

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета радиотехники и электроники

Небольсин В.А.

«17» января 2025 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Тепломассообменные аппараты низкопотенциальной части атом-
ных электростанций»

Направление подготовки 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика

Программа магистратуры Технологические системы холодоснабжения
атомных электростанций

Квалификация выпускника магистр

Нормативный период обучения 2 года

Форма обучения очная

Год начала подготовки 2026

Автор программы

К.Г. Королев

Заведующий кафедрой
Твердотельной электроники

В.А. Небольсин

Руководитель ОПОП

О.В. Калядин

Воронеж 2025

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины

Формирование знаний в области процессов в теплообменных аппаратах низкопотенциальной части атомных электростанций

1.2. Задачи освоения дисциплины

- изучить источники и потребители низкопотенциальной части атомных электростанций*
- изучить конструкции теплообменных аппаратов в системах холодоснабжения*
- выполнять анализ процессов в теплообменных аппаратах*

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Теплообменные аппараты низкопотенциальной части атомных электростанций» относится к дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений блока Б1.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Теплообменные аппараты низкопотенциальной части атомных электростанций» направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-2 - Способен разрабатывать технологические и конструктивные решения системы холодоснабжения атомных электростанций

| Компетенция | Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции |
|--------------------|---|
| ПК-2 | <i>Знать технологические и конструктивные решения систем холодоснабжения</i> |
| | <i>Уметь разрабатывать технологические и конструктивные решения</i> |
| | <i>Владеть способностью разрабатывать технологические и конструктивные решения системы холодоснабжения атомных электростанций</i> |

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Теплообменные аппараты низкопотенциальной части атомных электростанций» составляет 3 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий
очная форма обучения

| Виды учебной работы | Всего часов | Семестры |
|-----------------------------------|-------------|----------|
| | | 2 |
| Аудиторные занятия (всего) | 54 | 54 |
| В том числе: | | |
| Лекции | 36 | 36 |
| Практические занятия (ПЗ) | 18 | 18 |

| | | |
|---|-----|-----|
| Самостоятельная работа | 54 | 54 |
| Виды промежуточной аттестации - зачет | + | + |
| Общая трудоемкость: академические часы | 108 | 108 |
| зач.ед. | 3 | 3 |

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

очная форма обучения

| № п/п | Наименование темы | Содержание раздела | Лекц | Прак зан. | СРС | Всего, час |
|--------------|--|---|-----------|-----------|-----------|------------|
| 1 | <i>Оборудование и параметры тепловой схемы АЭС</i> | <i>Классификация АЭС. Основное оборудование тепловой схемы АЭС. Источники и потребители низкопотенциальной теплоты.</i> | 6 | 2 | 8 | 16 |
| 2 | <i>Процессы тепло- и массообмена</i> | <i>Термины и определения. Процессы массообмена. Общие признаки массообменных процессов. Общие законы тепловых и массообменных процессов. Фазовое равновесие системы.</i> | 6 | 2 | 8 | 16 |
| 3 | <i>Тепломассообмен при контакте воды с атмосферным воздухом</i> | <i>Диаграммы влажного воздуха. Процессы обработки воздуха. Процессы на поверхности раздела фаз. Адиабатное увлажнение воздуха. Организация контакта фаз в аппаратах. Тепломассообменные аппараты при охлаждении воды атмосферным воздухом. Тепломассообмен в аппаратах водовоздушного охлаждения. Кинетика межфазного переноса.</i> | 6 | 2 | 8 | 16 |
| 4 | <i>Расчет процессов теплоотдачи в теплообменных аппаратах систем холодоснабжения</i> | <i>Теплоотдача при свободной конвекции. Теплоотдача при вынужденном движении жидкости в каналах. Теплообмен при продольном и поперечном обтекании труб. Теплообмен в стекающей пленке жидкости. Теплоотдача при кипении жидкости.</i> | 6 | 4 | 10 | 20 |
| 5 | <i>Теплообмен в пластинчатых аппаратах</i> | <i>Пластинчато-ребристые теплообменники. Реверсивные теплообменники. Матричные теплообменники. Теплообменные и гидравлические характеристики пластинчато-ребристых аппаратов.</i> | 6 | 4 | 10 | 20 |
| 6 | <i>Расчет массообменных аппаратов</i> | <i>Общая методика расчета. Классификация. Гидродинамика. Методика расчета рабочей высоты аппарата. Моделирование массообменных процессов.</i> | 6 | 4 | 10 | 20 |
| Итого | | | 36 | 18 | 54 | 108 |

5.2 Перечень лабораторных работ

Не предусмотрено учебным планом

6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины не предусматривает выполнение курсового проекта (работы) или контрольной работы.

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

| Компетенция | Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции | Критерии оценивания | Аттестован | Не аттестован |
|-------------|--|---------------------|---|---|
| ПК-2 | Знать технологические и конструктивные решения систем холодоснабжения | 50% успеваемости | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |
| | Уметь разрабатывать технологические и конструктивные решения | 50% успеваемости | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |
| | Владеть способностью разрабатывать технологические и конструктивные решения системы холодоснабжения атомных электростанций | 50% успеваемости | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |

7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 2 семестре для очной формы обучения по двухбалльной системе:

«зачтено»

«не зачтено»

| Компетенция | Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции | Критерии оценивания | Зачтено | Не зачтено |
|-------------|--|--|--|----------------------|
| ПК-2 | Знать технологические и конструктивные решения систем холодоснабжения | Тест | Выполнение теста на 70-100% | Выполнение менее 70% |
| | Уметь разрабатывать технологические и конструктивные решения | Решение стандартных практических задач | Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач | Задачи не решены |
| | Владеть способностью разрабатывать технологические и конструктивные решения системы холодоснабжения атомных электростанций | Решение прикладных задач в конкретной предметной области | Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач | Задачи не решены |

7.2 Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

- 1) Процесс разделения, характеризуемый переходом вещества из газовой фазы в жидкую
 - a. Абсорбция
 - b. Десорбция
 - c. Экстракция
 - d. Ректификация
 - e. Адсорбция
 - f. Сушка
 - g. Кристаллизация
 - h. Растворение
- 2) Процесс выделения газа из жидкости
 - a. Абсорбция
 - b. Десорбция
 - c. Экстракция
 - d. Ректификация
 - e. Адсорбция
 - f. Сушка
 - g. Кристаллизация
 - h. Растворение
- 3) Процесс извлечения вещества, растворенного в жидкости, другой жидкостью, практически не смешивающейся с первой
 - a. Абсорбция
 - b. Десорбция
 - c. Экстракция
 - d. Ректификация
 - e. Адсорбция
 - f. Сушка
 - g. Кристаллизация
 - h. Растворение
- 4) Процесс разделения гомогенных жидких смесей путем многократного взаимного обмена компонентами между жидкой и паровой фазами, движущимися обычно противотоком друг к другу
 - a. Абсорбция
 - b. Десорбция
 - c. Экстракция
 - d. Ректификация
 - e. Адсорбция
 - f. Сушка
 - g. Кристаллизация
 - h. Растворение
- 5) Процесс поглощения компонента газа или раствора твердым пористым поглотителем
 - a. Абсорбция
 - b. Десорбция

- c. Экстракция*
 - d. Ректификация*
 - e. Адсорбция*
 - f. Сушка*
 - g. Кристаллизация*
 - h. Растворение*
- 6) *Процесс удаления влаги из твердых материалов путем ее испарения*
- a. Абсорбция*
 - b. Десорбция*
 - c. Экстракция*
 - d. Ректификация*
 - e. Адсорбция*
 - f. Сушка*
 - g. Кристаллизация*
 - h. Растворение*
- 7) *Процесс выделения твердой фазы в виде кристаллитов из растворов и расплавов*
- a. Абсорбция*
 - b. Десорбция*
 - c. Экстракция*
 - d. Ректификация*
 - e. Адсорбция*
 - f. Сушка*
 - g. Кристаллизация*
 - h. Растворение*
- 8) *Процесс перехода твердой фазы в жидкую*
- a. Абсорбция*
 - b. Десорбция*
 - c. Экстракция*
 - d. Ректификация*
 - e. Адсорбция*
 - f. Сушка*
 - g. Кристаллизация*
 - h. Растворение*
- 9) *Какой закон характеризует, что изменение количества данного компонента в одной фазе равно его изменению другой фазе?*
- a. Закон сохранения массы*
 - b. Закон сохранения энергии*
 - c. Закон кинетики процесса*
- 10) *Какой закон характеризует, что изменение количества энергии, введенной в процесс, равно ее количеству, полученному в результате проведения процесса?*
- a. Закон сохранения массы*
 - b. Закон сохранения энергии*

с. Закон кинетики процесса

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

- 1) *Согласно правилу фаз, чему равно число степеней свободы для системы, состоящей из двух фаз и трех компонент?*
- 2) *Согласно правилу фаз, чему равно число степеней свободы для системы, состоящей из двух фаз и двух компонент?*
- 3) *Согласно правилу фаз, чему равно число степеней свободы для системы, состоящей из трех фаз и одного компонента?*
- 4) *Какие градирни используют естественное движение воздуха?*
 - a. открытые брызгальные*
 - b. открытые капельные*
 - c. пленочные вентиляторные*
 - d. брызгальные вентиляторные*
 - e. капельные вентиляторные*
- 5) *Какие градирни используют принудительное движение воздуха?*
 - a. открытые брызгальные*
 - b. открытые капельные*
 - c. пленочные вентиляторные*
 - d. брызгальные вентиляторные*
 - e. капельные вентиляторные*
- 6) *Устройство для охлаждения воды атмосферным воздухом*
 - a. Градирня*
 - b. Скруббер*
- 7) *Аппарат, в котором происходит процесс теплообмена между газом и водой*
 - a. Градирня*
 - b. Скруббер*
- 8) *Верно ли, что в капельной градирне образуются сосульки в зимнее время?*
- 9) *Верно ли, что в капельной градирне образуются сосульки в летнее время?*
- 10) *Как движется газ в скрубберах?*
 - a. Сверху вниз*
 - b. Снизу вверх*
 - c. Слева направо*
 - d. Справа налево*
- 11) *Как движется жидкость в скрубберах?*
 - a. Сверху вниз*
 - b. Снизу вверх*
 - c. Слева направо*
 - d. Справа налево*

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

- 1) *Верно ли, что в насосе возникает вынужденная конвективная диффузия?*
- 2) *Верно ли, что в насосе возникает естественная конвективная*

диффузия?

- 3) Верно ли, что модель идеального вытеснения предполагает течение потоков без перемешивания в аппарате по длине?
- 4) Верно ли, что модель идеального вытеснения предполагает полное перемешивание потоков в аппарате в направлении, перпендикулярном движению?
- 5) Верно ли, что модель идеального вытеснения предполагает полное перемешивание потоков в аппарате по длине?
- 6) Верно ли, что модель идеального вытеснения предполагает течение потоков без перемешивания в аппарате в направлении, перпендикулярном движению?
- 7) Верно ли, что модель идеального перемешивания предполагает равномерное распределение вещества и температуры во всем объеме аппарата?
- 8) Верно ли, что модель идеального перемешивания предполагает равномерное распределение вещества и линейное распределение температуры во всем объеме аппарата?
- 9) Верно ли, что модель идеального перемешивания предполагает равномерное линейное распределение вещества и равномерное распределение температуры во всем объеме аппарата?
- 10) Верно ли, что модель идеального перемешивания предполагает линейное распределение вещества и температуры во всем объеме аппарата?

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

Классификация АЭС. Основное оборудование тепловой схемы АЭС. Источники и потребители низкопотенциальной теплоты. Термины и определения. Процессы массообмена. Общие признаки массообменных процессов. Общие законы тепловых и массообменных процессов. Фазовое равновесие системы. Диаграммы влажного воздуха. Процессы обработки воздуха. Процессы на поверхности раздела фаз. Адиабатное увлажнение воздуха. Организация контакта фаз в аппаратах. Теплообменные аппараты при охлаждении воды атмосферным воздухом. Теплообмен в аппаратах водовоздушного охлаждения. Кинетика межфазного переноса. Теплоотдача при свободной конвекции. Теплоотдача при вынужденном движении жидкости в каналах. Теплообмен при продольном и поперечном обтекании труб. Теплообмен в стекающей пленке жидкости. Теплоотдача при кипении жидкости. Пластинчато-ребристые теплообменники. Реверсивные теплообменники. Матричные теплообменники. Теплообменные и гидравлические характеристики пластинчато-ребристых аппаратов. Общая методика расчета. Классификация. Гидродинамика. Методика расчета рабочей высоты аппарата. Моделирование массообменных процессов.

7.2.5 Примерный перечень заданий для подготовки к экзамену

Не предусмотрено учебным планом

7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Экзамен проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 20 вопросов. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом. Максимальное количество набранных баллов – 20.

1. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал менее 14 баллов.

2. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал от 14 до 16 баллов

3. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент набрал от 16 до 18 баллов.

4. Оценка «Отлично» ставится, если студент набрал от 18 до 20 баллов.

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

| № п/п | Контролируемые разделы (темы) дисциплины | Код контролируемой компетенции | Наименование оценочного средства |
|-------|--|--------------------------------|--|
| 1 | <i>Оборудование и параметры тепловой схемы АЭС</i> | ПК-2 | Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту.... |
| 2 | <i>Процессы тепло- и массообмена</i> | ПК-2 | Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту.... |
| 3 | <i>Тепломассообмен при контакте воды с атмосферным воздухом</i> | ПК-2 | Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту.... |
| 4 | <i>Расчет процессов теплоотдачи в теплообменных аппаратах систем холодоснабжения</i> | ПК-2 | Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту.... |
| 5 | <i>Теплообмен в пластинчатых аппаратах</i> | ПК-2 | Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту.... |
| 6 | <i>Расчет массообменных аппаратов</i> | ПК-2 | Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту.... |

7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Тестирование, решение стандартных и прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 20 мин. Затем осуществляется проверка теста экзаменатором и выставляется оценка, согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

8 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)

8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

1) Горбачев, М. В. *Тепломассообмен. Теплопроводность* : учебное пособие / М. В. Горбачев. — Новосибирск : НГТУ, 2020. — 76 с. — ISBN 978-5-7782-4134-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/152134> . — Режим доступа: для авториз. пользователей.

2) Бирюков, А. Н. *Вычислительная газогидродинамика, тепломассообмен и компьютерный инжиниринг* : учебник / А. Н. Бирюков, В. В. Карнаух, К. А. Ржесик. — Донецк : ДонНУЭТ имени Туган-Барановского, 2021. — 177 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/323039> . — Режим доступа: для авториз. пользователей.

3) Стоянов, Н. И. *Теоретические основы теплотехники (техническая термодинамика и тепломассообмен)* : учебное пособие / Н. И. Стоянов, С. С. Смирнов, А. В. Смирнова. — Ставрополь : СКФУ, 2014. — 225 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/155167> . — Режим доступа: для авториз. пользователей.

4) Борисов, Б. В. *Теоретические основы теплофизических и гидродинамических процессов* : учебное пособие / Б. В. Борисов. — Томск : ТПУ, 2021 — Часть 2 : Тепломассообмен — 2021. — 115 с. — ISBN 978-5-4387-0983-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/246287> . — Режим доступа: для авториз. пользователей.

8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

- 1) *Smath Studio*
- 2) *MS Office*
- 3) <https://old.education.cchgeu.ru>
- 4) <https://e.lanbook.com>
- 5) <https://www.iprbookshop.ru>

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Реализация дисциплины требует наличия учебных аудиторий для проведения учебных занятий.

Оборудование аудитории 1:

- комплект учебной мебели:

- рабочее место преподавателя (стол, стул);

- рабочие места обучающихся (столы, стулья);
- технические средства обучения:
 - проектор;
 - экран;
- переносное техническое оборудование:
 - переносной компьютер.

Оборудование аудитории 2:

- комплект учебной мебели:
 - рабочее место преподавателя (стол, стул);
 - рабочие места обучающихся (столы, стулья);
- технические средства обучения:
 - персональные компьютеры с установленным программным обеспечением, подключенные к сети Интернет - 20 шт.

Для самостоятельной работы используется «Аудитория для групповых и индивидуальных консультаций / Аудитория для самостоятельной работы».

Оборудование аудитории:

- комплект учебной мебели:
 - рабочее место преподавателя (стол, стул);
 - рабочие места обучающихся (столы, стулья);
- технические средства обучения:
 - персональный компьютер с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа к электронной информационно-образовательной среде вуза.

10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

По дисциплине «Тепломассообменные аппараты низкопотенциальной части атомных электростанций» читаются лекции, проводятся практические занятия.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Практические занятия направлены на приобретение практических навыков расчета тепломассообменных аппаратов. Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

| Вид учебных занятий | Деятельность студента |
|---------------------|--|
| Лекция | Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, |

| | |
|---------------------------------------|---|
| | справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии. |
| Практическое занятие | Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, выполнение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму. |
| Самостоятельная работа | Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: - работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций; - выполнение домашних заданий и расчетов; - работа над темами для самостоятельного изучения; - участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад; - подготовка к промежуточной аттестации. |
| Подготовка к промежуточной аттестации | Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед зачетом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала. |

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

| № п/п | Перечень вносимых изменений | Дата внесения изменений | Подпись заведующего кафедрой, ответственной за реализацию ОПОП |
|----------|-----------------------------|----------------------------|--|
|----------|-----------------------------|----------------------------|--|