

**Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

Направление подготовки/специальность: 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика

Наименование образовательной программы: Теплофизика и молекулярная физика

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Оценочные материалы
по дисциплине
Основы статистической теории турбулентности**

**Москва
2024**

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Беляев И.А.
	Идентификатор	Rb9b3a753-BeliayevIA-393bbdae

И.А. Беляев

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной
программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Яньков Г.Г.
	Идентификатор	Rbb1f0c84-YankovGG-11a2e4dc

Г.Г. Яньков

Заведующий
выпускающей кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Герасимов Д.Н.
	Идентификатор	Ra5495398-GerasimovDN-6b58615

Д.Н.
Герасимов

ОБЩАЯ ЧАСТЬ

Оценочные материалы по дисциплине предназначены для оценки достижения обучающимися запланированных результатов обучения по дисциплине, этапа формирования запланированных компетенций и уровня освоения дисциплины.

Оценочные материалы по дисциплине включают оценочные средства для проведения мероприятий текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

Формируемые у обучающегося компетенции:

1. ПК-1 Способен анализировать и моделировать физические процессы, используемые в атомной энергетике

ИД-1 Имеет навыки математического описания и моделирования процессов в рабочих телах и элементах энергетических установок

и включает:

для текущего контроля успеваемости:

Форма реализации: Обмен электронными документами

1. КМ-1 - Статистический подход к исследованию турбулентности (Решение задач)

2. КМ-2 Спектральное представление случайных процессов (Решение задач)

3. КМ-3 - Динамика Турбулентности (Реферат)

4. КМ-4 - Практические методы определения характеристик турбулентных сигналов (Индивидуальный проект)

БРС дисциплины

2 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

КМ-1 КМ-1 - Статистический подход к исследованию турбулентности (Решение задач)

КМ-2 КМ-2 Спектральное представление случайных процессов (Решение задач)

КМ-3 КМ-3 - Динамика Турбулентности (Реферат)

КМ-4 КМ-4 - Практические методы определения характеристик турбулентных сигналов (Индивидуальный проект)

Вид промежуточной аттестации – Зачет с оценкой.

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %				
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
	Срок КМ:	3	7	11	14
Статистический подход к исследованию турбулентности					
Уравнения Навье-Стокса и их устойчивость к малым возмущениям. Определение турбулентности. Случайное турбулентное поле и его свойства.		+	+	+	+
Плотность вероятности. Стационарные, однородные и изотропные поля. Способы осреднения. Понятие об		+	+	+	+

эргодичности. Моменты скалярного случайного поля.				
Математическое ожидание. Дисперсия. Коэффициенты асимметрии и эксцесса. Корреляционная функция. Коэффициент автокорреляции и временные масштабы.	+	+	+	+
Пространственная корреляционная функция скалярного поля. Моменты случайного векторного поля. Одноточечные моменты поля скорости. Корреляционные функции поля турбулентных пульсаций скорости. Нормальный закон распределения. Коэффициент пространственно-временной корреляции. Гипотеза Тейлора о «замороженной» турбулентности.	+	+	+	+
Спектральное представление однородных полей и стационарных процессов				
Понятие о спектральной плотности. Спектральное разложение на конечном временном интервале.	+	+	+	+
Ряд Фурье. Разложение случайного процесса на бесконечном временном интервале. Интеграл Стилтеса	+	+	+	+
Свойства временных спектров. Теорема Винера-Хинчина. Частотные спектры и временные масштабы. Спектры однородного скалярного и векторного полей. Одномерные и трехмерные спектры.	+	+	+	+
Динамика турбулентности				
Осредненные уравнения турбулентного движения. Проблема незамкнутости. Метод Келлера-Фридмана получения уравнений для старших моментов.	+	+	+	+
Уравнения энергетического баланса. Баланс полной энергии, энергии осредненного и пульсационного движения. Схема Лауфера – Таунсенда. Баланс дисперсии пульсаций температуры. Современные представления о пристенной турбулентности. Явление обновления вязкого подслоя. Когерентные структуры.				+
Динамические уравнения для корреляционных функций и спектров однородной турбулентности. Локальная однородность и локальная изотропия. Спектры изотропной турбулентности.				+
Перенос энергии по спектру. Каскадная модель Ричардсона. Гипотезы Колмогорова. Модель K41 и K62.				+
Законы сохранения и инерционные интервалы.				+
Методы экспериментального определения характеристик турбулентности				
Общий подход к измерению статистических характеристик. Структура измерительной схемы. Оценки и их свойства – смещённость, состоятельность, эффективность. Оценивание математического ожидания.				+
Способы сглаживания оценок. Оценивание спектральной плотности: по методу аналоговой фильтрации, по методу периодограммы, по теореме Винера-Хинчина. Смещение и дисперсия оценок спектров.				+
Вес КМ:	20	20	30	30

СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

I. Оценочные средства для оценки запланированных результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Индекс компетенции	Индикатор	Запланированные результаты обучения по дисциплине	Контрольная точка
ПК-1	ИД-1 _{ПК-1} Имеет навыки математического описания и моделирования процессов в рабочих телах и элементах энергетических установок	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> –современные модели описания турбулентности; –современные методы теоретических и экспериментальных теплофизических исследований; <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> –использовать современные математические методы для описания сложных задач гидродинамики и теплообмена; - обрабатывать и анализировать случайные гидродинамической природы 	<p>КМ-1 КМ-1 - Статистический подход к исследованию турбулентности (Решение задач)</p> <p>КМ-2 КМ-2 Спектральное представление случайных процессов (Решение задач)</p> <p>КМ-3 КМ-3 - Динамика Турбулентности (Реферат)</p> <p>КМ-4 КМ-4 - Практические методы определения характеристик турбулентных сигналов (Индивидуальный проект)</p>

II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

КМ-1. КМ-1 - Статистический подход к исследованию турбулентности

Формы реализации: Обмен электронными документами

Тип контрольного мероприятия: Решение задач

Вес контрольного мероприятия в БРС: 20

Процедура проведения контрольного мероприятия: В качестве задания используются следующие упражнения: Определить среднее, дисперсию, эксцесс и асимметрию последовательности данных.

Краткое содержание задания:

В качестве задания используются следующие упражнения:

Определить среднее, дисперсию, эксцесс и асимметрию последовательности данных

Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Знать: –современные модели описания турбулентности; –современные методы теоретических и экспериментальных теплофизических исследований;	1.Определить среднее, дисперсию, эксцесс и асимметрию последовательности данных

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

Описание характеристики выполнения знания:

Оценка: 4 («хорошо»)

Описание характеристики выполнения знания:

Оценка: 3 («удовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания:

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "не зачтено" выставляется если задание не выполнено в отведенный срок или результат не соответствует заданию

КМ-2. КМ-2 Спектральное представление случайных процессов

Формы реализации: Обмен электронными документами

Тип контрольного мероприятия: Решение задач

Вес контрольного мероприятия в БРС: 20

Процедура проведения контрольного мероприятия: Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "Статистический подход к исследованию турбулентности". Студентам необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы.

Краткое содержание задания:

В качестве задания используются следующие упражнения:

1)Заданную функцию разложить на заданное количество гармоник при помощи разложения в ряд Фурье. Выполнить обратное преобразование Фурье для полученного

разложения в ряд гармоник. Построить график коэффициентов разложения по возрастанию частоты гармоники. Построить график исходной функции и результата восстановления её из Фурье образа. Рассчитать среднеквадратичное отклонение значений восстановленной функции от исходной. Сделать вывод о достаточности выбранного количества гармоник для описания исходного сигнала.

2) Выполнить дискретное преобразование Фурье для заданного сигнала. Определить амплитуду и частоту основных составляющих гармоник, наличие и характер шума.

Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
<p>Знать: –современные модели описания турбулентности; – современные методы теоретических и экспериментальных теплофизических исследований;</p>	<p>1. В качестве задания используются следующие упражнения: 1) Заданную функцию разложить на заданное количество гармоник при помощи разложения в ряд Фурье. Выполнить обратное преобразование Фурье для полученного разложения в ряд гармоник. Построить график коэффициентов разложения по возрастанию частоты гармоники. Построить график исходной функции и результата восстановления её из Фурье образа. Рассчитать среднеквадратичное отклонение значений восстановленной функции от исходной. Сделать вывод о достаточности выбранного количества гармоник для описания исходного сигнала. 2) Выполнить дискретное преобразование Фурье для заданного сигнала. Определить амплитуду и частоту основных составляющих гармоник, наличие и характер шума.</p>

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

Описание характеристики выполнения знания:

Оценка: 4 («хорошо»)

Описание характеристики выполнения знания:

Оценка: 3 («удовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания:

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания:

КМ-3. КМ-3 - Динамика Турбулентности

Формы реализации: Обмен электронными документами

Тип контрольного мероприятия: Реферат

Вес контрольного мероприятия в БРС: 30

Процедура проведения контрольного мероприятия: В рамках реферативной части студенту необходимо провести обзор литературных источников по выбранной теме, комплексно осветить вопрос в соответствии с темой реферата. Минимум 9000 знаков.

Краткое содержание задания:

В рамках реферативной части студенту необходимо провести обзор литературных источников по выбранной теме, комплексно осветить вопрос в соответствии с темой реферата.

Минимум 9000 знаков.

Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
<p>Знать: –современные модели описания турбулентности; –современные методы теоретических и экспериментальных теплофизических исследований;</p>	<p>1. В качестве тем реферата студенту предлагаются следующие варианты: 1) Двумерная турбулентность 2) Структурные функции 3) Спектр развитой турбулентности 4) К-е, k-w модели турбулентности 5) Метод крупных вихрей 6) Прямое численное моделирование 7) Спиральность и турбулентность 8) Экспериментальные работы по исследованию турбулентности 9) Цепочка уравнений Фридмана-Келлера. Проблема замыкания уравнений Навье-Стокса. 10) Своя тема*</p>

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

Описание характеристики выполнения знания:

Оценка: 4 («хорошо»)

Описание характеристики выполнения знания:

Оценка: 3 («удовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания:

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "не зачтено" выставляется если задание не выполнено в отведенный срок или результат не соответствует заданию

КМ-4. КМ-4 - Практические методы определения характеристик турбулентных сигналов

Формы реализации: Обмен электронными документами

Тип контрольного мероприятия: Индивидуальный проект

Вес контрольного мероприятия в БРС: 30

Процедура проведения контрольного мероприятия: Работа выполняется по индивидуальному заданию. Для заданного сигнала оценить минимально допустимую длину и частоту выборки. Построить спектральную плотность «энергии» сигнала, сгладить оценку спектральной плотности энергии. Описать полученный сигнал и его спектр.

Краткое содержание задания:

Работа выполняется по индивидуальному заданию.

Для заданного сигнала оценить минимально допустимую длину и частоту выборки. Построить спектральную плотность «энергии» сигнала, сгладить оценку спектральной плотности энергии. Описать полученный сигнал и его спектр.

Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Знать: –современные модели описания турбулентности; –современные методы теоретических и экспериментальных теплофизических исследований;	1.Работа выполняется по индивидуальному заданию. Для заданного сигнала оценить минимально допустимую длину и частоту выборки. Построить спектральную плотность «энергии» сигнала, сгладить оценку спектральной плотности энергии. Описать полученный сигнал и его спектр.
Уметь: –использовать современные математические методы для описания сложных задач гидродинамики и теплообмена; -обрабатывать и анализировать случайные гидродинамической природы	1.Вычислить статистические характеристики нерегулярного сигнала

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

Описание характеристики выполнения знания:

Оценка: 4 («хорошо»)

Описание характеристики выполнения знания:

Оценка: 3 («удовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания:

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания:

СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

2 семестр

Форма промежуточной аттестации: Зачет с оценкой

Пример билета

- 1) Каскадная модель Ричардсона. Спектры изотропной турбулентности. Перенос энергии по спектру. Гипотезы Колмогорова. Модель K41 и K62.
- 2) Вычислите асимметрию последовательности : 1,45,40,33,-4,-4,-6,-18,55,54

Процедура проведения

Сдающий после 30 минут подготовки отвечает на полученный вопрос.

1. Перечень компетенций/индикаторов и контрольных вопросов проверки результатов освоения дисциплины

1. Компетенция/Индикатор: ИД-1_{ПК-1} Имеет навыки математического описания и моделирования процессов в рабочих телах и элементах энергетических установок

Вопросы, задания

1. Вопросы к зачету по дисциплине основы статистической теории турбулентности.

Вопросы:

1. Статистический подход к исследованию турбулентности.

- 1) Уравнения Навье-Стокса и их устойчивость к малым возмущениям. Определение турбулентности. Случайное турбулентное поле и его свойства.
- 2) Плотность вероятности. Нормальный закон распределения. Стационарные, однородные и изотропные поля. Способы осреднения. Понятие об эргодичности.
- 3) Моменты скалярного случайного поля. Математическое ожидание. Дисперсия. Коэффициенты асимметрии и эксцесса. Корреляционная функция. Коэффициент автокорреляции и временные масштабы.
- 4) Корреляционные функции поля турбулентных пульсаций скорости. Коэффициент пространственно-временной корреляции. Гипотеза Тейлора о «замороженной» турбулентности.

2. Спектральное представление однородных полей и стационарных процессов

- 5) Понятие о спектральной плотности. Ряд Фурье. Разложение случайного процесса на бесконечном временном интервале.
- 6) Свойства временных спектров. Теорема Винера-Хинчина. Частотные спектры и временные масштабы.

3. Динамика турбулентности

- 7) Осредненные уравнения турбулентного движения. Проблема незамкнутости. Метод Келлера-Фридмана получения уравнений для старших моментов.
- 8) Уравнения энергетического баланса. Баланс полной энергии, энергии осредненного и пульсационного движения. Схема Лауфера – Таунсенда. Баланс энергии пульсаций температуры.
- 9) Каскадная модель Ричардсона. Спектры изотропной турбулентности. Перенос энергии по спектру. Гипотезы Колмогорова. Модель K41 и K62.
- 10) Законы сохранения и инерционные интервалы.

4. Методы экспериментального определения характеристик турбулентности

- 11) Общий подход к измерению статистических характеристик. Оценки и их свойства – смещённость, состоятельность, эффективность.
- 12) Оценивание спектральной плотности: по методу аналоговой фильтрации, по методу периодограммы, по теореме Винера-Хинчина. Смещение и дисперсия оценок спектров.

Печатные и электронные издания:

1. Л.Г.Генин, В.Г.Свиридов. Введение в статистическую теорию турбулентности: учебное пособие для ВУЗов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 154 с.
<http://opac.mpei.ru/OpacUnicode/app/webroot/index.php?url=/notices/index/142482/default/209241>
2. В.Г. Свиридов, Е.В. Свиридов, Г.Ф. Филаретов и др.; под ред. В.Г. Свиридова, П.Г. Фрика. Основы автоматизации теплофизического эксперимента: учебное пособие для вузов / - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Издательский дом МЭИ, 2019. ISBN 978-5-383-01395
<http://opac.mpei.ru/OpacUnicode/app/webroot/index.php?url=/notices/index/253432/default/209238>
3. П.Г.Фрик. Турбулентность: подходы и модели. Изд. 2-е, испр. и доп. — М. - Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2010. — 332 с.
<http://opac.mpei.ru/OpacUnicode/app/webroot/index.php?url=/notices/index/71213/default/209239>
4. А.С.Монин, А.М.Яглом. Статистическая гидромеханика. Ч.1. М.: Наука, 1965. Ч.2. М.: Наука, 1967.
<http://opac.mpei.ru/OpacUnicode/app/webroot/index.php?url=/notices/index/63705/default/209233>
5. Е.П.Валуева, В.Г.Свиридов. Введение в механику жидкости: учебное пособие. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 212 с.
<http://opac.mpei.ru/OpacUnicode/app/webroot/index.php?url=/notices/index/138514/default/209242>

Материалы для проверки остаточных знаний

- 1.1. *Статистический подход к исследованию турбулентности.*
 - 1) Уравнения Навье-Стокса и их устойчивость к малым возмущениям. Определение турбулентности. Случайное турбулентное поле и его свойства.
 - 2) Плотность вероятности. Нормальный закон распределения. Стационарные, однородные и изотропные поля. Способы осреднения. Понятие об эргодичности.
 - 3) Моменты скалярного случайного поля. Математическое ожидание. Дисперсия. Коэффициенты асимметрии и эксцесса. Корреляционная функция. Коэффициент автокорреляции и временные масштабы.
 - 4) Корреляционные функции поля турбулентных пульсаций скорости. Коэффициент пространственно-временной корреляции. Гипотеза Тейлора о «замороженной» турбулентности.
 2. *Спектральное представление однородных полей и стационарных процессов*
 - 5) Понятие о спектральной плотности. Ряд Фурье. Разложение случайного процесса на бесконечном временном интервале.
 - 6) Свойства временных спектров. Теорема Винера-Хинчина. Частотные спектры и временные масштабы.
3. *Динамика турбулентности*

- 7) Осредненные уравнения турбулентного движения. Проблема незамкнутости. Метод Келлера-Фридмана получения уравнений для старших моментов.
 - 8) Уравнения энергетического баланса. Баланс полной энергии, энергии осредненного и пульсационного движения. Схема Лауфера – Таунсенда. Баланс энергии пульсаций температуры.
 - 9) Каскадная модель Ричардсона. Спектры изотропной турбулентности. Перенос энергии по спектру. Гипотезы Колмогорова. Модель K41 и K62.
 - 10) Законы сохранения и инерционные интервалы.
- 4. Методы экспериментального определения характеристик турбулентности*
- 11) Общий подход к измерению статистических характеристик. Оценки и их свойства – смещённость, состоятельность, эффективность.
 - 12) Оценивание спектральной плотности: по методу аналоговой фильтрации, по методу периодограммы, по теореме Винера-Хинчина. Смещение и дисперсия оценок спектров.

II. Описание шкалы оценивания

Оценка: 5 («отлично»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 90

Описание характеристики выполнения знания:

Оценка: 4 («хорошо»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания:

Оценка: 3 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 51

Описание характеристики выполнения знания:

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания:

III. Правила выставления итоговой оценки по курсу

В соответствии с системой БАРС.