нигматулин. - Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2014. - 639 с.
2. Нигматулин Р.И. Механика сплошной среды. Кинематика. Динамика. Термодинамика. Статистическая динамика [Электронный ресурс] / Нигматулин Р. И. - М.: ГЭОТАР-Медиа, 2014. - 640 с. - ISBN 978-5-9704-2898-6 - URL: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785970428986.html>
3. Марданов, Ренат Ф. Особенности численной реализации методов решения прямых и обратных краевых задач аэрогидродинамики : учебное пособие к курсу 'Численная реализация методов решения прямых и обратных краевых задач аэрогидродинамики' / Р. Ф. Марданов ; Казан. (Приволж.) федер. ун-т, Ин-т математики и механики им. Н. И. Лобачевского, Каф. аэрогидромеханики. - Казань: [КФУ], 2013. - 59 с.
4. Темам Р. Математическое моделирование в механике сплошных сред: учебное пособие / Р. Темам, А. Миранвиль; под редакцией Г. М. Кобелькова; перевод И. О. Арушаняна. - 3-е изд. - Москва: Лаборатория знаний, 2017. - 323 с. - ISBN 978-5-00101-494-2. - Текст: электронный // Электронно-библиотечная система 'Лань': [сайт]. - URL: <https://e.lanbook.com/book/94110>

**Дополнительная литература:**

1. Андреев В.К. Математические модели механики сплошных сред: учебное пособие / В.К. Андреев. - Санкт-Петербург: Лань, 2015. - 240 с. - ISBN 978-5-8114-1998-2. - Текст: электронный // Электронно-библиотечная система 'Лань': [сайт]. - URL: <https://e.lanbook.com/book/67464>
2. Учайкин, В.В. Механика. Основы механики сплошных сред. Задачи с указаниями и ответами: учебное пособие / В.В. Учайкин. - Санкт-Петербург: Лань, 2018. - 320 с. - ISBN 978-5-8114-2803-8. - Текст: электронный // Электронно-библиотечная система 'Лань': [сайт]. - URL: <https://e.lanbook.com/book/101845>
3. Шинкин, В.Н. Механика сплошных сред: Курс лекций : учебное пособие / В.Н. Шинкин. - Москва: МИСИ, 2010. - 235 с. - ISBN 978-5-87623-370-7. - Текст: электронный // Электронно-библиотечная система 'Лань': [сайт]. - URL: <https://e.lanbook.com/book/2079>

Приложение 3  
к рабочей программе дисциплины (модуля)  
Б1.В.ДВ.04.01 Аналитические методы гидродинамики

**Перечень информационных технологий, используемых для освоения дисциплины (модуля), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем**

Направление подготовки: 01.03.03 - Механика и математическое моделирование

Профиль подготовки: Механика и математическое моделирование

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2020

Освоение дисциплины (модуля) предполагает использование следующего программного обеспечения и информационно-справочных систем:

Операционная система Microsoft Windows 7 Профессиональная или Windows XP (Volume License)

Пакет офисного программного обеспечения Microsoft Office 365 или Microsoft Office Professional plus 2010

Браузер Mozilla Firefox

Браузер Google Chrome

Adobe Reader XI или Adobe Acrobat Reader DC

Kaspersky Endpoint Security для Windows