МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования КАЗАНСКИЙ (ПРИВОЛЖСКИЙ) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ



Программа дисциплины

Б1.В.ДВ.2 Гидродинамическая устойчивость

Направление подготовки:

01.06.01 Математика и механика

Профиль подготовки:

01.02.04 Механика деформируемого твердого тела

Квалификация выпускника:

«Исследователь. Преподаватель-исследователь»

Форма обучения: очная Язык обучения: русский

1. КРАТКАЯ АННОТАЦИЯ

Настоящий курс ориентирован на аспирантов, обладающих фундаментальной подготовкой по математике и механике, которую дают на механико-математических факультетах (или аналогичных) ведущих университетах страны.

Рассматриваются вопросы гидродинамической устойчивости течений вязкой несжимаемой жидкости. Изучаются статический подход к анализу устойчивости, динамический анализ устойчивости в линейном приближении, энергетический метод, слабо нелинейная теория возмущений. Обсуждаются сценарии перехода к турбулентности. В качестве примеров рассматриваются неустойчивость жидкой струи, неустойчивость Кельвина-Гельмгольца, неустойчивость Релея-Бенара, неустойчивость систем сдвойной диффузией, неустойчивость плоских параллельных потоков идеальной и вязкой жидкости.

Лекционный курс сопровождается самостоятельными занятиями, где аспиранты обязаны уметь правильно реализовать изучаемые методы, решать с их помощью задачи, имеющие практический интерес, а так же применять полученные знания навыки в при выполнении научно-исследовательской работы при написании диссертации.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) В СТРУКТУРЕ ОПОП

Данная учебная дисциплина включена в раздел "Б1.В.ДВ Дисциплины по выбору" и осваивается во 2 семестре 2 курса.

Для успешного освоения данной дисциплины нужно необходимы знания и умения в объеме университетской программы по следующим дисциплинам: Математический анализ; Алгебра; Дифференциальные уравнения; Уравнения математической физики; Общая физика; Теоретическая и прикладная механика; Основы МСС; Теория функций комплексного переменного.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

Обучающийся, завершивший изучение дисциплины, должен

ЗНАТЬ:

основы теории и основные методы анализа гидродинамической устойчивости течений вязкой несжимаемой жидкости;

УМЕТЬ:

применять статический подход к анализу устойчивости, выполнять динамический анализ устойчивости в линейном приближении

ВЛАДЕТЬ:

энергетическим методом и слабо нелинейной теорией возмущений

ДЕМОНСТРИРОВАТЬ СПОСОБНОСТЬ И ГОТОВНОСТЬ:

применять полученные знания на практике, ориентироваться в специальной литературе посвященной вопросам гидродинамической неустойчивости.

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции			
УК-1	способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях;			
УК-3	готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научнообразовательных задач;			
ОПК-1	способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий;			
ПК-1	способность к организации и проведению научно-исследовательской деятельности в профессиональной области, в том числе руководству научно-исследовательской работой студентов;			
ПК-2	способность подготавливать научные работы для публикации в ведущих российских и международных изданиях, а также выступления на российских и международных научно-практических конференциях;			

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

4.1. Распределение трудоёмкости дисциплины (в часах) по видам нагрузки обучающегося и по разделам дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единиц, 108 часов.

Форма промежуточной аттестации по дисциплине: зачет в 4 семестре.

	Раздел дисциплины	Семестр	Лекции		орные	Самосто ятельна я работа
1.	Уравнение энергии для возмущений,	4	2	2		8
	основные идеи энергетического метода.					
2.	Слабо нелинейная теория возмущений.	4	2	2		10
3.	Устойчивость невязких плоских	4	3	2		8
	параллельных потоков.					
4.	Точные решения задачи Релея.	4	2	3		10
5.	Устойчивость вязких плоских	4	2	2		8
	параллельных потоков.					
6.	Численные методы решения задач	4	2	2		10
	Релея и Орра-Зоммерфельда.					
7.	Сценарии перехода к турбулентности.	4	3	3		8
	Система Лоренца.					
8.	Сценарий Фейгенбаума перехода к	4	2	2		10
	турбулентности.					
	Итого		18	18		72

4.2 Содержание дисциплины

Тема 1. Энергетический метод: уравнение энергии для возмущений, основные идеи энергетического метода, энергетический метод в задаче Релея-Бенара.

Презентация.

Тема 2. Слабо нелинейная теория возмущений: нелинейное взаимодействие малых возмущений, основная идея метода, модельная одномерная задача, вывод уравнения Ландау для тепловой конвекции в пористом слое.

Домашнее задание.

- **Тема 3. Устойчивость невязких плоских параллельных потоков**: уравнение Релея, критерий Релея, теорема Ховарда, схема Кельвина течения вблизи критического слоя. Домашнее задание.
- **Тема 4. Точные решения задачи Релея**: устойчивость плоского потока Куэтта, неустойчивость сдвигового слоя, неустойчивость струи, расчет критического состояния. Домашнее задание.
- **Тема 5. Устойчивость вязких плоских параллельных потоков**: уравнение Орра-Зоммерфельда, физический механизм неустойчивости, анализ основных потоков, экспериментальная верификация теории.

Контрольная точка.

- **Тема 6. Численные методы решения задач Релея и Орра-Зоммерфельда**: локальный метод решения задачи Релея, метод составной матрицы решения задачи Орра-Зоммерфельда. Домашнее задание.
- **Тема 7.** 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. Домашнее задание.
- **Тема 8. Сценарий Фейгенбаума перехода к турбулентности**: бифуркация удвоения, уравнение РГ, линеаризованное уравнение РГ, скейлинг. Научный доклад.

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Курсы лекций занятий, организованные по стандартной технологии, с использованием мультимедийных презентаций, иллюстраций, таблиц и методических пособий.

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

Вопросы к практическим занятиям

Тема 1. Энергетический метод:

- численная реализация энергетического метода в задаче Релея-Бенара.

Тема 2. Слабо нелинейная теория возмущений:

- неустойчивость систем с двойной диффузией
- тепловая неустойчивость Релея-Бенара
- центробежная неустойчивость: динамический анализ
- вывод уравнения Ландау для тепловой конвекции в пористом слое
- аналитическая и численная реализация решения уравнения Ландау.

Тема 3. Устойчивость невязких плоских параллельных потоков:

- схема Кельвина течения вблизи критического слоя: численная реализация,
- сравнение с теорией.

Тема 4. Точные решения задачи Релея:

- решение задач о неустойчивости сдвигового слоя,
- решение задач о неустойчивости струи,
- расчет критического состояния.

Тема 5. Устойчивость вязких плоских параллельных потоков:

- устойчивость вязких плоских параллельных потоков,
- уравнение Орра-Зоммерфельда,
- численная реализация.

Тема 6. Численные методы решения задач Релея и Орра-Зоммерфельда:

- численная реализация методов решения задач Релея и Орра-Зоммерфельда.

Тема 7. Сценарии перехода к турбулентности. Система Лоренца:

- численное решение уравнений Лоренца, аттрактор Лоренца.

Тема 8. Сценарий Фейгенбаума перехода к турбулентности:

- уравнение РГ,
- линеаризованное уравнение РГ,
- скейлинг.

7. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

7.1. Регламент дисциплины

Оценка "зачтено" ставится аспирантам, которые при ответе в основном знают программный материал в объеме, необходимом для предстоящей работы по профессии.

7.2. Оценочные средства текущего контроля

Домашние задания:

- 1. Упражнения 1.3, 2.3, 3.3 учебного пособия [1]¹.
- 2. Упражнения 6.3 учебного пособия [1].
- 3. Упражнения 8.3 учебного пособия [1].
- 4. Упражнения 9.4, 11.3, 11.4, 12.3, 12.4 учебного пособия [1].
- 5. Упражнения 13.2, 14.3, 14.4 учебного пособия [1].

Задания для контрольной работы:

- Тема 1: Упражнения 1.1, 1.2, 2.1, 2.2 учебного пособия [1].
- Тема 2: Упражнения 3.1, 3.2, 4.1 учебного пособия [1].
- Тема 3: Упражнения 5.1, 5.2, 6.1, 6.2 учебного пособия [1].
- Тема 4: Упражнение 7.1, 8.1, 8.2 учебного пособия [1].
- Тема 5: Упражнения 9.1, 9.2, 9.3, 10.1, 10.2 учебного пособия [1].
- Тема 6: Упражнения 11.1, 11.2, 12.1, 12.2 учебного пособия [1].
- Тема 7: Упражнение 13.1, 14.1, 14.2 учебного пособия [1].
- Тема 8: Упражнение 15.1 учебного пособия [1].

7.3. Вопросы к зачету

- 1. Устойчивость жидкой струи. Статический анализ.
- 2. Устойчивость жидкой струи. Метод возмущений
- 3. Неустойчивость Кельвина-Гельмгольца.
- 4. Тепловая и центробежная неустойчивость: статический анализ
- 5. Тепловая неустойчивость: динамический анализ.
- 6. Неустойчивость систем с двойной диффузией
- 7. Центробежная неустойчивость: динамический анализ.
- 8. Энергетический метод.
- 9. Слабо нелинейная теория возмущений.
- 10. Устойчивость невязких плоских параллельных потоков
- 11. Точные решения задачи Релея.
- 12. Устойчивость вязких плоских параллельных потоков
- 13. Численные методы решения задач Релея и Орра-Зоммерфельда
- 14. Сценарии перехода к турбулентности. Система Лоренца
- 15. Сценарий Фейгенбаума перехода к турбулентности.

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

7.4. Таблица соответствия компетенций, критериев оценки их освоения и оценочных средств

Индекс	Расшифровка	Показатель	Оценочное средство	
компете	компетенции	формирования	-	
нции		компетенции для		
		данной дисциплины		
	способность к	Способность к анализу	Упражнения 1.1-1.3, 3.1-	
	критическому анализу и	литературы,	3.3	
	оценке современных		L'average de la company	
	научных достижений,	современным методам	Контрольная работа.	
УК-1	генерированию новых идей при решении	расчетов, ориентироваться в	Вопросы к зачету 1-15	
J K-1	идей при решении исследовательских и	современных методах	Вопросы к зачету 1-13	
	практических задач, в	решения нелинейных		
	том числе в	проблем		
	междисциплинарных	inposition.		
	областях;			
	готовность участвовать в	Умение формулировать	Упражнения 2.1-2.3, 5.1,	
	работе российских и		7.1	
	международных	алгоритмов решения		
УК-3	исследовательских		Контрольная работа.	
3 K-3	коллективов по			
	решению научных и		Вопросы к зачету 1-15	
	научно-образовательных			
	задач;	0.5	V 41 0102	
	способность	Способность к	Упражнения 4.1, 9.1-9.3,	
	самостоятельно	формулировке исследуемой задачи,	10.1-10.2, 11.1-11.4, 12.1- 12.4	
	осуществлять научно- исследовательскую	исследуемой задачи, построения стратегии	12.4	
	деятельность в	решения, знание	Контрольная работа.	
	соответствующей	продуктов численной	Контрольная расота.	
	профессиональной	реализации методов	Вопросы к зачету 1-15	
ОПК-1	области с	исследования		
	использованием			
	современных методов			
	исследования и			
	информационно-			
	коммуникационных			
	технологий;			
	способность к		Упражнения 13.1-13.2, 14.1.14.4.15.1	
	организации и	формулировке	14.1-14.4, 15.1	
	проведению научно-	исследуемой задачи,	Контрольная работа.	
	исследовательской деятельности в	построения стратегии решения	контрольная расота.	
ПК-1	деятельности в профессиональной	решения	Вопросы к зачету 1-15	
	области, в том числе		Dompoodi R Su lety 1 15	
	руководству научно-			
	исследовательской			
	работой студентов;			
ПК-2	способность	Умение четко	Вопросы к практическим	
	подготавливать научные	формулировать проблему	занятиям	

работы для публикации	исследования,	
в ведущих российских и	анализировать и делать	Контрольная работа.
международных	выводы	
изданиях, а также		Вопросы к зачету 1-15
выступления на		
российских и		
международных научно-		
практических		
конференциях;		

8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПРИ ОСВОЕНИИ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Очень важным при изучении курса является систематическое и последовательное изучение предмета.

Необходимо:

- 1. регулярно посещать лекционные занятия;
- 2. записывать конспект каждой лекции, чтобы к концу семестра иметь полный курс лекций;
 - 3. перед очередной лекцией повторить содержание предыдущих лекций;
- 4. с целью более глубокого изучения курса и его применения к решению практических задач в рамках самостоятельного изучения учебного курса рекомендуется обращаться к книгам, приведенным в списке литературы, публикациям в научно-периодической печати по теме курса, использовать электронные каталоги и электронные библиотечные системы.

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

9.1. Основная литература

- 1. Практические занятия по курсу "Устойчивость и управление движением", Тазюков, Фэрид Хоснутдинович; Тазюков, Булат Фэридович, 2011г.
- 2. Ягодин Г.А., Пуртова Е.Е. Устойчивое развитие человек и биосфера: учебное пособие. М.:Бином. Лаборатория знаний, 2013. 109 с.

http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=8799

3. Формальский А.М. Управление движением неустойчивых объектов. - М.: Физматлит", 2012. - 277 с.

http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=48308

9.2. Дополнительная литература

1. Григорьев, Юрий Николаевич. Устойчивость течений релаксирующих молекулярных газов / Ю. Н. Григорьев, И. В. Ершов; отв. ред. д.т.н., проф. А. Д. Рычков; Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т вычислит. технологий.—Новосибирск: Изд-во Сибирского отделения Российской Академии наук, 2012.—226 с

2. Покровский В.В. Механика. Методы решения задач: учебное пособие. - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. - 253 с. http://e.lanbook.com/view/book/8713/

9.3. Интернет-ресурсы:

- 1. Альбом течений жидкости и газа . AN ALBUM OF FLUID MOTION - www.imec.msu.ru/content/nio/VanDaik/vd_main.html
- 2. Гидрогазодинамика: Учебное пособие / А.А. Кудинов. М.: НИЦ ИНФРА-М, http://www.znanium.com/bookread.php?book=410288
- 3. Методы научного познания: Учебное пособие / С.А. Лебедев. М.: Альфа-М: НИЦ ИНФРА-М, 2014. 272 c http://www.znanium.com/bookread.php?book=450183
 - 4. Научная электронная библиотека http://elibrary.ru/
 - 5. НБ им. Н.И. Лобачевского КФУ <u>URL:http://z3950.ksu.ru/bcover/0000685310_con.pdf</u>

10. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Мультимедийная аудитория. Мультимедийная аудитория состоит из интегрированных инженерных систем с единой системой управления, оснащенная современными средствами воспроизведения и визуализации любой видео и аудио информации, получения и передачи электронных документов. Типовая комплектация мультимедийной аудитории состоит из: мультимедийного проектора, автоматизированного проекционного экрана, акустической системы, а также интерактивной трибуны преподавателя, включающей тач-скрин монитор с диагональю не менее 22 дюймов, персональный компьютер (с техническими характеристиками не ниже Intel Core i3-2100, DDR3 4096Mb, 500Gb), конференц-микрофон, беспроводной микрофон, блок управления оборудованием, интерфейсы подключения: USB, audio, HDMI. преподавателя является управления, Интерактивная трибуна ключевым элементом объединяющим все устройства в единую систему, и служит полноценным рабочим местом преподавателя. Преподаватель имеет возможность легко управлять всей системой, не отходя от трибуны, что позволяет проводить лекции, практические занятия, презентации, вебинары, конференции и другие виды аудиторной нагрузки обучающихся в удобной и доступной для них форме с применением современных интерактивных средств обучения, в том числе с использованием в процессе обучения всех корпоративных ресурсов. Мультимедийная аудитория также оснащена широкополосным доступом в сеть интернет. Компьютерное оборудованием имеет соответствующее лицензионное программное обеспечение.

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

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО и с учетом рекомендаций по направлению подготовки.

Автор(ы): Егоров А.Г. Рецензент(ы): Маклаков Д.В.

Программа одобрена на заседании Учебно-методической комиссии Института математики и механики КФУ от 29 августа 2015 года, протокол № 11.