

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



**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор  
по образовательной деятельности КФУ  
Проф. Минзарипов Р.Г.

\_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Программа дисциплины**

Гидродинамическая устойчивость М2.ДВ.5

Направление подготовки: 010800.68 - Механика и математическое моделирование

Профиль подготовки: Механика жидкости, газа и плазмы

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

**Автор(ы):**

Егоров А.Г.

**Рецензент(ы):**

Коноплев Ю.Г.

**СОГЛАСОВАНО:**

Заведующий(ая) кафедрой:

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

Казань  
2014

## 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) заведующий кафедрой, д.н. (с.н.с.) Егоров А.Г.  
Кафедра аэрогидромеханики отделение механики , Andrey.egorov@kpfu.ru

### **1. Цели освоения дисциплины**

Целями освоения дисциплины "Гидродинамическая устойчивость" являются получение и последующее применение студентами основ теории гидродинамической устойчивости течений вязкой несжимаемой жидкости. Основное внимание уделено статическому подходу к анализу устойчивости, динамическому анализу устойчивости в линейном приближении, энергетическому методу, слабо нелинейной теории возмущений. Обсуждаются сценарии перехода к турбулентности

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

Данная учебная дисциплина включена в раздел " М2.ДВ.5 Профессиональный" основной образовательной программы 010800.68 Механика и математическое моделирование и относится к дисциплинам по выбору. Осваивается на 1, 2 курсах, 2, 3 семестры.

Дисциплина входит в вариативную часть профессионального цикла.

Для обучения дисциплине обучаемый должен владеть знаниями по дисциплинам: математический анализ, алгебра, дифференциальные уравнения, теоретическая механика, механика сплошной среды, подземная гидромеханика.

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

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

В результате освоения дисциплины студент:

1. должен знать:

особенности проявления гидродинамической неустойчивости и подходах к ее анализу

3. должен владеть:

навыками постановки, качественного и численного анализа задач гидродинамической неустойчивости.

ориентироваться в специальной литературе посвященной вопросам гидродинамической неустойчивости.

### **4. Структура и содержание дисциплины/ модуля**

Общая трудоемкость дисциплины составляет зачетных(ые) единиц(ы) 144 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины отсутствует во 2 семестре; экзамен в 3 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. Устойчивость жидкой струи. Статический анализ: физика неустойчивости, случай бесконечной струи, равновесие жидко-го мостика.	2	1	0	0	0	
2.	Тема 2. Устойчивость жидкой струи. Метод возмущений: постановка задачи, уравнение для возмущений, решение уравнения для возмущений, механическая картина процесса, влияние движения на устойчивость струи.	2	2	0	0	0	
3.	Тема 3. Неустойчивость Кельви-на-Гельмгольца: базовый поток и физика неустойчивости, уравнение для возмущений и его решение, поверхностные гравитационные волны, внутренние гравитационные волны, неустойчивость Релея-Тейлора, учет поверхностного натяжения.	2	3	0	0	0	

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
4.	Тема 4. Тепловая и центробежная неустойчивость: статический анализ: статический анализ общего случая, тепловая неустойчивость: задача Бенара-Релея, неустойчивость течения Куэтта: задача Тейлора	2	4	0	0	0	
5.	Тема 5. Тепловая неустойчивость Релея-Бенара: динамический анализ: постановка задачи, уравнение для возмущений, вещественность собственных чисел, решение задачи на собственные значения, схема потоков в конвективных ячейках	2	5	0	0	0	
6.	Тема 6. Неустойчивость систем с двойной диффузией: потеря устойчивости через развитие пальцев, осцилляционная неустойчивость	2	6	0	0	0	
7.	Тема 7. Центробежная неустойчивость: динамический анализ: неустойчивость течения Куэтта, вторичные течения, неустойчивость Гёртлера	2	7	0	0	0	

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
8.	Тема 8. Энергетический метод: уравнение энергии для возмущений, основные идеи энергетического метода, энергетический метод в задаче Релея-Бенара	2	8	0	0	0	
9.	Тема 9. Слабо нелинейная теория возмущений: нелинейное взаимодействие малых возмущений, основная идея метода, модельная одномерная задача, вывод уравнения Ландау для тепловой конвекции в пористом слое	2	9	0	0	0	
10.	Тема 10. Устойчивость невязких плоских параллельных потоков: уравнение Релея, критерий Релея, теорема Ховарда, схема Кельвина течения вблизи критического слоя	3	1-2	0	0	0	
11.	Тема 11. Точные решения задачи Релея.: устойчивость плоского потока Куэтта, неустойчивость сдвигового слоя, неустойчивость струи, расчет критического состояния	3	3	0	0	0	

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
12.	Тема 12. Устойчивость вязких плоских параллельных потоков: уравнение Орра-Зоммерфельда, физический механизм неустойчивости, анализ основных потоков, экспериментальная верификация теории.	3	4	0	0	0	
13.	Тема 13. Численные методы решения задач Релея и Орра-Зоммерфельда: локальный метод решения задачи Релея, метод составной матрицы решения задачи Орра-Зоммерфельда	3	5	0	0	0	
14.	Тема 14. 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	3	6-7	0	0	0	
15.	Тема 15. Сценарий Фейгенбаума перехода к турбулентности: бифуркация удвоения, уравнение РГ, линеаризованное уравнение РГ, скейлинг	3	8-9	0	0	0	
	Тема . Итоговая форма контроля	3		0	0	0	экзамен
	Итого			0	0	0	

#### 4.2 Содержание дисциплины

**Тема 1. Устойчивость жидкой струи. Статический анализ: физика неустойчивости, случай бесконечной струи, равновесие жидко-го мостика.**

**Тема 2. Устойчивость жидкой струи. Метод возмущений: постановка задачи, уравнение для возмущений, решение уравнения для возмущений, механическая картина процесса, влияние движения на устойчивость струи.**

**Тема 3. Неустойчивость Кельви-на-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 4. Тепловая и центробежная неустойчивость: статический анализ: статический анализ общего случая, тепловая неустойчивость: задача Бенара-Релея, неустойчивость течения Куэтта: задача Тейлора**

**Тема 5. 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 6. Неустойчивость систем с двойной диффузией: потеря устойчивости через развитие пальцев, осцилляционная неустойчивость**

**Тема 7. Центробежная неустойчивость: динамический анализ: неустойчивость течения Куэтта, вторичные течения, неустойчивость Гёртлера**

**Тема 8. Энергетический метод: уравнение энергии для возмущений, основные идеи энергетического метода, энергетический метод в задаче Релея-Бенара**

**Тема 9. Слабо нелинейная теория возмущений: нелинейное взаимодействие малых возмущений, основная идея метода, модельная одномерная задача, вывод уравнения Ландау для тепловой конвекции в пористом слое**

**Тема 10. Устойчивость невязких плоских параллельных потоков: уравнение Релея, критерий Релея, теорема Ховарда, схема Кельвина течения вблизи критического слоя**

**Тема 11. Точные решения задачи Релея.: устойчивость плоского потока Куэтта, неустойчивость сдвигового слоя, неустойчивость струи, расчет критического состояния**

**Тема 12. Устойчивость вязких плоских параллельных потоков: уравнение Орра-Зоммерфельда, физический механизм неустойчивости, анализ основных потоков, экспериментальная верификация теории.**

**Тема 13. Численные методы решения задач Релея и Орра-Зоммерфельда: локальный метод решения задачи Релея, метод составной матрицы решения задачи Орра-Зоммерфельда**

**Тема 14. 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**

**Тема 15. Сценарий Фейгенбаума перехода к турбулентности: бифуркация удвоения, уравнение РГ, линеаризованное уравнение РГ, скейлинг**

## **5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения**

лекционные занятия, семинары, контрольные работы, экзамен. В течение семестра студенты выступают на семинарских занятиях, решают задачи, указанные преподавателем. В каждом семестре проводятся контрольные работы (на семинарских занятиях). К экзамену до-пускаются студенты, 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. Устойчивость жидкой струи. Статический анализ: физика неустойчивости, случай бесконечной струи, равновесие жидко-го мостика.**

**Тема 2. Устойчивость жидкой струи. Метод возмущений: постановка задачи, уравнение для возмущений, решение уравнения для возмущений, механическая картина процесса, влияние движения на устойчивость струи.**

**Тема 3. Неустойчивость Кельви-на-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 4. Тепловая и центробежная неустойчивость: статический анализ: статический анализ общего случая, тепловая неустойчивость: задача Бенара-Релея, неустойчивость течения Куэтта: задача Тейлора**

**Тема 5. 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 6. Неустойчивость систем с двойной диффузией: потеря устойчивости через развитие пальцев, осцилляционная неустойчивость**

**Тема 7. Центробежная неустойчивость: динамический анализ: неустойчивость течения Куэтта, вторичные течения, неустойчивость Гёртлера**

**Тема 8. Энергетический метод: уравнение энергии для возмущений, основные идеи энергетического метода, энергетический метод в задаче Релея-Бенара**

**Тема 9. Слабо нелинейная теория возмущений: нелинейное взаимодействие малых возмущений, основная идея метода, модельная одномерная задача, вывод уравнения Ландау для тепловой конвекции в пористом слое**

**Тема 10. Устойчивость невязких плоских параллельных потоков: уравнение Релея, критерий Релея, теорема Ховарда, схема Кельвина течения вблизи критического слоя**

**Тема 11. Точные решения задачи Релея.: устойчивость плоского потока Куэтта, неустойчивость сдвигового слоя, неустойчивость струи, расчет критического состояния**

**Тема 12. Устойчивость вязких плоских параллельных потоков: уравнение Орра-Зоммерфельда, физический механизм неустойчивости, анализ основных потоков, экспериментальная верификация теории.**

**Тема 13. Численные методы решения задач Релея и Орра-Зоммерфельда: локальный метод решения задачи Релея, метод составной матрицы решения задачи Орра-Зоммерфельда**

**Тема 14. 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**

**Тема 15. Сценарий Фейгенбаума перехода к турбулентности: бифуркация удвоения, уравнение РГ, линеаризованное уравнение РГ, скейлинг**

**Тема . Итоговая форма контроля**

Примерные вопросы к экзамену:

Все виды текущего контроля успеваемости и аттестации по итогам освоения дисциплины оцениваются по 100-балльной рейтинговой системе, принятой к КФУ.

### **7.1. Основная 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.

[3]. Линь Цзя-цзяо. Теория гидродинамической устойчивости М.: Из-во иностранной литературы, 1958. - 194 с.

[4]. М. Ван-Дайк Альбом течений жидкости и газа. М.: Мир, 1986 - 184 с.

[5]. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Теоретическая физика. Т.6. Гидродинамика М.: Наука, 1986. Глава III, с. 137-183.

[6]. Г. Шлихтинг Теория пограничного слоя М.: Наука, 1974. Главы 16-17, с. 415-493.

## **7.2. Дополнительная литература:**

[7]. С.П. Кузнецов. Динамический хаос. М.: Физматлит, 2005. - 295 с. Главы 2 4, 14 16.

[8]. Г. Шустер. Детерминированный хаос. М.: Мир, 1988. Главы 1-3.

[9]. P. K. Kundu, I. M. Cohen. Fluid Mechanics. N-Y.: Academic press, 2002. Ch. 12. p. 430-495

[10]. L.E. Johns, R. Narayanan. Interfacial Instability N-Y.: Springer, Ch. 1-6. p.1-186.

Электронные версии учебников предоставляются студентам на кафедре аэрогидромеханики

## **7.3. Интернет-ресурсы:**

## **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины/модуля согласно утвержденному учебному плану**

Освоение дисциплины "Гидродинамическая устойчивость" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и учебным планом по направлению 010800.68 "Механика и математическое моделирование" и магистерской программе Механика жидкости, газа и плазмы .

Автор(ы):

Егоров А.Г. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

Рецензент(ы):

Коноплев Ю.Г. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.