

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  
\_\_\_\_\_ Д.А. Таюрский  
"\_\_\_" \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Программа дисциплины**  
Гидродинамическая устойчивость

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: 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 ; Егоров Андрей Геннадьевич

**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-5	Способен математически корректно ставить естественнонаучные задачи математики и механики

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль):

Должен знать:

Студенты, завершившие изучение данной дисциплины должны обладать теоретическими знаниями об особенностях проявления гидродинамической неустойчивости и подходах к ее анализу.

Должен уметь:

Студенты, завершившие изучение данной дисциплины должны уметь ориентироваться в специальной литературе посвященной вопросам гидродинамической неустойчивости, приобрести навыки постановки, качественного и численного анализа задач гидродинамической неустойчивости.

Должен владеть:

Студенты, завершившие изучение данной дисциплины должны владеть

- 1) статическим и динамическим методами анализа гидродинамической устойчивости
- 2) основными идеями энергетического метода и слабо нелинейной теории неустойчивости
- 3) методами теории развитой неустойчивости

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

Данная дисциплина (модуль) включена в раздел "Б1.В.ДВ.03.01 Дисциплины (модули)" основной профессиональной образовательной программы 01.03.03 "Механика и математическое моделирование (Механика и математическое моделирование)" и относится к дисциплинам по выбору части ОПОП ВО, формируемой участниками образовательных отношений.

Осваивается на 4 курсе в 7 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 3 зачетных(ые) единиц(ы) на 108 часа(ов).

Контактная работа - 37 часа(ов), в том числе лекции - 18 часа(ов), практические занятия - 18 часа(ов), лабораторные работы - 0 часа(ов), контроль самостоятельной работы - 1 часа(ов).

Самостоятельная работа - 71 часа(ов).

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

Форма промежуточного контроля дисциплины: зачет в 7 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-тельная 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	
N	Разделы дисциплины / модуля	Се-местр	Лекции, всего	Лекции в эл. форме	Практи-ческие занятия, всего	Практи-ческие в эл. форме	Лабора-торные работы, всего	Лабора-торные в эл. форме	Само-стоя-тельная ра-бота
1.	Тема 1. ТЕМА 1. УСТОЙЧИВОСТЬ СТРУИ. СТАТИЧЕСКИЙ И ДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТЕМА 2. НЕУСТОЙЧИВОСТЬ КЕЛЬВИНА - ГЕЛЬМГОЛЬЦА	7	4	0	4	0	0	0	15
2.	Тема 2. ТЕМА 3. ТЕПЛОВАЯ И ЦЕНТРОБЕЖНАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ. СТАТИЧЕСКИЙ И ДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ	7	4	0	4	0	0	0	15
3.	Тема 3. ТЕМА 4. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ МЕТОД. СЛАБО НЕЛИНЕЙНАЯ ТЕОРИЯ ВОЗМУЩЕНИЙ ТЕМА 5. УСТОЙЧИВОСТЬ НЕВЯЗКИХ ПЛОСКИХ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ПОТОКОВ. ТОЧНЫЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ РЕЛЕЯ	7	4	0	4	0	0	0	15
4.2	Тема 4. ТЕМА 6. УСТОЙЧИВОСТЬ ВЯЗКИХ ПОСКОКОВ ПОТОКОВ ТЕМА 7. СЦЕНАРИИ ПЕРЕХОДА К ТУРБУЛЕНТНОСТИ	7	6	0	6	0	0	0	26
	Тема 1. ТЕМА 1. УСТОЙЧИВОСТЬ СТРУИ. СТАТИЧЕСКИЙ И ДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТЕМА 2. НЕУСТОЙЧИВОСТЬ КЕЛЬВИНА - ГЕЛЬМГОЛЬЦА		8	0	8	0	0	0	71
	Устойчивость жидкой струи. Статический анализ: физика неустойчивости, случай бесконечной струи, равновесие жидкого мостика.								

Устойчивость жидкой струи. Метод возмущений: постановка задачи,

уравнение для возмущений, решение уравнения для возмущений, механическая картина процесса, влияние движения на устойчивость струи.

Неустойчивость Кельвина-Гельмгольца: базовый поток и физика неустойчивости, уравнение для возмущений и его решение, поверхностные гравитационные волны, внутренние гравитационные волны, неустойчивость Релея-Тейлора, учет поверхностного натяжения.

### Тема 2. ТЕМА 3. ТЕПЛОВАЯ И ЦЕНТРОБЕЖНАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ. СТАТИЧЕСКИЙ И ДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Тепловая и центробежная неустойчивость: статический анализ: статический анализ общего случая, тепловая неустойчивость: задача Бенара-Релея, неустойчивость течения Куэтта: задача Тейлора

Тепловая неустойчивость Релея-Бенара: динамический анализ: постановка задачи, уравнение для возмущений, вещественность собственных чисел, решение задачи на собственные значения, схема потоков в конвективных ячейках

### Тема 3. ТЕМА 4. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ МЕТОД. СЛАБО НЕЛИНЕЙНАЯ ТЕОРИЯ ВОЗМУЩЕНИЙ ТЕМА 5. УСТОЙЧИВОСТЬ НЕВЯЗКИХ ПЛОСКИХ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ПОТОКОВ. ТОЧНЫЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ РЕЛЕЯ

Энергетический метод: уравнение энергии для возмущений, основные идеи энергетического метода, энергетический метод в задаче Релея-Бенара

Слабо нелинейная теория возмущений: нелинейное взаимодействие малых возмущений, основная идея метода, модельная одномерная задача, вывод уравнения Ландау для тепловой конвекции в пористом слое

Устойчивость невязких плоских параллельных потоков: уравнение Релея, критерий Релея, теорема Ховарда, схема Кельвина течения вблизи критического слоя

Точные решения задачи Релея.: устойчивость плоского потока Куэтта, неустойчивость сдвигового слоя, неустойчивость струи, расчет критического состояния

#### **Тема 4. ТЕМА 6. УСТОЙЧИВОСТЬ ВЯЗКИХ ПЛОСКИХ ПОТОКОВ. ТЕМА 7. СЦЕНАРИИ ПЕРЕХОДА К ТУРБУЛЕНТНОСТИ**

Устойчивость вязких плоских параллельных потоков: уравнение Орра-Зоммерфельда, физический механизм неустойчивости, анализ основных потоков, экспериментальная верификация теории.

Сценарии перехода к турбулентности. Система Лоренца : обзор сценариев, вывод уравнения Лоренца для "вечного двигателя" Релея-Бенара, стационарные решения уравнений Лоренца, результаты численного решения уравнений Лоренца, аттрактор Лоренца

Сценарий Фейгенбаума перехода к турбулентности: бифуркация удвоения, уравнение РГ, линеаризованное уравнение РГ, скейлинг

#### **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 №14-55-99бин/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)

Альбом течений жидкости и газа . AN ALBUM OF FLUID MOTION - [www.imec.msu.ru/content/nio/VanDaik/vd\\_main.html](http://www.imec.msu.ru/content/nio/VanDaik/vd_main.html)

Гидродинамическая устойчивость - Hydrodynamic stability - [https://ru.qwe.wiki/wiki/Hydrodynamic\\_stability](https://ru.qwe.wiki/wiki/Hydrodynamic_stability)

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 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 программы 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 зачета.

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



*Приложение 2*  
*к рабочей программе дисциплины (модуля)*  
*Б1.В.ДВ.03.01 Гидродинамическая устойчивость*

**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: 2021

**Основная литература:**

[1] Ландау Л. Д. и др. Гидродинамика, Т. 6 Теоретическая физика: 6-е изд., испр. - Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2021 - 728 с.  
- URL: <https://e.lanbook.com/book/185671>

[2] Нуриев А.Н. Введение в компьютерное моделирование гидродинамических процессов в программном комплексе OpenFOAM: учебное пособие / А.Н. Нуриев, О.Н. Зайцева, А.М. Камалутдинов, О.С. Жучкова. - Казань: Издательство Казанского университета, 2022. - 84 с.  
[http://dspace.kpfu.ru/xmlui/bitstream/net/173195/-1/F\\_Nuriev\\_Zajceva\\_Kamalutdinov\\_Zhuchkova\\_OpenFoam.pdf](http://dspace.kpfu.ru/xmlui/bitstream/net/173195/-1/F_Nuriev_Zajceva_Kamalutdinov_Zhuchkova_OpenFoam.pdf)

**Дополнительная литература:**

[1] А.Г. Егоров Гидродинамическая устойчивость. - Казань,,: Изд-во КГУ, 2009. - 168 с.

[2]. Ф. Дразин Введение в теорию гидродинамической устойчивости. М.: Физматлит, 2005. - 288 с.



*Приложение 3  
к рабочей программе дисциплины (модуля)  
Б1.В.ДВ.03.01 Гидродинамическая устойчивость*

**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: 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.