

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ**  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
**Обнинский институт атомной энергетики –**  
филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего  
образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
**(ИАТЭ НИЯУ МИФИ)**

## **ОТДЕЛЕНИЕ БИОТЕХНОЛОГИЙ**

Одобрено на заседании  
УМС ИАТЭ НИЯУ МИФИ  
Протокол № 3-8/2022 от 30.08.2022 г.

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ И РФП**

---

для магистров направления подготовки

**03.04.02 Физика**

---

образовательная программа

**«Инновационные технологии в ядерной медицине»**

---

Форма обучения: очная

г. Обнинск 2022 г.

# 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

В результате освоения ООП обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

Коды компетенций	Наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
<b>ОПК-1</b>	Способен применять фундаментальные знания в области физики для решения научно-исследовательских задач, а также владеть основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности	З-ОПК-1 – Знать: фундаментальные законы и принципы физики; основы психологии и педагогики. У-ОПК-1 – Уметь: применять полученные знания для решения научно-исследовательских задач в своей профессиональной деятельности; представлять законы и принципы физики в виде математических уравнений, формул, графиков, качественного описания; применять основы психологии, методики преподавания в педагогической деятельности. В-ОПК-1 – Владеть: навыками решения научно-исследовательских задач в области экспериментальной и теоретической физики; педагогическими технологиями, необходимыми для ведения преподавательской деятельности.
<b>ОПК-4</b>	Способен определять сферу внедрения результатов научных исследований в области своей профессиональной деятельности	З-ОПК-4 – Знать: основные этапы внедрения результатов научных исследований в области своей профессиональной деятельности. У-ОПК-4 – Уметь: проводить анализ потенциальных сфер внедрения результатов научных исследований в области своей профессиональной деятельности. В-ОПК-4 – Владеть: навыками апробации результатов научных исследований.
<b>ПК-3</b>	Способен разрабатывать технические задания на проектирование технологических	З-ПК-3 знать основы проектирования технологических процессов производства устройств, приборов, систем и комплексов по профилю профессиональной деятельности

	процессов и схем производства устройств, приборов, систем и комплексов	У-ПК-3 уметь проводить анализ современных технологических процессов и схем производства, перспективных материалов для производства устройств, приборов, систем и комплексов по профилю профессиональной деятельности В-ПК-3 владеть навыками составления технического задания на проектирование технологических процессов и схем производства устройств, приборов, систем и комплексов по профилю профессиональной деятельности
--	--	---

## 2. Место дисциплины в структуре ООП магистратуры

Дисциплина реализуется в рамках обязательной части блока «Дисциплины» программы магистратуры и относится к профессиональному модулю.

Для освоения дисциплины необходимы компетенции, сформированные в рамках изучения следующих дисциплин:

- Иностранный язык в сфере профессиональной коммуникации
- Медико-физические основы компьютерной томографии
- Медико-физические основы радионуклидной диагностики
- Учебная практика: научно-исследовательская работа

Дисциплины и/или практики, для которых освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее:

- Клиническая дозиметрия и радиационная безопасность в медицинской радиологии
- Производственная практика: научно-исследовательская работа
- Радиационная патология человека

Дисциплина изучается на 1 курсе в 1 семестре.

## 3. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам занятий) и на самостоятельную работу обучающихся

Вид работы	Количество часов на вид работы
Контактная работа обучающихся с преподавателем	
Аудиторные занятия (всего)	48

В том числе:	
<i>лекции (лекции в интерактивной форме)</i>	16
<i>практические занятия (практические занятия в интерактивной форме)</i>	16
<i>лабораторные занятия</i>	16
<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>36</b>
В том числе:	
<i>экзамен</i>	36
<b>Самостоятельная работа обучающихся</b>	
<b>Самостоятельная работа обучающихся (всего)</b>	<b>60</b>
В том числе:	
<i>Проработка учебного (теоретического) материала</i>	20
<i>Подготовка ко всем видам контрольных испытаний текущего контроля успеваемости (в течение семестра)</i>	20
<i>Подготовка ко всем видам контрольных испытаний промежуточной аттестации (по окончании семестра)</i>	20
<b>Всего (часы):</b>	<b>144</b>
<b>Всего (зачетные единицы):</b>	<b>4</b>

**4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий**

**4.1. Разделы дисциплины и трудоемкость по видам учебных занятий (в академических часах)**

№ п/п	Наименование раздела /темы дисциплины	Виды учебной работы в часах				
		Лек	Пр	Лаб	Внеауд	СРО
1.	Введение в специальность	2	2	2		8
2.	Технологии малогабаритных ядерных источников электрической энергии (МЯИЭЭ) прямого преобразования на полупроводниковых материалах.	2	2	2		8
3.	Технология тепловых труб с жидкометаллическим рабочим телом в источниках электрогенерации прямого преобразования энергии.	2	2	2		8
4.	Технология ядерного реактивного двигателя в энергетических установках машинного преобразования тепловой энергии в электрическую.	2	2	2		10

5.	Основные уравнения рабочего процесса термоэмиссионной электрогенерации, роль цезия и бария как рабочих тел термоэмиссионного преобразователя энергии.	2	2	2		10
6.	Способы подачи и регулирования давления паров рабочего тела в термоэмиссионных преобразователях, электрогенерирующих каналах (ЭГК) и реакторных установках различного назначения.	3	3	3		8
7.	Влияние собственного магнитного поля на работу термоэмиссионных ЭГК и ЭУ	3	3	3		8
	<b>Всего:</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>16</b>		<b>60</b>

*Прим.: Лек – лекции, Сем/Пр – семинары, практические занятия, Лаб – лабораторные занятия, СРО – самостоятельная работа обучающихся*

#### **4.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам (темам)**

##### *Лекционный курс*

<b>№</b>	<b>Наименование раздела /темы дисциплины</b>	<b>Содержание</b>
1.	Введение в специальность	Основные направления, проблемы и перспективы в проектной деятельности и НИОКР в обосновании текущих и перспективных проектов в ЭУ различного назначения.
2.	Технологии малогабаритных ядерных источников электрической энергии (МЯИЭЭ) прямого преобразования на полупроводниковых материалах.	Физико-технические основы рабочего процесса и технологий в бета-вольтаических ядерных батареях.
3.	Технология тепловых труб с жидкометаллическим рабочим телом в источниках электрогенерации прямого преобразования энергии.	Физико-технические основы рабочего процесса и технологий в теплообменных системах ЭУ прямого преобразования на тепловых трубах.
4.	Технология ядерного реактивного двигателя в энергетических	Диверсификация технологий ЯРД для машинного преобразования энергии на

	установках машинного преобразования тепловой энергии в электрическую.	основе цикла Брайтона в ЯЭДУ мегаваттного класса.
5.	Основные уравнения рабочего процесса термоэмиссионной электрогенерации, роль цезия и бария как рабочих тел термоэмиссионного преобразователя энергии.	Физические модели и описывающие их уравнения в термоэмиссионных преобразователях с цезиевым и цезий-бариевым рабочим телами.
6.	Способы подачи и регулирования давления паров рабочего тела в термоэмиссионных преобразователях, электрогенерирующих каналах (ЭГК) и реакторных установках различного назначения.	Физико-технические основы рабочего процесса и технологий в генераторах паров рабочего тела (цезия) в термоэмиссионных электрогенерирующих системах ЭУ различного назначения.
7.	Влияние собственного магнитного поля на работу термоэмиссионных ЭГК и ЭУ	Физико-технические основы рабочего процесса в термоэмиссионных преобразователях и ЭГК при влиянии собственного магнитного поля.

#### *Практические/семинарские занятия*

<b>№</b>	<b>Наименование раздела /темы дисциплины</b>	<b>Содержание</b>
1.	Введение в специальность	Семинарская форма обсуждения с использованием видео, презентаций и самостоятельно написанной магистрами курсовой работы по лекционной теме 1.
2.	Технологии малогабаритных ядерных источников электрической энергии (МЯИЭЭ) прямого преобразования на полупроводниковых материалах.	Семинарская форма обсуждения с использованием видео, презентаций и самостоятельно написанной магистрами курсовой работы по лекционной теме 2.
3.	Технология тепловых труб с жидкометаллическим рабочим телом в источниках электрогенерации прямого преобразования энергии.	Семинарская форма обсуждения с использованием видео, презентаций и самостоятельно написанной магистрами курсовой работы по лекционной теме 3.
4.	Технология ядерного реактивного двигателя в энергетических установках машинного преобразования тепловой энергии в электрическую.	Семинарская форма обсуждения с использованием видео, презентаций и самостоятельно написанной магистрами курсовой работы по лекционной теме 4.

5.	Основные уравнения рабочего процесса термоэмиссионной электрогенерации, роль цезия и бария как рабочих тел термоэмиссионного преобразователя энергии.	Семинарская форма обсуждения с использованием видео, презентаций и самостоятельно написанной магистрами курсовой работы по лекционной теме 5.
6.	Способы подачи и регулирования давления паров рабочего тела в термоэмиссионных преобразователях, электрогенерирующих каналах (ЭГК) и реакторных установках различного назначения.	Семинарская форма обсуждения с использованием видео, презентаций и самостоятельно написанной магистрами курсовой работы по лекционной теме 6.
7.	Влияние собственного магнитного поля на работу термоэмиссионных ЭГК и ЭУ	Семинарская форма обсуждения с использованием видео, презентаций и самостоятельно написанной магистрами курсовой работы по лекционной теме 7.

#### *Лабораторные занятия*

<b>№</b>	<b>Наименование раздела /темы дисциплины</b>	<b>Содержание</b>
1.	Введение в специальность	Лабораторные занятия по лекционной теме 1.
2.	Технологии малогабаритных ядерных источников электрической энергии (МЯИЭЭ) прямого преобразования на полупроводниковых материалах.	Лабораторные занятия по лекционной теме 2.
3.	Технология тепловых труб с жидкометаллическим рабочим телом в источниках электрогенерации прямого преобразования энергии.	Лабораторные занятия по лекционной теме 3.
4.	Технология ядерного реактивного двигателя в энергетических установках машинного преобразования тепловой энергии в электрическую.	Лабораторные занятия по лекционной теме 4.
5.	Основные уравнения рабочего процесса термоэмиссионной электрогенерации, роль цезия и бария как рабочих тел термоэмиссионного	Лабораторные занятия по лекционной теме 5.

	преобразователя энергии.	
6.	Способы подачи и регулирования давления паров рабочего тела в термоэмиссионных преобразователях, электрогенерирующих каналах (ЭГК) и реакторных установках различного назначения.	Лабораторные занятия по лекционной теме 6.
7.	Влияние собственного магнитного поля на работу термоэмиссионных ЭГК и ЭУ	Лабораторные занятия по лекционной теме 7.

## 5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

- Рекомендованная основная и дополнительная литература.
- Рекомендованные оригинальные статьи, доклады и интернет-источники.

## 6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

### 6.1. Паспорт фонда оценочных средств по дисциплине

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины (результаты по разделам)	Код контролируемой компетенции (или её части) / и ее формулировка	Наименование оценочного средства
<b>Текущий контроль</b>			
1.	Физико-технические основы рабочего процесса и технологий в энергетических установках прямого преобразования	ОПК-1; ОПК-4; ПК-3	Тестирование
2.	Экспериментальные, методические и расчетные основы в НИОКР по энергетическим установкам прямого преобразования.	ОПК-1; ОПК-4; ПК-3	Тестирование
3.	Инновационные технологии перспективных методов прямого преобразования энергии	ОПК-1; ОПК-4; ПК-3	Тестирование
<b>Промежуточный контроль</b>			
	Экзамен	ОПК-1; ОПК-4; ПК-3	Экзаменационные билеты

## ***6.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы***

### ***6.2.1. Экзамен***

а) типовые задания (вопросы) к экзамену:

1. Основные результаты самостоятельной работы по темам реферата и курсовой работы.
2. Малогабаритные ядерные источники энергии прямого преобразования.
3. Тепловые трубы в космических и наземных энергетических установках различного назначения.
4. Диверсификация технологий ядерного ракетного движителя в установках машинного преобразования на основе цикла Броштона.
5. Основные уравнения термоэмиссионного рабочего процесса в ТЭП/ЭГЭ/ЭГК/ЯЭУ, роль цезия и бария.
6. Генераторы паров рабочего тела (цезия) в термоэмиссионных электрогенерирующих системах и установках различного назначения.
7. Влияние магнитного давления на работу сильноточных термоэмиссионных преобразователей.
8. Ключевые элементы и инверторы в термоэмиссионной энергетике различного назначения.
9. Физико-технические основы ТЭП – выпрямителя.
10. Основные расчетные методы оптимизации выходных характеристик в термоэмиссионных ЭГК с помощью программного комплекса «COMSOL-ЭГК».
11. Термоэмиссионная тепловая защита теплонапряженных элементов гиперзвуковых ЛА.
12. Основные методы предреакторных исследований и испытаний ТЭП, ЭГК.
13. Основные методы реакторных исследований и испытаний ЭГК в составе нетлевых каналов и ЯЭУ.
14. Водородная энергетика.
15. Топливные элементы – физико-технические основы электрогенерирующих систем водородной энергетики.
16. Космическая солнечная энергетика.
17. Место термоэмиссии в прикладных и фундаментальных исследованиях и разработках.
18. Термоэмиссионная космическая ЯЭУ мегаваттной электрической мощности.

19. Эмиссионно-адсорбционные процессы на электродах ЭГК. Требования к выбору эффективных электродных материалов.

20. Инженерная модель ВАХ ТЭП «SET». Создание экспериментальных баз данных о ВАХ ТЭП и ЭГК.

21. Рабочий процесс и физико-технические основы проектирования электромагнитных систем (насосов) для прокачки жидкометаллического теплоносителя в космических ЯЭУ.

б) критерии оценивания компетенций (результатов):

1. уровень освоения студентом материала, предусмотренного учебной программой;

2. полнота и правильность ответа, степень осознанности, понимания изученного;

3. обоснованность, четкость, краткость изложения ответа;

4. ответы на дополнительные вопросы.

в) описание шкалы оценивания:

В экзаменационный билет входит 2 вопроса. Максимальная сумма баллов за ответ на один вопрос - 20 баллов.

14-20 баллов за ответ на вопрос выставляется студенту, который:

- владеет методологией данной дисциплины, знает определения основных понятий;

- полно раскрывает содержание теоретических вопросов.

8-13 баллов за ответ на вопрос выставляется студенту, который:

- сделал все, что требуется для получения оценки «отлично», однако при этом допустил незначительные неточности при изложении материала, не искажающие содержание ответа по существу вопроса.

1-7 баллов за ответ на вопрос выставляется студенту, который:

- владеет методологией данной дисциплины, знает определения основных понятий;

- раскрывает содержание не всех теоретических вопросов;

- не всегда умеет увязать теорию и практику.

0 баллов за ответ на вопрос выставляется студенту, который:

- имеет пробелы в знаниях основного учебного материала по дисциплине, не может дать четкого определения основных понятий;

- не может успешно продолжать дальнейшее обучение в связи с недостаточным объемом знаний.

### **6.2.2. Тестовые материалы**

а) типовые задания (вопросы) - образец:

1. Квалифицировать различные схемы прямой электрогенерации в малогабаритных ядерных источниках электрической генерации.
2. Выделить особенности рабочего процесса теплопередачи в тепловых трубах с капиллярной, газогенерируемой и термосифонной системах переноса скрытой теплоты парообразования жидкометаллических рабочих тел.
3. Сформулировать основные требования к выбору рабочих тел в цикле Брайтона в машинной схеме преобразования тепловой энергии в ЯЭДУ мегаваттного класса.
4. Обосновать отсутствие насыщения на дуговой ветви вольтамперной характеристики термоэмиссионного преобразователя.
5. Обосновать выбор оптимального генератора паров рабочего тела (цезия) в ЭГК термоэмиссионной ЯЭУ субмегаваттного диапазона выходной электрической мощности.
6. Предложить рабочий процесс в термоэмиссионной ЭГК, в котором магнитное давление дает положительный эффект.
7. Отличие системы инвертирования DC-AC в термоэмиссионных ЯЭУ 1-го и 2-го поколений от ТЯЭУ мегаваттного диапазона выходной электрической мощности.
8. Какими технологическими проблемами проектирования термоэмиссионных ЯЭУ различного назначения вызвана необходимость перехода к трехмерным методам расчета выходных характеристик ЭГК.

б) критерии оценивания компетенций (результатов):

**Оценка «отлично»** - за глубокие знания учебного материала, содержащегося в основных и дополнительных рекомендуемых литературных источниках, умение четко и безошибочно (практически безошибочно) анализировать явления и проблемы; логично и последовательно отвечать на поставленные вопросы, умение применять теоретические положения при решении практических задач.

**Оценка «хорошо»** - за прочные знания учебного материала; аргументированные ответы на поставленные вопросы, которые, однако, содержат определенные (несущественные) неточности, умение применять теоретические положения при решении практических задач.

**Оценка «удовлетворительно»** - за посредственные знания учебного материала, слабо аргументированные ответы, слабое применение теоретических положений при решении практических задач.

**Оценка «неудовлетворительно»** - за незнание значительной части учебного материала, существенные ошибки в ответах на вопросы, неумение ориентироваться при решении практических задач, незнание основных фундаментальных положений изучаемой дисциплины.

в) описание шкалы оценивания:

Оценка «отлично»- 26-30 баллов

Оценка «хорошо»-22-25 баллов

Оценка «удовлетворительно»-18-21 баллов

Оценка «неудовлетворительно»-меньше 18 баллов

### **6.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций**

Рейтинговая оценка знаний является интегральным показателем качества теоретических и практических знаний и навыков студентов по дисциплине и складывается из оценок, полученных в ходе текущего контроля и промежуточной аттестации.

Текущий контроль в семестре проводится с целью обеспечения своевременной обратной связи, для коррекции обучения, активизации самостоятельной работы студентов.

Промежуточная аттестация предназначена для объективного подтверждения и оценивания достигнутых результатов обучения после завершения изучения дисциплины.

Текущий контроль осуществляется два раза в семестр: контрольная точка № 1 (КТ № 1) и контрольная точка № 2 (КТ № 2).

Результаты текущего контроля и промежуточной аттестации подводятся по шкале балльно-рейтинговой системы.

Вид контроля	Этап рейтинговой системы Оценочное средство	Балл	
		Минимум	Максимум
Текущий	<b>Контрольная точка № 1</b>		
	Тестирование	18	30
	<b>Контрольная точка № 2</b>		
	Тестирование	18	30
Промежуточный	<b>Экзамен</b>		
	Экзаменационный билет	24	40
<b>ИТОГО по дисциплине</b>		60	100

## **7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

### **а) основная учебная литература:**

1. В.И. Ярыгин, В.А. Ружников, В.В. Синявский. Космические и наземные ядерные энергетические установки прямого преобразования энергии. (Монография).-М: НИЯУ МИФИ, 2016.-364с.
2. Термоэмиссионные преобразователи и низкотемпературная плазма, под ред. Б.Я.Мойжеса и Г.Е. Пикуса.- Издательство «Наука», Главная редакция физико-математической литературы, 1973.-471с.
3. Лазаренко Ю.В., Пустовалов А.А., Шаповалов В.П. Малогабаритные ядерные источники электрической энергии-М.:Энергоатомиздат,1992-208с.

4. М.Н. Ивановский, В.П. Сорокин, И.В. Ягодкин. Физические основы тепловых труб.-М:Атомиздат, 1978.-160с.
5. Ю.Г. Демянко, Г.В. Конюхов, А.С Коротеев, Е.П. Кузьмин, А.А. Павельев. Ядерные ракетные двигатели. –М:ООО «Норма-Информ», 2001.-416с.
6. А.Г. Каландаришвили. Источники рабочего тела для термоэмиссионных преобразователей энергии.-М:Энергоатомиздат,1986.-184с.
7. В.В. Синявский. Методы и средства экспериментальных исследований и реакторных испытаний термоэмиссионных электрогенерирующих сборок.-М:Энергоатомиздат, 2000.-375с.

***б) дополнительная учебная литература:***

1. В.И. Ярыгин. Физические основы термоэмиссионного преобразования энергии. Часть 2- Методы исследования, техника измерения и испытаний электродных материалов.-Учебное пособие по курсу «Перспективные методы получения и преобразования энергии».ИАТЭ, Обнинск, 2006.-64с.
2. Е.Г. Виноградов, В.И. Ярыгин. Методика расчета электро-теплофизических характеристик термоэмиссионного электрогенерирующего канала. Учебное пособие по курсу «Перспективные методы получения и преобразования энергии. ИАТЭ, Обнинск, 2008.-40с.

**8. Перечень ресурсов\* информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (далее - сеть «Интернет»), необходимых для освоения дисциплины**

В перечне ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины, указываются сведения об Интернет-ресурсе в виде ссылки. Могут указываться адреса Интернет-сайтов специализированных ведомств, электронных журналов и другой периодики, баз данных и т.п.

1. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU: [Электронный ресурс] URL: <http://elibrary.ru> (Дата обращения: 12.06.2020).
2. Электронно-библиотечная система издательство "Лань": [Электронный ресурс] URL: [www.e.lanbook.com](http://www.e.lanbook.com) (Дата обращения: 12.06.2020).
3. Электронно-библиотечная система НИЯУ МИФИ": [Электронный ресурс] URL: [www.library.mephi.ru](http://www.library.mephi.ru) (Дата обращения: 12.06.2020).
4. E-learning for Nuclear Newcomers [Электронный ресурс] URL: <https://www.iaea.org/topics/infrastructure-development/e-learning-for-nuclear-newcomers> (Дата обращения: 12.06.2020).

**9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины**

Вид учебных	Организация деятельности студента
-------------	-----------------------------------

занятий	
Лекция	<p>Лекции являются основной формой обучения в высшем учебном заведении. В ходе лекционного курса проводится изложение современных научных материалов. В тетради для конспектирования лекций должны быть поля, где по ходу конспектирования делаются необходимые пометки. В конспектах рекомендуется применять сокращения слов, что ускоряет запись.</p> <p>При изучении дисциплины следует помнить, что лекционные занятия являются направляющими в большом объеме научного материала. Большую часть знаний студент должен набирать самостоятельно из учебников и научной литературы. На мультимедийных лекциях не надо стремиться сразу переписывать всё содержимое слайдов. Необходимо научиться сопоставлять устное повествование преподавателя с наглядным представлением, после чего следует законспектировать важные факты в рабочей тетради. Тем более, не стоит полностью переписывать таблицы, перерисовывать схемы и графики мультимедийных лекций. Лучше всего, если вы пометите в конспекте лекций два противоположных или взаимодополняющих примера.</p> <p>Вопросы, возникшие у Вас в ходе лекций, рекомендуется записывать на полях и после окончания лекции обратиться за разъяснениями к преподавателю.</p> <p>Необходимо активно работать с конспектом лекции: после окончания лекции рекомендуется перечитать свои записи, внести поправки и дополнения на полях. Конспекты лекций рекомендуется использовать при подготовке к лабораторным занятиям, экзамену, при выполнении самостоятельных заданий.</p>
Практические занятия	<p>При подготовке к практическим занятиям необходимо ознакомиться с литературой, рекомендованной преподавателем, и конспектом лекций. Необходимо разобраться в основных понятиях.</p>
Лабораторные занятия	<p>При подготовке к лабораторным занятиям необходимо ознакомиться с литературой, рекомендованной преподавателем, и конспектом лекций. Необходимо разобраться в основных понятиях.</p>
Самостоятельная работа	<p>Согласно учебному плану дисциплины «Ядерно-физические технологии и РФП» ряд вопросов общей программы вынесен для самостоятельной проработки с последующей проверкой полученных знаний и их закрепления на практических занятиях.</p> <p>Самостоятельная работа включает изучение литературы,</p>

	поиск информации в сети Интернет, написание реферата и курсовой работы, подготовку к практическим занятиям и экзамену.
Подготовка к экзамену	При подготовке к экзамену необходимо ориентироваться на конспекты лекций, рекомендуемую литературу и др. Подготовку к экзамену необходимо начинать заранее. Следует проанализировать научный и методический материал учебников, учебно-методических пособий, конспекты лекций. Знать формулировки терминов и уметь их чётко воспроизводить. Ответы на вопросы из примерного перечня вопросов для подготовки к экзамену лучше обдумать заранее. Ответы построить в чёткой и лаконичной форме.

## **10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

### ***10.1. Перечень информационных технологий***

- Компьютерное тестирование по итогам изучения разделов дисциплины.
- Проверка домашних заданий и консультирование посредством электронной почты.
- Использование слайд-презентаций при проведении лекционных и практических занятий.
- Интерактивное общение с помощью программы skype.

### ***10.2. Перечень программного обеспечения***

При осуществлении образовательного процесса по данной дисциплине используется следующее ПО: ScientificView, SciLab, OpenOffice, Прог.-лаб. комплекс «ППЭ», MATHCAD, AUTOCAD, Экспериментальная база данных о вольтамперных характеристиках ТЭП отделения ЯФиТ ИАТЭ НИЯУ МИФИ.

## **11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

Используемые при изучении дисциплины специализированные лаборатории и кабинеты с оборудованием, компьютерные классы, лекционные аудитории, оснащенные мультимедийным оборудованием и т.п., имеющиеся в ИАТЭ НИЯУ МИФИ:

**Лаборатория прямых методов преобразования ядерной энергии**

Компьютеризованное рабочее место – 10 шт.

Программные лабораторные комплексы

Принтер -1  
 Сканер -1  
 Мультимедиапроектор – 1  
 Установка по генерации газовой-пылевой плазмы -1  
 Газонагреваемый термоэмиссионный модуль  
 Установки АТИТ-500-ТЭУ500

## 12. Иные сведения и (или) материалы

### 12.1. Перечень образовательных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Применяемые на лекционных занятиях:

- Технология концентрированного обучения (лекция-беседа, привлечение внимания студентов к наиболее важным вопросам темы, содержание и темп изложения учебного материала определяется с учетом особенностей студентов)

- Технология активного обучения (визуальная лекция с разбором конкретных ситуаций)

Применяемые на практических занятиях:

- Технология активного обучения (визуальный семинар с разбором конкретных задач).

- Технология интерактивного обучения (мозговой штурм: группа получает задание, далее предполагается высказывать как можно большее количество вариантов решения, затем из общего числа высказанных идей отбираются наиболее удачные, которые могут быть использованы на практике).

- Технология деловых игр (имитация соревновательной игры: малые группы получают одинаковые задания и выполняют их на скорость и качество, которое оценивается преподавателем).

№ пп	Наименование темы дисциплины	Вид занятий (лекция, семинары, практические занятия)	Количество ак. ч.	Наименование активных и интерактивных форм проведения занятий
1	Технология ядерного реактивного двигателя в энергетических установках машинного преобразования тепловой энергии в электрическую.	Лекция	2	Лекция-беседа

2	Способы подачи и регулирования давления паров рабочего тела в термоэмиссионных преобразователях, электрогенерирующих каналах (ЭГК) и реакторных установках различного назначения.	Лекция	3	Лекция-беседа
3	Методы исследования, техника измерения характеристик ТЭП, ЭГК и ЯЭУ на этапах НИОКР при проведении внереакторных и реакторных испытаний.	Лекция и семинар	6	Лекция-беседа/ Технология активного обучения
4	Топливные элементы – физико-технические основы электрогенерирующих систем водородной энергетики	Лекция и семинар	4	Лекция-беседа/ Технология активного обучения
5	Космическая солнечная энергетика	Лекция и семинар	4	Лекция-беседа/ Технология активного обучения
6	Термоэмиссионная космическая ЯЭУ мегаваттной электрической мощности	Лекция и семинар	4	Лекция-беседа/ Технология активного обучения
7	Эмиссионно-адсорбционные процессы на электродах ЭГК. Требования к выбору эффективных электродных материалов	Лекция и семинар	4	Лекция-беседа/ Технология активного обучения

8	Инженерная модель ВАХ ТЭП «SET». Создание экспериментальных баз данных о ВАХ ТЭП и ЭГК	Лекция и семинар	4	Лекция-беседа/ Технология активного обучения
9	Рабочий процесс и физико-технические основы	Лекция и семинар	4	Лекция-беседа/ Технология активного обучения

**12.2. Формы организации самостоятельной работы обучающихся (темы, выносимые для самостоятельного изучения; вопросы для самоконтроля; типовые задания для самопроверки)**

**Перечень тем для самостоятельной работы студентов**

1. Практические занятия по теме 1.2
2. Практические занятия по теме 1.3
3. Практические занятия по теме 1.4
4. Практические занятия по теме 1.5
5. Практические занятия по теме 1.6
6. Практические занятия по теме 1.7
7. Практические занятия по теме 2.1
8. Практические занятия по теме 2.2
9. Практические занятия по теме 2.3
10. Практические занятия по теме 2.4
11. Практические занятия по теме 2.5
12. Практические занятия по теме 3.1
13. Практические занятия по теме 3.2
14. Практические занятия по теме 3.3
15. Практические занятия по теме 3.4
16. Практические занятия по теме 3.5
17. Практические занятия по теме 3.6
18. Практические занятия по теме 3.7
19. Практические занятия по теме 3.8

**КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ ЗНАНИЙ**

**Физические основы прямого преобразования энергии**

1. Какие типы преобразователей, работающие в термодинамическом цикле прямого преобразования тепловой энергии в электрическую, вам известны?
2. Какие три основных эффекта лежат в основе термоэлектрического преобразования энергии?
3. Какие основные характеристики полупроводниковых материалов входят в выражение для добротности термоэлектрической батареи (ТЭБ)?
4. Как добротность влияет на КПД ТЭБ?

5. Для чего используется сегментирование термоэлектрического элемента?
6. Для чего используется каскадирование ТЭБ?
7. КПД какой ТЭБ выше – однокаскадной или двухкаскадной?
8. Какие примеры использования двухкаскадной ТЭБ вам известны?
9. Какие три основных стадии включает технологический процесс изготовления ТЭБ?
10. Кто и когда открыл явление термоэлектронной эмиссии?
11. Какой закон лежит в основе основного уравнения термоэмиссионного преобразования энергии?
12. Каков физический смысл дебаевского радиуса в ТЭП?
13. Какой основной физический процесс в ТЭП описывает формула Саха-Ленгмюра?
14. Что такое вакуумная работа выхода электронов электродов ТЭП?
15. В каких единицах измеряется работа выхода электродов ТЭП?
16. Что означает термин «цезиевая работа выхода» электрода ТЭП?
17. Почему цезий используется в качестве рабочего тела ТЭП?
18. Как зависит работа выхода электрода ТЭП в парах цезия для степени его покрытия цезием? Что описывают «кривые Рейзора»?
19. Какой основной физический процесс в ТЭП описывает уравнение Ричардсона-Дешмана?
20. Каков физический смысл постоянной Ричардсона  $\bar{R}_E$  в уравнении Ричардсона-Дешмана?
21. Каков основной механизм ионизации пара цезия в диффузионном режиме работы ТЭП?
22. Какие основные требования предъявляются к эмиттеру ТЭП, работающего в диффузионном режиме?
23. Каков основной механизм ионизации пара цезия в дуговом режиме работы ТЭП?
24. Что такое вольтамперная характеристика (ВАХ) ТЭП?
25. Что вам известно об основных характерных точках дуговой ВАХ ТЭП?
26. Как зависит изотермическая ВАХ дугового режима ТЭП от вакуумной работы выхода эмиттера?
27. Как зависит изотермическая ВАХ дугового режима ТЭП от давления паров цезия в межэлектродном зазоре?
28. Каковы основные механизмы переноса тепла с эмиттера на коллектор в дуговом режиме работы ТЭП?
29. Что такое электродный КПД ТЭП?
30. Что такое барьерный индекс ТЭП и в каких единицах он измеряется?
31. Что происходит с величиной электродного КПД ТЭП при уменьшении барьерного индекса?
32. Что такое полный (системный) КПД ТЭП?
33. Какой КПД ТЭП выше – электродный или полный (системный)?
34. Каков механизм влияния примеси водорода в межэлектродном зазоре на работу ТЭП?
35. Каков механизм влияния примеси инертных газов в межэлектродном

зазоре на работу ТЭП?

### **Энергетические установки прямого преобразования энергии**

36. Когда и где была создана первая в мире экспериментальная ЯЭУ с термоэлектрическим преобразованием тепловой энергии в электрическую?
37. Какие термоэлектрические материалы использовались в ЯЭУ «Ромашка»?
38. Когда и где была создана и впервые запущена в космос ЯЭУ с термоэлектрическим преобразованием энергии?
39. Назовите электрическую мощность и КПД космической ЯЭУ SNAP-10A?
40. Когда и где была создана космическая ЯЭУ «Бук»?
41. Какой тип ядерного реактора был использован в ЯЭУ «Бук»?
42. Назовите электрическую мощность и КПД космической ЯЭУ «Бук»?
43. Какие факторы ограничивали ресурс ЯЭУ «Бук»?
44. Сколько ЯЭУ «Бук» было запущено в космос?
45. Какие термоэмиссионные космические ЯЭУ первого поколения вам известны?
46. В чем преимущество термоэмиссионных ЯЭУ перед термоэлектрическими?
47. Какой тип ядерного реактора был использован в ЯЭУ «Топаз»?
48. Что такое ЭГК?
49. Чем отличаются ЭГК ЯЭУ «Топаз» и «Енисей»?
50. Чем заполнен межэлектродный зазор ЭГК ЯЭУ «Топаз» в рабочем режиме?
51. Назовите электрическую мощность и КПД космической ЯЭУ «Топаз»?
52. Назовите материал эмиттеров ЭГК ЯЭУ «Топаз», запущенных в космос?
53. Какие факторы ограничивают ресурс термоэмиссионных космических ЯЭУ?
54. Какие технические требования предъявляются к космическим ЯЭУ второго поколения?
55. Какие примеры разработки космических ЯЭУ второго поколения вам известны?
56. Каковы преимущества и недостатки термоэмиссионного и машинного (газотурбинного) способов преобразования энергии в ЯЭУ второго поколения субмегаваттного и мегаваттного диапазона электрической мощности?
57. Приведите примеры коммерческого использования энергоустановок прямого преобразования энергии с ядерным и неядерным нагревом.

### ***12.3. Краткий терминологический словарь***

Ядерная энергетическая установка (ЯЭУ), НИОКР, ОКР, аванпроект (техническое предложение), эскизный проект, рабочий проект, рабочая конструкторская документация, предреакторные и реакторные испытания, термоэмиссионная ЯЭУ (ТЯЭУ), термоэмиссионный реактор-

преобразователь (ТРП), электрогенерирующий канал (ЭГК), термоэмиссионный преобразователь, термоэмиссионные ключевые элементы, инверторы (преобразователи DC-AC), термоэмиссионные выпрямители переменного тока (AC-DC), бета-вольтаические ядерные батареи, тепловые трубы, ядерный реактивный движитель, газоохлаждаемый реактор, ядерная энергодвигательная установка, цикл Брайтона, генераторы паров рабочего тела (цезия), магнитное давление, расчетные коды для оптимизации выходных характеристик ЭГК, электронная оже-спектроскопия, контактная разность потенциалов, испытания ТЭП и ЭГК при моделировании электронагревом, реакторные испытания ЭГК в составе петлевого канала (ПК), наземные испытания ТЯЭУ, водородная энергетика, космическая солнечная энергетика, термоэмиссионные ЯЭУ мегаваттной электрической мощности, технологические интерфейсы космических ЯЭУ.

Программу составил:

Г.Э. Лазаренко, к.т.н., доцент, доцент отделения ЯФиТ.

Рецензент:

В.Л. Шаблов, д.ф.-м.н., профессор отделения ЯФиТ.

