

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

УТВЕРЖДАЮ  
Директор ИШЭ  
 (Матвеев А.С.)  
«30» 06 2020 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**ПРИЕМ 2016 г.**

**ФОРМА ОБУЧЕНИЯ очная**

| Тепломассообмен в энергетическом оборудовании        |                                                                     |         |      |
|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|---------|------|
| Направление подготовки/специальность                 | 14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг |         |      |
| Образовательная программа (направленность (профиль)) | Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг          |         |      |
| Специализация                                        | Проектирование и эксплуатация атомных станций                       |         |      |
| Уровень образования                                  | высшее образование - специалитет                                    |         |      |
| Курс                                                 | 3                                                                   | семестр | 5, 6 |
| Трудоемкость в кредитах (зачетных единицах)          | 11                                                                  |         |      |
| Виды учебной деятельности                            | Временной ресурс                                                    |         |      |
| Контактная (аудиторная) работа, ч                    | Лекции                                                              | 32      |      |
|                                                      | Практические занятия                                                | 32      |      |
|                                                      | Лабораторные занятия                                                | 64      |      |
|                                                      | ВСЕГО                                                               | 128     |      |
| Самостоятельная работа, ч                            |                                                                     | 250     |      |
| ИТОГО, ч                                             |                                                                     | 378     |      |

|                                                                                                                      |                                                                                      |                              |                     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|---------------------|
| Вид промежуточной аттестации                                                                                         | экзамен<br>зачет                                                                     | Обеспечивающее подразделение | НОЦ<br>И.Н.Бутакова |
| Заведующий кафедрой -<br>руководитель<br>НОЦ И.Н. Бутакова<br>на правах кафедры<br>Руководитель ООП<br>Преподаватель |  |                              | Заворин А.С.        |
|                                                                                                                      |   |                              | Воробьев А.В.       |
|                                                                                                                      |  |                              | Раков Ю.Я.          |

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                                                                                |
| 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.B1                                               | Владеет опытом анализа и расчета тепломассообменных процессов в основных системах АС        |
|                 |                                                                                                                                                                           |                         | ПСК(У)-1.4.Y1                                               | Умеет анализировать и рассчитывать тепломассообменные процессы в основных системах АС       |
|                 |                                                                                                                                                                           |                         | ПСК(У)-1.4.31                                               | Знает закономерности и методики расчета тепломассообменных процессов в основных системах АС |

## 2. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина относится к базовой 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                                           | Моделировать и рассчитывать тепломассообменные процессы и установки                                                               | ПСК(У)-1.4  |
| РД2                                           | Проводить экспериментальные исследования тепломассообменных процессов на физических установках                                    | ПСК(У)-1.4  |
| РД3                                           | Проводить конструкторские и поверочные расчеты теплообменников, правильно выбирать тепломасообменное оборудование атомных станций | ПСК(У)-1.4  |

## 4. Структура и содержание дисциплины

### Основные виды учебной деятельности

| Разделы дисциплины                               | Формируемый результат обучения по дисциплине | Виды учебной деятельности | Объем времени, ч. |
|--------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------|-------------------|
| Раздел 1 Введение. Стационарная теплопроводность | РД1                                          | Лекции                    | 6                 |
|                                                  |                                              | Практические занятия      | 6                 |
|                                                  |                                              | Лабораторные занятия      | 8                 |
|                                                  |                                              | Самостоятельная работа    | 32                |

|                                                                                    |     |                        |    |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----|------------------------|----|
| Раздел 2. Нестационарная теплопроводность                                          | РД2 | Лекции                 | 6  |
|                                                                                    |     | Практические занятия   | 6  |
|                                                                                    |     | Лабораторные занятия   | 10 |
|                                                                                    |     | Самостоятельная работа | 52 |
| Раздел 3. Введение в теорию конвективного теплообмена                              | РД2 | Лекции                 | 2  |
|                                                                                    |     | Практические занятия   | 2  |
|                                                                                    |     | Лабораторные занятия   | 4  |
|                                                                                    |     | Самостоятельная работа | 16 |
| Раздел 4. Теория размерностей и теория подобия в задачах конвективного теплообмена | РД2 | Лекции                 | 2  |
|                                                                                    |     | Практические занятия   | 2  |
|                                                                                    |     | Лабораторные занятия   | 4  |
|                                                                                    |     | Самостоятельная работа | 16 |
| Раздел 5. Конвективный теплообмен в однородной среде                               | РД1 | Лекции                 | 4  |
|                                                                                    |     | Практические занятия   | 4  |
|                                                                                    |     | Лабораторные занятия   | 12 |
|                                                                                    |     | Самостоятельная работа | 36 |
| Раздел 6. Теплопередача                                                            | РД2 | Лекции                 | 2  |
|                                                                                    |     | Практические занятия   | 2  |
|                                                                                    |     | Лабораторные занятия   | 4  |
|                                                                                    |     | Самостоятельная работа | 12 |
| Раздел 7. Теплообмен при фазовых превращениях                                      | РД2 | Лекции                 | 2  |
|                                                                                    |     | Практические занятия   | 2  |
|                                                                                    |     | Лабораторные занятия   | 4  |
|                                                                                    |     | Самостоятельная работа | 16 |
| Раздел 8. Основные положения теплового расчета теплообменных аппаратов.            | РД2 | Лекции                 | 2  |
|                                                                                    |     | Практические занятия   | 2  |
|                                                                                    |     | Лабораторные занятия   | 8  |
|                                                                                    |     | Самостоятельная работа | 24 |
| Раздел 9. Тепловое излучение                                                       | РД2 | Лекции                 | 2  |
|                                                                                    |     | Практические занятия   | 2  |
|                                                                                    |     | Лабораторные занятия   | 6  |
|                                                                                    |     | Самостоятельная работа | 20 |
| Раздел 10. Понятие о сложном теплообмене                                           | РД3 | Лекции                 | 2  |
|                                                                                    |     | Практические занятия   | 2  |
|                                                                                    |     | Лабораторные занятия   | 4  |
|                                                                                    |     | Самостоятельная работа | 16 |
| Раздел 11. Примеры расчета тепломассообмена в энергетическом оборудовании          | РД3 | Лекции                 | 2  |
|                                                                                    |     | Практические занятия   | 2  |
|                                                                                    |     | Лабораторные занятия   | -  |
|                                                                                    |     | Самостоятельная работа | 10 |

Содержание разделов дисциплины:

#### **Раздел 1. Введение. Стационарная теплопроводность**

Назначение и содержание курса. Способы переноса тепла. Основные понятия и определения тепломассообмена. Одномерные стационарные задачи теплопроводности. Перенос тепла в ребрах. Двухмерные стационарные задачи теплопроводности.

**Темы лекций:**

1. Введение
2. Перенос тепла в ребрах
3. Двухмерные стационарные задачи теплопроводности

**Темы практических занятий:**

1. Стационарная теплопроводность тел простейшей формы.
2. Стационарные температурные поля в ребрах
3. Двухмерные стационарные задачи теплопроводности

**Названия лабораторных работ:**

1. Измерение коэффициента теплопроводности стационарным методом
2. Исследование теплопроводности методом ЭТА.

|                                                         |
|---------------------------------------------------------|
| <b>Раздел 2. <i>Нестационарная теплопроводность</i></b> |
|---------------------------------------------------------|

Линейные одномерные нестационарные задачи теплопроводности. Численные методы решения задач теплопроводности.

**Темы лекций:**

- 4,5. Линейные одномерные нестационарные задачи теплопроводности
6. Численные методы решения задач теплопроводности

**Темы практических занятий:**

4. Нестационарная теплопроводность при малой внутренней термическом сопротивлении.
5. Нестационарная теплопроводность с учетом внутреннего термического сопротивления.
6. Численные решения задач нестационарной теплопроводности.

**Названия лабораторных работ:**

3. Измерение теплоемкости методом монотонного режима.
4. Измерение коэффициента теплопроводности методом монотонного режима.
5. Измерение коэффициента температуропроводности методом регулярного режима.

|                                                                     |
|---------------------------------------------------------------------|
| <b>Раздел 3. <i>Введение в теорию конвективного теплообмена</i></b> |
|---------------------------------------------------------------------|

Система дифференциальных уравнений конвективного теплообмена.

**Темы лекций:**

7. Система дифференциальных уравнений конвективного теплообмена.

**Темы практических занятий:**

7. Математическая постановка задач конвективного теплообмена.

**Названия лабораторных работ:**

6. Исследование теплоотдачи от вертикальной трубы при свободной конвекции.

|                                                                                          |
|------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Раздел 4 Теория размерностей и теория подобия в задачах конвективного теплообмена</b> |
|------------------------------------------------------------------------------------------|

Условия подобия конвективного теплообмена при вынужденном движении теплоносителя и при естественной конвекции. Критерии подобия и уравнения

подобия. Обобщения опытных данных на основе теории подобия.

**Темы лекций:**

8. Условия подобия конвективного теплообмена при вынужденном движении теплоносителя и при естественной конвекции. Критерии подобия и уравнения подобия.

**Темы практических занятий:**

8. Критерии подобия и уравнения подобия при исследовании тепловых процессов.

**Названия лабораторных работ:**

7. Исследование теплоотдачи от горизонтальной трубы при свободной конвекции.

|                                                             |
|-------------------------------------------------------------|
| <b>Раздел 5. Конвективный теплообмен в однородной среде</b> |
|-------------------------------------------------------------|

Теплообмен в трубах при ламинарном и турбулентном течении. Теплообмен и сопротивление при течении в кольцевых каналах. Теплообмен и сопротивление при продольном обтекании пучков стержней.

**Темы лекций:**

9. Теплообмен в трубах при ламинарном и турбулентном течении.
10. Теплообмен и сопротивление при течении в кольцевых каналах.

**Темы практических занятий:**

9. Расчет коэффициента теплоотдачи при свободной конвекции.
10. Расчет коэффициента теплоотдачи при вынужденной конвекции.

**Названия лабораторных работ:**

8. Исследование теплообмена при течении жидкости в трубе.
9. Исследование теплоотдачи при поперечном обтекании тел.

|                                |
|--------------------------------|
| <b>Раздел 6. Теплопередача</b> |
|--------------------------------|

Уравнение и коэффициент теплопередачи. Теплопередача через одно- и многослойную плоские стенки, через одно- и многослойную цилиндрические стенки. Расчет тепловой изоляции.

**Темы лекций:**

11. Теплопередача.

**Темы практических занятий:**

11. Расчет теплопередачи через многослойную стенку.

**Название лабораторных работ:**

10. Исследование теплопередачи через многослойную стенку.

|                                                      |
|------------------------------------------------------|
| <b>Раздел 7. Теплообмен при фазовых превращениях</b> |
|------------------------------------------------------|

Теплообмен при кипении и конденсации. Кризисы кипения в большом объеме.

Теплообмен при пленочном кипении. Параметры двухфазной смеси в трубах.

**Темы лекций:**

12. Теплообмен при кипении однокомпонентных жидкостей

**Темы практических занятий:**

12. Расчет коэффициента теплоотдачи при кипении в большом объеме. Расчет критического теплового потока при кипении в большом объеме.

**Название лабораторных работ:**

11. Исследование теплообмена и кризиса теплообмена при кипении воды в большом объеме.

|                                                                               |
|-------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Раздел 8. Основные положения теплового расчета теплообменных аппаратов</b> |
|-------------------------------------------------------------------------------|

Типы теплообменных аппаратов. Схемы взаимного движения теплоносителей, средний температурный напор. Уравнение теплового баланса, водяной эквивалент теплоносителя. Расчет конечной температуры теплоносителей.

**Темы лекций:**

13. Тепловой расчет теплообменных аппаратов.

**Темы практических занятий:**

13. Расчет прямоточных и противоточных рекуперативных теплообменных аппаратов.

**Название лабораторных работ**

12. Исследование работы теплообменного аппарата.

|                                     |
|-------------------------------------|
| <b>Раздел 9. Тепловое излучение</b> |
|-------------------------------------|

Законы теплового излучения: виды лучистых потоков, закон Планка, закон Стефана-Больцмана, закон Кирхгофа, закон Ламберта. Лучистый теплообмен между телами. Тепловое излучение газов: интенсивность излучения, коэффициент поглощения.

**Темы лекций:**

14. Основные законы тепловых излучений. Теплообмен излучением между твердыми телами

**Темы практических занятий:**

14. Расчет теплового потока и температур радиационных экранов в высокотемпературных вакуумных печах.

**Названия лабораторных работ**

13. Определение интегральной степени черноты металлов

|                                                 |
|-------------------------------------------------|
| <b>Раздел 10. Понятие о сложном теплообмене</b> |
|-------------------------------------------------|

Теплопередача через ребристые поверхности, через газовые и жидкостные

прослойки. Интенсификация процессов теплообмена.

**Темы лекций:**

15. Теплопередача через ребристые поверхности. Критерии радиационного подобия

**Темы практических занятий:**

15. Расчет теплопередачи через газовые прослойки.

|                                                                                  |
|----------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Раздел 11. Примеры расчета тепломассообмена в энергетическом оборудовании</b> |
|----------------------------------------------------------------------------------|

Теплообмен в реакторах, парогенераторах и теплообменниках паротурбинной установки.

**Темы лекций:**

16. Теплообмен в реакторах, парогенераторах и теплообменниках паротурбинной установки.

**Темы практических занятий:**

16. Расчет температурного поля в тепловыделяющих элементах.

## **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;
- Выполнение домашних заданий;
- Подготовка к лабораторным работам, к практическим и семинарским занятиям;
- Исследовательская работа и участие в научных студенческих конференциях, семинарах и олимпиадах;
- Анализ научных публикаций по заранее определенной преподавателем теме;
- Подготовка к оценивающим мероприятиям;

## **6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **6.1 Учебно-методическое обеспечение**

**Основная литература:**

1. Кудинов, А. А. Тепломассообмен: Учебное пособие / А.А. Кудинов. - Москва : НИЦ ИНФРА-М, 2015. - 375 с. (Высшее образование: Бакалавриат) ISBN 978-5-16-011093-6. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/512522> (дата обращения: 03.12.2020). – Режим доступа: из корпоративной сети ТПУ.

2. Брюханов, О. Н. Тепломассообмен: Учебник / О.Н. Брюханов, С.Н. Шевченко. - Москва : НИЦ Инфра-М, 2012. - 464 с. (Высшее образование: Бакалавриат). ISBN 978-5-16-004803-1. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/258657> (дата обращения: 03.12.2020). – Режим доступа: из корпоративной сети ТПУ.

3. Теплообмен в ядерных энергетических установках: сборник задач : учебное пособие / В. В. Архипов, В. И. Деев, А. С. Корсун, Ю. Е. Похвалов. — Москва : НИЯУ МИФИ, 2010. — 128 с. — ISBN 978-5-7262-1287-6. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/75784> (дата обращения: 03.12.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

#### **Дополнительная литература:**

1. Солонин, В. И. Теплогидравлические процессы в активных зонах водоохлаждаемых реакторах : учебное пособие / В. И. Солонин. — Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. — 138 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/52252> (дата обращения: 03.12.2020). — Режим доступа: из корпоративной сети ТПУ.

## **6.2. Информационное и программное обеспечение**

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

1. ВНИИАМ — Всероссийский научно-исследовательский институт атомного энергетического машиностроения (ОАО «ВНИИАМ») – <http://www.vniiam.ru/>
2. ТВЭЛ, ОАО (производитель ядерного топлива, Москва) – <http://www.tvel.ru/>

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

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

1. «TABL1», «TFS», «TFM» - для расчета свойств теплоносителей;
2. Демонстрационная тренажер-программа “ГЦН энергоблока БН-600”.
3. Программное обеспечение АСУ ПДС;
4. Microsoft Word 2010;
5. Document Foundation LibreOffice;
6. Cisco Webex Meetings\$;

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

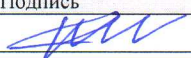
В учебном процессе используется следующее лабораторное оборудование для практических и лабораторных занятий:

| №  | Наименование специальных помещений                                                                                                                                                                      | Наименование оборудования                                                                       |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. | Аудитория для проведения учебных занятий всех типов, курсового проектирования, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации<br>634034, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, 30а,32 | – Комплект учебной мебели на 18 посадочных мест;<br>– Компьютер - 20 шт.;<br>– Проектор - 1 шт. |

|    |                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                          |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2. | Аудитория для проведения учебных занятий всех типов, курсового проектирования, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации<br>634034, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, 30а,38  | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Комплект учебной мебели на 30 посадочных мест;</li> <li>– Крепление для проектора Perless PRG-UNV - 1 шт.;</li> <li>– Компьютер - 1 шт.;</li> <li>– Проектор - 1 шт.</li> </ul> |
| 3. | Аудитория для проведения учебных занятий всех типов, курсового проектирования, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации<br>634034, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, 30а,401 | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Доска аудиторная поворотная - 1 шт.;</li> <li>– Комплект учебной мебели на 48 посадочных мест;</li> <li>– Компьютер - 1 шт.;</li> <li>– Проектор - 1 шт.</li> </ul>             |

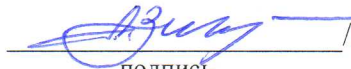
Рабочая программа составлена на основе Общей характеристики образовательной программы по направлению 14.05.02 - «Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг» (приема 2016 г., очная форма обучения).

Разработчик:

| Должность | Подпись                                                                           | ФИО       |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Доцент    |  | Ю.Я Раков |

Программа одобрена на заседании кафедры АТЭС (протокол от 11.02.2016 г. № 2).

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) |
|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| 2017/2018<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                                   | № 19 от 18.05.2017 г.                                 |
| 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.                                 |