

**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: Прикладная физика плазмы и управляемый термоядерный синтез

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**ТЕРМОЯДЕРНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕАКТОРЫ**

|   |   |
|---|---|
| <b>Блок:</b>  | <b>Блок 1 «Дисциплины (модули)»</b>                             |
| <b>Часть образовательной программы:</b>   | <b>Часть, формируемая участниками образовательных отношений</b> |
| <b>№ дисциплины по учебному плану:</b>  | <b>Б1.Ч.05</b>  |
| <b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>  | <b>1 семестр - 5;</b>   |
| <b>Часов (всего) по учебному плану:</b>   | <b>180 часов</b>  |
| <b>Лекции</b>   | <b>1 семестр - 40 часов;</b>                                    |
| <b>Практические занятия</b>   | <b>1 семестр - 16 часов;</b>                                    |
| <b>Лабораторные работы</b>  | <b>1 семестр - 8 часов;</b>                                     |
| <b>Консультации</b>   | <b>1 семестр - 2 часа;</b>                                      |
| <b>Самостоятельная работа</b>   | <b>1 семестр - 113,5 часов;</b>                                 |
| <b>в том числе на КП/КР</b>   | <b>не предусмотрено учебным планом</b>                          |
| <b>Иная контактная работа</b>   | <b>проводится в рамках часов аудиторных занятий</b>             |
| <b>включая:</b><br>Тестирование<br>Контрольная работа<br>Домашнее задание<br>Реферат<br>Расчетно-графическая работа |   |
| <b>Промежуточная аттестация:</b>  |   |
| <b>Экзамен</b>  | <b>1 семестр - 0,5 часа;</b>                                    |

**Москва 2021**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

Преподаватель

(должность)

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

(подпись)

В.П. Будаев

(расшифровка подписи)

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель  
образовательной  
программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

|  |   |                                |
|--|---|--------------------------------|
|  | <b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b> |                                |
|  | <b>Сведения о владельце ЦЭП МЭИ</b>                       |                                |
|  | Владелец  | Лукашевский М.В.               |
|  | Идентификатор   | Re4b7e3cb-LukashevskyMV-6844ab |

(подпись)

М.В.  
Лукашевский

(расшифровка подписи)

Заведующий выпускающей  
кафедры

(должность, ученая степень, ученое звание)

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

(подпись)

А.В. Дедов

(расшифровка подписи)

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** изучение конструкции, методов удержания и нагрева высокотемпературной плазмы, способов решения физико-технических и инженерных проблем современных термоядерных установок с магнитным удержанием плазмы типа токамак как прототипов энергетического термоядерного экспериментального реактора

### Задачи дисциплины

- изучение конструкции современных термоядерных установок с магнитным удержанием плазмы типа токамак;
- освоение технологических процессов при эксплуатации современных термоядерных установок с магнитным удержанием плазмы типа токамак;
- приобретение навыков принятия технических решений физико-технических и инженерных проблем современных термоядерных установок типа токамак;
- изучение реализуемых проектов термоядерных экспериментальных реакторов на основе токамака и методов их проектирования;
- приобретение навыков принятия и обоснования технических решений при проектировании и эксплуатации систем термоядерного экспериментального реактора на основе токамака..

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

| Код и наименование компетенции   | Код и наименование индикатора достижения компетенции  | Запланированные результаты обучения   |
|--|---|---|
| ПК-1 Готов анализировать и моделировать технологические процессы, используемые в атомной энергетике, термоядерных исследованиях, плазменных установках | ИД-2 <sub>ПК-1</sub> Владеет способами решения физико-технических и инженерных проблем современных термоядерных установок с магнитным удержанием плазмы типа токамак как прототипов энергетического термоядерного экспериментального реактора | знать:<br>- конструкции современных термоядерных установок с магнитным удержанием плазмы типа токамак;<br>- технологические режимы эксплуатации современных термоядерных установок типа токамак;<br>- физико-технические и инженерные проблемы современных термоядерных установок типа токамак;<br>- методы проектирования термоядерных экспериментальных реакторов на основе токамака;<br>- конструкции реализуемых проектов термоядерных экспериментальных реакторов.<br><br>уметь:<br>- выполнять расчеты количественных характеристик режимов удержания плазмы в термоядерных установках типа токамак;<br>- принимать обоснованные технические решения при проектировании и эксплуатации систем термоядерного экспериментального реактора на основе токамака. |

## **2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО**

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Прикладная физика плазмы и управляемый термоядерный синтез (далее – ОПОП), направления подготовки 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать Дисциплина базируется на уровне знаний бакалавриата направления 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 часов.

| № п/п | Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации   | Всего часов на раздел | Семестр | Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы |     |    |              |   |     |    |    |                   |                                   | Содержание самостоятельной работы/ методические указания  |
|-------|--|-----------------------|---------|--|-----|----|--------------|---|-----|----|----|-------------------|-----------------------------------|---|
|       |  |                       |         | Контактная работа  |     |    |              |   |     |    | СР |                   |                                   |   |
|       |  |                       |         | Лек  | Лаб | Пр | Консультация |   | ИКР |    | ПА | Работа в семестре | Подготовка к аттестации /контроль |   |
| КПР   | ГК   | ИККП                  | ТК      |  |     |    |              |   |     |    |    |                   |                                   |   |
| 1     | 2  | 3                     | 4       | 5  | 6   | 7  | 8            | 9 | 10  | 11 | 12 | 13                | 14                                | 15  |
| 1     | Токамаки как практические устройства управляемого термоядерного синтеза. Термины и определения | 16                    | 1       | 4  | -   | 2  | -            | - | -   | -  | -  | 10                | -                                 | <p><b><u>Подготовка расчетно-графического задания:</u></b> В рамках расчетно-графического задания выполняется чертеж конструкции. Для выполнения чертежей выполняются предварительные расчеты основных показателей, которые указываются на чертеже. Задание выполняется индивидуально по вариантам.</p> <p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Токамаки как практические устройства управляемого термоядерного синтеза. Термины и определения"</p> <p><b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> Проработка лекции</p> <p><b><u>Подготовка домашнего задания:</u></b> Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "Токамаки как практические устройства управляемого термоядерного синтеза. Термины и определения" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам.</p> |
| 1.1   | Токамаки как практические устройства управляемого термоядерного синтеза. Термины и определения | 16                    |         | 4  | -   | 2  | -            | - | -   | -  | -  | 10                | -                                 |   |

|     |  |    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |  |  |  |
|-----|--|----|---|---|---|---|---|---|---|---|----|---|--|--|--|
|     |  |    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |  |  | <p><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b><br/>Изучение материала по разделу "Токамаки как практические устройства управляемого термоядерного синтеза. Термины и определения" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Токамаки как практические устройства управляемого термоядерного синтеза. Термины и определения"</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br/>[1], гл. 3, стр. 53-74<br/>[2], п.1-6, стр.1-47<br/>[3], гл.1-3, стр. 1-64</p> |
| 2   | Создание магнитной конфигурации токамака | 16 | 4 | - | 2 | - | - | - | - | - | 10 | - |  | <p><b><u>Подготовка расчетно-графического задания:</u></b> В рамках расчетно-графического задания выполняется чертеж конструкции. Для выполнения чертежей выполняются предварительные расчеты основных показателей, которые указываются на чертеже. Задание выполняется индивидуально по вариантам.</p> <p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b><br/>Повторение материала по разделу "Создание магнитной конфигурации токамака"</p> <p><b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b><br/>Проработка лекции</p> <p><b><u>Подготовка домашнего задания:</u></b><br/>Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "Создание магнитной конфигурации токамака" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных</p> |  |
| 2.1 | Создание магнитной конфигурации токамака | 16 | 4 | - | 2 | - | - | - | - | - | 10 | - |  |  |  |

|     |                                  |    |  |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |  |
|-----|----------------------------------|----|--|---|---|---|---|---|---|---|---|----|---|--|
|     |                                  |    |  |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   | заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам.<br><b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b><br>Изучение материалов по разделу Создание магнитной конфигурации токамака и подготовка к контрольной работе<br><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b><br>Изучение материала по разделу "Создание магнитной конфигурации токамака" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях<br><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Создание магнитной конфигурации токамака"<br><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br>[1], гл. 1 стр.5-21<br>[3], гл. 1-4, стр. 3-71 |
| 3   | Неустойчивости плазмы в токамаке | 20 |  | 6 | - | 2 | - | - | - | - | - | 12 | - | <b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b><br>Повторение материала по разделу "Неустойчивости плазмы в токамаке"  |
| 3.1 | Неустойчивости плазмы в токамаке | 20 |  | 6 | - | 2 | - | - | - | - | - | 12 | - | <b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b><br>Проработка лекции<br><b><u>Подготовка домашнего задания:</u></b><br>Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "Неустойчивости плазмы в токамаке" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам.<br><b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b><br>Изучение материалов по разделу   |

|     |  |    |  |   |   |   |   |   |   |   |   |    |  |  |
|-----|--|----|--|---|---|---|---|---|---|---|---|----|--|--|
|     |  |    |  |   |   |   |   |   |   |   |   |    | <p>Неустойчивости плазмы в токамаке и подготовка к контрольной работе</p> <p><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b><br/>Изучение материала по разделу "Неустойчивости плазмы в токамаке" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Неустойчивости плазмы в токамаке"</p> <p><b><u>Подготовка расчетно-графического задания:</u></b> В рамках расчетно-графического задания выполняется чертеж конструкции. Для выполнения чертежей выполняются предварительные расчеты основных показателей, которые указываются на чертеже. Задание выполняется индивидуально по вариантам.</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br/>[1], гл. 1. стр. 4-19<br/>[3], гл. 6,7, стр. 54-78<br/>[4], гл. 1-4, стр. 3-65<br/>[5], гл. 12, стр. 265-299</p> |  |
| 4   | Термоизоляция плазмы в экспериментальных токамаках-реакторах. Скейлинги ИТЭР | 22 |  | 6 | 2 | 2 | - | - | - | - | - | 12 | -  | <p><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b><br/>Изучение материала по разделу "Термоизоляция плазмы в экспериментальных токамаках-реакторах. Скейлинги ИТЭР" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b><br/>Повторение материала по разделу "Термоизоляция плазмы в экспериментальных токамаках-реакторах. Скейлинги ИТЭР"</p> <p><b><u>Подготовка расчетно-графического задания:</u></b> В рамках расчетно-графического задания выполняется чертеж конструкции.</p> |
| 4.1 | Термоизоляция плазмы в экспериментальных токамаках-реакторах. Скейлинги ИТЭР | 22 |  | 6 | 2 | 2 | - | - | - | - | - | 12 | -  |  |



|   |  |    |  |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |   |
|---|--|----|--|---|---|---|---|---|---|---|---|----|---|---|
|   |  |    |  |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   | <p>Для выполнения чертежей выполняются предварительные расчеты основных показателей, которые указываются на чертеже. Задание выполняется индивидуально по вариантам.</p> <p><b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> Для выполнения заданий по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "Термоизоляция плазмы в экспериментальных токамаках-реакторах. Скейлинги ИТЭР" материалу.</p> <p><b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы</p> <p><b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Изучение материалов по разделу Термоизоляция плазмы в экспериментальных токамаках-реакторах. Скейлинги ИТЭР и подготовка к контрольной работе</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Термоизоляция плазмы в экспериментальных токамаках-реакторах. Скейлинги ИТЭР"</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br/> [2], п. 6, стр. 64-79<br/> [3], гл. 1-3, стр. 3-48<br/> [4], гл. 1-4, стр. 4-54</p> |
| 5 | Проблемы взаимодействия плазмы со стенкой в термоядерном реакторе-токамаке | 24 |  | 6 | 4 | 2 | - | - | - | - | - | 12 | - | <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Проблемы взаимодействия плазмы со стенкой в термоядерном реакторе-токамаке"</p>  |

|     |  |    |  |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |  |
|-----|--|----|--|---|---|---|---|---|---|---|---|----|---|--|
| 5.1 | Проблемы взаимодействия плазмы со стенкой в термоядерном реакторе-токамаке | 24 |  | 6 | 4 | 2 | - | - | - | - | - | 12 | - | <p><b><u>Подготовка реферата:</u></b> В рамках реферативной части студенту необходимо провести обзор литературных источников по выбранной теме, комплексно осветить вопрос в соответствии с темой реферата, подготовить презентацию для выступления по результатам работы на семинарском занятии. В качестве тем реферата студенту предлагаются следующие варианты:</p> <p><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Проблемы взаимодействия плазмы со стенкой в термоядерном реакторе-токамаке" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><b><u>Подготовка доклада, выступления:</u></b> Задание связано с углубленным изучением разделов дисциплины и самостоятельным поиском материалов для раскрытия темы доклада. Материалы выполненной работы представляются в электронном виде или в форме распечатанных презентационных слайдов.</p> <p><b><u>Подготовка домашнего задания:</u></b> Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "Проблемы взаимодействия плазмы со стенкой в термоядерном реакторе-токамаке" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам.</p> <p><b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы</p> <p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу</p> |
|-----|--|----|--|---|---|---|---|---|---|---|---|----|---|--|

|     |  |    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |   |  |
|-----|--|----|---|---|---|---|---|---|---|---|----|---|---|--|
|     |  |    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |   | <p>"Проблемы взаимодействия плазмы со стенкой в термоядерном реакторе-токамаке"</p> <p><b><u>Подготовка расчетно-графического задания:</u></b> В рамках расчетно-графического задания выполняется чертеж конструкции. Для выполнения чертежей выполняются предварительные расчеты основных показателей, которые указываются на чертеже. Задание выполняется индивидуально по вариантам.</p> <p><b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> Для выполнения заданий по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "Проблемы взаимодействия плазмы со стенкой в термоядерном реакторе-токамаке" материалу.</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b></p> <p>[1], гл. 1-3, стр. 4-36<br/> [2], п. 1-7, стр. 2-67<br/> [3], гл. 5, стр. 72-92</p> |
| 6   | Инженерные проблемы стационарного токамака-реактора. Токамак-реактор как термоядерный источник нейтронов | 22 | 8 | - | 2 | - | - | - | - | - | 12 | - | <p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b><br/> Повторение материала по разделу "Инженерные проблемы стационарного токамака-реактора. Токамак-реактор как термоядерный источник нейтронов"</p> <p><b><u>Подготовка расчетно-графического задания:</u></b> В рамках расчетно-графического задания выполняется чертеж конструкции. Для выполнения чертежей выполняются предварительные расчеты основных показателей, которые указываются на чертеже. Задание выполняется индивидуально по вариантам.</p> <p><b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> Для выполнения заданий по лабораторной работе</p> |  |
| 6.1 | Инженерные проблемы стационарного токамака-реактора. Токамак-реактор как термоядерный источник нейтронов | 22 | 8 | - | 2 | - | - | - | - | - | 12 | - | <p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b><br/> Повторение материала по разделу "Инженерные проблемы стационарного токамака-реактора. Токамак-реактор как термоядерный источник нейтронов"</p> <p><b><u>Подготовка расчетно-графического задания:</u></b> В рамках расчетно-графического задания выполняется чертеж конструкции. Для выполнения чертежей выполняются предварительные расчеты основных показателей, которые указываются на чертеже. Задание выполняется индивидуально по вариантам.</p> <p><b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> Для выполнения заданий по лабораторной работе</p> |  |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | <p>необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "Инженерные проблемы стационарного токамака-реактора. Токамак-реактор как термоядерный источник нейтронов" материалу.</p> <p><b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b><br/>Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы</p> <p><b><u>Подготовка домашнего задания:</u></b><br/>Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "Инженерные проблемы стационарного токамака-реактора. Токамак-реактор как термоядерный источник нейтронов" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам.</p> <p><b><u>Подготовка доклада, выступления:</u></b><br/>Задание связано с углубленным изучением разделов дисциплины и самостоятельным поиском материалов для раскрытия темы доклада. Материалы выполненной работы представляются в электронном виде или в форме распечатанных презентационных слайдов.</p> <p><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b><br/>Изучение материала по разделу "Инженерные проблемы стационарного токамака-реактора. Токамак-реактор как термоядерный источник нейтронов" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение</u></b></p> |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|

|     |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |  |   |
|-----|---|----|---|---|---|---|---|---|---|---|----|---|--|---|
|     |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |  | <p><b><u>теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Инженерные проблемы стационарного токамака-реактора. Токамак-реактор как термоядерный источник нейтронов"</p> <p><b><u>Подготовка реферата:</u></b> В рамках реферативной части студенту необходимо провести обзор литературных источников по выбранной теме, комплексно осветить вопрос в соответствии с темой реферата, подготовить презентацию для выступления по результатам работы на семинарском занятии. В качестве тем реферата студенту предлагаются следующие варианты:</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br/>[2], п. 6-9, стр. 54-85</p> |
| 7   | Примеси в плазме установок управляемого термоядерного синтеза: источники и основные последствия | 24 | 6 | 2 | 4 | - | - | - | - | - | 12 | - | <p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Примеси в плазме установок управляемого термоядерного синтеза: источники и основные последствия"</p> <p><b><u>Подготовка расчетно-графического задания:</u></b> В рамках расчетно-графического задания выполняется чертеж конструкции. Для выполнения чертежей выполняются предварительные расчеты основных показателей, которые указываются на чертеже. Задание выполняется индивидуально по вариантам.</p> <p><b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> Для выполнения заданий по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "Примеси в плазме установок управляемого термоядерного синтеза: источники и основные последствия"</p> |   |
| 7.1 | Примеси в плазме установок управляемого термоядерного синтеза: источники и основные последствия | 24 | 6 | 2 | 4 | - | - | - | - | - | 12 | - | <p><b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> Для выполнения заданий по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "Примеси в плазме установок управляемого термоядерного синтеза: источники и основные последствия"</p>  |   |

|  |                  |       |    |   |    |   |   |   |   |     |    |       |  |  |
|--|------------------|-------|----|---|----|---|---|---|---|-----|----|-------|--|--|
|  |                  |       |    |   |    |   |   |   |   |     |    |       |  | материалу.<br><u><b>Подготовка к аудиторным занятиям:</b></u><br>Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы<br><u><b>Подготовка к практическим занятиям:</b></u><br>Изучение материала по разделу "Примеси в плазме установок управляемого термоядерного синтеза: источники и основные последствия" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях<br><u><b>Самостоятельное изучение теоретического материала:</b></u> Изучение дополнительного материала по разделу "Примеси в плазме установок управляемого термоядерного синтеза: источники и основные последствия"<br><u><b>Изучение материалов литературных источников:</b></u><br>[2], п. 2-8, стр. 24-89<br>[3], гл. 5, стр. 76-89 |
|  | Экзамен          | 36.0  | -  | - | -  | - | 2 | - | - | 0.5 | -  | 33.5  |  |  |
|  | Всего за семестр | 180.0 | 40 | 8 | 16 | - | 2 | - | - | 0.5 | 80 | 33.5  |  |  |
|  | Итого за семестр | 180.0 | 40 | 8 | 16 |   | 2 |   | - | 0.5 |    | 113.5 |  |  |

**Примечание:** Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПр – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

## 3.2 Краткое содержание разделов

### 1. Токамаки как практические устройства управляемого термоядерного синтеза.

#### Термины и определения

1.1. Токамаки как практические устройства управляемого термоядерного синтеза.

Термины и определения

Токамаки как практические устройства управляемого ядерного синтеза. Термины и определения. Тороидальный дрейф, вращательное преобразование, запас устойчивости, магнитные и дрейфовые поверхности.

### 2. Создание магнитной конфигурации токамака

2.1. Создание магнитной конфигурации токамака

Создание магнитной конфигурации токамака. Равновесие по  $Z$  и  $R$ . Удлинение. Диверторные конфигурации. Предел по бета токовому. Запертые и пролетные частицы. Неоклассические потери. Области устойчивости по параметру столкновительности. Неоклассическая электропроводность. Бутстрэп-ток. Неоклассическое пинчевание.

### 3. Неустойчивости плазмы в токамаке

3.1. Неустойчивости плазмы в токамаке

МГД-неустойчивости токамака. Винтовые неустойчивости: идеальная, диссипативная (тиринг), баллонная. Магнитные острова. Пределы по  $q$ . Неустойчивости срыва: внутренний, предсрыв, срыв. Неоклассические острова. “Мягкий” предел по бета. Диаграмма Хьюгела. Неустойчивости типа ЭЛМ.

### 4. Термоизоляция плазмы в экспериментальных токамаках-реакторах. Скейлинги ИТЭР

4.1. Термоизоляция плазмы в экспериментальных токамаках-реакторах. Скейлинги ИТЭР

Способы нагрева плазмы в токамаке. Термоизоляция, электронный и ионный перенос.  $L$  и  $H$  -режимы. Скейлинг ИТЭРа.

### 5. Проблемы взаимодействия плазмы со стенкой в термоядерном реакторе-токамаке

5.1. Проблемы взаимодействия плазмы со стенкой в термоядерном реакторе-токамаке

Удаление примесей. Понятие о методах подготовки стенок плазменных установок: очистка, боронизация, бериллизация.

### 6. Инженерные проблемы стационарного токамака-реактора. Токамак-реактор как термоядерный источник нейтронов

6.1. Инженерные проблемы стационарного токамака-реактора. Токамак-реактор как термоядерный источник нейтронов

Материалы первой стенки токамака реактора ИТЭР: вольфрам, бериллий, углеродные композиты. Проблемы диверторных пластин и первой стенки токамака-реактора. Радиационный бланкет. Проблемы стационарного токамака: способы поддержания тока, ввод топлива и удаление гелия и примесей. Термоядерный реактор-токамак как источник нейтронов.

### 7. Примеси в плазме установок управляемого термоядерного синтеза: источники и основные последствия

7.1. Примеси в плазме установок управляемого термоядерного синтеза: источники и основные последствия

Источники примесей в плазменных установках. Основные последствия присутствия примесей в плазме. Поведение примесей в замкнутых системах. Собираение примесей к центру. Экранирование в области разрушенных магнитных поверхностей – легкие и тяжелые примеси, пределы по не..

### **3.3. Темы практических занятий**

1. Создание магнитной конфигурации токамака;
2. Винтовые неустойчивости, магнитные острова;
3. Термоизоляция плазмы;
4. Проблемы взаимодействия плазмы со стенкой в термоядерном реакторе-токамаке;
5. Методы подготовки стенок плазменных установок;
6. Проблемы стационарного токамака.

### **3.4. Темы лабораторных работ**

1. Измерение температуры плазмы в плазменной установке ПЛМ;
2. Измерение плотности плазмы в плазменной установке ПЛМ.

### **3.5 Консультации**

#### *Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)*

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Токамаки как практические устройства управляемого термоядерного синтеза. Термины и определения"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Создание магнитной конфигурации токамака"
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Неустойчивости плазмы в токамаке"
4. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Термоизоляция плазмы в экспериментальных токамаках-реакторах. Скейлинги ИТЭР"
5. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Проблемы взаимодействия плазмы со стенкой в термоядерном реакторе-токамаке"
6. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Инженерные проблемы стационарного токамака-реактора. Токамак-реактор как термоядерный источник нейтронов"
7. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Примеси в плазме установок управляемого термоядерного синтеза: источники и основные последствия"

### **3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ**

Курсовой проект/ работа не предусмотрены



### 3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

| Запланированные результаты обучения по дисциплине<br>(в соответствии с разделом 1)   | Коды индикаторов | Номер раздела дисциплины<br>(в соответствии с п.3.1) |   |   |   |   |   |   | Оценочное средство<br>(тип и наименование)   |
|--|------------------|--|---|---|---|---|---|---|--|
|  |                  | 1  | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |  |
| <b>Знать:</b>  |                  |  |   |   |   |   |   |   |  |
| конструкции реализуемых проектов термоядерных экспериментальных реакторов  | ИД-2ПК-1         |  |   |   |   | + | + |   | Реферат/Выполнение и защита РГР 1. Презентация и защита реферата   |
| методы проектирования термоядерных экспериментальных реакторов на основе токамака  | ИД-2ПК-1         | +  | + | + |   |   |   |   | Домашнее задание/Выполнение домашнего задания 1. Критерии устойчивости плазмы в токамаке                     |
| физико-технические и инженерные проблемы современных термоядерных установок типа токамак   | ИД-2ПК-1         |  |   | + | + |   |   |   | Контрольная работа/Контрольная работа 2. Скейлинги современных термоядерных установок типа токамак           |
| технологические режимы эксплуатации современных термоядерных установок типа токамак  | ИД-2ПК-1         |  | + | + |   |   |   |   | Контрольная работа/Контрольная работа 1. Режимы эксплуатации современных термоядерных установок типа токамак |
| конструкции современных термоядерных установок с магнитным удержанием плазмы типа токамак  | ИД-2ПК-1         | +  | + |   |   |   |   |   | Тестирование/Тест. Конструкции современных термоядерных установок с магнитным удержанием плазмы типа токамак |
| <b>Уметь:</b>  |                  |  |   |   |   |   |   |   |  |
| принимать обоснованные технические решения при проектировании и эксплуатации систем термоядерного экспериментального реактора на основе токамака | ИД-2ПК-1         |  |   |   |   | + | + |   | Домашнее задание/Выполнение домашнего задания 2. Удержание плазмы в реакторе-токамаке                        |
| выполнять расчеты количественных характеристик режимов удержания плазмы в термоядерных установках типа токамак                                   | ИД-2ПК-1         | +  | + | + | + | + | + | + | Расчетно-графическая работа/Выполнение РГР 2. Выполнение расчетного задания                                  |

## **4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)**

### **4.1. Текущий контроль успеваемости**

#### **1 семестр**

Форма реализации: Билеты (письменный опрос)

1. Контрольная работа 1. Режимы эксплуатации современных термоядерных установок типа токамак (Контрольная работа)
2. Контрольная работа 2. Скейлинги современных термоядерных установок типа токамак (Контрольная работа)
3. Тест. Конструкции современных термоядерных установок с магнитным удержанием плазмы типа токамак (Тестирование)

Форма реализации: Выполнение задания

1. Выполнение РГР 2. Выполнение расчетного задания (Расчетно-графическая работа)

Форма реализации: Выступление (доклад)

1. Выполнение и защита РГР 1. Презентация и защита реферата (Реферат)

Форма реализации: Письменная работа

1. Выполнение домашнего задания 1. Критерии устойчивости плазмы в токамаке (Домашнее задание)
2. Выполнение домашнего задания 2. Удержание плазмы в реакторе-токамаке (Домашнее задание)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

### **4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине**

#### *Экзамен (Семестр №1)*

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

**Примечание:** Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

## **5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **5.1 Печатные и электронные издания:**

1. Арцимович, Л. А. Управляемые термоядерные реакции / Л. А. Арцимович . – 2-е изд., перераб . – М. : Физматлит, 1963 . – 467 с.;
2. Мирнов, С. В. Энергия из воды. Популярно об управляемом термоядерном синтезе : по направлению "Ядерные физика и технологии" / С. В. Мирнов, Моск. гос. инженерно-физичес. ин-т (МИФИ. Технич. ун-т) . – М. : Тривант, 2008 . – 128 с. - ISBN 978-5-89513-109-1 .;
3. Мирнов, С. В. Физические процессы в плазме токамака / С. В. Мирнов . – М. : Энергоатомиздат, 1983 . – 185 с.;
4. Кадомцев, Б. Б. Коллективные явления в плазме / Б. Б. Кадомцев . – 2-е изд., испр.и доп . – М. : Наука, 1988 . – 304 с. - ISBN 5-02-014199-2 .;

5. Д. Роуз, М. Кларк- "Физика плазмы и управляемые термоядерные реакции", Издательство: "Государственное издательство литературы по атомной науке и технике Государственного Комитета по использованию атомной энергии СССР", Москва, 1963 - (489 с.)  
<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=213869>.

### 5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. СДО "Прометей";
2. Office;
3. Windows;
4. Майнд Видеоконференции.

### 5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - [http://biblioclub.ru/index.php?page=main\\_ub\\_red](http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red)
3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
4. База данных ВИНТИ online - <http://www.viniti.ru/>
5. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
6. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
7. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
8. ЭБС "Консультант студента" - <http://www.studentlibrary.ru/>
9. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
10. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>
11. База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ - <https://rosmintrud.ru/opendata>
12. База открытых данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ - <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>
13. База открытых данных Министерства экономического развития РФ - <http://www.economy.gov.ru>
14. База открытых данных Росфинмониторинга - <http://www.fedsfm.ru/opendata>
15. Электронная открытая база данных "Polpred.com Обзор СМИ" - <https://www.polpred.com>
16. Информационно-справочная система «Кодекс/Техэксперт» - <Http://proinfosoft.ru; http://docs.cntd.ru/>
17. Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование» - <https://openedu.ru>
18. Официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии - <http://protect.gost.ru/>
19. Открытая университетская информационная система «РОССИЯ» - <https://uisrussia.msu.ru>

## 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

| Тип помещения   | Номер аудитории, наименование  | Оснащение  |
|---|--|--|
| Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля | А-119, Учебно-научная лаборатория физики плазмы и инновационных материалов | рабочее место сотрудника, стол, стул, шкаф, компьютерная сеть с выходом в Интернет, лабораторный стенд, оборудование учебное, техническая аппаратура, компьютер персональный, инвентарь специализированный |

|  |  |   |
|--|--|---|
| Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП | А-119, Учебно-научная лаборатория физики плазмы и инновационных материалов | рабочее место сотрудника, стол, стул, шкаф, компьютерная сеть с выходом в Интернет, лабораторный стенд, оборудование учебное, техническая аппаратура, компьютер персональный, инвентарь специализированный  |
| Учебные аудитории для проведения лабораторных занятий          | А-119, Учебно-научная лаборатория физики плазмы и инновационных материалов | рабочее место сотрудника, стол, стул, шкаф, компьютерная сеть с выходом в Интернет, лабораторный стенд, оборудование учебное, техническая аппаратура, компьютер персональный, инвентарь специализированный  |
| Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации      | А-119, Учебно-научная лаборатория физики плазмы и инновационных материалов | рабочее место сотрудника, стол, стул, шкаф, компьютерная сеть с выходом в Интернет, лабораторный стенд, оборудование учебное, техническая аппаратура, компьютер персональный, инвентарь специализированный  |
| Помещения для самостоятельной работы                           | А-110, Вычислительная лаборатория  | стол преподавателя, стол компьютерный, стул, доска интерактивная, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, указка лазерная, многофункциональный центр, сервер, компьютер персональный, принтер, наборы демонстрационного оборудования |
| Помещения для консультирования                                 | А-208, Преподавательская   | кресло рабочее, рабочее место сотрудника, стол, шкаф для документов, компьютерная сеть с выходом в Интернет, колонки, компьютер персональный, принтер   |
| Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря       | А-025, Кладовка лабораторного оборудования                                 | стеллаж, оборудование специализированное  |

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### Термоядерные экспериментальные реакторы

(название дисциплины)

#### 1 семестр

**Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:**

- КМ-1 Тест. Конструкции современных термоядерных установок с магнитным удержанием плазмы типа токамак (Тестирование)
- КМ-2 Контрольная работа 1. Режимы эксплуатации современных термоядерных установок типа токамак (Контрольная работа)
- КМ-3 Выполнение домашнего задания 1. Критерии устойчивости плазмы в токамаке (Домашнее задание)
- КМ-4 Контрольная работа 2. Скейлинги современных термоядерных установок типа токамак (Контрольная работа)
- КМ-5 Выполнение и защита РГР 1. Презентация и защита реферата (Реферат)
- КМ-6 Выполнение домашнего задания 2. Удержание плазмы в реакторе-токамаке (Домашнее задание)
- КМ-7 Выполнение РГР 2. Выполнение расчетного задания (Расчетно-графическая работа)

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

| Номер раздела | Раздел дисциплины  | Индекс КМ: | КМ-1 | КМ-2 | КМ-3 | КМ-4 | КМ-5 | КМ-6 | КМ-7 |
|---------------|--|------------|------|------|------|------|------|------|------|
|               |  | Неделя КМ: | 4    | 8    | 10   | 12   | 14   | 14   | 16   |
| 1             | Токамаки как практические устройства управляемого термоядерного синтеза. Термины и определения |            |      |      |      |      |      |      |      |
| 1.1           | Токамаки как практические устройства управляемого термоядерного синтеза. Термины и определения |            | +    |      | +    |      |      |      | +    |
| 2             | Создание магнитной конфигурации токамака   |            |      |      |      |      |      |      |      |
| 2.1           | Создание магнитной конфигурации токамака   |            | +    | +    | +    |      |      |      | +    |
| 3             | Неустойчивости плазмы в токамаке   |            |      |      |      |      |      |      |      |
| 3.1           | Неустойчивости плазмы в токамаке   |            |      | +    | +    | +    |      |      | +    |
| 4             | Термоизоляция плазмы в экспериментальных токамаках-реакторах. Скейлинги ИТЭР                   |            |      |      |      |      |      |      |      |
| 4.1           | Термоизоляция плазмы в экспериментальных токамаках-реакторах. Скейлинги ИТЭР                   |            |      |      |      | +    |      |      | +    |

|            |  |    |    |    |    |    |    |    |
|------------|--|----|----|----|----|----|----|----|
| 5          | Проблемы взаимодействия плазмы со стенкой в термоядерном реакторе-токамаке                               |    |    |    |    |    |    |    |
| 5.1        | Проблемы взаимодействия плазмы со стенкой в термоядерном реакторе-токамаке                               |    |    |    |    | +  | +  | +  |
| 6          | Инженерные проблемы стационарного токамака-реактора. Токамак-реактор как термоядерный источник нейтронов |    |    |    |    |    |    |    |
| 6.1        | Инженерные проблемы стационарного токамака-реактора. Токамак-реактор как термоядерный источник нейтронов |    |    |    |    | +  | +  | +  |
| 7          | Примеси в плазме установок управляемого термоядерного синтеза: источники и основные последствия          |    |    |    |    |    |    |    |
| 7.1        | Примеси в плазме установок управляемого термоядерного синтеза: источники и основные последствия          |    |    |    |    |    |    | +  |
| Вес КМ, %: |  | 10 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 |