



## **1. Цели освоения дисциплины**

Получение знаний и навыков экспертной деятельности в области физики и техники ядерных энергетических установок, предназначенных для производства высокопотенциального тепла, которое используется для производства водорода в промышленно значимых количествах, для конверсии углеводородов в различные энергоносители и в сырье для неорганического и органического синтеза.

## **2. Место дисциплины в структуре ООП**

Данная дисциплина относится к специальным дисциплинам базовой магистерской подготовки М1.Б. Пререквизитами дисциплины являются следующие дисциплины: М1.Б3, М1.Б4, а кореквизитами: М1.В2.

## **3. Результаты освоения дисциплины**

В процессе освоения дисциплины у студентов развиваются следующие компетенции:

### *1. Универсальные (общекультурные) -*

способность использовать на практике навыки и умения в организации научно-исследовательских и научно-производственных работ в области использования ядерной энергии;

готовность к принятию ответственности за свои решения в рамках профессиональной компетенции, способностью принимать нестандартные решения, разрешать проблемные ситуации.

### *2. Профессиональные -*

*для научно-исследовательской деятельности:*

способность к созданию теоретических и математических моделей процессов преобразования внутриядерной энергии в тепловую и электрическую энергию;

готовность к созданию новых методов расчета установок преобразования ядерной энергии в тепловую и электрическую энергию;

способность применять экспериментальные, теоретические и компьютерные методы исследований в области использования ядерной энергии;

способность самостоятельно выполнять экспериментальные исследования процессов преобразования внутриядерной энергии в тепловую и электрическую энергию;

способность оценивать эффективность новых ядерных энергетических установок и технологий, составлять и анализировать сценарии развития энергетических технологий;

*для проектной деятельности:*

способность провести расчет, концептуальную и проектную проработку современных установок преобразования внутриядерной энергии в тепловую и электрическую энергию;

готовность применять методы оптимизации при проектировании ядерных энергетических установок;

способность формулировать технические задания, использовать информационные технологии и пакеты прикладных программ при проектировании и расчете технических и технологических систем с ядерными источниками тепла;

*для экспертной деятельности:*

способность к анализу технических и расчетно-теоретических разработок в области преобразования внутриядерной энергии в тепловую и электрическую энергию;

*для производственно-технологической деятельности:*

готовность решать инженерно-физические задачи с помощью пакетов прикладных программ;

способность эксплуатировать, проводить испытания и ремонт современных ядерных энергетических установок;

*для организационно-управленческой деятельности:*

способность анализировать технологический процесс как объект управления.

В результате освоения дисциплины студент должен

**знать:**

- физические основы процессов преобразования энергии деления ядер в высокопотенциальное тепло, переносимое различными теплоносителями с температурой выше 700 оС;
- физические и технические особенности высокотемпературных ядерных реакторов;
- основные характеристики процессов, обеспечивающих использование высокопотенциального тепла для конверсии углеводородов;
- основные характеристики процессов, обеспечивающих использование высокопотенциального тепла для производства водорода в промышленно значимых количествах;
- основные методы и техники прямого преобразования высокопотенциального тепла в электрическую энергию;
- перспективы использования высокопотенциального тепла, получаемого с помощью ядерных реакторов, в металлургической, химической, нефтехимической промышленности и в других энергоемких сферах человеческой деятельности.

**уметь:**

- определять все основные параметры и конструкционные особенности высокотемпературного ядерного реактора в зависимости от параметров технологического процесса, который организован на использовании производимого ядерным реактором высокопотенциального тепла;
- определять физические и технические характеристики ядерных реакторов, предназначенных для производства высокопотенциального тепла;
- определять возможности, преимущества и недостатки использования ядерных энергетических установок для производства высокопотенциального тепла, используемого в различных технологических процессах.

**иметь опыт:**

– проведения нейтронно-физических и термодинамических расчетов, определяющих основные параметры сложных технических систем, предназначенных для преобразования энергии деления ядер в высокопотенциальное тепло и организации энергоемких технологических процессов.

#### **4. Структура и содержание дисциплины**

##### **4.1 Дисциплина содержит следующие разделы:**

##### **Модуль 1. Введение**

Концепция атомно-водородной энергетики. Высокотемпературные реакторы. Паровая конверсия метана. Топливные элементы. Термоэлектричество.

##### **Модуль 2. Высокотемпературные газоохлаждаемые ядерные реакторы**

Физико-технические особенности ВТГР. Традиционные и альтернативные конструкции ВТГР. Шаровые и призматические твэлы ВТГР. Формирование топливных загрузок АЗ ВТГР. Безопасность ВТГР. Эффекты реактивности ВТГР.

##### **Модуль 3. Способы получения водорода и его использование**

Водород – свойства, применение. Разложение воды, электролиз, паровая конверсия углеводородов. Производство водорода: технологии и технические системы. Сжигание водорода и его использование в двигательных энергетических установках. Электрохимические генераторы тока и топливные водородные элементы.

##### **Модуль 4. Топливные водородные элементы**

Устройство и принцип действия топливных водородных элементов (ТВЭ). Процессы, протекающие в ТВЭ. Мембраны, применяемые в ТВЭ. Анодные и катодные материалы ТВЭ. Катализаторы, используемые в ТВЭ. Эксплуатационные характеристики ТВЭ. Направления совершенствования ТВЭ.

##### **Модуль 5. Термоэлектрические генераторы**

Физические явления и эффекты, обеспечивающие преобразование потоков тепла в электрический ток. Термоэлектрический элемент (преобразователь), каскад термоэлектрических элементов. Процессы, протекающие в каскаде, КПД термоэлектрического генератора. Термоэлектрические генераторы тока и напряжения. Термоэлектрические генераторы с ядерным источником тепла.

##### **Модуль 6. Перспективы использования ядерных энергетических установок в энергоемких технологических процессах**

Технологические схемы подвода тепла (тепловых потоков) в металлургических и высокотемпературных химических производствах.

Требуемые и оптимальные “параметры тепла” для организации различных энергоемких технологических процессов. Управление “параметрами тепла”, отводимого от высокотемпературных ядерных реакторов.

## 4.2 Структура дисциплины по разделам и видам учебной деятельности приведена в табл. 1.:

Таблица 1.

### Структура дисциплины по разделам и формам организации обучения

Название раздела/темы	Аудиторная работа (час)			СРС (час)	Колл, Контр.Р.	Итого (час)
	Лекции	Практ./сем. Занятия	Лаб. зан.			
<b>Модуль 1.</b> Введение. Термодинамика и термоэлектричество. Ядерно-водородная энергетика	4	2	6	20		32
<b>Модуль 2.</b> Высокотемпературные газоохлаждаемые ядерные реакторы	4	4	6	20		34
<b>Модуль 3.</b> Способы получения водорода и его использование	4	6	6	20	+	36
<b>Модуль 4.</b> Топливные водородные элементы	4	4	4	28	+	40
<b>Модуль 5.</b> Термоэлектрические генераторы	4	4	10	28	+	46
<b>Модуль 6.</b> Перспективы использования ядерных энергетических установок в энергоемких технологических процессах	4	4		20		28

## 4.3 Распределение компетенций по разделам дисциплины

Распределение по разделам дисциплины планируемых результатов обучения по основной образовательной программе, формируемых в рамках данной дисциплины и указанных в пункте 3.

Таблица 2.

Распределение по разделам дисциплины планируемых результатов обучения

№	Формируемые компетенции	Разделы дисциплины					
		1	2	3	4	5	6
1.	3.1.1		+		+	+	
2.	3.1.2.		+		+		
3.	3.1.3.		+		+	+	
4.	3.1.4.			+			
5.	3.1.5.	+					+
6.	3.1.6	+					+
7.	У.1.1.			+			+
8.	У.1.2.			+		+	
9.	У.1.3.		+		+	+	
10.	У.1.4.	+					
11.	В.1.1.			+			

## 5. Образовательные технологии

Достижение планируемых результатов освоения модуля обеспечиваются с использованием следующих образовательных технологий табл.2:

Таблица 2.

Методы и формы организации обучения (ФОО)

ФОО	Лекц.	Лаб. раб.	Пр. зан./ Сем.	Тр*., Мк**	СРС	К. пр.
Методы						
<i>IT-методы</i>						
Работа в команде		+				
<i>Case-study</i>						
Игра						
Методы проблемного обучения.			+		+	
Обучение на основе опыта	+		+			
Опережающая самостоятельная работа		+	+		+	
Проектный метод	+					
Поисковый метод	+				+	
Исследовательский метод		+				
Другие методы						

\* - Тренинг, \*\* - Мастер-класс

## 6. Организация и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов

**6.1 Текущая СРС**, направленная на углубление и закрепление знаний студента, развитие практических умений.

Текущая самостоятельная работа включает следующие виды работ:

- работа с лекционным материалом, поиск и обзор литературы и электронных источников информации по индивидуально заданной проблеме курса,
- опережающая самостоятельная работа,
- перевод текстов с иностранных языков,
- изучение тем, вынесенных на самостоятельную проработку,
- подготовка к контрольной работе, к зачету, экзамену.

## **Темы рефератов для самостоятельной подготовки**

1. Управляемый термоядерный синтез. Проблемы, пути решения.
2. Сравнительный анализ классических и альтернативных методов получения водорода.
3. Мобильные атомные электростанции.
4. Сравнительный анализ и проблемы использования водородных топливных элементов в малой энергетике.
5. Ядерные ракетные двигатели.
6. Преимущества и недостатки высокотемпературных ядерных реакторов.
7. Термоэлектрические генераторы на базе малогабаритных ядерных энергетических установок.

**6.2 Творческая проблемно-ориентированная самостоятельная работа (ТСР)**, ориентированная на развитие интеллектуальных умений, комплекса универсальных (общекультурных) и профессиональных компетенций, повышение творческого потенциала студентов.

ТСР может включать следующие виды работ по основным проблемам курса:

- поиск, анализ, структурирование и презентация информации,
- исследовательская работа и участие в научных студенческих конференциях, семинарах и олимпиадах;
- анализ научных публикаций по заранее определенной преподавателем теме;
- анализ статистических и фактических материалов по заданной теме, проведение расчетов, составление схем и моделей на основе статистических материалов.

## **6.3 Контроль самостоятельной работы**

Оценка результатов самостоятельной работы организуется как единство двух форм: самоконтроль и контроль со стороны преподавателей.

## **6.4 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов**

1. Солотин М.И. Состояние и перспектива развития ЯТЦ мировой и российской ядерной энергетики. Ж. АЭ, т. 98, вып. 6, июнь 2005.
2. 4. Коллиер Д., Хьюит Д. Введение в ядерную энергетику: пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1989
3. 5. Кесслер. Ядерная энергетика. М.: Энергоатомиздат, 1986.
4. Крамеров А.Я., Шевелев Я.В. Инженерные расчеты ядерных реакторов. М.: ЭА, 1984. 736 с.
5. Владимиров В.И. Практические задачи по эксплуатации ядерных реакторов. М.: ЭА, 1986. 300 с.
6. Справочник по ядерным энерготехнологиям: Пер. с англ./ Ф.Ран, А.Адамантиадес, Дж.Кентон, Ч.Браун; Под ред. В.А.Легасова. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 752 с.

7. Карпов В.А. Топливные циклы и физические особенности высокотемпературных реакторов. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 128с. (Серия: Физика ядерных реакторов. Вып.27).

### **7. Средства (ФОС) текущей и итоговой оценки качества освоения модуля (дисциплины)**

Текущий и итоговый контроль результатов изучения модуля осуществляется путем проведения контрольных работ, устных опросов, выставлением рейтинговых баллов за выполнение заданий, предусмотренных данной программой. Итоговый контроль осуществляется принятием зачета и экзамена.

#### **Содержание контрольных работ (примеры условий задач)**

##### **Контрольная работа №1**

1. Определить годовой расход  $U^{235}$  на атомной электростанции мощностью 1 ГВт, полагая К.П.Д. 30%
2. Оценить количество (массу) газа (4%  $CO_2$ , 36%  $CO$ , 57,6%  $H_2$ , 0,4%  $CH_4$ , 2%  $N_2$ ), получаемого при высокотемпературной кислородной некаталитической конверсии метана при температуре  $1400^\circ C$  и давлении  $3 \text{ Мн/м}^2$ . Газ занимает объем 40 л.

##### **Контрольная работа №2**

1. Записать уравнения электрохимических процессов, протекающих в топливных элементах: РКТЭ, ТОТЭ. Указать носители заряда для каждого типа топливных элементов.
2. Определить плотность смеси водорода массой 4 г. и кислорода массой 32 г. при температуре  $7^\circ C$  и давлении 700 мм рт. ст.

##### **Контрольная работа №3**

1. Воспользовавшись формулой для наибольшего КПД термоэлектрической батареи, получить его предельное значение (неограниченно большое количество каскадов).
2. Определить потенциал катода, при котором на нем начнется выделение водорода, для случаев кислого и щелочного растворов, никелевого и палладиевого электродов, и температур 300 и 500 К при плотности тока 1 А. Воспользоваться эмпирической зависимостью Тафеля.

#### **Перечень вопросов текущего и итогового контроля:**

##### **ВОПРОСЫ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ**

1. Современное состояние и перспективы развития атомной энергетики в мире.

2. Экологические проблемы, связанные с развитием атомной энергетики.
3. Уравнения теплопереноса и теплообмена.
4. Физико-технические особенности ВТГР.
5. Безопасность ВТГР.
6. Общие характеристики установки ГТ-МГР.
7. Микротвэл, топливный компакт.
8. Рекуператор: устройство, назначение.
9. Газовая турбина: устройство, назначение.
10. Термодинамический цикл газотурбинной установки.
11. Типы и разновидности высокотемпературных ядерных реакторов.
12. Управление “параметрами тепла”, отводимого от высокотемпературных ядерных реакторов.
13. Электрохимический генератор: устройство, назначение, материалы.
14. Физические явления и эффекты, обеспечивающие преобразование потоков тепла в электрический ток.
15. Термоэлектрический генератор: устройство, назначение.
16. Материалы термоэлектрического генератора, его КПД.
17. Термоэлектрические генераторы тока и напряжения.
18. Термоэлектрические генераторы с ядерным источником тепла.
19. Топливный водородный элемент: устройство, назначение, материалы.
20. Мембраны, применяемые в ТВЭ.
21. Катализаторы, используемые в ТВЭ.
22. Уравнения химических процессов, протекающих в топливном водородном элементе.
23. Эффект Зеебека
24. Эффект Пельтье.
25. Эффект Томсона.
26. Наибольший КПД и наибольшая мощность термоэлектрического элемента.
27. Структура процедуры расчета параметров топливного водородного элемента.

28. Структура процедуры расчета параметров термобатареи.
29. Установка “ТОПАЗ”: устройство, назначение, параметры, опыт эксплуатации.

## ВОПРОСЫ ВЫХОДНОГО КОНТРОЛЯ

1. Концепция атомно-водородной энергетики.
2. Высокотемпературные реакторы.
3. Паровая конверсия метана.
4. Топливные элементы.
5. Термоэлектричество.
6. Высокотемпературные газоохлаждаемые ядерные реакторы
7. Физико-технические особенности ВТГР.
8. Традиционные и альтернативные конструкции ВТГР.
9. Шаровые и призматические твэлы ВТГР.
10. Формирование топливных загрузок АЗ ВТГР.
11. Безопасность ВТГР.
12. Эффекты реактивности ВТГР.
13. Способы получения водорода и его использование
14. Водород – свойства, применение.
15. Разложение воды, электролиз, паровая конверсия углеводородов.
16. Производство водорода: технологии и технические системы.
17. Сжигание водорода и его использование в двигательных энергетических установках.
18. Электрохимические генераторы тока и топливные водородные элементы.
19. Топливные водородные элементы
20. Устройство и принцип действия топливных водородных элементов (ТВЭ).
21. Процессы, протекающие в ТВЭ.
22. Мембраны, применяемые в ТВЭ.
23. Анодные и катодные материалы ТВЭ.
24. Катализаторы, используемые в ТВЭ.

25. Эксплуатационные характеристики ТВЭ.
26. Направления совершенствования ТВЭ.
27. Термоэлектрические генераторы
28. Физические явления и эффекты, обеспечивающие преобразование потоков тепла в электрический ток.
29. Термоэлектрический элемент (преобразователь), каскад термоэлектрических элементов.
30. Процессы, протекающие в каскаде, КПД термоэлектрического генератора.
31. Термоэлектрические генераторы тока и напряжения.
32. Термоэлектрические генераторы с ядерным источником тепла.
33. Перспективы использования ядерных энергетических установок в энергоемких технологических процессах
34. Технологические схемы подвода тепла (тепловых потоков) в металлургических и высокотемпературных химических производствах.
35. Требуемые и оптимальные “параметры тепла” для организации различных энергоемких технологических процессов.
36. Управление “параметрами тепла”, отводимого от высокотемпературных ядерных реакторов.

## ВОПРОСЫ ИТОГОВОГО КОНТРОЛЯ

1. Концепция атомно-водородной энергетики. Высокотемпературные реакторы. Паровая конверсия метана. Топливные элементы. Термоэлектричество.
2. Высокотемпературные газоохлаждаемые ядерные реакторы. Физико-технические особенности ВТГР. Традиционные и альтернативные конструкции ВТГР.
3. Шаровые и призматические твэлы ВТГР. Формирование топливных загрузок АЗ ВТГР. Безопасность ВТГР. Эффекты реактивности ВТГР.
4. Способы получения водорода и его использование. Водород – свойства, применение.

5. Разложение воды, электролиз, паровая конверсия углеводов. Производство водорода: технологии и технические системы. Сжигание водорода и его использование в двигательных энергетических установках.
6. Электрохимические генераторы тока и топливные водородные элементы.
7. Топливные водородные элементы. Устройство и принцип действия топливных водородных элементов (ТВЭ).
8. Процессы, протекающие в ТВЭ. Мембраны, применяемые в ТВЭ. Анодные и катодные материалы ТВЭ. Катализаторы, используемые в ТВЭ. Эксплуатационные характеристики ТВЭ.
9. Направления совершенствования ТВЭ.
10. Термоэлектрические генераторы.
11. Физические явления и эффекты, обеспечивающие преобразование потоков тепла в электрический ток.
12. Термоэлектрический элемент (преобразователь), каскад термоэлектрических элементов. Процессы, протекающие в каскаде, КПД термоэлектрического генератора.
13. Термоэлектрические генераторы тока и напряжения. Термоэлектрические генераторы с ядерным источником тепла.
14. Перспективы использования ядерных энергетических установок в энергоемких технологических процессах. Технологические схемы подвода тепла (тепловых потоков) в металлургических и высокотемпературных химических производствах.
15. Требуемые и оптимальные “параметры тепла” для организации различных энергоемких технологических процессов. Управление “параметрами тепла”, отводимого от высокотемпературных ядерных реакторов.

## **8. Учебно-методическое и информационное обеспечение модуля (дисциплины)**

### **Учебники (основная литература)**

1. Крамеров А.Я., Шевелев Я.В. Инженерные расчеты ядерных реакторов. М.: ЭА, 1984. 736 с.
2. Владимиров В.И. Практические задачи по эксплуатации ядерных реакторов. М.: ЭА, 1986. 300 с.
3. Справочник по ядерным энерготехнологиям: Пер. с англ./ Ф.Ран, А.Адамантиадес, Дж.Кентон, Ч.Браун; Под ред. В.А.Легасова. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 752 с.
4. Карпов В.А. Топливные циклы и физические особенности высокотемпературных реакторов. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 128с. (Серия: Физика ядерных реакторов. Вып.27).

### **Учебно-методические пособия, указания и т.д.**

1. Кошелев Ф. П., Шаманин И.В. Нейтронно-физический и теплогидравлический расчёт реактора на тепловых нейтронах (часть 1) (учебное пособие) Томск: Изд.-во ТПУ, 1996 - 80 с.
2. Кошелев Ф.П., Шаманин И.В., Колпаков Г.Н. Нейтронно-физический и теплогидравлический расчёт реактора на тепловых нейтронах (часть 2) (учебное пособие) Томск: Изд.-во ТПУ, 1997 - 75 с.
3. Алтухов Д.Е., Кошелев Ф.П., Шаманин И.В. Расчёт нестационарных и переходных нейтронно- физических процессов в реакторе на тепловых нейтронах (учебное пособие) Томск: Изд.-во ТПУ, 1998 - 125 с.
4. Алтухов Д. Е., Шаманин И.В. Лабораторный практикум по теплофизике активной зоны ядерного реактора. (учебное пособие) Томск: ТПУ, 2000. Пер. №123 от 16.06. 2000 - 30 с.
5. Шаманин И.В., Кошелев Ф.П., Ухов А.А. Торий в ядерных реакторах: физика, технология, безопасность (учебное пособие) Томск: Изд.-во ТПУ, 2001 - 125 с.
6. Бойко В.И., Кошелев Ф.П., Шаманин И.В., Колпаков Г.Н. Нейтронно-физический и теплогидравлический расчёт реактора на тепловых нейтронах (учебное пособие, рекомендовано советом УМО направления 651000 “Ядерная физика и технологии”) Томск: Изд.-во Томского государственного университета, 2002 - 192 с.
7. Шидловский В.В., Мещеряков В.Н., Шаманин И.В., Кошелев Ф.П., Демянюк Д.Г. Перспективные ядерные топливные циклы и реакторы нового поколения, часть 2 (учебное пособие) Томск, Изд.-во ТПУ, 2003 - 288 с.
8. Шаманин И.В., Абакумова В.В., Сафарян Т.Л. Введение в теорию ядерных реакторов: учебное пособие по профессиональному английскому языку (учебное пособие) Томск, Изд.-во ТПУ, 2005 - 101 с.

9. Бойко В.И., Демянюк Д.Г., Кошелев Ф.П., Мещеряков В.Н., Шаманин И.В., Шидловский В.В. Перспективные ядерные топливные циклы и реакторы нового поколения (учебное пособие, рекомендовано советом УМО направления 140300 «Ядерная физика и технологии») Томск, Изд-во ТПУ, 2005 - 490 с.
10. Коротких А.Г., Шаманин И.В. Техническая термодинамика и основы термоэлектричества в проектировании ядерных энергетических установок (учебное пособие) Томск, Изд-во ТПУ, 2006 - 111 с.

Программное обеспечение и *Internet*-ресурсы:

<http://www.iaea.org/>

<http://www.inmm.org/>

<http://irmm.jrc.be/>

<http://www.lib.tpu.ru/>

<http://scholar.google.com/>

<http://world-nuclear.org/>

<http://www.eia.doe.gov>

## **9. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Дисциплина имеет материально-техническое обеспечение в виде: компьютерного класса кафедры ТФ ауд. 242 10 уч. корпуса; специализированных расчетных программных комплексов SCALE (4 и 5-я версии) и MCU; приборного обеспечения реакторной площадки УНЦ «Исследовательский ядерный реактор ИРТ-Т», включая оборудование лаборатории № 16 кафедры технической физики.

Программа составлена на основе Стандарта ООП ТПУ в соответствии с требованиями ФГОС и ООП по направлению 14.04.02 «Ядерная физика и технологии» и профилю подготовки «Изотопные технологии и материалы»

Программа одобрена на заседании кафедры ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА ФТИ ТПУ (протокол № 21 от «27» 01 2016 г.).

Профессор кафедры ТФ ФТИ  И.В. Шаманин

Рецензент  В.Ф. Мышкин