

**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  
Экспериментальные термоядерные и плазменные установки**

**Москва  
2023**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Будаев В.П.
	Идентификатор	Rd3677197-BudayevVP-5d24f851

(подпись)

В.П. Будаев

(расшифровка  
подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

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

(подпись)

А.В. Дедов

(расшифровка  
подписи)

Заведующий  
выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

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

(подпись)

А.В. Дедов

(расшифровка  
подписи)

## 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 к проектированию узлов экспериментальных и промышленных ядерных и плазменных установок

ИД-3 Владеет навыками принятия и обоснования конкретных технических решений при конструировании и основами эксплуатации экспериментальных термоядерных и плазменных установок

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

Форма реализации: Письменная работа

1. Защита домашнего задания 1. Критерии устойчивости плазмы в токамаке (Домашнее задание)

2. Защита домашнего задания 2. Расчет термоядерного реактора (Домашнее задание)

3. Контрольная работа 1. Критерии термоядерного зажигания (Контрольная работа)

4. Контрольная работа 2. Критерии устойчивости в плазменных ловушках (Контрольная работа)

5. Тест. Конструкции и технология эксплуатации современных термоядерных установок с магнитным удержанием плазмы предназначенных для решения проблемы управляемого термоядерного синтеза (Тестирование)

## БРС дисциплины

8 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %					
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5
	Срок КМ:	4	8	12	13	14
Реакции термоядерного синтеза, представляющие интерес для УТС и способы их осуществления						
Реакции термоядерного синтеза, представляющие интерес для УТС и способы их осуществления	+			+		+
Расчет энергии и потоков заряженных частиц						
Расчет энергии и потоков заряженных частиц			+	+		+
Расчет магнитной термоизоляции						
Расчет магнитной термоизоляции				+		+
Расчет различных систем магнитного удержания плазмы						

Расчет различных систем магнитного удержания плазмы			+		+
Токамаки и стеллараторы					
Токамаки и стеллараторы					+
Решение проблем неустойчивости					
Решение проблем неустойчивости				+	+
Расчет примесей и способов их удаления					
Расчет примесей и способов их удаления				+	+
Вес КМ:	10	16	16	18	40

\$Общая часть/Для промежуточной аттестации\$

## 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-3ПК-4 Владеет навыками принятия и обоснования конкретных технических решений при конструировании и основами эксплуатации экспериментальных термоядерных и плазменных установок	<p>Знать:</p> <p>конструкции и технологию эксплуатации современных термоядерных установок с магнитным удержанием плазмы предназначенных для решения проблемы управляемого термоядерного синтеза методы экспериментального исследования плазмы в современных плазменных установках методы инженерного проектирования и конструкции основных систем термоядерного реактора и термоядерного источника нейтронов</p> <p>Уметь:</p> <p>выполнять расчеты физико-технических характеристик плазменных разрядов в установках с</p>	<p>Тест. Конструкции и технология эксплуатации современных термоядерных установок с магнитным удержанием плазмы предназначенных для решения проблемы управляемого термоядерного синтеза (Тестирование)</p> <p>Контрольная работа 1. Критерии термоядерного зажигания (Контрольная работа)</p> <p>Защита домашнего задания 1. Критерии устойчивости плазмы в токамаке (Домашнее задание)</p> <p>Контрольная работа 2. Критерии устойчивости в плазменных ловушках (Контрольная работа)</p> <p>Защита домашнего задания 2. Расчет термоядерного реактора (Домашнее задание)</p>

		магнитным удержанием плазмы принимать обоснованные технические решения при проектировании и эксплуатации систем плазменных экспериментальных установок и термоядерного реактора	
--	--	--	--

## II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

**КМ-1. Тест. Конструкции и технология эксплуатации современных термоядерных установок с магнитным удержанием плазмы предназначенных для решения проблемы управляемого термоядерного синтеза**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 10

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студенты вытягивают билеты с вопросами и отвечают на них письменно.

**Краткое содержание задания:**

Опишите систему, представленную в билете

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: конструкции и технологию эксплуатации современных термоядерных установок с магнитным удержанием плазмы предназначенных для решения проблемы управляемого термоядерного синтеза	1. Конструкция магнитной системы токамака с круглым сечением плазмы 2. Конструкция магнитной системы токамака с дивертором 3. Конструкция магнитной системы стелларатора 4. Конструкция магнитной системы пробкотрона - линейной термоядерной установки с магнитным удержанием плазмы
---	--

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*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*

*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*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

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

**КМ-2. Контрольная работа 1. Критерии термоядерного зажигания**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 16

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

**Краткое содержание задания:**

Решите задачу

### Контрольные вопросы/задания:

Знать: экспериментального исследования современных установках	МЕТОДЫ ПЛАЗМЫ В ПЛАЗМЕННЫХ	Предельная величина магнитного поля, которую можно обеспечить в объеме термоядерной установки $B = 12 \text{ Т}$ , при какой величине $\beta$ можно обеспечить зажигание $D - He^3$ реакции, если время удержания энергии $\tau = 3 \text{ сек}$ ? 1. Предельная величина магнитного поля, которую можно обеспечить в объеме термоядерной установки $B = 5 \text{ Т}$ , при какой величине $\beta$ можно обеспечить зажигание $D - T$ реакции, если время удержания энергии $\tau = 4 \text{ сек}$ ? 2. Предельная величина магнитного поля, которую можно обеспечить в объеме термоядерной установки $B = 8 \text{ Т}$ , при какой величине $\beta$ можно обеспечить зажигание $D - D$ реакции, если время удержания энергии $\tau = 5 \text{ сек}$ ? 3. Предельная величина магнитного поля, которую можно обеспечить в объеме термоядерной установки $B = 12 \text{ Т}$ , при какой величине $\beta$ можно обеспечить зажигание $D - T$ реакции, если время удержания энергии $\tau = 8 \text{ сек}$ ? 4.
---	----------------------------	--

### Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

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

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

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

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

### КМ-3. Контрольная работа 2. Критерии устойчивости в плазменных ловушках

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 16

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

### Краткое содержание задания:

Решите задачу

### Контрольные вопросы/задания:

Уметь: выполнять расчеты физико-технических характеристик плазменных разрядов в установках с магнитным удержанием плазмы	1. Рассчитать критерии устойчивости плазменного разрядов токамаке ИТЭР 2. Рассчитать критерии устойчивости плазменного разрядов токамаке Т-15МД 3. Рассчитать критерии устойчивости плазменного разрядов токамаке WEST 4. Рассчитать критерии устойчивости плазменного разрядов токамаке EAST
--	--

### Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

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

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

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

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

#### КМ-4. Защита домашнего задания 2. Расчет термоядерного реактора

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Домашнее задание

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 18

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

**Краткое содержание задания:**

Выполните полученное задание

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Уметь: принимать обоснованные технические решения при проектировании и эксплуатации систем плазменных экспериментальных установок и термоядерного реактора</p>	<p>1. Рассчитать необходимые магнитное поле и ток плазмы для обеспечения стабильности плазменного разряда в токамаке-реакторе ИТЭР Рассчитать максимально достижимые концентрацию плазмы и температуру ионов. Для расчета использовать критерии устойчивости - запас устойчивости <math>q</math>, нормализованную бэта плазмы, критерий Гринвальда.</p> <p>2. Рассчитать необходимые магнитное поле и ток плазмы для обеспечения стабильности плазменного разряда в токамаке-реакторе ДЕМО Рассчитать максимально достижимые концентрацию плазмы и температуру ионов. Для расчета использовать критерии устойчивости - запас устойчивости <math>q</math>, нормализованную бэта плазмы, критерий Гринвальда.</p> <p>3. Рассчитать необходимые магнитное поле и ток плазмы для обеспечения стабильности плазменного разряда в токамаке-реакторе ДЕМО-ТИН Рассчитать максимально достижимые концентрацию плазмы и температуру ионов. Для расчета использовать критерии устойчивости - запас устойчивости <math>q</math>, нормализованную бэта плазмы, критерий Гринвальда.</p> <p>4. Рассчитать необходимые магнитное поле и ток плазмы для обеспечения стабильности плазменного разряда в токамаке-реакторе ИТЭР Рассчитать максимально достижимые концентрацию плазмы и температуру ионов. Для расчета использовать критерии устойчивости - запас устойчивости <math>q</math>, нормализованную бэта</p>
---	--

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*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*

*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*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

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

**КМ-5. Защита домашнего задания 1. Критерии устойчивости плазмы в токамаке**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Домашнее задание

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 40

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

**Краткое содержание задания:**

Выполните полученное задание

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: методы инженерного проектирования и конструкции основных систем термоядерного реактора и термоядерного источника нейтронов

1. Рассчитать необходимые магнитное поле и ток плазмы для обеспечения стабильности плазменного разряда в токамаке Т-10 (Курчатовский институт)  
Для расчета использовать критерии устойчивости - запас устойчивости  $q$ , предельную нормализованную бэта плазмы.
2. Рассчитать необходимые магнитное поле и ток плазмы для обеспечения стабильности плазменного разряда в токамаке Т-15МД (Курчатовский институт)  
Для расчета использовать критерии устойчивости - запас устойчивости  $q$ , предельную нормализованную бэта плазмы
3. Рассчитать необходимые магнитное поле и ток плазмы для обеспечения стабильности плазменного разряда в токамаке JET (Евросоюз)  
Для расчета использовать критерии устойчивости - запас устойчивости  $q$ , предельную нормализованную бэта плазмы.
4. Рассчитать необходимые магнитное поле и ток плазмы для обеспечения стабильности плазменного

	разряда в токамаке KSTAR (Корея) Для расчета использовать критерии устойчивости - запас устойчивости $q$ , предельную нормализованную бэ́та плазмы .
--	--

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*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*

*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*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

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

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

## 8 семестр

**Форма промежуточной аттестации:** Зачет с оценкой

### Пример билета

1. Реакции термоядерного синтеза, представляющие интерес для УТС и способы их осуществления, сечения, энергетические зависимости.
2. Критерий Лоусона; различные подходы к получению термоядерной энергии.

### Процедура проведения

Студентам предлагается сделать письменный ответ на вопросы билета

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

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-ЗПК-4 Владеет навыками принятия и обоснования конкретных технических решений при конструировании и основами эксплуатации экспериментальных термоядерных и плазменных установок

### Вопросы, задания

1. Инженерные проблемы ИТЭР.
2. Термоядерный источник нейтронов.
3. Дрейфовая неустойчивость плазмы.
4. Замкнутые магнитные ловушки - токамаки и стеллараторы
5. Критика пролетотрона.

### 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+тритий 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*

*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*

*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*

*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

## ***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 зачетной составляющих.