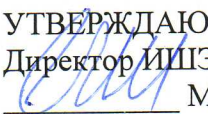


МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ  
Директор ИИПЭ  
 Матвеев А.С.  
«30» 06 2020 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**ПРИЕМ 2017 г.**  
**ФОРМА ОБУЧЕНИЯ очная**

| <b>Ядерные топливные циклы нового поколения</b>      |                                                                            |            |
|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|------------|
| Направление подготовки/ специальность                | <b>14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг</b> |            |
| Образовательная программа (направленность (профиль)) | <b>Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг</b>          |            |
| Специализация                                        | <b>Проектирование и эксплуатация атомных станций</b>                       |            |
| Уровень образования                                  | высшее образование - специалитет                                           |            |
| Курс                                                 | <b>5</b>                                                                   | <b>9</b>   |
| Трудоемкость в кредитах (зачетных единицах)          | <b>6</b>                                                                   |            |
| Виды учебной деятельности                            | Временной ресурс                                                           |            |
| Контактная (аудиторная) работа, ч                    | Лекции                                                                     | <b>32</b>  |
|                                                      | Практические занятия                                                       | <b>32</b>  |
|                                                      | Лабораторные занятия                                                       | <b>16</b>  |
|                                                      | <b>ВСЕГО</b>                                                               | <b>80</b>  |
| Самостоятельная работа, ч                            |                                                                            | <b>136</b> |
| <b>ИТОГО, ч</b>                                      |                                                                            | <b>216</b> |

|                              |                |                              |                         |
|------------------------------|----------------|------------------------------|-------------------------|
| Вид промежуточной аттестации | <b>экзамен</b> | Обеспечивающее подразделение | <b>НОЦ И.Н.Бутакова</b> |
|------------------------------|----------------|------------------------------|-------------------------|

|                                                                                                                |                                                                                      |                      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| Заведующий кафедрой - руководитель НОЦ И.Н. Бутакова<br>на правах кафедры<br>Руководитель ООП<br>Преподаватель |  | <b>Заворин А.С.</b>  |
|                                                                                                                |   | <b>Воробьев А.В.</b> |
|                                                                                                                |   | <b>Воробьев А.В.</b> |

2020 г

## 1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины является формирование у обучающихся определенного ООП (п. 6. Общей характеристики ООП) состава компетенций для подготовки к профессиональной деятельности.

| Код компетенции | Наименование компетенции                                                                                                                                                       | Результаты освоения ООП | Составляющие результатов освоения (дескрипторы компетенций) |                                                                                                                           |  |
|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
|                 |                                                                                                                                                                                |                         | Код                                                         | Наименование                                                                                                              |  |
| ПК(У)-16        | способностью анализировать нейтронно-физические, технологические процессы и алгоритмы контроля, управления и защиты ЯЭУ с целью обеспечения их эффективной и безопасной работы | Р17                     | ПК(У)- 16.В2                                                | Владеет опытом анализа нейтронно-физических процессов в активной зоне ядерных реакторов                                   |  |
|                 |                                                                                                                                                                                |                         | ПК(У)- 16.У2                                                | Умеет анализировать нейтронно-физические процессы в активной зоне ядерных реакторов                                       |  |
|                 |                                                                                                                                                                                |                         | ПК(У)- 16.З2                                                | Знает закономерности протекания нейтронно-физических процессов в активной зоне ядерного реактора                          |  |
| ПК(У)-17        | способностью проводить нейтронно-физические и теплогидравлические расчеты ядерных реакторов в стационарных и нестационарных режимах работы                                     |                         | ПК(У)- 17.В1                                                | Владеет опытом расчета нейтронно-физических процессов в активной зоне ядерных реакторов                                   |  |
|                 |                                                                                                                                                                                |                         | ПК(У)- 17.У1                                                | Умеет рассчитывать нейтронно-физические процессы в активной зоне ядерных реакторов                                        |  |
|                 |                                                                                                                                                                                |                         | ПК(У)- 17.З1                                                | Знает методы расчета нейтронно-физических процессов в активной зоне ядерных реакторов                                     |  |
| ПСК(У)-1.4      | способностью выполнять теплогидравлические, нейтронно-физические и прочностные расчеты узлов и элементов проектируемого оборудования с использованием современных средств      | Р17                     | ПСК(У)-1.4.В4                                               | Владеет опытом использования современных средств расчета нейтронно-физических процессов в активной зоне ядерных реакторов |  |
|                 |                                                                                                                                                                                |                         | ПСК(У)-1.4.У4                                               | Умеет использовать современные средства расчета нейтронно-физических процессов в активной зоне ядерных реакторов          |  |
|                 |                                                                                                                                                                                |                         | ПСК(У)-1.4.З4                                               | Знает современные средства нейтронно-физического расчета активной зоны ядерного реактора                                  |  |

## 2. Место дисциплины (модуля) в структуре ООП

Дисциплина относится к вариативной части Блока 1 учебного плана образовательной программы

## 3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

После успешного освоения дисциплины будут сформированы результаты обучения:

| Планируемые результаты обучения по дисциплине |                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Компетенция |
|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Код                                           | Наименование                                                                                                                                                                                                                                                                                            |             |
| РД1                                           | Знать спектры нейтронов в реакторе и определение их основных характеристик; основы процессов диффузии и замедления нейтронов в различных средах                                                                                                                                                         | ПСК(У)-1.4  |
| РД2                                           | Уметь составлять математические модели процессов изменения нуклидного состава, протекающих в активной зоне реактора; определять физически обоснованные упрощения основных уравнений, в том числе и переноса нейтронов; работать со справочной литературой по нахождению ядерно-физических характеристик | ПСК(У)-1.4  |
| РД3                                           | Владение методикой эксперимента и обработки опытных данных по определению миграционных характеристик нейтрона.                                                                                                                                                                                          | ПК(У)-16    |

Оценочные мероприятия текущего контроля и промежуточной аттестации представлены в календарном рейтинг-плане дисциплины.

#### 4. Структура и содержание дисциплины

##### Основные виды учебной деятельности

| Разделы дисциплины                                                               | Формируемый результат обучения по дисциплине | Виды учебной деятельности | Объем времени, ч. |
|----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------|-------------------|
| Раздел 1. Ядерная энергетическая установка                                       | РД1, РД2                                     | Лекции                    | 4                 |
|                                                                                  |                                              | Практические занятия      | 8                 |
|                                                                                  |                                              | Лабораторные занятия      | 4                 |
|                                                                                  |                                              | Самостоятельная работа    | 26                |
| Раздел 2. Торий                                                                  | РД1                                          | Лекции                    | 6                 |
|                                                                                  |                                              | Практические занятия      | 8                 |
|                                                                                  |                                              | Лабораторные занятия      | 4                 |
|                                                                                  |                                              | Самостоятельная работа    | 26                |
| Раздел 3. Торий для ядерных энергетических установок                             | РД2                                          | Лекции                    | 6                 |
|                                                                                  |                                              | Практические занятия      | -                 |
|                                                                                  |                                              | Лабораторные занятия      | -                 |
|                                                                                  |                                              | Самостоятельная работа    | 16                |
| Раздел 4. Ядерная энергетическая установка                                       | РД1, РД2                                     | Лекции                    | 6                 |
|                                                                                  |                                              | Практические занятия      | -                 |
|                                                                                  |                                              | Лабораторные занятия      | 2                 |
|                                                                                  |                                              | Самостоятельная работа    | 16                |
| Раздел 5. Ядерно-физические параметры ториевого и уранового циклов в сравнении   | РД3                                          | Лекции                    | 6                 |
|                                                                                  |                                              | Практические занятия      | 8                 |
|                                                                                  |                                              | Лабораторные занятия      | 2                 |
|                                                                                  |                                              | Самостоятельная работа    | 26                |
| Раздел 6. Открытый торий-плутониевый ЯТЦ на базе серийных легководных реакторов. | РД3                                          | Лекции                    | 4                 |
|                                                                                  |                                              | Практические занятия      | 8                 |
|                                                                                  |                                              | Лабораторные занятия      | 4                 |
|                                                                                  |                                              | Самостоятельная работа    | 26                |

Содержание разделов дисциплины:

##### Раздел 1. Ядерная энергетическая установка

Основные звенья цикла. Ядерный топливный цикл как энергетическая технология (ЯТЦ). Базовые типы ядерных топливных циклов (уран- плутониевый ЯТЦ; рециркуляция плутония или смешанный уран- плутониевый ЯТЦ; уран-ториевый ЯТЦ). Материалы, используемые в ЯТЦ. Обогащение топлива.

##### Темы лекций:

1. Общие сведения о ядерных энергетических установках.
2. Реакторные установки нового поколения.

##### Темы практических занятий:

1. Сравнительные характеристики реакторов различного типа.
2. Материалы, используемые в ЯТЦ.
3. Обогащение топлива.
4. Базовые типы ядерных топливных циклов

##### Названия лабораторных работ:

1. Моделирование теплообменных процессов в ядерном реакторе.
2. Теплотехническая надежность ядерного реактора.

##### Раздел 2. Торий

Химические свойства тория и его соединений. Распространение тория в природе,

его минералы. Химические свойства тория. Важнейшие химические соединения тория.

Технологии получения соединений тория. Обогащение торийсодержащих руд. Переработка монацитановых концентратов. Методы очистки химических концентратов тория. Получение диоксида тория. Получение галогенидов тория. Получение металлического тория. Металлотермические методы. Электролитические методы получения тория. Методы получения компактного тория.

**Темы лекций:**

3. Общие сведения. Выделение энергии при делении.
4. Коэффициент размножения и нейтронный цикл.
5. Особенности нейтронно-физического расчета реактора.

**Темы практических занятий:**

5. Физико-энергетические характеристики атомных ядер.
6. Плотность потока и интенсивность ионизирующего излучения.
7. Технологии получения соединений тория.
8. Методы получения тория

**Названия лабораторных работ:**

3. Выравнивание энерговыделения в реакторе.
4. Методы приближения температуры на выходе из реактора к максимальной температуре твэла.

|                                                             |
|-------------------------------------------------------------|
| <b>Раздел 3. Торий для ядерных энергетических установок</b> |
|-------------------------------------------------------------|

Ядерные, физические, теплофизические и механические свойства тория. Материалы на основе тория.

Радиационные эффекты. Влияние облучения на металлический торий, на его сплавы, на смешанные керамические соединения.

Коррозионные эффекты.

Радиоактивный распад в торий-урановом топливном цикле и его влияние на радиационную обстановку. Продукты распада  $^{235}\text{U}$  и  $^{228}\text{Th}$ .

Сравнение свойств ядерного топлива на основе урана и тория (оксидное, карбидное, металлическое).

Нейтронно-физические аспекты обращения с уран-ториевыми и плутоний-ториевыми сплавами.

**Темы лекций:**

6. Ядерный топливный цикл как энергетическая технология (ЯТЦ).
7. Базовые типы ядерных топливных циклов. Обогащение топлива.
8. Сравнение свойств ядерного топлива на основе урана и тория (оксидное, карбидное, металлическое).

|                                                   |
|---------------------------------------------------|
| <b>Раздел 4. Ядерная энергетическая установка</b> |
|---------------------------------------------------|

Общие сведения. Выделение энергии при делении. Вероятность процесса деления. Коэффициент деления. Замедление нейтронов. Нейтронный цикл. Утечка нейтронов и критические размеры.

Особенности нейтронно-физического расчета реактора с уран-ториевым топливом.

**Темы лекций:**

9. Химические и физические свойства тория и его соединений.
10. Основные технологии получения тория и его соединений.
11. Особенности нейтронно-физического расчета реактора с уран- ториевым топливом.

**Названия лабораторных работ:**

5. Анализ различных методов получения тория и его соединений.

**Раздел 5. Ядерно-физические параметры ториевого и уранового циклов в сравнении**

Размножающие свойства делящихся элементов уран-ториевого и уран-плутониевого циклов. Ядерно-физические параметры тория и урана- 238. Размножение на быстрых нейтронах. Накопление продуктов деления. Характеристики ториевых систем на тепловых и промежуточных нейтронах.

Расчеты нуклидного состава и характеристик, связанных с выгоранием топлива, образованием продуктов деления и актиноидов. Сечение для нейтронов тепловых энергий, факторы Вескотта.

**Темы лекций:**

12. Влияние облучения на торий и его соединения.
13. Радиоактивный распад в торий-урановом топливном цикле.
14. Нейтронно-физические аспекты обращения с уран-ториевыми и плутоний-ториевыми сплавами.

**Темы практических занятий:**

9. Температурный режим ТВЭЛов с разным ядерным топливом.
10. Накопление продуктов деления
11. Расчеты нуклидного состава и характеристик, связанных с выгоранием топлива
12. Сечение для нейтронов тепловых энергий, факторы Вескотта

**Названия лабораторных работ:**

6. Аппроксимация физико-химических характеристик тория и его соединений.

**Раздел 6. Открытый торий-плутониевый ЯТЦ на базе серийных легководных реакторов**

Организация торий-плутониевого ЯТЦ на базе серийного ВВЭР-1000. Оптимизация схем загрузки и перемещения топлива в торий-плутониевом ЯТЦ.

Смешанная загрузка легководного реактора под давлением, организация открытого торий-плутониевого ЯТЦ.

Дефицит запаздывающих нейтронов в маневренном режиме реактора ВВЭР с плутониевой загрузкой.

**Темы лекций:**

15. Организация торий-плутониевого ЯТЦ на базе реактора ВВЭР-1000.
16. Организация открытого торий-плутониевого ЯТЦ.

**Темы практических занятий:**

13. Оптимизация схем загрузки и перемещения топлива в торий-плутониевом ЯТЦ.
14. Дефицит запаздывающих нейтронов в маневренном режиме реактора ВВЭР с плутониевой загрузкой.
15. Переработка ториевого топлива энергетических реакторов
16. Переработка топлива реакторов HTGR на основе тория

**Названия лабораторных работ:**

7. Распределение температуры по радиусу топливной композиции
8. Гидравлические потери при омывании однофазным теплоносителем.

**5. Организация самостоятельной работы студентов**

Самостоятельная работа студентов при изучении дисциплины предусмотрена в следующих видах и формах:

- Работа с лекционным материалом, поиск и обзор литературы и электронных источников информации по индивидуально заданной проблеме курса;
- Изучение тем, вынесенных на самостоятельную проработку;
- Поиск, анализ, структурирование и презентация информации;
- Перевод текстов с иностранных языков;
- Выполнение домашних заданий, расчетно-графических работ;
- Подготовка к лабораторным работам, к практическим и семинарским занятиям;
- Подготовка к оценивающим мероприятиям;

**6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины****6.1. Учебно-методическое обеспечение****Основная литература:**

1. Красников, П. В. Расчеты физических характеристик ядерных реакторов : учебное пособие / П. В. Красников, С. В. Столотнюк, Я. Д. Столотнюк. — Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. — 95 с. — ISBN 978-5-7038-3852-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/58558> (дата обращения: 08.12.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

**Дополнительная литература:**

1. Тевлин, С. А. Атомные электрические станции с реакторами ВВЭР-1000 : учебное пособие для вузов / Тевлин С. А. - 2-е издание, дополненное. - Москва : МЭИ, 2008. - ISBN 978-5-383-01413-4. - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383014134.html> (дата обращения: 18.12.2020). - Режим доступа : по подписке.
2. Пронкин, Н. С. Обеспечение безопасности хранилищ радиоактивных отходов предприятий ядерного топливного цикла : учебное пособие / Н. С. Пронкин, Р. Б. Шарафутдинов, В. И. Савандер. — Москва : НИЯУ МИФИ, 2011. — 232 с. — ISBN 978-5-7262-1557-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/75762> (дата обращения: 18.12.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

**6.2. Информационное и программное обеспечение**

Internet-ресурсы (в т.ч. в среде LMS MOODLE и др. образовательные и библиотечные ресурсы):

1. Росатом, Госкорпорация (полный цикл в сфере атомной энергетики и промышленности, Москва) – <http://www.rosatom.ru/>
2. «Концерн Росэнергоатом», ОАО (компания, эксплуатирующая АЭС России, Москва) – <http://www.rosenergoatom.ru/>
3. Атомстройэкспорт, ЗАО (строительство и эксплуатация АЭС за рубежом, Москва) – <http://www.atomstrovexport.ru/>
4. ИБРАЭ — Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (Москва) – <http://www.ibrae.ac.ru/>

5. НИКИЭТ им. Н. А. Доллежала (Москва) – <http://www.nik.iet.ru/>

Профессиональные базы данных и информационно-справочные системы доступны по ссылке: <https://www.lib.tpu.ru/html/irs-and-pdb>

Используемое лицензионное программное обеспечение (в соответствии с **Перечнем лицензионного программного обеспечения ТПУ**):

1. Microsoft Word 2010;
2. Microsoft Power Point 2010;
3. Excel;
4. Adobe Acrobat X Pro;
5. CorelDraw X7;
6. Free Pascal;
7. Document Foundation LibreOffice;
8. Cisco Webex Meetings\$ ;
9. Zoom Zoom.

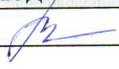
#### **7. Особые требования к материально-техническому обеспечению дисциплины**

В учебном процессе используется следующее лабораторное оборудование для практических и лабораторных занятий:

| <b>№</b> | <b>Наименование специальных помещений</b>                                                                                                                                                              | <b>Наименование оборудования</b>                                                                                                                                                                                          |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.       | Аудитория для проведения учебных занятий всех типов, курсового проектирования, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации 634034, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, 30а, 302 | – Комплект учебной мебели на 42 посадочных мест;<br>– Компьютер - 1 шт.;<br>– Проектор - 1 шт.                                                                                                                            |
| 2.       | Аудитория для проведения учебных занятий всех типов, курсового проектирования, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации 634034, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, 30а,38   | – Комплект учебной мебели на 30 посадочных мест;<br>– Крепление для проектора Perless PRG-UNV - 1 шт.;<br>– Компьютер - 1 шт.;<br>– Проектор - 1 шт.                                                                      |
| 3.       | Аудитория для проведения учебных занятий всех типов, курсового проектирования, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации 634034, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, 30а,31   | – Комплект учебной мебели на 15 посадочных мест;<br>– Шкаф для одежды - 1 шт.;<br>– Шкаф для документов - 1 шт.;Тумба стационарная - 1 шт.;<br>– Стол письменный - 1 шт.;<br>– Компьютер - 16 шт.;<br>– Телевизор - 1 шт. |

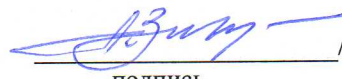
Рабочая программа составлена на основе Общей характеристики образовательной программы по направлению 14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг специализация «Проектирование и эксплуатация атомных станций» (приема 2017 г., очная форма обучения).

Разработчик:

| Должность               | Подпись                                                                           | ФИО           |
|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| Доцент НОЦ И.Н.Бутакова |  | А.В. Воробьев |

Программа одобрена на заседании кафедры АТЭС(протокол от 18.05.2017 г. № 19).

Заведующий кафедрой - руководитель  
НОЦ И.Н. Бутакова на правах кафедры,  
д.т.н, профессор

 /А.С. Заворин/  
подпись

**Лист изменений рабочей программы дисциплины:**

| Учебный год                 | Содержание /изменение                                                                                                                                                                                                                                              | Обсуждено на заседании НОЦ<br>И.Н.Бутакова (протокол) |
|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| 2018/2019<br>учебный<br>год | 1. Обновлено программное обеспечение<br>2. Обновлен состав профессиональных баз данных и информационно-справочных систем<br>3. Обновлено содержание разделов дисциплины<br>4. Обновлен список литературы, в том числе ссылок ЭБС<br>5. Изменена система оценивания | № 11 от 19.06.2018 г.                                 |
|                             | Изменена система оценивания результатов обучения в Томском политехническом университете во всех дисциплинах и практиках, реализация которых начнётся с осеннего семестра 2018/19 учебного года и далее до завершения реализации программы.                         | № 11/1 от 27.08.2018 г.                               |
| 2019/2020<br>учебный<br>год | 1. Обновлено программное обеспечение<br>2. Обновлен состав профессиональных баз данных и информационно-справочных систем<br>3. Обновлено содержание разделов дисциплины<br>4. Обновлен список литературы, в том числе ссылок ЭБС                                   | № 29 от 30.05.2019                                    |
| 2020/2021<br>учебный<br>год | Изменена форма документов основных образовательных программ, в том числе УМК дисциплин                                                                                                                                                                             | Приказ по ТПУ<br>№127-7/об от<br>06.05.2020 г.        |
| 2020/2021<br>учебный<br>год | Внесены изменения в разделы учебно-методическое, информационное, программное обеспечение дисциплины и материально-техническое обеспечение дисциплины                                                                                                               | № 44 от 26.06.2020 г.                                 |