

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



**Пермский национальный исследовательский
политехнический университет**

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по образовательной
деятельности

 А.Б. Петроченков

« 28 » апреля 20 23 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина: Теория турбулентности
(наименование)

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

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

Общая трудоёмкость: 144 (4)
(часы (ЗЕ))

Направление подготовки: 01.03.02 Прикладная математика и информатика
(код и наименование направления)

Направленность: Математическое моделирование (СУОС)
(наименование образовательной программы)

1. Общие положения

1.1. Цели и задачи дисциплины

Цель: привитие умений и навыков корректной формулировки или выбора уравнений при построении математических моделей описания развитых турбулентных течений.

Задачи учебной дисциплины:

- свободное владение основными понятиями и аппаратом теории турбулентности;
- знание основных уравнений, методов и моделей теории турбулентности, областей их применимости;
- формирование умений выбора уравнений при построении математических моделей реальных гидродинамических систем и процессов;
- формирование навыков модификации существующих и построения новых моделей для описания поведения гидродинамических систем и процессов.

1.2. Изучаемые объекты дисциплины

- феноменологическое описание явления турбулентности и стадий ее развития
- кинематическое описание распространения нелинейных волн в турбулентных течениях;
- эталонные уравнения распространения волн в нелинейных турбулентных средах с дисперсией и диссипацией;
- методы решения линейных волновых уравнений в неоднородных средах,
- анализ устойчивости течений методом возмущений
- методы решения нелинейных волновых уравнений;
- модель одномерной турбулентности в уравнении Бюргера;
- турбулентных каскад энергии нелинейных волн;
- методы описания развитой турбулентности.

1.3. Входные требования

Владение аппаратом математического анализа, методами решения дифференциальных уравнений и уравнений математической физики, навыками применения численных методов, знание физики.

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-1.1	ИД-1ПК-1.1	Знает основной аппарат теории турбулентности и подходы к построению моделей для описания поведения различных гидродинамических систем; основные уравнения для описания поведения жидкостей и газов	Знает парадигму и основные концепции развития прикладной математики и математического моделирования, современные подходы и методы проведения научных исследований, современные и классические математические модели систем и процессов.	Контрольная работа

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-1.1	ИД-2ПК-1.1	Умеет применять аппарат теории турбулентности при выборе и модифицировании уравнений для моделирования различных гидродинамических систем; анализировать и выбирать уравнения для постановок краевых задач механики жидкости и газа;	Умеет анализировать возможности и применимость математических моделей, применять и модифицировать их для решения научных и прикладных задач, разрабатывать новые математические модели при выполнении научных исследований на современном уровне	Отчёт по практическом у занятию
ПК-1.1	ИД-3ПК-1.1	Владеет навыками использования теории турбулентности для построения замкнутых математических моделей гидродинамических систем; использования уравнений жидкостей и газов при описании реальных процессов	Владеет навыками выполнения научно-исследовательской работы, применения и модификации известных 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
		7
1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме:	72	72
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:		
- лекции (Л)	32	32
- лабораторные работы (ЛР)		
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)	36	36
- контроль самостоятельной работы (КСР)	4	4
- контрольная работа		
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	72	72
2. Промежуточная аттестация		
Экзамен		
Дифференцированный зачет	9	9
Зачет		
Курсовой проект (КП)		
Курсовая работа (КР)		
Общая трудоемкость дисциплины	144	144

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	СРС
7-й семестр				
Основы теории турбулентности	6	0	8	18
Тема 1. Явление турбулентности и стадии ее развития. Тема 2. Феноменологическое описание турбулентности. Тема 3. Спектральное представление волновых процессов в турбулентных течениях. Тема 4. Скейлинговые свойства развитой турбулентности. Тема 5. Устойчивость течений.				
Нелинейные волны в турбулентных течениях.	10	0	10	31
Тема 6. Кинематика. Стандартные модели волновых процессов. Тема 7. Эвристический подход к описанию волновых процессов в турбулентных течениях . Тема 8. Эталонные уравнения нелинейных волн в среде без диссипации и дисперсии Тема 9. Эталонные уравнения нелинейных волн в среде с диссипацией. Тема 10. Эталонные уравнения нелинейных волн в среде с дисперсией в области высоких частот Тема 11. Эталонные уравнения нелинейных волн в среде с дисперсией в области низких частот Тема 12. Эталонные уравнения нелинейных волн в среде с дисперсией и диссипацией				
Подходы и методы решений волновых уравнений турбулентности	8	0	8	13
Тема 13. Математический аппарат: преобразование Фурье, функция Грина и дельта-функция. Тема 14. Решение уравнения простой волны в линейной неоднородной среде . Тема 15. Решение уравнения синус-Гордона, уравнения Кортевега-де-Вриза, уравнения Бюргерса. Тема 16. Солитонные решения волновых уравнений.				
Спектральный анализ турбулентных течений	8	0	10	10
Тема 17. Анализ устойчивости течений методом возмущений; Тема 18. Модель одномерной турбулентности в уравнении Бюргерса. Тема 19. Методы описания развитой турбулентности.				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
ИТОГО по 7-му семестру	32	0	36	72
ИТОГО по дисциплине	32	0	36	72

Тематика примерных практических занятий

№ п.п.	Наименование темы практического (семинарского) занятия
1	Задачи на построение различных скейлингов турбулентных течений
2	Задачи на линеаризацию уравнений движения жидкости и газа с последующим анализом их устойчивости
3	Графическая визуализация стандартных моделей волновых
4	Задачи на вывод эталонных уравнений с модифицированной нелинейностью до третьего порядка
5	Задачи на построение энергетических спектров турбулентных течений
6	Задачи на анализ изменения спектрального состава турбулентных течений в нелинейных средах с дисперсией и дисперсией

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, 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 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	Матюнин В. П. Механика жидкости и газа. Введение в гидрогазодинамику : учебное пособие для вузов. 2-е изд., испр. и доп. Пермь : Изд-во ПГТУ, 2005. 79 с.	113
2. Дополнительная литература		
2.1. Учебные и научные издания		
1	Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа : учебник для вузов. 7-е изд., испр. М. : Дрофа, 2003. 840 с.	113
2	Статистическая гидромеханика. Механика турбулентности. Ч.1. М. : Наука, 1965. 639 с.	1
3	Статистическая гидромеханика. Механика турбулентности. Ч.2. М. : Наука, 1967. 720 с.	1
4	Фрик П. Г. Турбулентность: подходы и модели. М. Ижевск : Ин-т компьют. исслед., 2003. 291 с.	65
2.2. Периодические издания		
	Не используется	
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)
Дополнительная литература	Введение в математическое моделирование/ Ашихмин В. Н., Гитман М. Б., Келлер И. Э., Наймарк О. Б., Столбов В. Ю., Трусов П. В., Фрик П. Г. - Москва : Логос, 2004	https://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPuelib2392	сеть Интернет; авторизованный доступ
Основная литература	Матюнин В.П. Механика жидкости и газа. Введение в гидрогазодинамику: учеб. пособие для вузов. – Пермь: ПГТУ, 2005	https://elib.pstu.ru/Record/lanRU-LAN-BOOK-160907	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	MS Windows 11 (подп. Azure Dev Tools for Teaching)
Офисные приложения.	Microsoft Office Professional 2007. лиц. 42661567
Прикладное программное обеспечение общего назначения	Mathematica Professional Version (лиц. L3263-7820*)

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

Наименование	Ссылка на информационный ресурс
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	Аудитории, оборудованные ноутбуком, видеопроектором	6
Практическое занятие	Персональные компьютеры (локальная компьютерная сеть)	10

8. Фонд оценочных средств дисциплины

Описан в отдельном документе

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

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине
«Теория турбулентности»

Приложение к рабочей программе дисциплины

Направление подготовки: 01.03.02 Прикладная математика и информатика

Направленность (профиль) образовательной программы: Математическое моделирование

Квалификация выпускника: «Бакалавр»

Выпускающая кафедра: Математическое моделирование систем и процессов

Форма обучения: Очная

Курс: 4

Семестр: 7

Трудоёмкость:

Кредитов по рабочему учебному плану: 4 ЗЕ

Часов по рабочему учебному плану: 144 ч.

Форма промежуточной аттестации:

Дифференцированный зачет: 7 семестр

Пермь 2023

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. Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине, объекты оценивания и виды контроля

Согласно РПД, освоение учебного материала дисциплины запланировано в течение одного семестра (7-го семестра учебного плана) и разбито на 4 учебных модуля. В каждом модуле предусмотрены аудиторские лекционные и практические занятия, а также самостоятельная работа студентов. В рамках освоения учебного материала дисциплины формируются компоненты компетенций *знать, уметь, владеть*, указанные в РПД, которые выступают в качестве контролируемых результатов обучения по дисциплине (табл. 1.1).

Контроль уровня усвоенных знаний, усвоенных умений и приобретенных владений осуществляется в рамках текущего, рубежного и промежуточного контроля при изучении теоретического материала, в рамках практических занятий и на дифференцированном зачете. Виды контроля сведены в таблицу 1.1.

Таблица 1.1. Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине

Контролируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУВы)	Вид контроля		
	Текущий	Рубежный	Промежуточный
	ТО/С	РКР	Диф.Зачет
Усвоенные знания			
З.1. знать основной аппарат теории турбулентности и подходы к построению моделей для описания поведения различных гидродинамических систем	ТО	РКР	ТВ
З.2. знать основные уравнения для описания поведения жидкостей и газов	ТО	РКР	ТВ
Освоенные умения			
У.1. применять аппарат теории турбулентности при выборе и модифицировании уравнений для моделирования различных гидродинамических систем	С	РКР	ПЗ
У.2. анализировать и выбирать уравнения для постановок краевых задач механики жидкости и газа	С	РКР	ПЗ
Приобретенные владения			
В.1. владеть навыками использования теории турбулентности для построения замкнутых математических моделей гидродинамических систем	С	РКР	ПЗ
В.2. владеть навыками использования уравнений	С	РКР	ПЗ

жидкостей и газов при описании реальных процессов			
---	--	--	--

ТО – теоретический опрос; РКР – рубежная контрольная работа; КР – курсовая работа; ТВ – теоретический вопрос; ПЗ – практическое задание;

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 усвоения материала

Текущий контроль усвоения материала в форме собеседования или выборочного теоретического опроса студентов проводится по каждой теме. Результаты по 4-балльной шкале оценивания заносятся в книжку преподавателя и учитываются в виде интегральной оценки при проведении промежуточной аттестации.

2.2. Рубежный контроль

Рубежный контроль для комплексного оценивания усвоенных знаний, усвоенных умений и приобретенных владений (табл. 1.1) проводится в форме

рубежных контрольных работ (после изучения каждого модуля учебной дисциплины).

2.2.1. Защита индивидуальных заданий (расчетных работ)

Не предусмотрено.

Типовые индивидуальные задания для контроля приобретенных владений:

2.2.2. Рубежная контрольная работа

Согласно РПД запланировано 4 рубежные контрольные работы (КР) после освоения студентами учебных модулей дисциплины. Первая КР по модулю 1 «Основы», вторая КР – по модулю 2 «Нелинейные волны в турбулентных течениях», третья КР – по модулю 3 «Подходы и методы решений волновых уравнений турбулентности», четвертая КР – по модулю 4 «Спектральный анализ турбулентных течений».

Типовые задания первой КР:

1. Что такое волна?
2. Привести пример бегущей негармонической волны.

Типовые задания второй КР:

1. Перечислить стандартные модели волновых процессов.
2. Проиллюстрировать эволюцию решения уравнения диффузии при начальном точечном возмущении.

Типовые задания третьей КР:

1. Дисперсионное соотношение в среде с дисперсией в низких частотах.
2. Что такое солитон и его основные свойства.

Типовые задания четвертой КР:

1. Изменение спектрального состава возмущения в нелинейной среде без дисперсии и диссипации.
2. Охарактеризовать изменение спектрального состава в нелинейной среде с дисперсией в области высоких частот.

Типовые шкала и критерии оценки результатов рубежной контрольной работы приведены в общей части ФОС образовательной программы.

2.3. Выполнение комплексного индивидуального задания на самостоятельную работу

Для оценивания навыков и опыта деятельности (владения), как результата обучения по дисциплине, не имеющей курсового проекта или работы, используется индивидуальное комплексное задание студенту.

Типовые шкала и критерии оценки результатов защиты индивидуального комплексного задания приведены в общей части ФОС образовательной программы.

2.4. Промежуточная аттестация (итоговый контроль)

Допуск к промежуточной аттестации осуществляется по результатам текущего и рубежного контроля. Условиями допуска является положительная интегральная оценка по результатам текущего и рубежного контроля.

2.4.1. Процедура промежуточной аттестации с проведением аттестационного испытания

Промежуточная аттестация проводится в форме дифференцированного зачета по дисциплине устно по билетам. Билет включает теоретические вопросы (ТВ) для проверки усвоенных знаний и практические задания (ПЗ) для проверки освоенных умений и владений.

Билет формируется таким образом, чтобы в него попали вопросы и практические задания, контролирующие уровень сформированности *всех* заявленных компетенций.

Критерии выведения итоговой оценки за компоненты компетенций при проведении промежуточной аттестации в виде зачета приведены в общей части ФОС образовательной программы.

2.4.1.1. Типовые вопросы и задания для зачета по дисциплине

Типовые вопросы для контроля усвоенных знаний:

1. Явление турбулентности и стадии ее развития.
2. Нелинейная среда с дисперсией в области низких частот и без диссипации. Дисперсионное соотношение. Эталонное уравнение
3. Уравнение Кортевега-де-Вриза. Подходы, идея, методы решения. Характерный вид решения, связь параметров.
4. Пример амплитудно-модулированной волны.

Типовые вопросы и практические задания для контроля освоенных умений и владений:

1. Графическая визуализация стандартных моделей волновых процессов.
2. Приближенное решение нелинейных волновых уравнений методом возмущений (сравнительный графический анализ с численным решением, оценка остаточного члена). Уравнение простой нелинейной волны до 4го порядка.
3. Численное решение волновых уравнений (исследования зависимости параметров волны от начальных условий и свойств среды). Распространение солитонов син-Гордона.
4. Моделирование турбулентности с использованием каскадной модели.

2.4.1.2. Шкалы оценивания результатов обучения на зачете

Оценка результатов обучения по дисциплине в форме уровня сформированности компонентов *знать, уметь, владеть* заявленных компетенций проводится по 4-х балльной шкале оценивания.

Типовые шкала и критерии оценки результатов обучения при сдаче дифференцированного зачета для компонентов *знать, уметь и владеть* приведены

в общей части ФОС образовательной программы.

3. Критерии оценивания уровня сформированности компонентов и компетенций

3.1. Оценка уровня сформированности компонентов компетенций

При оценке уровня сформированности компетенций в рамках выборочного контроля при зачете считается, что *полученная оценка за компонент проверяемой в билете компетенции обобщается на соответствующий компонент всех компетенций, формируемых в рамках данной учебной дисциплины.*

Общая оценка уровня сформированности всех компетенций проводится путем агрегирования оценок, полученных студентом за каждый компонент формируемых компетенций, с учетом результатов текущего и рубежного контроля в виде интегральной оценки по 4-х балльной шкале. Все результаты контроля заносятся в оценочный лист и заполняются преподавателем по итогам промежуточной аттестации.

Форма оценочного листа и требования к его заполнению приведены в общей части ФОС образовательной программы.

При формировании итоговой оценки промежуточной аттестации в виде зачета используются типовые критерии, приведенные в общей части ФОС образовательной программы.