

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ



УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе и
образовательным инновациям

« 20 » 06 2018 г.
Регистрационный № УД- 6186 /уч.

Основы теории турбулентного переноса

Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности

1-31 03 02 Механика и математическое моделирование

2018 г.

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 03 02-2013 (30.08.2013г., № 88) и учебного плана № G31-136/уч. (30.05.2013 г.).

СОСТАВИТЕЛЬ:

Чорный Андрей Дмитриевич – доцент кафедры теоретической и прикладной механики Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой теоретической и прикладной механики механико-математического факультета Белорусского государственного университета (протокол № 11 от 13.06.2018).

Учебно-методической комиссией механико-математического факультета Белорусского государственного университета (протокол № 8 от 19.06.2018).



Чорный А.Д.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Дисциплина «Основы теории турбулентного переноса» является дисциплиной специализации. Учебная программа дисциплины предназначена для студентов 3 курса (6 семестр) механико-математического факультета Белорусского государственного университета.

Дисциплина «Основы теории турбулентного переноса» связана с рассмотрением основных понятий и устойчивых представлений о свойствах и закономерностях турбулентных процессов и явлений, связанных с динамическим состоянием различных жидкостей и газов. Такие знания базируются на подходах и положениях механики сплошных сред как научного направления физики, а решаемые задачи – на методах математического описания динамического поведения исследуемых систем, а также методах компьютерного моделирования и анализа физических процессов.

Целью освоения дисциплины «Основы теории турбулентного переноса» является формирование цельного теоретического представления о роли и физических механизмах турбулентного движения, способах математического описания и современных методах решения научно-исследовательских и прикладных задач турбулентного переноса.

Задачи освоения дисциплины:

- изучение физических механизмов и процессов, определяющих явления турбулентного переноса;
- изучение основных физико-математических принципов и подходов для описания турбулентного переноса;
- изучение моделей турбулентности, условий их применимости;
- формирование умений и навыков применения законов и моделей турбулентности при решении научно-исследовательских и практических задач механики жидкости и газа.

Предполагается, что студенты, слушающие данную дисциплину, владеют материалом дисциплин «Математический анализ», «Дифференциальные уравнения», «Уравнения математической физики», «Теория вероятности и математическая статистика», «Численные методы».

В результате освоения дисциплины студент должен **знать:**

- о роли турбулентности в переносе массы, импульса и энергии;
- основные физические законы и процессы, определяющие характер турбулентного переноса;
- основные принципы и подходы математического описания турбулентного переноса;
- классические и современные модели для описания турбулентных течений, условия их применимости и ограничения;
- новые и перспективные направления в исследовании турбулентного переноса;

уметь:

- использовать адекватные методы и соответствующий математический аппарат для описания турбулентного переноса;
- применять полученные знания для постановки и решения научно-исследовательских и практических задач гидрогазодинамики;
- проводить анализ результатов и формулировать объективные физические выводы;

владеть:

- методами выявления доминирующих физических механизмов, определяющих турбулентный режим при решении задач гидрогазодинамики;
- методами анализа явлений турбулентного переноса, физико-математической постановки задач и определения граничных условий;
- математическими методами решения сформулированных задач;
- навыками компьютерного моделирования при решении задач турбулентного переноса.

Учебная дисциплина строится таким образом, чтобы обучающийся приобретал следующие компетенции:

академические:

- АК-1. Уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач.
- АК-3. Владеть исследовательскими навыками.
- АК-4. Уметь работать самостоятельно.
- АК-5. Быть способным порождать новые идеи (обладать креативностью).
- АК-7. Иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой с компьютером.

социально-личностные:

СЛК-2. Быть способным к социальному взаимодействию.

СЛК-3. Обладать способностью к межличностным коммуникациям.

- СЛК-6. Уметь работать в команде.

профессиональные:

- ПК-7. Проводить исследования в области эффективности решения производственных задач;
- ПК-15. Анализировать и оценивать собранные данные.
- ПК-19. Пользоваться глобальными информационными ресурсами.
- ПК-20. Владеть современными средствами телекоммуникаций.
- ПК-23. Определять цели инноваций и способы их достижения.
- ПК-24. Работать с научной, технической и патентной литературой.
- ПК-29. Реализовывать инновационные проекты в профессиональной деятельности.

На изучение учебной дисциплины в соответствии с учебным планом отводится всего 80 часов, из них аудиторных–44 часа, в том числе лекций–20 часов, лабораторных занятий–22 часа, УСП–2 часа. Текущая аттестация–зачет.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Тема 1. Понятие о турбулентных течениях. Что такое турбулентность? Молекулярный и турбулентный перенос. Методы описания структуры турбулентных течений. Законы гидромеханического подобия, критерии подобия, число Рейнольдса. Уравнения Навье – Стокса. Диссипация энергии в вязкой жидкости. Ламинарный, переходный и турбулентный режимы движения. Качественные сценарии развития турбулентности. Опыт Рейнольдса. Критическое число Рейнольдса. Оценка масштабов турбулентности. Механизм растяжения вихревых структур.

Тема 2. Теория А.Н. Колмогорова. Локально-изотропная турбулентность. Теория спектра турбулентности. Интервалы масштабов турбулентности. Гипотезы Колмогорова и их следствия. «Закон пяти третей». Турбулентная диффузия.

Тема 3. Дифференциальные уравнения для турбулентных пульсаций. Случайные поля. Средние и пульсационные компоненты гидродинамических величин (разложение Рейнольдса). Методы осреднения. Моменты гидродинамических полей. Эргодичность. Турбулентные напряжения. Цепочка уравнений Фридмана-Келлера. Уравнения кинетической энергии турбулентных пульсаций и ее изотропной диссипации. Уравнения для пульсаций турбулентного потока тепла.

Тема 4. Замыкание уравнений Рейнольдса. Турбулентное течение около стенки и логарифмический пограничный слой. Проблема замыкания. Модели турбулентной вязкости. Модель пути смешения Прандтля. Условия реализуемости.

Тема 5. Полуэмпирические теории турбулентности. Модели турбулентности первого порядка (алгебраические). Модели второго порядка – дифференциальные модели замыкания уравнений Рейнольдса. Замыкание уравнений кинетической энергии турбулентных пульсаций и ее изотропной диссипации. k - ϵ , k - ω модели, SST модель сдвиговых напряжений.

Тема 6. Моделирование крупных вихрей. Фильтрованные уравнения Навье-Стокса и подсеточные напряжения. Модель Смагоринского. Динамическая модель Германо.

Тема 7. Математическое описание процессов турбулентного тепло- и массопереноса. Дифференциальное уравнение теплопроводности и диффузии. Турбулентный перенос скаляров. Связь коэффициентов турбулентной вязкости, теплопроводности и диффузии. Модели замыкания.

Тема 8. Численные методы моделирования турбулентного переноса массы, импульса и энергии: спектральный метод, метод конечных объемов, метод крупных частиц. Метод конечных объемов для решения гидродинамических задач. SIMPLE алгоритм. Метод конечных объемов для решения задач конвективного тепломассопереноса в турбулентных потоках. Аппроксимация граничных условий.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНОСТИ

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов						Литература	Форма контроля знаний
		лекции	практические занятия	семинарские занятия	лабораторные занятия	иное	Количество часов УСР		
1	2	3	4	5	6	7	8		9
1	Тема 1. Понятие о турбулентных течениях	2			2				
1.1	Что такое турбулентность? Молекулярный и турбулентный перенос. Методы описания структуры турбулентных течений. Законы гидромеханического подобия, критерии подобия, число Рейнольдса. Уравнения Навье – Стокса. Диссипация энергии в вязкой жидкости.	1						[1, 2, 4, 7]	Экспресс-опрос
1.2	Ламинарный, переходный и турбулентный режимы движения. Качественные сценарии развития турбулентности. Опыт Рейнольдса. Критическое число Рейнольдса. Оценка масштабов турбулентности. Механизм растяжения вихревых структур.	1			2			[1, 4, 8, 9]	Защита лабораторной работы
2	Тема 2. Теория А.Н. Колмогорова.	2			2				
2.1	Локально-изотропная турбулентность. Теория спектра турбулентности. Интервалы масштабов турбулентности. Гипотезы Колмогорова и их следствия. «Закон пяти третей». Турбулентная диффузия.	2			2			[2, 4, 12]	Опрос
3	Тема 3. Дифференциальные уравнения для турбулентных пульсаций.	2			2				
3.1	Случайные поля. Средние и пульсационные компоненты гидродинамических величин (разложение Рейнольдса). Методы осреднения. Моменты гидродинамических полей. Эргодичность.	1						[1, 2, 4, 10]	Экспресс-опрос

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов						Литература	Форма контроля знаний
		лекции	практические занятия	семинарские занятия	лабораторные занятия	иное	УСР		
1	2	3	4	5	6	7	8		9
3.2	Цепочка уравнений Фридмана-Келлера. Уравнения кинетической энергии турбулентных пульсаций и ее изотропной диссипации. Уравнения для пульсаций турбулентного потока тепла. Турбулентные напряжения. Турбулентная диффузия.	1			2			[1, 2, 4, 6 10]	Проверка индивидуальных заданий
4	Тема 4. Замыкание уравнений Рейнольдса	2			2				
4.1	Турбулентное течение около стенки и логарифмический пограничный слой.	1						[1, 3, 8]	Экспресс-опрос
4.2	Проблема замыкания уравнений Рейнольдса. Модели турбулентной вязкости. Модель пути смешения Прандтля. Условия реализуемости.	1			2			[1, 2, 4]	Собеседование
5	Тема 5. Полуэмпирические теории турбулентности.	2			4				
5.1	Модели турбулентности первого порядка (алгебраические)	1			2			[1, 5, 10]	Защита лабораторной работы
5.2	Модели второго порядка – дифференциальные модели замыкания уравнений Рейнольдса. Замыкание уравнений кинетической энергии турбулентных пульсаций и ее изотропной диссипации. k-ε, k-ω модели, SST модель сдвиговых напряжений.	1			2			[1, 5, 10]	Защита лабораторной работы
6	Тема 6. Моделирование крупных вихрей.	2			2				
6.1	Фильтрованные уравнения Навье-Стокса и подсеточные напряжения. Модель Смагоринского. Динамическая модель Германо.	2			2			[5, 10]	Опрос
7	Тема 7. Математическое описание процессов турбулентного тепло- и массопереноса	2			2				

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов						Количество часов VCP	Литература	Форма контроля знаний
		лекции	практические занятия	семинарские занятия	лабораторные занятия	иное				
1	2	3	4	5	6	7	8	9		
7.1	Дифференциальное уравнение теплопроводности и диффузии. Турбулентный перенос скаляров. Связь коэффициентов турбулентной вязкости, теплопроводности и диффузии. Модели замыкания.	2			2			[1, 6, 11]	Защита лабораторной работы	
8	Тема 8. Численные методы	6			6					
8.1	Методы моделирования турбулентного переноса массы, импульса и энергии: спектральный метод, метод конечных объемов, метод крупных частиц.	2						[5, 10, 11]	Экспресс-опрос	
8.2	Метод конечных объемов для решения гидродинамических задач. SIMPLE алгоритм. Аппроксимация граничных условий.	2			3			[5]	Защита лабораторной работы	
8.3	Метод конечных объемов для решения задач конвективного теплопереноса в турбулентных потоках. Аппроксимация граничных условий.	2			3			[5, 6, 11]	Проверка индивидуальных заданий	
	Проверка знаний по дисциплине						2		Контрольная работа	
	Всего	20			22		2		Зачет	

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Основная литература

1. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. Изд. 5. М.: Наука, 1978.
2. Седов Л.И. Механика сплошных сред. Т. 1, т. 2, изд. 5. М.: Наука, 1994.
3. Шлихтинг. Г. Теория пограничного слоя. М.: Наука, 1974.
4. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика. М.: Наука, 1986.
5. Мазо А.Б. Моделирование турбулентных течений несжимаемой жидкости. Учебное пособие. - Казань: КГУ. 2007. - 209 с.
6. Себиси Т., Брэдшоу П. Конвективный теплообмен. - М.: Мир. 1987. 592 с.

Дополнительная литература

7. Седов Л.И. Методы подобия и размерностей в механике. М.: Наука. 1981.
8. Гершуни Г.З., Жуховицкий Е.М. Конвективная устойчивость несжимаемой жидкости. М., Наука, 1972
9. Ван-Дайк М. Альбом течений жидкости и газа. - М.: Мир. 1986. - 182 с.
10. Фрик П.Г. Турбулентность: подходы и модели. - Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований. 2003. - 292 с.
11. Ши Д. Численные методы в задачах теплообмена. - М.: Мир. 1988. - 544 с.
12. Фриш У. Турбулентность. Наследие А.Н. Колмогорова. М.: Фазис. 1998. - 346 с.

ОРГАНИЗАЦИЯ УПРАВЛЯЕМОЙ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Студент должен получать знания главным образом за счет креативной самостоятельной работы, самостоятельно осуществляя поиск необходимой информации и созидательно прорабатывая ее с тем, чтобы выполнить необходимые умозаключения и получить результаты.

Управляемая самостоятельная работа студентов по дисциплине «Основы теории турбулентного переноса» осуществляется в форме контрольной работы.

Выполняя учебные задачи, студенты самостоятельно приобретают новые знания, навыки и умения (в частности, умение анализировать и принимать решения в нестандартных ситуациях), что очень важно для эффективной будущей самостоятельной профессиональной деятельности.

ПЕРЕЧЕНЬ ЗАДАНИЙ УПРАВЛЯЕМОЙ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

1. Вывести дифференциальные уравнения кинетической энергии турбулентных пульсаций и ее изотропной диссипации. Определить тип и структуру полученных уравнений.

2. Вывести дифференциальное уравнение для турбулентных пульсаций случайной скалярной величины. Определить тип и структуру полученных уравнений.

3. Объяснить физический смысл пути смешения в модели Прирандтля.

4. Исследовать универсальный профиль скорости в вязком подслое, турбулентном пограничном слое и слое следа.

5. Дать физическую интерпретацию членов эволюционных уравнений цепочки Фридмана-Келлера.

6. Построить автомодельные решения задач теплопроводности.

7. Определить структуру уравнения конвективной теплопроводности. Вывести критерии подобия конвективной теплопроводности и определить их смысл.

8. Сравнить гидродинамический и тепловой пограничный слой при обтекании турбулентным потоком пластины.

9. Исследовать профиль скорости при турбулентном движении среды в трубах.

10. Исследовать профиль скорости при турбулентном движении среды в струйных потоках (свободная струя, спутная струя, импактная струя, пристеночная струя).

ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ СРЕДСТВ ДИАГНОСТИКИ РЕЗУЛЬТАТОВ УЧЕБНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Контроль освоения навыков научно-исследовательской работы осуществляется в форме опроса, экспресс-опроса, собеседование, защита лабораторных работ, проверки индивидуальных заданий и контрольной работы. Текущая аттестация – зачет.

Контрольные мероприятия проводятся в соответствии с учебно-методической картой дисциплины. В случае неявки на контрольное мероприятие по уважительной причине студент вправе по согласованию с преподавателем выполнить его в дополнительное время. Для студентов, получивших неудовлетворительные оценки за контрольную работу, либо не явившихся по неуважительной причине, по согласованию с преподавателем и с разрешения заведующего кафедрой мероприятие может быть проведено повторно.

МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ ИТОГОВОЙ ОЦЕНКИ

Итоговая оценка формируется на основе трех документов:

- 1) Правила проведения аттестации (Постановление №53 от 29.05.2012г.).
- 2) Положение о рейтинговой системе БГУ (ред.2015 г.).
- 3) Критерии оценки студентов (10 баллов).

**СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ ПО ИЗУЧАЕМОЙ
УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ С ДРУГИМИ ДИСЦИПЛИНАМИ
СПЕЦИАЛЬНОСТИ**

[illegible]

ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ

на ____ / ____ учебный год

№№ пп	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
теоретической и прикладной механики (протокол № ____ от ____ 201__ г.)

Заведующий кафедрой

д-р физ.-мат. наук, профессор
 (ученая степень, ученое звание)

 (подпись) М.А. Журавков
 (И.О. Фамилия)

УТВЕРЖДАЮ
 Декан факультета

канд. физ.-мат. наук, доцент
 (ученая степень, ученое звание)

 (подпись) Д.Г. Медведев
 (И.О. Фамилия)