

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета \_\_\_\_\_ Бурковский А.В.  
«31» августа 2021 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**  
дисциплины

**«Тепломассообменное оборудование предприятий»**

**Направление подготовки** 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

**Профиль** промышленная теплоэнергетика

**Квалификация выпускника** бакалавр

**Нормативный период обучения** 4 года / 4 года и 11 м.

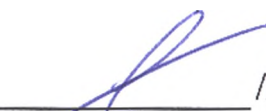
**Форма обучения** очная / заочная

**Год начала подготовки** 2021

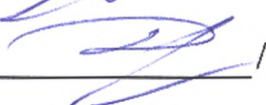
Автор программы

\_\_\_\_\_  
 /Портнов В.В./

Заведующий кафедрой Теоретической и промышленной теплоэнергетики

\_\_\_\_\_  
 /Портнов В.В./

Руководитель ОПОП

\_\_\_\_\_  
 / Дахин С.В./

Воронеж 2021

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

### 1.1. Цели дисциплины

Целью изучения дисциплины являются: знакомство с основными конструкциями аппаратного оформления тепломассообменных процессов; овладение инженерными методиками теплотехнологических расчетов процессов и аппаратов; получение навыков по методам выбора и проверки основного и вспомогательного оборудования промышленных тепломассообменных аппаратов

### 1.2. Задачи освоения дисциплины

Приобретение инженерных навыков в теплотехнологических расчетах промышленной тепломассообменной аппаратуры; формирование у студентов знаний теплотехнической терминологии; развитие у обучаемых способности к самостоятельному ориентированию в нормативной и справочной документации при расчетах и проектировании тепломассообменных устройств

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Тепломассообменное оборудование предприятий» относится к дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений блока Б1.

## 3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Тепломассообменное оборудование предприятий» направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-1 - Способен к обеспечению эффективной эксплуатации и модернизации энергетического и теплотехнологического оборудования

ПК-3 - Способен проводить расчеты энергетического и теплотехнического оборудования по типовым методикам

| Компетенция | Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции                         |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| ПК-1        | знать основные типы, конструкции и технологические схемы тепломассообменного оборудования |
|             | уметь разбираться в процессах, протекающих в изученном оборудовании                       |
|             | владеть навыками работы с нормативной и справочной документацией                          |
| ПК-3        | знать методы выбора, расчета и оптимизации тепломассообменного оборудования               |
|             | уметь проводить инженерные расчеты энергетического оборудования                           |

|  |                                                           |
|--|-----------------------------------------------------------|
|  | владеть навыками расчета тепломассообменного оборудования |
|--|-----------------------------------------------------------|

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Тепломассообменное оборудование предприятий» составляет 7 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий

##### очная форма обучения

| Виды учебной работы                                      | Всего часов | Семестры |     |
|----------------------------------------------------------|-------------|----------|-----|
|                                                          |             | 6        | 7   |
| <b>Аудиторные занятия (всего)</b>                        | 108         | 72       | 36  |
| В том числе:                                             |             |          |     |
| Лекции                                                   | 54          | 36       | 18  |
| Практические занятия (ПЗ)                                | 36          | 18       | 18  |
| Лабораторные работы (ЛР)                                 | 18          | 18       | -   |
| <b>Самостоятельная работа</b>                            | 99          | 36       | 63  |
| <b>Курсовой проект</b>                                   | +           |          | +   |
| Часы на контроль                                         | 45          | -        | 99  |
| Виды промежуточной аттестации - экзамен, зачет с оценкой | +           | +        | +   |
| Общая трудоемкость:                                      |             |          |     |
| академические часы                                       | 252         | 108      | 180 |
| зач.ед.                                                  | 8           | 3        | 5   |

##### заочная форма обучения

| Виды учебной работы                                      | Всего часов | Семестры |     |
|----------------------------------------------------------|-------------|----------|-----|
|                                                          |             | 6        | 7   |
| <b>Аудиторные занятия (всего)</b>                        | 24          | 8        | 16  |
| В том числе:                                             |             |          |     |
| Лекции                                                   | 8           | 2        | 6   |
| Практические занятия (ПЗ)                                | 8           | 2        | 6   |
| Лабораторные работы (ЛР)                                 | 8           | 4        | 4   |
| <b>Самостоятельная работа</b>                            | 251         | 96       | 155 |
| <b>Курсовой проект</b>                                   | +           |          | +   |
| Часы на контроль                                         | 13          | 4        | 9   |
| Виды промежуточной аттестации - экзамен, зачет с оценкой | +           | +        | +   |
| Общая трудоемкость:                                      |             |          |     |
| академические часы                                       | 288         | 108      | 180 |

|         |   |   |   |
|---------|---|---|---|
| зач.ед. | 8 | 3 | 5 |
|---------|---|---|---|

## 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. | Лаб. зан. | СРС | Всего, час |
|-------|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|-----------|-----------|-----|------------|
| 1     | Основные виды промышленных теплообменных процессов, аппаратов и установок | Теплотехнологические схемы, процессы, аппараты, установки. Классификация теплообменных процессов и аппаратов. Основные процессы: нагревание, охлаждение, испарение, конденсация, выпаривание, сублимация, плавление, сушка, разделение, ректификация, дистилляция; их теплофизическая сущность, основные принципы расчета. Теплообменные аппараты и их классификация - по процессам теплообмена, по времени действия, по назначению. Теплообменные и теплообменные установки: подогревательные, конденсационные и холодильные; выпарные, опреснительные, дистилляционные, ректификационные, сушильные и др. Теплоносители: основные свойства и области рационального применения: водяной пар, вода, дымовые газы, высоко- и низкотемпературные теплоносители. | 2    | 2         |           |     | 4          |
| 2     | Рекуперативные и регенеративные теплообменные аппараты                    | Конструкции наиболее распространенных типов рекуперативных ТОА - трубчатых, кожухотрубных, пластинчатых, спиральных, матричных. Их основные элементы и узлы. Конструктивный и поверочный тепловые расчеты ТОА. Гидравлический расчет ТОА. Расчет ТОА с использованием ЭВМ. Совершенствование ТОА на базе их математического моделирования. Понятие о технико-экономической оптимизации ТОА. Критерий оптимизации, параметр оптимизации, целевая функция. Решение задач оптимизации на ЭВМ. ТОА с развитыми поверхностями теплообмена. Способы изготовления и особенности                                                                                                                                                                                      | 10   | 4         | 8         | 26  | 48         |

|   |                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |    |   |    |    |    |
|---|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|---|----|----|----|
|   |                                              | <p>расчета. Рекуперативные ТОА периодического действия, их тепловой расчет, графики температур и тепловой нагрузки. Тепловой расчет водонагревателей-аккумуляторов с паровым и водяным обогревом.</p> <p>Регенеративные ТОА. Аппараты с неподвижной и перемещающейся насадкой. Аппараты с кипящим слоем: с активной насадкой и контактные. Особенности теплообмена, температурные режимы и поле температур. Тепловой расчет регенеративных ТОА. Методика теплового расчета ТОА с кипящим слоем.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |    |   |    |    |    |
| 3 | Дистилляционные и ректификационные установки | <p>Общие сведения о перегонке и ректификации. Физико-химические свойства бинарных смесей. Особенности процессов кипения и конденсации бинарных смесей. Азеотропные смеси. Дистилляция. Диаграмма состояния <math>t</math>-<math>x</math>, <math>y</math> и диаграмма равновесия <math>y</math>-<math>x</math> для бинарных смесей. Процессы в ректификационных установках и их изображение на <math>t</math>-<math>x</math>, <math>y</math> и <math>y</math>-<math>x</math> диаграммах. Дефлегмация и сепарация. Схемы ректификационных установок для бинарных смесей. Конструкции тарельчатых, ситчатых и насадочных колонн. Определение числа тарелок в колонне. Влияние флегмового числа на экономику при проектировании и эксплуатации колонны. Выбор оптимального флегмового числа. Тепловой баланс ректификационных установок. Определение расхода пара и охлаждающей воды на работу ректификационных установок непрерывного действия.</p> | 10 | 8 | 10 | 22 | 40 |
| 4 | Выпарные установки                           | <p>Физические основы процессов выпаривания. Свойства водяных растворов. Классификация и конструкции выпарных аппаратов. Сепараторы и брызгоотделители, выбор их основных размеров. Схемы многоступенчатых выпарных установок (МВУ) поверхностного типа: прямоточные, противоточные, смешанные, непрерывного и периодического действия; с конденсатором, с противодавлением, с ухудшенным вакуумом. Ма-</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 10 | 8 |    | 30 | 48 |

|   |                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |    |   |  |    |    |
|---|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|---|--|----|----|
|   |                                     | териальный баланс процесса выпаривания. Определение количества выпаренной воды и концентрации раствора. Тепловой расчет МВУ. располагаемая и полезная разности температур. Техничко-экономические показатели МВУ. Выбор оптимального числа ступеней для МВУ. Схемы подогрева раствора, применяемого на МВУ. Оптимальное число ступеней подогрева. Рациональные схемы использования вторичного тепла. Выпарные аппараты с погружными горелками. Адиабатные выпарные аппараты. Кристаллизаторы. |    |   |  |    |    |
| 5 | Сушильные установки                 | Назначение и виды обезвоживания. Область применения сушки. Свойства влажных материалов как объектов сушки. Общие сведения о процессах сушки. Кинетика сушки. Динамика сушки. Конвективная сушка. Теплотехнологические схемы сушильных установок. Аппаратно-технологическое оформление процессов сушки. Сушка жидкотекучих, твердых, дисперсных и ленточных материалов. Сушка ТВЧ и сублимационные сушильные установки.                                                                        | 10 | 6 |  | 26 | 42 |
| 6 | Смесительные теплообменные аппараты | Технологические процессы и установки с теплообменом. Движущая сила массообменных процессов. Н - d - диаграмма влажного воздуха и процессы на ней. Смесительные теплообменные аппараты и установки: конденсаторы смешения, скрубберы полые и насадочные, градирни. Методы и алгоритмы расчета аппаратов. Процессы в скрубберах и их изображение на Н - d - диаграмме. Методика определения конечных температур и температурного напора в скрубберах.                                           | 4  | 2 |  | 16 | 22 |
| 7 | Холодильные установки               | Классификация установок для трансформации теплоты и области их применения. Термодинамические основы получения искусственного холода. Хладагенты и хладоносители. Сравнительные характеристики холодильных установок. Компрессионные холодильные установки и их элементы, методы теплового расчета. Абсорбционные холодильные уста-                                                                                                                                                            | 8  | 6 |  | 15 | 29 |

|       |  |                                                                                            |    |    |    |     |     |
|-------|--|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|----|----|-----|-----|
|       |  | новки. Газовые холодильные установки. Пароэжекторные ХУ и их элементы; область применения. |    |    |    |     |     |
| Итого |  |                                                                                            | 54 | 36 | 18 | 135 | 243 |

#### заочная форма обучения

| № п/п | Наименование темы                                                               | Содержание раздела                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Лекц | Прак зан. | Лаб. зан. | СРС | Всего, час |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|-----------|-----------|-----|------------|
| 1     | Основные виды промышленных тепло-массообменных процессов, аппаратов и установок | Теплотехнологические схемы, процессы, аппараты, установки. Классификация теплообменных процессов и аппаратов. Теплоносители: основные свойства и области рационального применения: водяной пар, вода, дымовые газы, высоко- и низкотемпературные теплоносители.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 1    |           |           | 5   | 6          |
| 2     | Рекуперативные и регенеративные теплообменные аппараты                          | Конструкции наиболее распространенных типов рекуперативных ТОА - трубчатых, кожухотрубных, пластинчатых, спиральных, матричных. Их основные элементы и узлы. Конструктивный и поверочный тепловые расчеты ТОА. Понятие о технико-экономической оптимизации ТОА. Критерий оптимизации, параметр оптимизации, целевая функция. ТОА с развитыми поверхностями теплообмена. Рекуперативные ТОА периодического действия, их тепловой расчет, графики температур и тепловой нагрузки. Регенеративные ТОА. Особенности теплообмена, температурные режимы и поле температур. Тепловой расчет регенеративных ТОА. | 1    | 2         | 4         | 36  | 43         |
| 3     | Дистилляционные и ректификационные установки                                    | Общие сведения о перегонке и ректификации. Физико-химические свойства бинарных смесей. Особенности процессов кипения и конденсации бинарных смесей. Азеотропные смеси. Дистилляция. Диаграммы состояния для бинарных смесей. Процессы в ректификационных установках и их изображение на t-x,y и y-x диаграммах. Определение числа тарелок в колонне. Влияние флегмового числа на экономику при проектировании и эксплуатации                                                                                                                                                                             | 2    | 1         | 4         | 31  | 38         |

|       |                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |   |   |   |     |     |
|-------|-------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|---|-----|-----|
|       |                                           | колонны. Выбор оптимального флегмового числа.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |   |   |   |     |     |
| 4     | Выпарные установки                        | Физические основы процессов выпаривания. Свойства водных растворов. Классификация и конструкции выпарных аппаратов. Схемы многоступенчатых выпарных установок (МВУ). Материальный баланс процесса выпаривания. Определение количества выпаренной воды и концентрации раствора. Тепловой расчет МВУ. располагаемая и полезная разности температур. Выпарные аппараты с погружными горелками. Адиабатные выпарные аппараты. Кристаллизаторы. | 1 | 2 |   | 56  | 59  |
| 5     | Сушильные установки                       | Назначение и виды обезвоживания. Свойства влажных материалов как объектов сушки. Кинетика сушки. Динамика сушки. Конвективная сушка. Аппаратно-технологическое оформление процессов сушки. Сушка жидкотекучих, твердых, дисперсных и ленточных материалов. Сушка ТВЧ и сублимационные сушильные установки.                                                                                                                                 | 1 | 1 |   | 46  | 48  |
| 6     | Смесительные тепло-массообменные аппараты | Технологические процессы и установки с тепломассообменом. Движущая сила массообменных процессов. $H - d$ - диаграмма влажного воздуха и процессы на ней. Процессы в скрубберах и их изображение на $H - d$ - диаграмме.                                                                                                                                                                                                                    | 1 | 1 |   | 31  | 33  |
| 7     | Холодильные установки                     | Термодинамические основы получения искусственного холода. Хладагенты и хладоносители. Компрессионные холодильные установки и их элементы, методы теплового расчета. Абсорбционные холодильные установки. Газовые холодильные установки. Пароэжекторные ХУ и их элементы; область применения.                                                                                                                                               | 1 | 1 |   | 46  | 48  |
| Итого |                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 8 | 8 | 8 | 251 | 276 |

## 5.2 Перечень лабораторных работ

Лабораторная работа №1 Изучение конструкции и исследование режимов работы горизонтального пароводяного подогревателя



Лабораторная работа №2 Изучение конструкции и исследование режимов работы горизонтального водоводяного подогревателя

Лабораторная работа №3 Определение оптимального флегмового числа ректификационной колонны непрерывного действия

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

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины предусматривает выполнение курсового проекта в 7 семестре для очной формы обучения, в 7 семестре для заочной формы обучения.

Примерная тематика курсового проекта: «Расчет многоступенчатой выпарной установки»

Задачи, решаемые при выполнении курсового проекта:

- определение оптимального количества ступеней выпаривания;
- распределение концентрации раствора и параметров греющего, вторичного паров и раствора по ступеням;
- определение площади поверхности теплообмена выпарных аппаратов в каждой ступени;
- определение расхода греющего пара первой ступени.

Курсовой проект включает в себя графическую часть и расчетно-пояснительную записку.

## **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».

| <b>Компетенция</b> | <b>Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции</b>                  | <b>Критерии оценивания</b>                                                                                                                            | <b>Аттестован</b>                                             | <b>Не аттестован</b>                                            |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| ПК-1               | знать основные типы, конструкции и технологические схемы тепломассообменного оборудования | Активная работа на практических и лабораторных занятиях, правильные ответы на теоретические вопросы при защите лабораторных работ и курсового проекта | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |

|      |                                                                             |                                                                                          |                                                               |                                                                 |
|------|-----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
|      | уметь разбираться в процессах, протекающих в изученном оборудовании         | Правильные ответы на практических занятиях, правильное выполнение лабораторных работ     | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |
|      | владеть навыками работы с нормативной и справочной документацией            | Правильное выполнение курсового проекта и заданий на самостоятельную подготовку          | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |
| ПК-3 | знать методы выбора, расчета и оптимизации тепломассообменного оборудования | Правильное выполнение лабораторных работ, расчет курсового проекта                       | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |
|      | уметь проводить инженерные расчеты энергетического оборудования             | Решение задач на практических занятиях                                                   | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |
|      | владеть навыками расчета тепломассообменного оборудования                   | Правильное решение задач на практических занятиях, расчет и оформление курсового проекта | 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 6, 7 семестре для очной формы обучения, 6, 7 семестре для заочной формы обучения по четырехбалльной системе:

«отлично»;  
«хорошо»;  
«удовлетворительно»;  
«неудовлетворительно».

| Компетенция | Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции                         | Критерии оценивания | Отлично                     | Хорошо                     | Удовл.                     | Неудовл.                             |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------------------|
| ПК-1        | знать основные типы, конструкции и технологические схемы тепломассообменного оборудования | Тест                | Выполнение теста на 90-100% | Выполнение теста на 80-90% | Выполнение теста на 70-80% | В тесте менее 70% правильных ответов |
|             | уметь разбираться в процессах, протекающих в изученном оборудовании                       | Тест                | Выполнение теста на 90-100% | Выполнение теста на 80-90% | Выполнение теста на 70-80% | В тесте менее 70% правильных ответов |
|             | владеть навыками работы с нормативной и справочной документацией                          | Тест                | Выполнение теста на 90-100% | Выполнение теста на 80-90% | Выполнение теста на 70-80% | В тесте менее 70% правильных ответов |

|      |                                                                             |      |                             |                            |                            |                                      |
|------|-----------------------------------------------------------------------------|------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------------------|
| ПК-3 | знать методы выбора, расчета и оптимизации тепломассообменного оборудования | Тест | Выполнение теста на 90-100% | Выполнение теста на 80-90% | Выполнение теста на 70-80% | В тесте менее 70% правильных ответов |
|      | уметь проводить инженерные расчеты энергетического оборудования             | Тест | Выполнение теста на 90-100% | Выполнение теста на 80-90% | Выполнение теста на 70-80% | В тесте менее 70% правильных ответов |
|      | владеть навыками расчета тепломассообменного оборудования                   | Тест | Выполнение теста на 90-100% | Выполнение теста на 80-90% | Выполнение теста на 70-80% | В тесте менее 70% правильных ответов |

## 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. Непрерывный теплообмен между двумя теплоносителями через разделяющую непроницаемую поверхность происходит в

1. Регенеративных ТОА
2. Рекуперативных ТОА
3. Смесительных ТОА
4. Правильного ответа нет

2. Теплообмен между двумя теплоносителями при поочередном омывании одной и той же поверхности происходит в

1. Рекуперативных ТОА
2. Регенеративных ТОА
3. Смесительных ТОА
4. Правильного ответа нет

3. Из перечисленных теплоносителей практически невозможно транспортировать:

1. Водяной пар
2. Горячая вода
3. Дымовые газы
4. Правильного ответа нет

4. Из перечисленных теплоносителей возможностью транспортировки на самые большие расстояния обладает:

1. Водяной пар
2. Горячая вода
3. Дымовые газы
4. Низкотемпературные теплоносители

5. Среди всех конструкций рекуперативных ТООА применяются во всем возможном диапазоне давлений и температур теплоносителей

1. Кожухотрубные
2. Спиральные
3. Пластинчатые

6. Площадь проходного сечения межтрубного пространства в кожухотрубных ТООА по сравнению с площадью проходного сечения в трубном пространстве:

1. Больше в 2,5-3 раза
2. Меньше в 2,5-3 раза
3. Приблизительно одинаковы

7. Спиральные ТООА по сравнению с кожухотрубными ТООА обладают

1. Повышенной прочностью
2. Повышенным гидравлическим сопротивлением
3. Повышенной компактностью
4. Правильного ответа нет

8. Площадь поверхности теплообмена рекуперативного ТООА определяют в результате

1. Теплового конструктивного расчета
2. Теплового проверочного расчета
3. Компонировочного расчета
4. Прочностного расчета

9. Дополнительное перемешивание потока теплоносителя при движении в изогнутом канале под действием центробежной силы это

1. Рециркуляция
2. Вторичная циркуляция
3. Турбулизация
4. Правильного ответа нет

10. Компонировкой трубного пучка называется

1. Расположение труб на трубной решетке
2. Ориентация трубного пучка относительно потока теплоносителя
3. Размещение перегородок в межтрубном пространстве
4. Размещение перегородок в крышках ТООА

### **7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач**

1. Оценить площадь поверхности теплообменного аппарата по рекомендуемым значениям коэффициентов теплоотдачи.

2. Найти теплопроизводительность теплообменного аппарата по известному тепловому балансу.

3. Определить коэффициент оребрения по геометрии ребер.

4. Определить коэффициент теплоотдачи со стороны оребренной и нео-ребренной поверхности.

5. Найти КПД ребра по известным характеристикам ребер и коэффициенту теплоотдачи.

6. Определить требуемую мощность на прокачку теплоносителя в теплообменном аппарате.

7. Найти конечное влагосодержание (либо температуру газа) в смешительном теплообменнике из его теплового баланса, считая газ на выходе полностью насыщенным.

8. Найти количество вторичного пара (либо крепкого раствора) в выпарной установке по ступеням.

9. Определить время сушки материала в первом периоде.

10. Определить время сушки материала во втором периоде.

#### **7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету**

Не предусмотрено учебным планом

#### **7.2.5 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач**

1. Характеристика основных теплоносителей, используемых в промышленности.

2. Основные конструкции рекуперативных теплообменных аппаратов.

3. Основные расчеты при проектировании ТОА. Оптимизация

4. Компоновка трубного пучка в рекуперативных ТОА. Коридорный и шахматный пучки. Расчет теплообмена на поверхности пучка.

5. Перегородки в межтрубном пространстве рекуперативных ТОА. Конструкции. Варианты установки.

6. Оребрение. Конструкции оребренных труб. Методы расчета теплообмена при оребрении

7. Теплообмен при кипении теплоносителя. Два кризиса кипения

8. Теплообмен при конденсации теплоносителя. Пленочная и капельная конденсация

9. Сложный теплообмен в рекуперативных ТОА

10. Тепловой проверочный расчет рекуперативных ТОА непрерывного действия

11. Компоновочный расчет рекуперативных ТОА непрерывного действия

12. Тепловой расчет рекуперативного ТОА периодического действия при изменении агрегатного состояния одного из теплоносителей

13. Тепловой расчет рекуперативного ТОА периодического действия при постоянном агрегатном состоянии теплоносителей

14. Регенеративные ТОА. Основные конструкции

15. Теплообмен в регенеративных ТОА

16. ТОА с «псевдооживленным» слоем. Характеристики слоя. Гидродинамика образования «кипящего» слоя.

17. Выпаривание растворов. Основные процессы. Методы и способы выпаривания
18. Физико-химическая температурная депрессия. Причины возникновения. Методы расчета
19. Гидростатическая и гидродинамическая температурные депрессии.
20. Располагаемая и полезная разности температур.
21. Устройство и принцип работы выпарных аппаратов с естественной циркуляцией раствора
22. Устройство и принцип работы выпарных аппаратов с принудительной циркуляцией раствора
23. Устройство и принцип работы пленочных выпарных аппаратов
24. Многоступенчатое выпаривание. МВУ. Греющие теплоносители. Подогрев раствора.
25. Классификации МВУ.
26. Исходные данные и цели теплового расчета МВУ.
27. Распределение полезной разности температур по ступеням МВУ
28. Контактные выпарные аппараты. Конструкция ВА с аппаратами погружного горения
29. Кристаллизация в выпарных аппаратах. Механизм кристаллизации. Способы кристаллизации
30. Кристаллизаторы. Конструкция вакуум-кристаллизационного аппарата.
31. Установки адиабатного испарения. Принцип работы и конструкции
32. Перегонка как способ разделения смесей. Бинарные смеси. Смеси с взаимно нерастворимыми и частично растворимыми компонентами.
33. Бинарные смеси с взаимно растворимыми компонентами. Виды смесей. Закон Рауля
34. Диаграммы состояния взаимнорастворимых идеальных смесей
35. Диаграммы состояния взаимнорастворимых реальных смесей. Законы Коновалова
36. Дистилляция. Одноступенчатая дистилляционная установка
37. Многоступенчатая дистилляционная установка. Дефлегмация
38. Ректификация. Конструкция и принцип ректификационной установки периодического действия. Изображение процессов на диаграмме
39. Ректификационная установка непрерывного действия. Конструкция. РУ для разделения многокомпонентных смесей
40. Цели расчета ректификационных установок. Метод теоретических тарелок. Уравнения рабочих линий
41. Метод «кинетической кривой» для расчета ректификационных установок
42. Влияние флегмового числа на работу ректификационной установки. Определение минимального флегмового числа

43. Определение оптимального флегмового числа методом Плановского и РТМ.
44. Экстрактивная ректификация. Азеотропная ректификация.
45. Основные способы обезвоживания материалов. Естественная и искусственная сушка. Сушильный агент
46. Свойства влажных материалов. Виды связи влаги с материалом.
47. Динамика сушки. Основные движущие силы, перемещающие влагу внутри высушиваемого материала
48. Кинетика сушки. Первый и второй периоды сушки
49. Определение продолжительности первого и второго этапов сушки
50. Влияние способа подвода теплоты на перемещение влаги внутри высушиваемого материала
51. Теоретическая сушильная установка. Изображение процесса в теоретической СУ на диаграмме
52. Действительная сушильная установка. Изображение процесса в действительной СУ на диаграмме
53. Рециркуляция сушильного агента. Сушка с промежуточным подогревом сушильного агента
54. Контактные сушильные установки
55. Терморadiационные сушильные установки
56. Сушка токами высокой частоты
57. Сублимационная сушка
58. Основные способы получения низких температур
59. Хладоагенты парокомпрессионных холодильных установок. Хладоносители
60. Идеальная парокомпрессионная холодильная установка. Холодильный коэффициент. Изображение цикла на диаграмме
61. Действительная одноступенчатая парокомпрессионная холодильная установка. Изображение цикла на диаграмме
62. Двухступенчатая парокомпрессионная холодильная установка. Изображение цикла на диаграмме
63. Каскадная парокомпрессионная холодильная установка. Изображение цикла на диаграмме
64. Идеальная газовая холодильная установка. Изображение цикла на диаграмме
65. Идеальная газовая холодильная установка с регенерацией тепла. Изображение цикла на диаграмме
66. Действительная газовая холодильная установка. Изображение цикла на диаграмме
67. Идеальная абсорбционная холодильная установка
68. Действительная абсорбционная холодильная установка
69. Пароэжекторная холодильная установка. Изображение идеального и реального циклов на диаграмме
70. Термоэлектрические холодильные установки

71. Влажный воздух .Количественные и качественные характеристики влажного воздуха

72. Н-d диаграмма влажного воздуха. Изображение основных процессов на диаграмме: нагрев, охлаждение, адиабатное испарение, смешение двух потоков

#### **7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации**

Экзамен проводится по задачам и билету. Вначале студент получает задачу, на решение которой отводится 30 минут.

Успешно решившие задачу получают билет, в котором 3 вопроса из разных разделов. При подготовке к ответу на вопросы в билете разрешается пользоваться любыми материалами.

После ответа на вопрос билете студент получает дополнительные вопросы, количество которых варьируется от 1 до 3 (на усмотрение преподавателя по результатам посещаемости занятий, активности на практических занятиях, выполнения правильно и в срок лабораторных работ и курсового проекта).

1. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент не решил задачу

2. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент решил задачу и ответил полностью хотя бы на один вопрос в билете

3 Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент решил задачу и ответил полностью на все вопросы в билете

4. Оценка «Отлично» ставится в случае, если студент решил задачу и ответил полностью на все вопросы в билете и на все дополнительные вопросы

#### **7.2.7 Паспорт оценочных материалов**

| № п/п | Контролируемые разделы (темы) дисциплины               | Код контролируемой компетенции | Наименование оценочного средства            |
|-------|--------------------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------------|
| 1     | Рекуперативные и регенеративные теплообменные аппараты | ПК-1, ПК-3                     | Тест, защита лабораторных работ, экзамен    |
| 2     | Ректификационные и дистиляционные установки            | ПК-1, ПК-3                     | Тест, защита лабораторных работ, экзамен    |
| 3     | Выпарные установки                                     | ПК-1, ПК-3                     | Тест, выполнение курсового проекта, экзамен |
| 4     | Сушильные установки                                    | ПК-1, ПК-3                     | Тест, экзамен                               |
| 5     | Смесительные ТООА                                      | ПК-1, ПК-3                     | Тест, экзамен                               |
| 6     | Холодильные установки                                  | ПК-1, ПК-3                     | Тест, экзамен                               |

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

Тестирование осуществляется при помощи компьютерной системы тестирования. Время тестирования определяется количеством вопросов в тесте.



Проверка теста и оценка проводится согласно заложенной в программе методике определения оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Защита курсовой работы, курсового проекта или отчета по всем видам практик осуществляется согласно требованиям, предъявляемым к работе, описанным в методических материалах. Примерное время защиты на одного студента составляет 20 мин.

## **8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)**

### **8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

Теоретический курс

1. Портнов В.В. Рекуперативные и регенеративные теплообменные аппараты: учеб. пособие / В. В. Портнов, Д. А. Коновалов, К.Г. Хрипунов; ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет». – 2-е изд., перераб. и доп. – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2020. – 104 с.

2. Портнов В.В. Выпаривание: учеб. пособие / В.В. Портнов. Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2011. 105 с.

3. Портнов В.В. Ректификационные и дистилляционные установки: учеб. пособие / В.В. Портнов. Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2009. 80 с.

4. Портнов В.В. Сушильные установки: учеб. пособие. / В.В. Портнов. 2-е изд., перераб. и доп. Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2013. 120 с.

5. Портнов В.В. Холодильные установки: учеб. пособие / В.В. Портнов. Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2014. 98 с.

6. Портнов В.В. Смесительные теплообменные аппараты: учеб. пособие / В.В. Портнов. Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2015. 75 с.

Практические занятия

7. Павлов, Константин Феофанович. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии [Текст] : учебное пособие для вузов.

- 14-е изд., стер. - Москва : [б. и.], 2007 (Чебоксары : ГУП "ИПК "Чувашия", 2005). - 575 с.

8. Бакластов, А.М. Проектирование, монтаж и эксплуатация теплообменных установок : Учеб. пособие / Под ред. А. М. Бакластова. - Москва : Энергоиздат, 1981. - 336 с.

Лабораторные работы

9. Портнов В.В., Майоров В.В. Трошин А.Ю. Лабораторный практикум по курсу «Тепломассообменное оборудование предприятий»: Учеб. пособие. Воронеж: Воронеж. гос. техн. ун-т, 2005, 89 с.

Курсовой проект

10. Портнов В.В. Многоступенчатые выпарные установки: учеб. пособие / В.В. Портнов. В.В. Майоров. Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2008. 173 с.

**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:**

8.2.1 Программное обеспечение

Операционные системы

– Windows Professional 8.1 (7 и 8) Single Upgrade MVL A Each Academic;

Офисные приложения

– OpenOffice;

– Adobe Acrobat Reader;

– Cool PDF Reader;

Браузеры

– Internet Explorer;

– Atom;

– Chrome;

– Opera;

CAD или САПР программы - системы автоматизированного проектирования

– Компас-График LT;

Программы для численных вычислений

– Advanced Grapher;

– MathCAD 11 lite Portable Rus;

Антивирусы

– Avast Free Antivirus;

– Kaspersky Free

Прикладные программы

– ГИДРОСИСТЕМА;

- ПАССАТ;
- ZuluHydro

#### 8.2.2 Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

- Российское образование. Федеральный портал.  
<http://www.edu.ru/>
- Образовательный портал ВГТУ  
<https://education.cchgeu.ru/>

#### 8.2.3 Информационные справочные системы

- <http://window.edu.ru>
- <https://wiki.cchgeu.ru/>

#### 8.2.4 Современные профессиональные базы данных

- Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации.

<http://docs.cntd.ru>

- Единая система конструкторской документации.  
[https://standartgost.ru/0/2871-edinaya\\_sistema\\_konstruktorskoy\\_dokumentatsii](https://standartgost.ru/0/2871-edinaya_sistema_konstruktorskoy_dokumentatsii)

- Федеральный институт промышленной собственности. Информационно-поисковая система.

[www1.fips.ru](http://www1.fips.ru)

- Национальная электронная библиотека.

[elibrary.ru](http://elibrary.ru)

- ЭБС IPR Book

<https://www.iprbookshop.ru>

- ЭБС Лань

<https://e.lanbook.com>

- ЭБС Библиоклуб

<https://biblioclub.ru>

## **9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА**

1. Специализированная лекционная аудитория, оснащённая оборудованием для лекционных демонстраций и проекционной аппаратурой (ауд. 306/3).

2. Дисплейный класс, оснащённый компьютерными программами для проведения лабораторного практикума (ауд. 312/3).

3. Учебная лаборатория «Тепломассообмен и тепломассообменное оборудование» (ауд. 303/3), оснащённая необходимым лабораторным оборудованием.

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

По дисциплине «Тепломассообменное оборудование предприятий» читаются лекции, проводятся практические занятия и лабораторные работы, выполняется курсовой проект.

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 тепломассообменной аппаратуры. Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

Лабораторные работы выполняются на лабораторном оборудовании в соответствии с методиками, приведенными в указаниях к выполнению работ.

Методика выполнения курсового проекта изложена в учебно-методическом пособии. Выполнять этапы курсового проекта должны своевременно и в установленные сроки.

Контроль усвоения материала дисциплины производится тестами, проверкой лабораторных работ, курсового проекта, защитой курсового проекта.

| 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.                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Лабораторная работа    | Лабораторные работы позволяют научиться применять теоретические знания, полученные на лекции при решении конкретных задач. Чтобы наиболее рационально и полно использовать все возможности лабораторных для подготовки к ним необходимо: следует разобрать лекцию по соответствующей теме, ознакомиться с соответствующим разделом учебника, проработать дополнительную литературу и источники, решить задачи и выполнить другие письменные задания.                                                                                                                             |
| Самостоятельная работа | Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие:<br>- работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций;                                                                                                                                                                                                                                                                         |

|                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- выполнение домашних заданий и расчетов;</li> <li>- работа над темами для самостоятельного изучения;</li> <li>- участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад;</li> <li>- подготовка к промежуточной аттестации.</li> </ul>                                                                             |
| Подготовка к промежуточной аттестации | <p>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 с оценкой, экзаменом, зачетом с оценкой, экзаменом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.</p> |

### Лист регистрации изменений

| №<br>п/п | Перечень вносимых изменений               | Дата<br>внесения<br>изменений | Подпись<br>заведующего<br>кафедрой,<br>ответственной за<br>реализацию ОПОП          |
|----------|-------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 1        | Пункт 8.2.4 изложить в следующей редакции | 29.01.2025                    |  |

8.2.4 Современные профессиональные базы данных

– Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации.

<http://docs.cntd.ru>

– Единая система конструкторской документации.

[https://standartgost.ru/0/2871-edinaya\\_sistema\\_konstruktorskoy\\_dokumentatsii](https://standartgost.ru/0/2871-edinaya_sistema_konstruktorskoy_dokumentatsii)

– Федеральный институт промышленной собственности. Информационно-поисковая система.

[www1.fips.ru](http://www1.fips.ru)

– Национальная электронная библиотека.

[elibrary.ru](http://elibrary.ru)

– ЭБС IPR Book

<https://www.iprbookshop.ru>

– ЭБС Лань

<https://e.lanbook.com>