

**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.

«31» августа 2021 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

дисциплины

«Тепломассообменные аппараты низкотемпературных установок»

**Направление подготовки** 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика

**Профиль** Техника и физика низких температур

**Квалификация выпускника** бакалавр

**Нормативный период обучения** 4 года

**Форма обучения** очная

**Год начала подготовки** 2019

Автор программы

/ В.В. Портнов /

Заведующий кафедрой  
теоретической и  
промышленной  
теплоэнергетики

/ В.В. Портнов /

Руководитель ОПОП

/ О.В. Калядин /

Воронеж 2021

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

### 1.1. Цели дисциплины

Изучение методов теплового и гидравлического расчета теплообменных аппаратов различных типов, применяемых в низкотемпературной технике.

### 1.2. Задачи освоения дисциплины

Познакомить обучающихся с основными видами теплообменных аппаратов, используемых в низкотемпературной технике; дать информацию о методах теплового и гидравлического расчета теплообменных аппаратов различных типов; научить применять эти методы при проектировании теплообменного оборудования в инженерной практике.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Теплообменные аппараты низкотемпературных установок» относится к дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений блока Б1.

## 3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Теплообменные аппараты низкотемпературных установок» направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-3 - Способен участвовать в исследовании и испытании оборудования атомных электростанций в процессе разработки и создания

ПК-4 - Способен разрабатывать проекты узлов аппаратов с учетом сформулированных к ним требований, использовать в разработке технических проектов новые информационные технологии

ПК-5 - Способен участвовать в проектировании оборудования атомных электростанций с учетом экологических требований и обеспечения безопасной работы

ПК-8 - Способен выполнять расчеты, осуществлять выбор оборудования и средств автоматического управления систем холодоснабжения

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ПК-3	Знать состав основного и вспомогательного оборудования атомных электростанций
	Уметь выявлять физическую сущность явлений и процессов в устройствах атомных электростанций при их разработке и создании, выполнять применительно к ним технические расчеты в процессе разработки и создания
	Владеть навыками расчета теплообменного оборудования инструментариумом для решения математических и физических задач; методами анализа физиче-

	ских явлений в технических устройствах и системах; средствами компьютерной техники и информационных технологий.
ПК-4	Знать базовые проекты теплотехнических и теплоэнергетических низкотемпературных систем и их компонентов;
	Уметь работать над проектами низкотемпературных систем и их компонентов, разрабатывать мероприятия по снижению затрат потерь энергии;
	Владеть навыками проектирования и эксплуатации низкотемпературных систем и их компонентов.
ПК-5	Знать методы проектирования энергетических систем атомных электростанций
	Уметь применять на практике методы и методики проектирования с целью обеспечения экологических требований и безопасности работ
	Владеть навыками работы с проектной и справочной документациями
ПК-8	Знать процессы, протекающие в низкотемпературных система
	Уметь составлять математические модели процессов
	Владеть навыками моделирования для расчета и проектирования низкотемпературных систем

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Тепломассообменные аппараты низкотемпературных установок» составляет 4 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий

##### очная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		7
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	72	72
В том числе:		
Лекции	18	18
Практические занятия (ПЗ)	36	36
Лабораторные работы (ЛР)	18	18
<b>Самостоятельная работа</b>	72	72
Часы на контроль		
Виды промежуточной аттестации зачет с оценкой	+	+

Общая трудоемкость: академические часы зач.ед.	144 4	144 4
--	----------	----------

## 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	4		4	10
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	6	12	8	30	56

		<p>ТОА. Критерий оптимизации, параметр оптимизации, целевая функция. Решение задач оптимизации на ЭВМ. ТОА с развитыми поверхностями теплообмена. Способы изготовления и особенности 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-x,y</math> и диаграмма равновесия <math>y-x</math> для бинарных смесей. Процессы в ректификационных установках и их изображение на <math>t-x,y</math> и <math>y-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>	6	12	10	30	58
4	Смесительные ТОА	<p>Технологические процессы и установки с тепломассообменом. Движущая сила массообменных процессов. <math>H-d</math> - диаграмма влажного воздуха и процессы на ней. Смесительные теплообменные аппараты и установки: конденсаторы смешения,</p>	4	8		8	20

	скрубберы полые и насадочные, градирни. Методы и алгоритмы расчета аппаратов. Процессы в скрубберах и их изображение на Н - d - диаграмме.					
Итого		18	36	18	72	144

## 5.2 Перечень лабораторных работ

Лабораторная работа № 1 Изучение конструкции и исследование режимов работы горизонтального пароводяного подогревателя (4 часа).

Лабораторная работа № 2. Изучение конструкции и исследование режимов работы горизонтального водоводяного подогревателя (4 часа).

Лабораторная работа № 3. Определение оптимального флегмового числа ректификационной колонны непрерывного действия (10 часов)

## 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-3	Знать состав основного и вспомогательного оборудования атомных электростанций	Активная работа на практических и лабораторных занятиях, правильные ответы на теоретические вопросы при защите лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Уметь выявлять физическую сущность явлений и процессов в устройствах атомных электростанций при их разработке и создании, выполнять применительно к ним технические расчеты в процессе разработки и создания	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 расчета тепломассообменного оборудования инструментарием для решения математических и физических задач; методами анализа	Правильное задание на самостоятельную подготовку	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

	физических явлений в технических устройствах и системах; средствами компьютерной техники и информационных технологий			
ПК-4	Знать базовые проекты теплотехнических и теплоэнергетических низкотемпературных систем и их компонентов;	Правильное выполнение лабораторных работ,	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Уметь работать над проектами низкотемпературных систем и их компонентов, разрабатывать мероприятия по снижению затрат потерь энергии;	Решение задач на практических занятиях	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Владеть навыками проектирования и эксплуатации низкотемпературных систем и их компонентов.	Правильное решение задач на практических занятиях,	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПК-5	Знать методы проектирования энергетических систем атомных электростанций	Правильное выполнение лабораторных работ,	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Уметь применять на практике методы и методики проектирования с целью обеспечения экологических требований и безопасности работ	Решение задач на практических занятиях	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Владеть навыками работы с проектной и справочной документацией	Правильное решение задач на практических занятиях,	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПК-8	Знать процессы, протекающие в низкотемпературных системах	Правильное выполнение лабораторных работ,	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Уметь составлять математические модели процессов	Решение задач на практических занятиях	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Владеть навыками моделирования для расчета и проектирования низкотемпературных систем	Правильное решение задач на практических занятиях,	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 7 семестре четырехбалльной системе:

«отлично»;

«хорошо»;

«удовлетворительно»;

«неудовлетворительно».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неудовл.
ПК-3	Знать состав основного и вспомогательного оборудования атомных электростанций	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	Уметь выявлять физическую сущность явлений и процессов в устройствах атомных электростанций при их разработке и создании, выполнять применительно к ним технические расчеты в процессе разработки и создания	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	Владеть навыками расчета теплообменного оборудования инструментарием для решения математических и физических задач; методами анализа физических явлений в технических устройствах и системах; средствами компьютерной техники и информационных технологий	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ПК-4	Знать базовые проекты теплотехнических и теплоэнергетических низкотемпературных систем и их компонентов;	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	Уметь работать над проектами	Решение стандартных	Задачи решены в пол-	Продемонстрирован	Продемонстрирован вер-	Задачи не решены

	низкотемпературных систем и их компонентов, разрабатывать мероприятия по снижению затрат потерь энергии;	практических задач	ном объеме и получены верные ответы	верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	ный ход решения в большинстве задач	
	Владеть навыками проектирования и эксплуатации низкотемпературных систем и их компонентов.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ПК-5	Знать методы проектирования энергетических систем атомных электростанций	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	Уметь применять на практике методы и методики проектирования с целью обеспечения экологических требований и безопасности работ	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	Владеть навыками работы с проектной и справочной документацией	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ПК-8	Знать процессы, протекающие в низкотемпературных системах	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	Уметь составлять математические модели процессов	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	Владеть навыками моделирования для расчета и проектирования низкотемпературных систем	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	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. Непрерывный теплообмен между двумя теплоносителями через разделяющую непроницаемую поверхность происходит в
  1. Регенеративных ТОО
  2. Рекуперативных ТОО
  3. Смесительных ТОО
  4. Правильного ответа нет
2. Теплообмен между двумя теплоносителями при поочередном омывании одной и той же поверхности происходит в
  1. Рекуперативных ТОО
  2. Регенеративных ТОО
  3. Смесительных ТОО
  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 ТОО применяются во всем возможном диапазоне давлений и температур теплоносителей
  1. Кожухотрубные
  2. Спиральные
  3. Пластинчатые
6. Площадь проходного сечения межтрубного пространства в кожухотрубных ТОО 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 ТОО по сравнению с кожухотрубными ТОО обладают
  1. Повышенной прочностью
  2. Повышенным гидравлическим сопротивлением
  3. Повышенной компактностью
  4. Правильного ответа нет
8. Площадь поверхности теплообмена рекуперативного ТОО опреде-

ляют 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

теля

3. Размещение перегородок в межтрубном пространстве
4. Размещение перегородок в крышках ТОА

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

1. Воздух в количестве  $800 \text{ м}^3$  при температуре  $2000 \text{ }^\circ\text{C}$  охлаждается до  $200 \text{ }^\circ\text{C}$  при постоянном давлении, равном  $1,5 \text{ бар}$ . Определить количество теплоты, выделенной при охлаждении.

2. Баллон емкостью  $100 \text{ л}$  заполнен окисью углерода под абсолютным давлением  $50 \text{ ат}$  и при температуре  $-25 \text{ }^\circ\text{C}$ , после внесения его в теплое помещение температура газа поднялась до  $+20 \text{ }^\circ\text{C}$ . Определить количество теплоты, приобретенное газом, и давление в баллоне после нагревания.

3. В газгольдер объемом  $V = 200 \text{ м}^3$  подается газ по трубопроводу диаметром  $d = 0,1 \text{ м}$  со скоростью  $3 \text{ м/с}$ . Удельный объем газа  $\nu = 0,4 \text{ м}^3/\text{кг}$ . За какое время наполнится газгольдер, если плотность газа, заполнившего газгольдер, равна  $1,3 \text{ кг/м}^3$ .

4. Определить массу углекислого газа в сосуде с объемом  $V = 4 \text{ м}^3$  при  $t = 80 \text{ }^\circ\text{C}$ . Давление газа по манометру  $0,04 \text{ МПа}$ . Барометрическое давление  $103990 \text{ Па}$ .

5. В цилиндре с подвижным поршнем находится  $0,8 \text{ м}^3$  воздуха при давлении  $p_1 = 0,5 \text{ МПа}$ . Как должен измениться объем, чтобы при повышении давления до  $0,8 \text{ МПа}$  температура воздуха не изменилась?

6. Дымовые газы, образовавшиеся в топке парового котла, охлаждаются с  $1200$  до  $250 \text{ }^\circ\text{C}$ . Во сколько раз уменьшается их объем, если давление газов в начале и в конце газопроводов одинаково?

7. В цилиндрическом сосуде, имеющем внутренний диаметр  $0,6 \text{ м}$  и высоту  $2,4 \text{ м}$ , находится воздух при  $t = 18 \text{ }^\circ\text{C}$ . Давление воздуха  $0,765 \text{ МПа}$ . Барометрическое давление  $101858 \text{ Па}$ . Определить массу воздуха в сосуде.

8. Баллон с кислородом емкостью  $20 \text{ л}$  находится под давлением

10 МПа при  $t = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . После израсходования части кислорода давление понизилось до 7,6 МПа, а температура упала до  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Определить массу израсходованного кислорода.

9. Резервуар объемом  $4\text{ м}^3$  заполнен углекислым газом. Найти массу  $m$  и вес  $G$  газа в резервуаре, если избыточное давление газа  $p = 40\text{ кПа}$ , температура его  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а барометрическое давление воздуха  $102,4\text{ кПа}$ .

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

2. Найти эффективность теплообменного аппарата по известному тепловому балансу.

3. Определить степень оребрения по геометрии ребер.

4. Определить коэффициент теплопередачи со стороны оребренной и неоребренной поверхности.

5. Найти КПД ребра и КПД оребренной поверхности 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 смесительном теплообменнике из его теплового баланса, считая газ на выходе полностью насыщенным.

8. Найти количество теоретических тарелок для разделения бинарной смеси методом РТМ.

9. Найти количество теоретических тарелок для разделения бинарной смеси методом Плановского.

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

1. Влажный воздух. Свойства влажного воздуха. Диаграмма влажного воздуха (Рамзина).

2. Коэффициент теплопередачи в рекуперативных ТОО.

3. Изображение основных процессов во влажном воздухе на диаграмме Рамзина. Нагрев, охлаждение, адиабатное охлаждение воздуха, смешение воздушных потоков.

4. Ректификация и дистилляция. Виды смесей. Характеристики смесей. Идеальная бинарная смесь. Закон Рауля.

5. Теплообмен при поперечном омывании пучка гладких труб. Компоновка труб. Шахматный и коридорный пучки труб.

6. Изображение процессов в прямоточном и противоточном смесительных ТОО на диаграмме Рамзина.

7. Определение количества тарелок ректификационной колонны методом теоретических тарелок.

8. Общие сведения о видах теплового расчета рекуперативных ТОО. Основные этапы при проектировании ТОО. Оптимизация.

9. Рекуперативные ТОО периодического действия. Конструктивный и проверочный расчеты.

10. Ректификационные установки периодического и непрерывного действия. Изображение процессов на диаграмме.
11. Сложный теплообмен в рекуперативных ТОА..
12. Теплообмен при изменении агрегатного состояния теплоносителя. Кипение. Конденсация.
13. Дистилляционные установки периодического и непрерывного действия. Изображение процессов на диаграмме
14. Метод кинетической кривой для определения количества тарелок ректификационной колонны. Поиск оптимального флегмового числа.
15. Проверочный расчет рекуперативных ТОА непрерывного действия.
16. Основные уравнения, используемые при тепловом расчете рекуперативных ТОА. Средняя разность температур. Прямоток и противоток. Сложные схемы течения теплоносителей.
17. Диаграммы состояния идеальных и реальных бинарных смесей. Азеотропные смеси.
18. Тепловой расчет регенеративных ТОА
19. Теплообмен на развитых поверхностях. Методы оребрения. Метод расчета
20. Теплообмен при течении однофазного теплоносителя в прямых круглых каналах, при течении в непрямых каналах и каналах сложной формы.
21. Основные теплоносители, используемые в промышленности. Их характеристика, преимущества и недостатки.
22. Основные конструкции рекуперативных теплообменных аппаратов непрерывного действия.
23. Теплообмен в межтрубном пространстве рекуперативных ТОА при наличии внутренних перегородок.
24. Основные конструкции регенеративных ТОА. Особенности теплообмена в регенеративных ТОА.
25. ТОА с «кипящим» (псевдоожигенным) слоем. Свойства «кипящего» слоя. Теплообмен в слое.

#### **7.2.5 Примерный перечень заданий для подготовки к экзамену**

Не предусмотрено учебным планом

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

Зачет 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 билета 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-3, ПК-4, ПК-5, ПК-8	Тест, защита лабораторных работ, зачет
2	Ректификационные и дистилляционные установки	ПК-3, ПК-4, ПК-5, ПК-8	Тест, защита лабораторных работ, зачет
3	Смесительные ТОА	ПК-3, ПК-4, ПК-5, ПК-8	Тест, зачет

### 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 методики 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 методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

## 8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

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

1. Портнов В.В. Рекуперативные и регенеративные теплообменные аппараты. Учебное пособие. Воронеж. Изд-во ВГТУ. 2008 г. 118с.

2. Портнов В.В. Ректификационные и дистилляционные установки. Учебное пособие. Воронеж. Изд-во ВГТУ. 2009 г. 82 с.

3. Портнов В.В. Смесительные теплообменные аппараты. Учебное пособие. Воронеж. Изд-во ВГТУ. 2015 г. 75 с.

4. Портнов В.В., Майоров В.В., Трошин А.Ю. Тепломассообменное оборудование предприятий. Лабораторный практикум. Учебное пособие. Воронеж. Изд-во ВГТУ. 2019 г. 85 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:**

Microsoft Word, Microsoft Excel, КОМПАС, Конструктор тестов, WaterSteamPro,

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

1. Специализированная лекционная аудитория, оснащённая оборудованием для лекционных демонстраций и проекционной аппаратурой (ауд. 305/3).

2. Компьютерный класс, оснащённый компьютерными программами для проведения лабораторного практикума (ауд. 304/3).

3. Учебная лаборатория «Тепломассообмен и тепломассообменное оборудование» (ауд. 303/3), в которой два теплообменных аппарата и холодильная установка.

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

По дисциплине «Тепломассообменные аппараты низкотемпературных установок» читаются лекции, проводятся практические занятия и лабораторные работы.

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.

Контроль усвоения материала дисциплины производится тестами, проверкой лабораторных работ.

Вид учебных	Деятельность студента
-------------	-----------------------

занятий	
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, 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: - 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