

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



УТВЕРЖДАЮ

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

_____ 20__ г.

Программа дисциплины

Турбулентность и теплопередача М2.ДВ.1

Направление подготовки: 010800.68 - Механика и математическое моделирование

Профиль подготовки: Механика жидкости, газа и плазмы

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Автор(ы):

Мазо А.Б.

Рецензент(ы):

Коноплев Ю.Г.

СОГЛАСОВАНО:

Заведующий(ая) кафедрой:

Протокол заседания кафедры No ____ от " ____ " _____ 201__ г

Учебно-методическая комиссия Института математики и механики им. Н.И. Лобачевского :

Протокол заседания УМК No ____ от " ____ " _____ 201__ г

Регистрационный No

Казань
2014

Содержание

1. Цели освоения дисциплины
2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля
4. Структура и содержание дисциплины/ модуля
5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения
6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов
7. Литература
8. Интернет-ресурсы
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины/модуля согласно утвержденному учебному плану

Программу дисциплины разработал(а)(и) профессор, д.н. (доцент) Мазо А.Б. Кафедра аэрогидромеханики отделение механики, Alexander.Mazo@kpfu.ru

1. Цели освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины "Турбулентность и теплопередача" является изучение методов математического описания теплопередачи в технологических устройствах с турбулентным режимом течения теплоносителя. Излагаются основные положения теории изотропной однородной турбулентности А.Н. Колмогорова и их следствия, используемые в современных полуэмпирических моделях. Рассматриваются алгебраические и дифференциальные методы замыкания уравнений Рейнольдса, а также модель крупных вихрей (LES) с замыканием Смагоринского-Лилли. Во всех моделях присутствуют соответствующие уравнения турбулентной теплопроводности.

Изучаются основные механизмы передачи тепла: теплопроводность, конвекция, излучение. Даются формулировки граничных условий и примеры постановок задач теплообмена. Выводятся критерии подобия в теории теплопроводности и формулировки задач в безразмерных переменных. Разбираются модельные задачи теплопроводности, их точные, автомодельные и численные решения. Значительная часть курса посвящена проблемам нелинейного теплообмена с фазовыми превращениями (плавление-кристаллизация, испарение-конденсация).

Лекционный курс сопровождается лабораторными и самостоятельными занятиями, где студенты самостоятельно изучают отдельные главы курса, докладывают результаты, закрепляют полученные теоретические знания, решая конкретные задачи конвективного теплообмена с помощью аналитических и численных методов.

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

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

Дисциплина входит в специальную часть профессионального цикла. Для ее освоения нужны знания из курсов дифференциальных уравнений, механики сплошной среды, вычислительной гидродинамики. Получаемые знания, умения и навыки необходимы для математического моделирования процессов конвективной теплопроводности и решения инженерных задач в соответствующей области. Приобретаемые компетенции нужны для выполнения магистерских диссертаций по направлению "механика и математическое моделирование".

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

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

В результате освоения дисциплины студент:

1. Различать ламинарные и турбулентные режимы течения жидкости. Иметь представление о теории турбулентности А.Н. Колмогорова, знать ее гипотезы и основные следствия.
2. Понимать смысл уравнений Рейнольдса как осредненных уравнений Навье-Стокса. Владеть основными приемами замыкания этих уравнений для создания полуэмпирических моделей. Уметь осознанно выбрать модель турбулентности для решения конкретной задачи, в том числе при использовании CFD-пакетов.
3. Познакомиться с методом крупных вихрей, усвоить понятия пространственных фильтров и подсеточных напряжений.

4. Различать основные механизмы передачи тепла: теплопроводность, конвекцию, излучение. Понимать физические основы фазовых превращений вещества в тепловых процессах.
5. Знать основные уравнения конвективного теплообмена в ламинарных и турбулентных течениях. Освоить методы подобия и размерности, знать основные критерии подобия.
6. Овладеть методами построения автомодельных решений уравнений теплообмена, численными методами решения тепловых задач.

4. Структура и содержание дисциплины/ модуля

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

Форма промежуточного контроля дисциплины экзамен в 1 семестре; экзамен во 2 семестре.

Суммарно по дисциплине можно получить 100 баллов, из них текущая работа оценивается в 50 баллов, итоговая форма контроля - в 50 баллов. Минимальное количество для допуска к зачету 28 баллов.

86 баллов и более - "отлично" (отл.);

71-85 баллов - "хорошо" (хор.);

55-70 баллов - "удовлетворительно" (удов.);

54 балла и менее - "неудовлетворительно" (неуд.).

4.1 Структура и содержание аудиторной работы по дисциплине/ модулю

Тематический план дисциплины/модуля

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
1.	Тема 1. Ламинарные и турбулентные течения: описание феномена. Опыт Рейнольдса. Решение Хагена-Пуазейля и его неустойчивость. Критическое число Рейнольдса. Уравнения Рейнольдса. Осредненное уравнение конвективной теплопроводности. Физический смысл напряжений Рейнольдса. Статистические характеристики пульсаций.	9	1-2	0	0	0	

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
2.	Тема 2. Теория А.Н. Колмогорова. Однородная изотропная турбулентность. Каскадный перенос энергии. Интервалы масштабов турбулентности: энергосодержащий, инерционный, диссипативный. Гипотезы Колмогорова и их следствия.	9	3-4	0	0	0	
3.	Тема 3. Дифференциальные уравнения для турбулентных пульсаций. Цепочка уравнений Фридмана-Келлера. Физическая интерпретация уравнений эволюции турбулентности. Уравнения кинетической энергии турбулентных пульсаций и ее изотропной диссипации. Уравнения для пульсаций турбулентного потока тепла.	9	5-8	0	0	0	
4.	Тема 4. Дифференциальные модели замыкания уравнений Рейнольдса. Модель Колмогорова-Прандтля; семейство моделей (стандартная Лаундера-Сполдинга, RNG, kealizable). Семейство моделей (стандартная Вилкокса, SST зональная Ментера).	9	9-11	0	0	0	

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
5.	Тема 5. Модели турбулентной вязкости. Модель пути смешения Прандтля. Логарифмический профиль скорости. Модели переноса вихревой вязкости Ни-Коважного, Секундова, Спаларта-Аллмараса.	9	12-14	0	0	0	
6.	Тема 6. Моделирование крупных вихрей (LES) Фильтрованные уравнения Навье-Стокса. Модель Смагоринского-Лилли для подсеточных напряжений. Динамическая модель Германо.	9	15-16	0	0	0	

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
7.	<p>Тема 7. Теплопроводность. Закон Фурье. Теплопроводность газов, жидкостей и твердых тел. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Энтальпия. Фазовые превращения. Граничные условия. Примеры постановок задач. Критерии подобия в теории теплопроводности. Решение модельных задач теплопроводности. Стационарная теплопередача через плоскую, цилиндрическую, однородную и композитную стенку. Оптимальная теплоизоляция. Автомодельные решения нестационарного уравнения теплопроводности. решения при различных граничных условиях. Численное решение задач теплопроводности.</p>	2	1-4	0	0	0	

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
8.	Тема 8. Тепловые процессы при фазовых превращениях. Классическая двухфазная задача Стефана. Автомодельное решение задачи. Численное решение. Энтальпийная постановка задачи Стефана. Методы численного решения. Теплообмен при испарении и конденсации жидкости. Граничные условия на поверхности раздела фаз. Критерии подобия.	2	5-8	0	0	0	
9.	Тема 9. Уравнения конвективной теплопроводности. Критерии подобия. Точные решения. Тепловой пограничный слой. Методы расчета. Естественная и смешанная конвекция.	2	9-12	0	0	0	
10.	Тема 10. Теплообмен излучением. Излучение нагретого тела. Закон Стефана-Больцмана. Нелинейные граничные условия излучения и их линеаризация. Радиационный теплообмен между телами. Угловые коэффициенты. Численные методы	2	13-14	0	0	0	
.	Тема . Итоговая форма контроля	1		0	0	0	экзамен
.	Тема . Итоговая форма контроля	2		0	0	0	экзамен

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
Итого				0	0	0	

4.2 Содержание дисциплины

Тема 1. Ламинарные и турбулентные течения: описание феномена. Опыт Рейнольдса. Решение Хагена-Пуазейля и его неустойчивость. Критическое число Рейнольдса. Уравнения Рейнольдса. Осредненное уравнение конвективной теплопроводности. Физический смысл напряжений Рейнольдса. Статистические характеристики пульсаций.

Тема 2. Теория А.Н. Колмогорова. Однородная изотропная турбулентность. Каскадный перенос энергии. Интервалы масштабов турбулентности: энергосодержащий, инерционный, диссипативный. Гипотезы Колмогорова и их следствия.

Тема 3. Дифференциальные уравнения для турбулентных пульсаций. Цепочка уравнений Фридмана-Келлера. Физическая интерпретация уравнений эволюции турбулентности. Уравнения кинетической энергии турбулентных пульсаций и ее изотропной диссипации. Уравнения для пульсаций турбулентного потока тепла.

Тема 4. Дифференциальные модели замыкания уравнений Рейнольдса. Модель Колмогорова-Прандтля; семейство моделей (стандартная Лаундера-Сполдинга, RNG, kealizable). Семейство моделей (стандартная Вилкокса, SST зональная Ментера).

Тема 5. Модели турбулентной вязкости. Модель пути смешения Прандтля. Логарифмический профиль скорости. Модели переноса вихревой вязкости Ни-Коважного, Секундова, Спаларта-Аллмараса.

Тема 6. Моделирование крупных вихрей (LES) Фильтрованные уравнения Навье-Стокса. Модель Смагоринского-Лилли для подсеточных напряжений. Динамическая модель Германо.

Тема 7. Теплопроводность. Закон Фурье. Теплопроводность газов, жидкостей и твердых тел. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Энтальпия. Фазовые превращения. Граничные условия. Примеры постановок задач. Критерии подобия в теории теплопроводности. Решение модельных задач теплопроводности. Стационарная теплопередача через плоскую, цилиндрическую, однородную и композитную стенку. Оптимальная теплоизоляция. Автомодельные решения нестационарного уравнения теплопроводности. решения при различных граничных условиях. Численное решение задач теплопроводности.

Тема 8. Тепловые процессы при фазовых превращениях. Классическая двухфазная задача Стефана. Автомодельное решение задачи. Численное решение. Энтальпийная постановка задачи Стефана. Методы численного решения. Теплообмен при испарении и конденсации жидкости. Граничные условия на поверхности раздела фаз. Критерии подобия.

Тема 9. Уравнения конвективной теплопроводности. Критерии подобия. Точные решения. Тепловой пограничный слой. Методы расчета. Естественная и смешанная конвекция.

Тема 10. Теплообмен излучением. Излучение нагретого тела. Закон Стефана-Больцмана. Нелинейные граничные условия излучения и их линеаризация. Радиационный теплообмен между телами. Угловые коэффициенты. Численные методы

5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения

лекции с применением средств мультимедиа, самостоятельная работа (изучение отдельных глав курса, решение задач, программирование) с использованием учебного пособия и электронного курса лекций по курсу ТиТ, лабораторные занятия, контрольные работы, зачет. В течение семестра студенты решают набор задач ВГ, указанных преподавателем, к каждому лабораторному занятию. В каждом семестре проводятся контрольные работы (на лабораторных занятиях). К экзамену допускаются студенты, сдавшие все задачи и показавшие положительные результаты по текущей работе в течение семестра.

6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов

Тема 1. Ламинарные и турбулентные течения: описание феномена. Опыт Рейнольдса. Решение Хагена-Пуазейля и его неустойчивость. Критическое число Рейнольдса. Уравнения Рейнольдса. Осредненное уравнение конвективной теплопроводности. Физический смысл напряжений Рейнольдса. Статистические характеристики пульсаций.

Тема 2. Теория А.Н. Колмогорова. Однородная изотропная турбулентность. Каскадный перенос энергии. Интервалы масштабов турбулентности: энергосодержащий, инерционный, диссипативный. Гипотезы Колмогорова и их следствия.

Тема 3. Дифференциальные уравнения для турбулентных пульсаций. Цепочка уравнений Фридмана-Келлера. Физическая интерпретация уравнений эволюции турбулентности. Уравнения кинетической энергии турбулентных пульсаций и ее изотропной диссипации. Уравнения для пульсаций турбулентного потока тепла.

Тема 4. Дифференциальные модели замыкания уравнений Рейнольдса. Модель Колмогорова-Прандтля; семейство моделей (стандартная Лаундера-Сполдинга, RNG, kealizable). Семейство моделей (стандартная Вилкокса, SST зональная Ментера).

Тема 5. Модели турбулентной вязкости. Модель пути смещения Прандтля. Логарифмический профиль скорости. Модели переноса вихревой вязкости Ни-Коважного, Секундова, Спаларта-Аллмараса.

Тема 6. Моделирование крупных вихрей (LES) Фильтрованные уравнения Навье-Стокса. Модель Смагоринского-Лилли для подсеточных напряжений. Динамическая модель Германо.

Тема 7. Теплопроводность. Закон Фурье. Теплопроводность газов, жидкостей и твердых тел. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Энтальпия. Фазовые превращения. Граничные условия. Примеры постановок задач. Критерии подобия в теории теплопроводности. Решение модельных задач теплопроводности. Стационарная теплопередача через плоскую, цилиндрическую, однородную и композитную стенку. Оптимальная теплоизоляция. Автомодельные решения нестационарного уравнения теплопроводности. решения при различных граничных условиях. Численное решение задач теплопроводности.

Тема 8. Тепловые процессы при фазовых превращениях. Классическая двухфазная задача Стефана. Автомодельное решение задачи. Численное решение. Энтальпийная постановка задачи Стефана. Методы численного решения. Теплообмен при испарении и конденсации жидкости. Граничные условия на поверхности раздела фаз. Критерии подобия.

Тема 9. Уравнения конвективной теплопроводности. Критерии подобия. Точные решения. Тепловой пограничный слой. Методы расчета. Естественная и смешанная конвекция.

Тема 10. Теплообмен излучением. Излучение нагретого тела. Закон Стефана-Больцмана. Нелинейные граничные условия излучения и их линеаризация. Радиационный теплообмен между телами. Угловые коэффициенты. Численные методы

Тема . Итоговая форма контроля

Тема . Итоговая форма контроля

Примерные вопросы к экзамену:

Проверка теоретических знаний и практических навыков осуществляется по 100-балльной рейтинговой системе, принятой к КФУ. 40 баллов отводится для оценки текущей успеваемости, 60 - для оценки на экзамене. Проводятся две контрольные работы в конце каждого семестра; на лабораторных работах проверяются результаты самостоятельной работы (конспекты, решение задач) и зачитываются компьютерные программы, составленные каждым студентом для решения задач ТИТ.

Экзамен в конце семестра А оценивается переводом набранных по дисциплине баллов в оценки: неудовлетворительно, посредственно, удовлетворительно, хорошо, очень хорошо, отлично.

7.1. Основная литература:

1. Мазо А.Б. Моделирование турбулентных течений несжимаемой жидкости. Учебное пособие. Казань:КГУ. 2007. 209♦с.
2. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. М.: Изд-во иностранной литературы. 1956. 528 с.
3. Себиси Т., Брэдшоу П. Конвективный теплообмен. М.: Мир. 1987. 592 с.
4. Мазо А.Б. Теория теплопередачи. Конспект лекций.
5. Мухачев Г.А., Шукин В.К. Термодинамика и теплопередача. М.: Высшая школа. 1991. 480♦с.

7.2. Дополнительная литература:

1. Ван-Дайк М. Альбом течений жидкости и газа. М.: Мир. 1986. 182 с.
2. Фриш У. Турбулентность. Наследие А.Н. Колмогорова. М.: Фазис. 1998. 346 с.
3. Фрик♦П.Г. Турбулентность: подходы и модели. Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований. 2003. 292 с.
4. Белов И.А., Исаев С.А. Моделирование турбулентных течений. Учебное пособие. СПб.: Балтийский государственный технический университет. 2001. 108 с.
5. Корнев Н.Н., Бесядовский А.Р. Введение в метод крупных вихрей. Учебное пособие. СПб: С.-Петербургский государственный морской технический университет. 2005. 136♦с.
1. Лыков А.В. Теория теплопроводности. М.: Высшая школа. 1967. 559♦с.
2. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. М.: Изд-во иностранной литературы. 1956. 528 с
3. Ши Д. Численные методы в задачах теплообмена. М.: Мир. 1988. 544 с.
10. Гольдфарб Э.Б. Теплотехника металлургических процессов. М.: Металлургия 1967. 439 с.
11. Игнатьева М.А., Кадыров Р.Ф., Мазо А.Б. Расчет температурного поля при электронно-лучевой сварке пластин // Ученые записки Казанского университета. Сер. "Физ.-мат. нау-ки". Т.178, кн.3. 2006. С.23-35.

7.3. Интернет-ресурсы:

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

Освоение дисциплины "Турбулентность и теплопередача" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

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

Автор(ы):

Мазо А.Б. _____

"__" _____ 201__ г.

Рецензент(ы):

Коноплев Ю.Г. _____

"__" _____ 201__ г.