

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования



**Пермский национальный исследовательский
политехнический университет**

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе


_____ Н.В.Лобов

« 09 » декабря 20 19 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина: _____ Теория гидродинамической устойчивости
(наименование)

Форма обучения: _____ очная
(очная/очно-заочная/заочная)

Уровень высшего образования: _____ магистратура
(бакалавриат/специалитет/магистратура)

Общая трудоёмкость: _____ 108 (3)
(часы (ЗЕ))

Направление подготовки: _____ 01.04.02 Прикладная математика и информатика
(код и наименование направления)

Направленность: _____ Математическое моделирование физико-механических
процессов
(наименование образовательной программы)

1. Общие положения

1.1. Цели и задачи дисциплины

Цель учебной дисциплины «Теория гидродинамической устойчивости» – знакомство с основами теории гидродинамической устойчивости, получение и последующее применение студентами основ теории гидродинамической устойчивости течений вязкой несжимаемой жидкости. Основное внимание уделено изложению традиционных методов решения задач устойчивости течений жидкостей и газов. Также рассматривается применение этих методов для решения конкретных примеров.

Задачи дисциплины:

- формирование базовых знаний в области устойчивости течений жидкостей и газов;
- приобретение теоретических знаний в области описания и моделирования устойчивости течений сплошной среды;
- обучение студентов физической постановке и математической формулировке задач для исследования устойчивости течений;
- обучение методам аналитического и численного исследования сформулированных задач.

В результате изучения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты:

знать:

- фундаментальные понятия, законы, теории классической теории устойчивости жидкостей и газов;
- порядки численных величин, характерные для различных режимов;
- современные проблемы гидродинамической устойчивости;
- теоретические и расчетные методы исследования устойчивости течений сплошной среды;

уметь:

- формулировать физическую постановку задач устойчивости течений;
- математически сформулировать краевые задачи;
- эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения, законы;
- представить панораму универсальных методов и законов современного естествознания;
- абстрагироваться от несущественных влияний при моделировании реальных физических ситуаций;

владеть:

- аналитическими методами исследования устойчивости течений сплошной среды;
- математическим моделированием физических задач;
- практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач;
- навыками теоретического анализа реальных задач устойчивости жидкостей и газов.

1.2. Изучаемые объекты дисциплины

- структуры гидродинамических течений;
- устойчивость гидродинамических течений;
- методы изучения гидродинамических течений.

1.3. Входные требования

Не предусмотрены

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-1.2	ИД-1ПК-1.2	Знает фундаментальные понятия, законы, теории классической теории устойчивости жидкостей и газов; порядки численных величин, характерные для различных режимов; современные проблемы гидродинамической устойчивости; теоретические и расчетные методы исследования устойчивости течений сплошной среды/	Знает парадигму и основные концепции развития прикладной математики и математического моделирования, современные подходы и методы проведения научных исследований, современные и классические математические модели сложных физико-механических процессов.	Зачет
ПК-1.2	ИД-2ПК-1.2	Умеет формулировать физическую постановку задач устойчивости течений; математически сформулировать краевые задачи; эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения, законы; представить панораму универсальных методов и законов современного естествознания; абстрагироваться от несущественных влияний при моделировании реальных физических ситуаций.	Умеет анализировать возможности и применимость математических моделей физико-механических процессов, применять и модифицировать их для решения научных и прикладных задач, разрабатывать новые математические модели при выполнении научных исследований на современном уровне.	Индивидуальное задание
ПК-1.2	ИД-3ПК-1.2	Владеет аналитическими методами исследования устойчивости течений сплошной среды; математическим моделированием физических задач; практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач; навыками теоретического анализа реальных задач устойчивости жидкостей и газов.	Владеет навыками выполнения научно-исследовательской работы, самостоятельной разработки новых математических моделей физико-механических систем и процессов, применения и модификации известных и самостоятельно разработанных математических моделей для получения новых научных и прикладных результатов	Зачет

3. Объем и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		4	
1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме:	36	36	
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:			
- лекции (Л)	16	16	
- лабораторные работы (ЛР)			
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)	18	18	
- контроль самостоятельной работы (КСР)	2	2	
- контрольная работа			
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	72	72	
2. Промежуточная аттестация			
Экзамен			
Дифференцированный зачет			
Зачет	9	9	
Курсовой проект (КП)			
Курсовая работа (КР)			
Общая трудоемкость дисциплины	108	108	

4. Содержание дисциплины

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	
4-й семестр				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Теория гидродинамической устойчивости.	12	0	15	54
<p>Раздел 1.</p> <p>Тема 1. Введение. Течения несжимаемой жидкости. Понятие гидродинамической устойчивости. Абсолютная и конвективная неустойчивость. Асимптотическая, условная, глобальная, монотонная устойчивость. Устойчивость по времени и в пространстве. Классификация. Примеры исследуемых течений. Уравнение Рейнольдса-Орра. Задача Куэтта. Задача Пуазейля</p> <p>Тема 2. Основы линейной теории устойчивости. Нарастание энергии возмущений. Уравнение Рейнольдса-Орра. Основы линейной теории устойчивости. Временная и пространственная неустойчивость. Метод «нормальных» мод. Уравнение Орра-Зоммерфельда. Нейтральная кривая. Критическое число Рейнольдса. Оператор Сквайра. Нормальная компонента завихренности.</p> <p>Тема 3. Невязкая неустойчивость. Уравнение Рэлея. Волны Рэлея. Теорема Рэлея о точке перегиба. Условие Фьертфта. Вторая теорема Рэлея. Критический слой. Теорема Ховарда о полукруге.</p> <p>Тема 4. Свойства вязких возмущений. Двумерные и трехмерные волны. Теорема Сквайра. Уравнение для нормальной компоненты завихренности. Уравнение Сквайра. Уравнение баланса энергии. Преобразование Гастера.</p> <p>Раздел 2</p> <p>Тема 5. Устойчивость плоскопараллельных течений. Однородный поток. Течение Куэтта. Плоское течение Пуазейля. Пограничный слой Блазиуса. Сдвиговый слой. Струя Бикли. След.</p> <p>Тема 6. Неустойчивость Кельвина-Гельмгольца. Поверхностные и внутренние гравитационные волны. Сдвиговая неустойчивость. Ослабление неустойчивости Кельвина-Гельмгольца поверхностным натяжением. Трехмерная неустойчивость Кельвина-Гельмгольца.</p> <p>Тема 7. Центробежная неустойчивость. Вращающиеся течения. Неустойчивость течения Куэтта между вращающимися коаксиальными цилиндрами. Вихри Тейлора. Число Тейлора. Неустойчивость Гертлера.</p> <p>Тема 8. Устойчивость осесимметричных вязких течений. Течение Пуазейля в круглой трубе.</p> <p>Тема 9. Задача с начальными данными. Непрерывный и дискретный спектр. Модельное уравнение. Затухание или ограниченность возмущений на бесконечности. Моды давления и вихревые моды. Спектр для решения уравнения</p>				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Блазиуса. Преобразование Лапласа. Преобразование Фурье.				
Устойчивость конвективных течений. Ламинарно-турбулентный переход.	4	0	3	18
Раздел 3 Тема 10. Конвекция. Устойчивость конвективных течений. Тема 11. Применение результатов теории устойчивости в определении положения ламинарно-турбулентного перехода. Сценарии ламинарно-турбулентного перехода.				
ИТОГО по 4-му семестру	16	0	18	72
ИТОГО по дисциплине	16	0	18	72

Тематика примерных практических занятий

№ п.п.	Наименование темы практического (семинарского) занятия
1	Введение. Примеры течения несжимаемой жидкости. Задача Куэтта, задача Пуазейля.
2	Уравнение Релея.
3	Волны Релея.
4	Теорема Сквайра. Преобразования Сквайра
6	Устойчивость осесимметричных вязких течений.
7	Течение Пуазейля в круглой трубе.
8	Задача Релея «Горизонтальный слой со свободными границами» . Постановка задачи устойчивости.
9	Решение задачи Релея «Горизонтальный слой с твердыми границами»
10	Обзор задачи «Вертикальный слой с твердыми границами»

5. Организационно-педагогические условия

5.1. Образовательные технологии, используемые для формирования компетенций

Проведение лекционных занятий по дисциплине основывается на активном методе обучения, при котором учащиеся не пассивные слушатели, а активные участники занятия, отвечающие на вопросы преподавателя. Вопросы преподавателя нацелены на активизацию процессов усвоения материала, а также на развитие логического мышления. Преподаватель заранее намечает список вопросов, стимулирующих ассоциативное мышление и установление связей с ранее освоенным материалом.

Практические занятия проводятся на основе реализации метода обучения действием: определяются проблемные области, формируются группы. При проведении практических занятий преследуются следующие цели: применение знаний отдельных дисциплин и креативных методов для решения проблем и принятия решений; отработка у обучающихся навыков командной работы, межличностных коммуникаций и развитие лидерских качеств; закрепление основ теоретических знаний.

При проведении учебных занятий используются интерактивные лекции, групповые дискуссии, ролевые игры, тренинги и анализ ситуаций и имитационных моделей.

5.2. Методические указания для обучающихся по изучению дисциплины

При изучении дисциплины обучающимся целесообразно выполнять следующие рекомендации:

1. Изучение учебной дисциплины должно вестись систематически.
2. После изучения какого-либо раздела по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела.
3. Особое внимание следует уделить выполнению отчетов по практическим занятиям, лабораторным работам и индивидуальным комплексным заданиям на самостоятельную работу.
4. Вся тематика вопросов, изучаемых самостоятельно, задается на лекциях преподавателем. Им же даются источники (в первую очередь вновь изданные в периодической научной литературе) для более детального понимания вопросов, озвученных на лекции.

6. Перечень учебно-методического и информационного обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

6.1. Печатная учебно-методическая литература

№ п/п	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке
1. Основная литература		
1	Дразин Ф. Введение в теорию гидродинамической устойчивости : пер. с англ. / Ф. Дразин. - М.: Физматлит, 2005.	7
2	Линейные задачи теории гидродинамической устойчивости и численные методы их решения : учебное пособие / Р.В. Бирих [и др.]. - Пермь: Изд-во ПГТУ, 2009.	23
2. Дополнительная литература		
2.1. Учебные и научные издания		
1	Гершуни Г. З. Конвективная устойчивость несжимаемой жидкости / Г. З. Гершуни, Е. М. Жуховицкий. - Москва: Наука, 1972.	2

2	Гидродинамика. - Москва: , Наука, Физматлит, 1988. - (Теоретическая физика : учебное пособие для вузов : в 10 т.; Т. 6).	15
3	Джозеф Д. Устойчивость движений жидкости : пер. с англ. / Д. Джозеф. - М.: Мир, 1981.	6
4	Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя : пер. с нем. / Г. Шлихтинг. - Москва: Наука, 1974.	7
2.2. Периодические издания		
1	Известия Российской академии наук. Механика жидкости и газа : научный журнал / Российская академия наук. - Москва: Наука, 1966 - .	
2.3. Нормативно-технические издания		
	Не используется	
3. Методические указания для студентов по освоению дисциплины		
	Не используется	
4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента		
	Не используется	

6.2. Электронная учебно-методическая литература

Вид литературы	Наименование разработки	Ссылка на информационный ресурс	Доступность (сеть Интернет / локальная сеть; авторизованный / свободный доступ)
Основная литература	Линейные задачи теории гидродинамической устойчивости и численные методы их решения : учебное пособие	http://elib.pstu.ru/vufind/Record/RUPNRPUelib2947	сеть Интернет; свободный доступ

6.3. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, используемое при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Вид ПО	Наименование ПО
Операционные системы	Windows 10 (подп. Azure Dev Tools for Teaching)
Офисные приложения.	Microsoft Office Professional 2007. лиц. 42661567
Прикладное программное обеспечение общего назначения	Dr.Web Enterprise Security Suite, 3000 лиц, ПНИПУ ОЦНИТ 2017
Прикладное программное обеспечение общего назначения	MATLAB 7.9 + Simulink 7.4 Academic, ПНИПУ 2009 г.

6.4. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Наименование	Ссылка на информационный ресурс

Наименование	Ссылка на информационный ресурс
База данных Elsevier "Freedom Collection"	https://www.elsevier.com/
База данных Scopus	https://www.scopus.com/
База данных Web of Science	http://www.webofscience.com/
Научная библиотека Пермского национального исследовательского политехнического университета	http://lib.pstu.ru/
Электронно-библиотечная система Лань	https://e.lanbook.com/
Электронно-библиотечная система IPRbooks	http://www.iprbookshop.ru/
Информационные ресурсы Сети КонсультантПлюс	http://www.consultant.ru/

7. Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине

Вид занятий	Наименование необходимого основного оборудования и технических средств обучения	Количество единиц
Лекция	Комплект мультимедийного оборудования: ноутбук и проектор	1
Практическое занятие	Комплект мультимедийного оборудования: ноутбук и проектор	1

8. Фонд оценочных средств дисциплины

Описан в отдельном документе

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Пермский национальный исследовательский политехнический
университет»

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

для проведения промежуточной аттестации по дисциплине

«Теория гидродинамической устойчивости»

Приложение к рабочей программе дисциплины

Направление подготовки:	01.04.02. Прикладная математика и информатика
Направленность (профиль) образовательной программы:	Математическое моделирование физико-механических процессов
Квалификация выпускника:	«Магистр»
Выпускающая кафедра:	Математическое моделирование систем и процессов
Форма обучения:	Очная

Курс: 2 **Семестр:** 4

Трудоёмкость:

Кредитов по рабочему учебному плану:	3 ЗЕ
Часов по рабочему учебному плану:	108 ч.

Форма промежуточной аттестации: зачет – 4 семестр

Пермь 2019

Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине является частью (приложением) к рабочей программе дисциплины. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине разработан в соответствии с общей частью фонда оценочных средств для проведения промежуточной аттестации основной образовательной программы, которая устанавливает систему оценивания результатов промежуточной аттестации и критерии выставления оценок. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине устанавливает формы и процедуры текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.

1. Объекты оценивания и виды контроля

Согласно РПД освоение учебного материала дисциплины запланировано в течение одного семестра (4-го семестра учебного плана) и разбито на 2 учебных модуля. В каждом модуле предусмотрены аудиторские лекционные и практические занятия, а также самостоятельная работа студентов. В рамках освоения учебного материала дисциплины формируется компоненты компетенций *знать, уметь, владеть*, указанные в РПД, которые выступают в качестве контролируемых результатов обучения по дисциплине (табл. 1.1).

Контроль уровня усвоенных знаний, освоенных умений и приобретенных владений осуществляется в рамках текущего, рубежного и итогового (промежуточной аттестации) контроля. Виды контроля сведены в таблицу 1.1.

Таблица 1.1. Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине

Контролируемые результаты освоения дисциплины (ЗУВы)	Вид контроля				
	Текущий		Рубежный		Промежуточный
	ТТ	КЗ	РТ	ОИЗ	З
Усвоенные знания.					
31 знать фундаментальные понятия, законы, теории классической теории устойчивости жидкостей и газов;					
32 знать порядки численных величин, характерные для различных режимов;	+		+	+	+
33 знать современные проблемы гидродинамической устойчивости;					
34 знать теоретические и расчетные методы исследования устойчивости течений сплошной среды.					
Освоенные умения.	Т	КЗ	РТ	ОИЗ	З
У1 уметь формулировать физическую постановку задач устойчивости течений;					
У2 уметь математически сформулировать краевые задачи;					
У3 уметь эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения, законы;		+	+	+	+
У4 уметь представить панораму универсальных методов и законов современного естествознания;					
У5 уметь абстрагироваться от несущественных влияний при моделировании реальных					

физических ситуаций.					
Приобретенные владения.	Т	КЗ	РТ	ОИЗ	З
В1 владеть аналитическими методами исследования устойчивости течений сплошной среды; В2 владеть математическим моделированием физических задач; В3 владеть практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач; В4 владеть навыками теоретического анализа реальных задач устойчивости жидкостей и газов.		+		+	+

ТТ – текущее тестирование по пройденным темам;

КЗ – контрольное задание;

РТ – рубежное тестирование по модулю;

ОИЗ – отчет по индивидуальному заданию;

З – зачет.

Итоговой оценкой достижения результатов обучения по дисциплине является промежуточная аттестация в виде зачета, проводимая с учётом результатов текущего и рубежного контроля.

2. Виды контроля, типовые контрольные задания и шкалы оценивания результатов обучения

Текущий контроль успеваемости имеет целью обеспечение максимальной эффективности учебного процесса, управление процессом формирования заданных компетенций обучаемых, повышение мотивации к учебе и предусматривает оценивание хода освоения дисциплины. В соответствии с Положением о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, специалитета и магистратуры в ПНИПУ предусмотрены следующие виды и периодичность текущего контроля успеваемости обучающихся:

- входной контроль, проверка исходного уровня подготовленности обучаемого и его соответствия предъявляемым требованиям для изучения данной дисциплины;

- текущий контроль усвоения материала (уровня освоения компонента «знать» заданных компетенций) на каждом групповом занятии и контроль посещаемости лекционных занятий;

- промежуточный и рубежный контроль освоения обучаемыми отдельных компонентов «знать», «уметь» заданных компетенций путем компьютерного или бланочного тестирования, контрольных опросов, контрольных работ (индивидуальных домашних заданий), защиты отчетов по лабораторным работам, рефератов, эссе и т.д.

Рубежный контроль по дисциплине проводится на следующей неделе после прохождения модуля дисциплины, а промежуточный – во время каждого контрольного мероприятия внутри модулей дисциплины;

- межсессионная аттестация, единовременное подведение итогов текущей успеваемости не менее одного раза в семестр по всем дисциплинам для каждого направления подготовки (специальности), курса, группы;

- контроль остаточных знаний.

2.1. Текущий контроль

Текущий контроль проводится в следующих формах:

- текущее тестирование (ТТ);
- контрольные задания (КЗ).

2.1.1. Текущее тестирование (ТТ)

Тестирование предназначено для контроля овладения студентами дисциплинарными компетенциями *знать* (см. таб. 1.1). Запланировано 2 тестирования после освоения студентами учебных разделов 1 и 3 дисциплины. Перечень разделов и тем в них входящих приведен в основной части РПД.

Типовые задания теста по Разделу 1:

1. В линейной теории гидродинамической устойчивости исследуется

1. поведение малых возмущений стационарного состояния жидкости;
2. поведение произвольных возмущений;
3. эволюция структуры возмущений и переход к турбулентному режиму;
4. устойчивость стационарных состояний по отношению к произвольным типам возмущений

2. Стационарным состоянием жидкости называется

1. состояние, при котором в каждой точке жидкости скорость равна нулю;
2. состояние, при котором в каждой точке жидкости её скорость постоянна;
3. состояние, при котором в каждой точке жидкости все характеристики, такие как скорость, давление, распределение температуры, не зависят от времени;
4. состояние, при котором в каждой точке жидкости её скорость равна нулю, а температура одинакова.

3. Нормальными модами возмущений называются возмущения вида

1. $f = f(z, t) \exp[i(k_x x + k_y y)]$
2. $f = f(z) \exp[-\lambda t + i(k_x x + k_y y)]$
3. $f = f(t) \exp[-\lambda z + i(k_x x + k_y y)]$
4. $f = f(x, y, t) \exp[-\lambda z]$

4. Формула $u_0 = U \cdot (1 - z^2/h^2)$ описывает

1. стационарное плоскопараллельное течение Куэтта;
2. стационарное плоскопараллельное течение Пуазейля;
3. стационарное течение, сгенерированное волнами Релея;
4. стационарное течение Пуазейля в трубе.

5. Устойчивость плоскопараллельных течений Куэтта и Пуазейля описывается

1. уравнением Ховарда;
2. уравнением Релея;
3. уравнением Рейнольдса-Орра;
4. уравнением Орра-Зомерфельда.

6. Сформулируйте теорему Сквайра.

Если существуют возможность преобразовать задачу устойчивости относительно пространственных мод возмущений в задачу об эволюции двумерных возмущений, то для получения критических параметров устойчивости течения достаточно рассмотреть только задачу о двумерных возмущениях. Соответствующие преобразования, называются преобразованиями Сквайра.

Типовые задания теста по Разделу 3:

1. Уравнение состояния жидкости в приближении Буссинеска имеет вид

1. $\rho = \rho_0(1 - \beta T)$
2. $\rho = \rho_0(1 + \beta T)$
3. $\rho = \rho_0(1 - \alpha T - \beta T^2)$
4. $\rho = \rho_0 \beta T$

2. Состояние механического равновесия неоднородно прогретой жидкости определяется уравнениями

1. $T = 0, \nabla T \times \vec{g} = 0$
2. $\nabla T = 0, T\vec{g} = 0$
3. $\Delta T = 0, \nabla T \times \vec{g} = 0$
4. $\Delta T = 0, (\vec{g}\nabla)T = 0$

3. Критические число Релея и волновое число в случае термогравитационной неустойчивость слоя со свободными границами при подогреве снизу имеют значения

1. $Ra_m = \pi^4, k_m = \frac{\pi}{\sqrt{2}}$
2. $Ra_m = \frac{27}{4}\pi^4, k_m = \frac{\pi}{\sqrt{2}}$
3. $Ra_m = 27\pi^4, k_m = \pi$
4. $Ra_m = \frac{27}{4}\pi^4, k_m = \pi$

4. В комплексном декременте (инкременте) $\lambda = \lambda_r + i\lambda_i$ действительная часть λ_r характеризует

1. периодичность возмущений по времени
2. периодичность возмущений вдоль потока
3. частоту колебаний или фазовую скорость
4. быстроту затухания или нарастания возмущений

5. Выберите верное утверждение, характеризующее устойчивость плоскопараллельного конвективного течения в плоском вертикальном бесконечном слое с изотемическими твердыми границами, нагретыми до разных температур

1. Неустойчивость течения по отношению к монотонным возмущениям слабо зависит от числа Прандтля.
2. Неустойчивость течения по отношению к монотонным возмущениям не зависит от числа Прандтля.
3. Неустойчивость течения по отношению к монотонным возмущениям сильно зависит от числа Прандтля.
4. Неустойчивость течения по отношению к монотонным возмущениям сильно зависит от числа Прандтля при $Pr < 1$.

6. Сформулируйте правило для определения безразмерного параметра (критерия), характеризующего устойчивость (неустойчивость) стационарных состояний жидкости.

Безразмерный параметр, например число Рейнольдса или Релея, выделяющий класс динамически подобных стационарных состояний (состояний равновесия или стационарных течений), представляет собой характеристическое отношение дестабилизирующих и стабилизирующих сил.

2.1.1. Контрольные задания (КЗ)

Контрольные задания выдаются студентам в виде домашнего задания после проработки каждой темы практического занятия. Контрольные занятия относятся к самостоятельной работе студента. Проверка выполнения контрольного задания

происходит на практических занятиях. Перечень тем практических занятий приведен в основной части РПД.

Типовые контрольные задания

1. Получите вид основного плоскопараллельного течения Куэтта (Пуазейля). Сделайте вывод спектрально-амплитудных уравнений, описывающих эволюцию плоских нормальных возмущений течения Куэтта (Пуазейля).

2. Идеальная несжимаемая жидкость с плотностью ρ и коэффициентом поверхностного натяжения σ находится в состоянии покоя между свободными плоскими поверхностями $z = \pm a$. Покажите, что устойчивость жидкости определяется уравнениями

$$\Delta p = 0, \quad -\infty < x, y < \infty, \quad -a < z < a$$

$$\rho \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = \pm \sigma \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right) \frac{\partial p}{\partial z}, \quad z = \pm a$$

3. Покажите, что задача устойчивости плоскопараллельных течений Куэтта и Пуазейля удовлетворяет преобразованиям Сквайра.

4. Получите вид спектрально-амплитудной задачи, описывающей устойчивость осесимметричного течения Пуазейля в трубе.

5. Сделайте вывод уравнений и граничных условий, описывающих термогравитационную неустойчивость равновесия горизонтального слоя жидкости со свободными границами.

6. Сделайте вывод уравнений и граничных условий, описывающих термогравитационную неустойчивость равновесия горизонтального слоя жидкости с твердыми границами.

7. Сделайте вывод уравнений и граничных условий, описывающих термогравитационную неустойчивость плоскопараллельного течения в вертикальном слое жидкости с твердыми изотермическими границами. В слое создан горизонтальный равновесный градиент температуры.

Результаты тестирования оцениваются по двух бальной шкале: зачет, незачет. Оценка - зачет выставляется, если студент отвечает правильно на 4 вопроса теста. В случае получения студентом оценки – незачет, ему дается возможность пересдачи теста после самостоятельного изучения материала.

Контрольные задания оцениваются по двух бальной шкале: зачет, незачет. Оценка – зачет выставляется после проверки преподавателем правильности выполнения задания и устранения студентом ошибок и замечаний.

2.2. Рубежный контроль

Рубежный контроль (РК) предназначен для комплексного оценивания усвоенных знаний и приобретенных умений и владений дисциплинарных частей компетенций. РК проводится согласно графика учебного процесса, приведенного в РПД, после освоения студентами учебного модуля 1 в виде рубежного тестирования (РТ), и после освоения студентами учебного модуля 2 дисциплины в виде проверки отчета по индивидуальному заданию (ОИЗ). Средствами контроля являются тест и индивидуальные задания по изученному теоретическому материалу (ИЗ).

Типовые задания теста для рубежного контроля

1. В рамках линейной теории гидродинамической устойчивости решение полной нелинейной задачи гидродинамики ищут в виде:

1. $F = f_0 + f_1$, где f_0 решение стационарной задачи, а f_1 - малая нестационарная добавка – **возмущение**, зависящее от времени и координат;

2. $F = f_0 * f_1$, где f_0 решение стационарной задачи, а f_1 - малая нестационарная добавка – **возмущение**, зависящее от времени и координат;

3. $F = f_0 / f_1$, где f_0 решение стационарной задачи, а f_1 - малая нестационарная добавка – **возмущение**, зависящее от времени и координат;

4. $F = f_0 - f_1$, где f_0 решение стационарной задачи, а f_1 - малая нестационарная добавка – **возмущение**, зависящее от времени и координат.

2. Пусть в нормальных возмущениях вида $f = f(z) \exp[-\lambda t + i(k_x x + k_y y)]$ действительная часть декремента больше нуля, тогда

1. возмущения нарастают вдоль оси x , а стационарное состояние неустойчиво;

2. возмущения затухают вдоль оси y , а стационарное состояние устойчиво

3. возмущения со временем нарастают, а стационарное состояние неустойчиво;

4. возмущения со временем затухают, а стационарное состояние устойчиво.

3. Нейтральной кривой называется

1. зависимость критериального параметра (числа Релея, Рейнольдса, Грасгофа и т.д.) от волнового числа нейтральных возмущений.

2. зависимость критериального параметра (числа Релея, Рейнольдса, Грасгофа и т.д.) от волнового числа нарастающих возмущений.

3. зависимость критериального параметра (числа Релея, Рейнольдса, Грасгофа и т.д.) от волнового числа затухающих возмущений.

4. зависимость критериального параметра (числа Релея, Рейнольдса, Грасгофа и т.д.) от волнового числа наиболее опасных возмущений.

4. Для плоских течений Куэтта и Пуазейля линеаризованное уравнение Навье-Стокса для возмущений имеет вид

1.
$$\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + Re(\vec{v}_0 \nabla) \vec{v} = -\nabla p + \Delta \vec{v}$$

2.
$$\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + Re[(\vec{v}_0 \nabla) \vec{v} + (\vec{v} \nabla) \vec{v}_0] = -\nabla p + \Delta \vec{v}$$

3.
$$\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + Re(\vec{v} \nabla) \vec{v}_0 = -\nabla p + \Delta \vec{v}$$

4.
$$\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + Re[(\vec{v}_0 \nabla) \vec{v} + (\vec{v} \nabla) \vec{v}_0] = \Delta \vec{v}$$

5. Получите спектрально-амплитудное уравнение Орра-Зомерфельда для плоских нормальных возмущений в случае плоскопараллельных течений Куэтта и Пуазейля.

Ответ: $\varphi^{IV} - 2k^2 \varphi'' + k^4 \varphi + ik \operatorname{Re} [u_0'' \varphi - u_0 (\varphi'' - k^2 \varphi)] = -\lambda (\varphi'' - k^2 \varphi)$

6. Условие замкнутости потока в задаче об устойчивости плоского конвективного течения с кубическим профилем скорости в плоском вертикальном слое шириной $2h$ имеет вид

1.
$$\int_{-h}^h v_0 dx \neq 0$$

2.
$$\int_{-h}^h v_0 dx < 0$$

$$3. \quad \int_{-h}^h v_0 dx = 0$$

$$4. \quad \int_{-h}^h v_0 dx > 0$$

7. Уравнение состояния жидкости в приближении Буссинеска имеет вид

$$1. \quad \rho = \rho_0(1 - \beta T)$$

$$2. \quad \rho = \rho_0(1 + \beta T)$$

$$3. \quad \rho = \rho_0(1 - \alpha T - \beta T^2)$$

$$4. \quad \rho = \rho_0 \beta T$$

8. Используя уравнения тепловой конвекции в приближении Буссинеска, получите условие, определяющее состояние механического равновесия неоднородно прогретой жидкости

$$\text{Ответ: } \Delta T = 0, \quad \nabla T \times \vec{g} = 0$$

9. Сформулируйте граничные условия, которые соответствуют свободным изотермическим границам в задаче о термогравитационной неустойчивости слоя

$$\text{Ответ: } z = 0, h: \quad v_z = 0, \quad \frac{\partial v_x}{\partial z} = 0, \quad \frac{\partial v_y}{\partial z} = 0, \quad T = 0$$

10. Используя характерные масштабные множители для координаты - h , времени - $\frac{h^2}{\nu}$, скорости - $\frac{\chi}{h}$, давления - $\frac{\rho_0 \nu \chi}{h^2}$, температуры - θ , получите безразмерный вид уравнений свободной тепловой конвекции.

$$\text{Ответ: } \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + \frac{1}{Pr} (\vec{v} \nabla) T = -\nabla p + \Delta \vec{v} - \vec{\gamma} Ra T, \quad Pr \frac{\partial T}{\partial t} + (\vec{v} \nabla) T = \Delta T, \quad \text{div} \vec{v} = 0$$

11. Найдите аналитическое решение краевой задачи и получите характеристические уравнения для амплитуд возмущений

$$-\lambda(v'' - k^2 v) = v^{IV} - 2k^2 v'' + k^4 v - k^2 Ra \theta, \quad -\lambda Pr \theta = \theta'' - k^2 \theta + v, \quad k^2 = k_x^2 + k_y^2$$

$$z = 0, 1: \quad v = 0, v'' = 0, \theta = 0.$$

$$\text{Ответ: } v = a \sin n\pi z, \quad \theta = b \sin n\pi z, \quad n = 1, 2, \dots$$

$$(n^2 \pi^2 + k^2) [\lambda - (n^2 \pi^2 + k^2)] a + k^2 Ra \cdot b = 0$$

$$a + [\lambda Pr - (n^2 \pi^2 + k^2)] b = 0$$

12. В задаче об устойчивости плоского конвективного течения с кубическим профилем скорости в плоском вертикальном слое с изотермическими границами основное состояние описывается выражениями

$$1. \quad v_0 = \frac{g\beta\Theta h^2}{6\nu} \left[\left(\frac{x}{h}\right)^2 - \left(\frac{x}{h}\right) \right], \quad T_0 = -\Theta \frac{x}{h}, \quad p_0 = const$$

$$2. \quad v_0 = \frac{g\beta\Theta h^2}{6\nu} \left[\left(\frac{x}{h}\right)^3 - \left(\frac{x}{h}\right) \right], \quad T_0 = -\Theta \frac{x}{h}, \quad p_0 = const$$

$$3. \quad v_0 = \frac{g\beta\Theta h^2}{6\nu} \left[\left(\frac{x}{h}\right)^3 - \left(\frac{x}{h}\right) \right], \quad T_0 = -\Theta, \quad p_0 = const$$

$$4. \quad v_0 = \frac{g\beta\Theta h^2}{6\nu} \left[\left(\frac{x}{h}\right)^3 - \left(\frac{x}{h}\right)^2 \right], \quad T_0 = -\Theta x, \quad p_0 = const$$

13. В спектрально-амплитудной задаче для возмущений

$$\varphi^{IV} - 2k^2\varphi'' + k^4\varphi + ikGr[u_0''\varphi - u_0(\varphi'' - k^2\varphi)] + \theta' = -\lambda(\varphi'' - k^2\varphi),$$

$$\frac{1}{Pr}(\theta'' - k^2\theta) + ikGr(T_0'\varphi - u_0\theta) = -\lambda\theta,$$

$$x = \pm 1: \quad \varphi = \varphi' = \theta = 0$$

присутствуют безразмерные комплексы

1. Число Релея $Gr = \frac{g\beta\Theta h^3}{\chi\nu}$ и число Прандтля $Pr = \frac{\nu}{\chi}$
2. Число Грасгофа $Gr = \frac{g\beta\Theta h^2}{b\nu}$ и число Прандтля $Pr = \frac{\nu}{\chi}$
3. Число Грасгофа $Gr = \frac{g\beta\Theta h^3}{\nu^2}$ и число Прандтля $Pr = \frac{\nu}{\chi}$
4. Число Грасгофа $Gr = \frac{g\beta\Theta h^3}{\nu^2}$ и число Прандтля $Pr = \frac{\nu^2}{\chi}$

14. Выберите верное утверждение, являющееся результатом решения проблемы устойчивости плоского конвективного течения с кубическим профилем скорости в плоском вертикальном слое с изотермическими границами

1. Неустойчивость течения определяется только монотонными возмущениями, которые слабо зависят от числа Прандтля.
2. Неустойчивость течения определяется только колебательными возмущениями, для которых критическое значение числа Грасгофа стремится к нулю по закону $533 \cdot Pr^{-0.5}$
3. Неустойчивость течения для $Pr < 12$ определяется монотонными возмущениями, которые слабо зависят от Pr , при больших числах Прандтля колебательными модами, для которых критическое число Gr убывает с увеличением числа Прандтля.
4. Неустойчивость течения для $Pr < 12$ определяется колебательными возмущениями, которые слабо зависят от Pr , при больших числах Прандтля монотонными модами, для которых критическое число Gr убывает с увеличением числа Прандтля.

15. В каком из ниже перечисленных численных методов решение проблемы линейной устойчивости сводится к решению системы дифференциальных уравнений для элементов прогоночной матрицы.

1. Метод построения фундаментальной системы с ортогонализацией решения.
2. Метод дифференциальной прогонки.
3. Метод Бубнова-Галеркина
4. Метод конечных разностей с использованием явной схемы.

Индивидуальные задания (ИЗ) являются комплексными. В ходе выполнения задания студент применяет знания, умения и владения, полученные при изучении всех тем дисциплины. При выполнении ИЗ студент должен: определить структуру основного стационарного состояния; выполнить постановку задачи устойчивости стационарного состояния; с помощью освоенных в результате обучения математических методов выполнить аналитические или численные расчеты и определить критические параметры устойчивости; сравнить полученные результаты с известными из литературы. Индивидуальные задания выполняются в форме доклада согласно теме, выданной преподавателем. Список типовых тем приводится ниже:

1. Устойчивость плоского течения Куэтта.

2. Устойчивость плоского течения Пуазейля
3. Задача Релея «Горизонтальный слой с твердыми границами»
4. Задача Релея «Горизонтальный слой со свободной и твердой границами»
5. Устойчивость равновесия в вертикальном бесконечном слое.
6. Устойчивость конвективного течения в вертикальном слое с твердыми границами. «Задача Гершуни»
7. Устойчивость адвективного течения в горизонтальном слое.

Результаты выполнения теста рубежного контроля оцениваются по двух бальной шкале: зачет, незачет. Оценка - зачет выставляется, если студент отвечает правильно на 11 вопросов теста (более 70% правильных ответов). В случае получения студентом оценки – незачет, ему дается возможность пересдачи теста после самостоятельного изучения материала.

Индивидуальные задания оцениваются по двух бальной шкале: зачет, незачет, на основании предоставленного студентом отчета. Оценка – зачет выставляется после проверки преподавателем отчета и устранения студентом ошибок и замечаний.

2.3 Промежуточная аттестация или итоговый контроль освоения заданных дисциплинарных частей компетенций

Промежуточная аттестация проводится в форме зачета, который ставится при условии выполнения индивидуального задания, получении положительных оценок за текущие и рубежные контрольные мероприятия.