

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

Направление подготовки/специальность: 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика

Наименование образовательной программы: Термоядерные реакторы и плазменные установки

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная

**Оценочные материалы
по дисциплине
Магнитное удержание плазмы**

**Москва
2024**

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Саврухин П.В.
	Идентификатор	R11b3e1ec-SavrukhinPV-7f3acf3b

П.В.
Саврухин

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной
программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Дедов А.В.
	Идентификатор	R72c90f41-DedovAV-d71cc7f4

А.В. Дедов

Заведующий
выпускающей кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Дедов А.В.
	Идентификатор	R72c90f41-DedovAV-d71cc7f4

А.В. Дедов

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-4 Способен принимать участие в расчетах характеристик процессов, протекающих в конкретных технических устройствах и аппаратах энергетического оборудования, ядерных и плазменных установок

ИД-7 Владеет навыками расчета параметров термоядерных реакторов с магнитным удержанием плазмы

и включает:

для текущего контроля успеваемости:

Форма реализации: Билеты (письменный опрос)

1. Контрольная работа 1. Равновесие и устойчивость плазмы в магнитном поле (Контрольная работа)

2. Контрольная работа 2. Процессы переноса и методы нагрева плазмы (Контрольная работа)

Форма реализации: Выполнение задания

1. Расчетное задание. Выполнение расчета энергобаланса в термоядерном реакторе-токамаке (Расчетно-графическая работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. Домашнее задание. Радиационные потери энергии из плазмы (Домашнее задание)

БРС дисциплины

8 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

КМ-1 Контрольная работа 1. Равновесие и устойчивость плазмы в магнитном поле (Контрольная работа)

КМ-2 Контрольная работа 2. Процессы переноса и методы нагрева плазмы (Контрольная работа)

КМ-3 Домашнее задание. Радиационные потери энергии из плазмы (Домашнее задание)

КМ-4 Расчетное задание. Выполнение расчета энергобаланса в термоядерном реакторе-токамаке (Расчетно-графическая работа)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %				
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4

	Срок КМ:	4	8	12	14
Проблема УТС и подходы к ее решению					
Проблема УТС и подходы к ее решению	+				
Равновесие плазмы в магнитном поле					
Равновесие плазмы в магнитном поле	+	+	+	+	+
Устойчивость равновесной плазмы в магнитном поле					
Устойчивость равновесной плазмы в магнитном поле	+	+	+	+	+
Процессы переноса в плазме					
Процессы переноса в плазме		+	+	+	+
Радиационные потери энергии из плазмы					
Радиационные потери энергии из плазмы			+	+	+
Методы нагрева плазмы					
Методы нагрева плазмы					+
Энергобаланс в термоядерном реакторе с магнитным удержанием					
Энергобаланс в термоядерном реакторе с магнитным удержанием					+
Виды установок с магнитным удержанием					
Виды установок с магнитным удержанием					+
Вес КМ:		20	20	20	40

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-4	ИД-7 _{ПК-4} Владеет навыками расчета параметров термоядерных реакторов с магнитным удержанием плазмы	Знать: основные законы физики магнитного удержания термоядерной плазмы, используемые для решения проблемы УТС методы получения, удержания и нагрева плазмы в установках с магнитным удержанием плазмы Уметь: выполнять расчеты количественных характеристик процессов, протекающих в термоядерном реакторе с магнитным удержанием плазмы, с применением существующих методов моделирования принимать обоснованные технические решения при проектировании и эксплуатации плазменных	КМ-1 Контрольная работа 1. Равновесие и устойчивость плазмы в магнитном поле (Контрольная работа) КМ-2 Контрольная работа 2. Процессы переноса и методы нагрева плазмы (Контрольная работа) КМ-3 Домашнее задание. Радиационные потери энергии из плазмы (Домашнее задание) КМ-4 Расчетное задание. Выполнение расчета энергобаланса в термоядерном реакторе-токамаке (Расчетно-графическая работа)

		экспериментальных установок с магнитным удержанием плазмы	
--	--	---	--

II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

КМ-1. Контрольная работа 1. Равновесие и устойчивость плазмы в магнитном поле

Формы реализации: Билеты (письменный опрос)

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 20

Процедура проведения контрольного мероприятия: КМ проводится в виде письменного ответа на вопросы билета.

Краткое содержание задания:

Ответьте на вопрос билета

Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Знать: основные законы физики магнитного удержания термоядерной плазмы, используемые для решения проблемы УТС	1.Преимущества УТС перед ядерными реакторами. Барьеры безопасности ИТЭР 2.Какие реакции синтеза могут быть использованы на первом этапе сооружения реактора УТС. Способы снижения порогов ТЯ реакций 3.Рассчитать давление плазмы, параметры которой минимально достаточны для зажигания D-T термоядерной реакции в системах с магнитным удержанием 4.Преимущества и недостатки реакции D-D и D-He3 по сравнению с D-T. Какие еще ТЯ реакции рассматриваются в современных экспериментах?

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 90

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4 («хорошо»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 75

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто, выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

КМ-2. Контрольная работа 2. Процессы переноса и методы нагрева плазмы

Формы реализации: Билеты (письменный опрос)

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 20

Процедура проведения контрольного мероприятия: КМ проводится в виде письменного ответа на вопросы билета.

Краткое содержание задания:

Ответьте на вопрос билета

Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Знать: методы получения, удержания и нагрева плазмы в установках с магнитным удержанием плазмы	1. Можно ли сделать ТЯ реактор, дающий положительный выход энергии, на основе ускорителя ионов, направленных на твёрдую мишень? 2. Можно ли сделать ТЯ реактор, на основе столкновения двух встречных пучков ионов? 3. Используя критерий Крускала – Шафранова, оценить предельно допустимый ток в токамаке с большим радиусом 5 м, малым радиусом 2 м, вытянутостью сечения $k=1.6$ и тороидальным магнитным полем 12 Тл 4. Способы поддержания тока плазмы в токамаке. Сравнение эффективности нейтральных пучков, ВЧ и СВЧ волн для поддержания тока в плазме. Преимущества и недостатки 5. Сравнение токамаков с низким и высоким аспектным соотношением. Преимущества и недостатки. Зависимость бутстреп-тока в токамаке от аспектного соотношения

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 90

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4 («хорошо»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 75

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

КМ-3. Домашнее задание. Радиационные потери энергии из плазмы

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Домашнее задание

Вес контрольного мероприятия в БРС: 20

Процедура проведения контрольного мероприятия: Студенты получают и выполняют индивидуальные домашние задания.

Краткое содержание задания:

Выполните полученное задание

Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Уметь: выполнять расчеты количественных характеристик процессов, протекающих в термоядерном реакторе с магнитным удержанием плазмы, с применением существующих методов моделирования	1. Рассчитать величину мощности тормозного излучения из тороидальной плазмы: Большой радиус тора $R_0=6.2\text{м}$ Малый радиус плазмы $a=2\text{м}$ Вытянутость $k=1.7$ Плотность электронов $n_e= 0.87 \cdot 10^{20} \text{ м}^{-3}$ Температура электронов $T_e = 4 \text{ кэВ}$, Эффективный заряд плазмы $Z_{\text{eff}} = 1.7$ В расчётах предполагается однородное распределение параметров плазмы по всему объёму тора 2. Рассчитать величину мощности тормозного излучения из тороидальной плазмы: Большой радиус тора $R_0=8.1\text{м}$ Малый радиус плазмы $a=2.8\text{м}$ Вытянутость $k=1.6$ Плотность электронов $n_e= 1.0 \cdot 10^{20} \text{ м}^{-3}$ Температура электронов $T_e = 10 \text{ кэВ}$, Эффективный заряд плазмы $Z_{\text{eff}} = 1.7$ В расчётах предполагается однородное распределение параметров плазмы по всему объёму тора

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 90

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4 («хорошо»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 75

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

КМ-4. Расчетное задание. Выполнение расчета энергобаланса в термоядерном реакторе-токамаке

Формы реализации: Выполнение задания

Тип контрольного мероприятия: Расчетно-графическая работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 40

Процедура проведения контрольного мероприятия: Студенты получают и выполняют расчётно-графические задания.

Краткое содержание задания:

Рассчитать параметры плазмы (плазменная частота, дебаевский радиус, электронная и ионная циклотронные частоты) и энергетическое время жизни для омического нагрева плазмы (неоалкаторный скейлинг) и в режиме с дополнительным нагревом (скейлинг L-моды ITER-98 tP98-L) и H-моды (скейлинг ITER-98 IPB(y,2)) для токамаков.

Обязательно для всех: один токамак по выбору + один режим ИТЭР по выбору

Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Уметь: принимать обоснованные технические решения при проектировании и эксплуатации плазменных экспериментальных установок с магнитным удержанием плазмы	1.Токамак KSTAR 2.Токамак Tore-Supra 3.Токамак T-11M 4.Токамак JET 5.Токамак T-15MD

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 90

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4 («хорошо»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 75

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

8 семестр

Форма промежуточной аттестации: Экзамен

Пример билета

1. Реакции термоядерного синтеза, представляющие интерес для УТС. Критерий Лоусона. Реакции с пониженным выходом нейтронов.
2. Способы создания вращательного преобразования: токамаки, стеллараторы. Коэффициент запаса устойчивости в токамаке.
3. Вычислить ларморовский радиус иона дейтерия при $T=0.1$ кэВ и $B=5$ Тл.

Процедура проведения

Экзамен проводится в устной форме по билетам согласно программе экзамена

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

1. Компетенция/Индикатор: ИД-7_{ПК-4} Владеет навыками расчета параметров термоядерных реакторов с магнитным удержанием плазмы

Вопросы, задания

1. Реакции термоядерного синтеза, представляющие интерес для УТС. Критерий Лоусона. Реакции с пониженным выходом нейтронов.
2. Способы создания вращательного преобразования: токамаки, стеллараторы. Коэффициент запаса устойчивости в токамаке.
3. Вычислить ларморовский радиус иона дейтерия при $T=0.1$ кэВ и $B=5$ Тл.
1. Замкнутые магнитные ловушки. Тороидальный дрейф, потери частиц в тороидальном магнитном поле. Вращательное преобразование.
2. Инжекция нейтральных частиц в плазму токамака.
3. Рассчитать величину мощности ВЧ волн на частотах нижнегибридного резонанса, необходимой для поддержания неиндукционного тока $I_{ed} = 1$ МА в токамаке с большим радиусом $R_0=3,0$ м и плотностью плазмы $n_e = 0,4 \cdot 10^{20} \text{ м}^{-3}$ (эффективность генерации тока $\gamma_{ed} = 0,3 \cdot 10^{20} \text{ А м}^{-2} \text{ В}^{-1}$).
1. Радиус Дебая, Ленгмюровские колебания, Ларморовский радиус.
2. Принцип $\min B$ – локальный и “в среднем” для открытых и замкнутых магнитных ловушек.
3. Найти плазменную частоту при $n_e = 10^{20} \text{ м}^{-3}$.
1. Организация плазменного разряда в токамаке. Индуктивное поддержание тока. Условия инициирования разряда в токамаке.
2. Циклотронное излучение из плазмы
3. Вычислить величину коэффициента запаса устойчивости в токамаке с большим радиусом 1.5 м, малым радиусом 0.3 м, вытянутостью сечения $k=1.6$, треугольностью $\delta=0.1$, током плазмы $I_p=0.7$ МА и тороидальным магнитным полем 4 Тл.
1. Токмаки и стеллараторы. Тороидальный дрейф, вращательное преобразование, запас устойчивости, магнитные и дрейфовые поверхности.
2. Нагрев плазмы СВЧ волнами.
3. Вычислить ларморовский радиус электрона при $T=1$ кэВ и $B=1$ Тл.
- 5.

Материалы для проверки остаточных знаний

1. Реакция термоядерного синтеза, представляющая интерес для реализации УТС в международном токамаке-реакторе ИТЭР

Ответы:

1. Протон+бор P-B11
2. Дейтерий+тритий D-T

3. Железо+никель Fe-Ni
4. Дейтерий+дейтерий D-D

Верный ответ: Дейтерий+третий D-T

2. Критерий Лоусона, характеризующий достижение самоподдерживающейся термоядерной реакции, рассматривает достижение параметра

Ответы:

1. Концентрации плазмы
2. Температуры плазмы
3. Произведения концентрации плазмы на время удержания энергии в плазме
4. Времени удержания энергии в плазме

Верный ответ: Произведения концентрации плазмы на время удержания энергии в плазме

3. Удержание плазмы в перспективном термоядерном реакторе для получения термоядерной энергии осуществляется

Ответы:

1. Гравитационным полем
2. Электрическим полем
3. Магнитным полем
4. Металлической камерой

Верный ответ: Магнитным полем

4. Пролетотрон является плазменной ловушкой с

Ответы:

1. Линейной конфигурацией магнитного поля
2. Тороидальной конфигурацией магнитного поля
3. Мультипольной конфигурацией магнитного поля
4. Электрическим удержанием

Верный ответ: Линейной конфигурацией магнитного поля

5. Открытая магнитная ловушка для удержания плазмы это

Ответы:

1. Пробкотрон
2. Рельсотрон
3. Бетатрон
4. Омегатрон

Верный ответ: Пробкотрон

6. Замкнутые магнитные ловушки для удержания плазмы

Ответы:

1. Токамаки
2. Тороидальные пинчи, токамаки и стеллараторы
3. Стеллараторы
4. Тороидальные пинчи

Верный ответ: Тороидальные пинчи, токамаки и стеллараторы

7. Токамак имеет системы для создания магнитного поля

Ответы:

1. Тороидального и полоидального
2. Полоидального
3. Тороидального
4. Линейного

Верный ответ: Тороидального и полоидального

8.МГД неустойчивости плазмы вызваны

Ответы:

1. Магнитным полем
2. Электрическим полем
3. Гравитационным полем
4. Взаимодействием плазмы с аппаратурой управления

Верный ответ: Магнитным полем

9.Дрейфовая неустойчивость плазмы в токамаке вызывает движения плазмы

Ответы:

1. Поперек тороидального магнитного поля
2. Вдоль тороидального магнитного поля
3. Поперек суммарного тороидального и полоидального магнитного поля
4. В направлении гравитационного поля

Верный ответ: Поперек суммарного тороидального и полоидального магнитного поля

10.Потери плазмы из разряда в токамаке вызваны

Ответы:

1. Дрейфовой неустойчивостью
2. Гравитационной неустойчивостью
3. МГД неустойчивостями
4. МГД, кинетическими и дрейфовыми неустойчивостями

Верный ответ: МГД, кинетическими и дрейфовыми неустойчивостями

11.Равновесие тороидального плазменного разряда в токамаке достигается

Ответы:

1. Сильным тороидальным магнитным полем
2. Сильным током в плазме
3. Вертикальным магнитным полем
4. Высокочастотными волнами

Верный ответ: Сильным тороидальным магнитным полем

12.Микронеустойчивости плазмы вызваны

Ответы:

1. Дрейфами плазмы в электрических и магнитных полях
2. Дрейфами плазмы в электрических полях
3. Дрейфами плазмы в магнитных полях
4. Дрейфами плазмы в гравитационных полях

Верный ответ: Дрейфами плазмы в электрических и магнитных полях

13. Неустойчивости срыва в токамаке вызваны

Ответы:

1. МГД неустойчивостями
2. дрейфовыми неустойчивостями
3. механическими неустойчивостями
4. гравитационными неустойчивостями

Верный ответ: МГД неустойчивостями

14. Нагрев плазмы в токамаке может осуществляться

Ответы:

1. Током через плазму
2. Током через плазму, высокочастотными волнами, нейтральными пучками
3. Высокочастотными волнами
4. Трением плазмы о стенку камеры

Верный ответ: Током через плазму, высокочастотными волнами, нейтральными пучками

15. Примесные ионы кислорода и углерода в плазменном разряде токамака могут

Ответы:

1. Улучшать характеристики разряда
2. Ухудшать характеристики разряда
3. Не влияют на характеристики разряда
4. Вызывают термоядерную реакцию

Верный ответ: Ухудшать характеристики разряда

16. Источниками примесей в термоядерных плазменных установках являются

Ответы:

1. Поверхность разрядной камеры
2. Вакуумные насосы
3. Рабочий газ
4. Поверхность разрядной камеры и рабочий газ

Верный ответ: Поверхность разрядной камеры и рабочий газ

17. Способы подготовки стенок плазменных установок

Ответы:

1. Облучение ультрафиолетовым излучением камеры
2. Применение защитных покрытий
3. Очистка поверхности камеры тлеющим разрядом, применение защитных покрытий
4. Очистка ацетоном, применение защитных покрытий

Верный ответ: Очистка поверхности камеры тлеющим разрядом, применение защитных покрытий

18. Дивертор в токамаке предназначен для

Ответы:

1. Наблюдения за плазмой
2. Удаления примесей из плазмы, высокочастотного нагрева плазмы
3. Управления плазмой

4. Удаления примесей и энергии из плазмы, улучшения характеристик разряда

Верный ответ: Удаления примесей и энергии из плазмы, улучшения характеристик разряда

19. Термоядерный источник нейтронов на основе токамака вырабатывает нейтроны с энергией

Ответы:

1. 17,6 МэВ
2. 14,1 кэВ
3. 2,5 ГэВ
4. 14,1 МэВ

Верный ответ: 14,1 МэВ

20. В ИТЭР из сверхпроводника изготовлены

Ответы:

1. Тороидальная и полоидальная магнитная система
2. Моторы вакуумной системы
3. Тороидальная магнитная система
4. Проводники системы управления

Верный ответ: Тороидальная и полоидальная магнитная система

II. Описание шкалы оценивания

Оценка: 5 («отлично»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 90

Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена в рамках "продвинутого" уровня. Ответы даны верно, четко сформулированные особенности практических решений

Оценка: 4 («хорошо»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 75

Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена в рамках "базового" уровня. Большинство ответов даны верно. В части материала есть незначительные недостатки

Оценка: 3 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена в рамках "порогового" уровня. Основная часть задания выполнена верно. на вопросы углубленного уровня

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: Работа не выполнена или выполнена преимущественно неправильно

III. Правила выставления итоговой оценки по курсу

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и экзаменационной составляющих.