

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. Д.А. Таюрский

« 01 » июня 2021 г.

*подписано электронно-цифровой подписью*

## Программа дисциплины

Пакеты численного моделирования задач гидромеханики

Направление подготовки: 01.04.03 - Механика и математическое моделирование

Профиль подготовки: Механика жидкости, газа и плазмы

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2021

## 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): доцент, к.н. Нуриев А.Н. (Кафедра аэрогидромеханики, отделение механики), Artem.Nuriev@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
ПК-4	Способен применять методы математического и алгоритмического моделирования при решении теоретических и прикладных задач

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль):

Должен знать:

структуру и возможности современных CFD пакетов; физические и математические модели и методы решения, включенные в программу; круг задач, решаемых с помощью CFD пакетов

Должен уметь:

уметь работать в среде графического редактора для создания геометрии расчетной области и сеточного разбиения; задавать граничные условия; выбирать и задавать свойства среды, в том числе для смесей; работать с файлами, создаваемыми CFD пакетами (импортировать, экспортировать, редактировать); адаптировать созданное сеточное разбиение; создавать дополнительные функции; представлять расчетные результаты в графическом виде и вычислять интегральные характеристики; создавать дополнительные программные модули к CFD пакету; параметризовать решаемую задачу

Должен владеть:

владеть навыками решения задач аэрогидромеханики средствами современных CFD пакетов, включая все этапы: препроцессинг, решение, постпроцессинг;

Должен демонстрировать способность и готовность:

решать задачи аэрогидромеханики средствами современных CFD пакетов, включая все этапы: препроцессинг, решение, постпроцессинг

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

Данная дисциплина (модуль) включена в раздел "ФТД.Н.2 Факультативные дисциплины" основной профессиональной образовательной программы 01.04.03 "Механика и математическое моделирование (Механика жидкости, газа и плазмы)" и относится к .

Осваивается на 1 курсе в 2 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 2 зачетных(ые) единиц(ы) на 72 часа(ов).

Контактная работа - 27 часа(ов), в том числе лекции - 10 часа(ов), практические занятия - 16 часа(ов), лабораторные работы - 0 часа(ов), контроль самостоятельной работы - 1 часа(ов).

Самостоятельная работа - 45 часа(ов).

Контроль (зачёт / экзамен) - 0 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины: зачет во 2 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	Се- местр	Виды и часы контактной работы, их трудоемкость (в часах)						Само- стоя- тель- ная ра- бота
			Лекции, всего	Лекции в эл. форме	Практи- ческие занятия, всего	Практи- ческие в эл. форме	Лабора- торные работы, всего	Лабора- торные в эл. форме	
1.	Тема 1. Численные методы решения								

задач аэромеханики. Метод конечных объемов.

N	Разделы дисциплины / модуля	Се- местр	Виды и часы контактной работы, их трудоемкость (в часах)						Само- стоя- тель- ная ра- бота
			Лекции, всего	Лекции в эл. форме	Практи- ческие занятия, всего	Практи- ческие в эл. форме	Лабора- торные работы, всего	Лабора- торные в эл. форме	
2.	Тема 2. Тема 2. Использование CFD пакетов. Виды CFD пакетов. Организация CFD пакета OpenFOAM. Этапы работы.	2	2	0	2	0	0	0	4
3.	Тема 3. Тема 3. Создание расчетной сетки. Модули blockMesh, snappyHexMesh. Импорт расчетной сетки, созданной в сторонних пакетах.	2	2	0	4	0	0	0	8
4.	Тема 4. Тема 4. Решение задач в OpenFOAM. Конфигурация проекта. Задание граничных и начальных условий, настройка решателей. Создание собственного решателя.	2	2	0	4	0	0	0	8
5.	Тема 5. Тема 5. Постпроцессинг. Использование встроенных функций постпроцессинга. ParaView.	2	2	0	4	0	0	0	8
6.	Тема 6. Тема 6. Решение индивидуальной задачи.	2	0	0	2	0	0	0	9
	Итого		10	0	16	0	0	0	45

#### 4.2 Содержание дисциплины (модуля)

##### **Тема 1. Тема 1. Численные методы решения задач аэромеханики. Метод конечных объемов.**

Система уравнений движения жидкости и газа. Обобщенное уравнение переноса. Метод конечных объемов.

Уравнение диффузии. Уравнение конвективной диффузии. Описание схем аппроксимации. Алгоритмы Simple, PISO, PIMPLE .

Решение системы алгебраических уравнений для дискретных значений функций. Нестационарные задачи.

Граничные условия. Основные модели турбулентности в CFD пакетах.

##### **Тема 2. Тема 2. Использование CFD пакетов. Виды CFD пакетов. Организация CFD пакета OpenFOAM. Этапы работы.**

Виды CFD пакетов. Классификация по методам решения. Открытые и проприетарные решения. Организация пакета OpenFOAM, открытой интегрируемой платформы для численного моделирования задач механики сплошных сред.

О применении пакета для различных задач МСС, в частности:

Прочностных расчетов;

Изучения гидродинамики ньютоновских и неньютоновских вязких жидкостей как в несжимаемом, так и сжимаемом приближении с учётом конвективного теплообмена и действием сил гравитации. Для моделирования турбулентных течений возможно использование RANS-моделей, LES- и DNS-методов. Возможно решение дозвуковых, околосзвуковых и сверхзвуковых задач;

Задач теплопроводности в твёрдом теле;

Многофазных задач, в том числе с описанием химических реакций компонент потока;

Задач, связанные с деформацией расчётной сетки;

##### **Тема 3. Тема 3. Создание расчетной сетки. Модули blockMesh, snappyHexMesh. Импорт расчетной сетки, созданной в сторонних пакетах.**

Препроцессинг. Задание геометрии расчетной области, построение сетки и постановка граничных условий.

Утилита blockMesh, как инструмент генерации структурированных сеток, состоящих из гексаэдров. Утилита snappyHexMesh, как инструмент для построения сеток в случае сложной геометрии расчетной области. Импорт моделей из CAD-систем

(например, AutoCAD, SolidWorks, Unigraphics).

#### **Тема 4. Тема 4. Решение задач в OpenFOAM. Конфигурация проекта. Задание граничных и начальных условий, настройка решателей. Создание собственного решателя.**

Выбор и настройка решателей. Выбор методов решения систем линейных алгебраических уравнений, методов аппроксимации исходной математической модели, настройка параметров процесса решения. Обзор стандартных решателей OpenFOAM для моделирования ламинарных и турбулентных течений несжимаемой жидкости, моделирование многофазных течений, моделирование взаимодействия жидкости с твердыми и деформируемыми телами. Разработка и внедрение собственного решателя.

#### **Тема 5. Тема 5. Постпроцессинг. Использование встроенных функций постпроцессинга. ParaView.**

Постпроцессинг. Обработка, анализ и визуализации данных расчетов. Использование свободно распространяемых и коммерческих постпроцессоров (например Tecplot, пост-процессор Fluent, Ensign и FieldView.) Утилиты конвертации (textttfoamDataToFluent, textttfoamToTecplot360 и др.). ParaView. Визуализация скалярных и векторных полей, линий тока, изоповерхностей, получение информации о нужном поле в точке или вдоль некоторой линии и т. д. Поддержка параллельной обработки данных на высокопроизводительных вычислительных системах как с общей, так и распределенной памятью.

#### **Тема 6. Тема 6. Решение индивидуальной задачи.**

Решение индивидуальной задачи. Расчет течения для случая сложной геометрии расчетной области, свойств среды и граничных условий. Создание расчетной сетки. Настройка или создание собственного решателя. Постпроцессинг. Визуализация полей рассчитанных функций. Расчет интегральных характеристик. Параметрические расчеты. Написание отчета.

### **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 науки и высшего образования Российской Федерации от 6 апреля 2021 года №245)

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 З++ - 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)

OpenFOAM руководство пользователя - <https://www.openfoam.com/documentation/user-guide/>

OpenFOAM руководство разработчика - <https://www.openfoam.com/documentation/guides/latest/man/index.html>

Руководство пользователя ParaView - <https://www.paraview.org/documentation/>

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

Вид работ	Методические рекомендации
лекции	Освоение дисциплины предполагает наличие базовых знаний по механике жидкости и газа и вычислительной математике. В процессе обучения обучающимся рекомендуется наряду с практическими занятиями в аудитории проводить самостоятельную работу на домашнем компьютере по все темам курса. Активно использовать имеющуюся документацию к программе OpenFOAM и примеры для обучения различных разделов курса.
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 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.
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.

#### **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.

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, 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 "Механика жидкости, газа и плазмы".



*Приложение 2  
к рабочей программе дисциплины (модуля)  
ФТД.Н.2 Пакеты численного моделирования задач  
гидромеханики*

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

Направление подготовки: 01.04.03 - Механика и математическое моделирование

Профиль подготовки: Механика жидкости, газа и плазмы

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2021

**Основная литература:**

1. Доманский, И.В. Механика жидкости и газа : учебное пособие / И.В. Доманский, В.А. Некрасов. - Санкт-Петербург : Лань, 2018. - 140 с. - ISBN 978-5-8114-3158-8. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/110915>
2. Павловский, В.А. Вычислительная гидродинамика. Теоретические основы : учебное пособие / В.А. Павловский, Д.В. Никущенко. - Санкт-Петербург : Лань, 2018. - 368 с. - ISBN 978-5-8114-2924-0. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/103064>
3. Амосов, А.А. Вычислительные методы : учебное пособие / А.А. Амосов, Ю.А. Дубинский, Н.В. Копченова. - 4-е изд., стер. - Санкт-Петербург : Лань, 2014. - 672 с. - ISBN 978-5-8114-1623-3. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/42190>

**Дополнительная литература:**

1. Глазков, В.В. Динамика многофазных систем : учебное пособие / В.В. Глазков. - Санкт-Петербург : Лань, 2018. - 168 с. - ISBN 978-5-8114-2974-5. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/107283>
2. Давыдова, М.А. Лекции по гидродинамике : учебное пособие / М.А. Давыдова. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2011. - 216 с. - ISBN 978-5-9221-1303-8. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/5264>

*Приложение 3  
к рабочей программе дисциплины (модуля)  
ФТД.Н.2 Пакеты численного моделирования задач  
гидромеханики*

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

Направление подготовки: 01.04.03 - Механика и математическое моделирование

Профиль подготовки: Механика жидкости, газа и плазмы

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2021

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

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.