

**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 АЭС
и промышленных предприятий»

Направление подготовки 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика

Профиль Технологические системы жизнеобеспечения АЭС и
промышленных предприятий

Квалификация выпускника бакалавр

Нормативный период обучения 4 года

Форма обучения очная

Год начала подготовки 2025

Автор программы


/Портнов В.В./

Заведующий кафедрой
Теоретической и
промышленной
теплоэнергетики


/Портнов В.В./

Руководитель ОПОП


/Калядин О.В./

Воронеж 2025

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины

получение необходимых теоретических и практических знаний и умений в области расчета, конструирования и выбора теплообменного оборудования АЭС и промышленных предприятий

1.2. Задачи освоения дисциплины

научить проводить тепловые конструктивные и проверочные, компоновочные, гидравлические расчеты теплообменного оборудования предприятий; принимать, обосновывать и защищать конкретные решения при выборе и конструировании теплообменного оборудования;

ознакомить обучающихся с основными видами и конструкциями теплообменного оборудования предприятий и физическими процессами, которые в них протекают; с основными технологическими процессами и установками, в которых используется теплообменное оборудование;

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Теплообменные аппараты АЭС и промышленных предприятий» относится к дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений блока Б1.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Теплообменные аппараты АЭС и промышленных предприятий» направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-1 - Способен выполнять инженерно-технические расчеты и участвовать в разработке проектной документации систем холодоснабжения

ПК-2 - Способен выполнять инженерно-технические расчеты и участвовать в разработке проектной документации систем вентиляции и кондиционирования воздуха

ПК-3 - Способен выполнять инженерно-технические расчеты и разрабатывать конструкторскую документацию отдельных деталей и узлов нестандартизированного оборудования систем жизнеобеспечения АЭС и промышленных предприятий

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ПК-1	знать методы сбора и анализа исходных данных для разработки мероприятий по совершенствованию и модернизации технологического оборудования, технологических процессов, техническую и нормативную документацию предприятий; типовые методики расчета тепло- массообменных процессов и установок
	уметь

	<p>составлять структурные схемы элементов теплообменного оборудования; анализировать научно-техническую информацию, изучать отечественный и зарубежный опыт, анализировать информацию о новых типах и конструкциях теплообменного оборудования, принципах их действия, методах их расчета и проектирования; проводить гидравлические и тепло- массообменные расчеты применительно к теплообменному оборудованию по типовым методикам с использованием нормативной документации и современных методов поиска и обработки информации</p>
	<p>владеть методами проведения тепловых и гидравлических расчетов теплообменного оборудования с использованием нормативной документации</p>
ПК-2	<p>знать методы сбора и анализа исходных данных для разработки мероприятий по совершенствованию и модернизации технологического оборудования, технологических процессов, техническую и нормативную документацию предприятий; типовые методики расчета тепло- массообменных процессов и установок</p>
	<p>Уметь составлять структурные схемы элементов теплообменного оборудования; анализировать научно-техническую информацию, изучать отечественный и зарубежный опыт, анализировать информацию о новых типах и конструкциях теплообменного оборудования, принципах их действия, методах их расчета и проектирования; проводить гидравлические и тепло- массообменные расчеты применительно к теплообменному оборудованию по типовым методикам с использованием нормативной документации и современных методов поиска и обработки информации</p>
	<p>владеть методами проведения тепловых и гидравлических расчетов теплообменного оборудования с использованием нормативной документации</p>
ПК-3	<p>знать методы проектирования энергетических систем атомных электростанций и промышленных предприятий</p>

	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 тепломассообменного оборудования инструментарием для решения математических и физических задач; методами анализа физических явлений в технических устройствах и системах; средствами компьютерной техники и информационных технологий.

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Тепломассообменные аппараты АЭС и промышленных предприятий» составляет 5 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий
очная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		7
Аудиторные занятия (всего)	90	90
В том числе:		
Лекции	36	36
Практические занятия (ПЗ)	36	36
Лабораторные работы (ЛР)	18	18
Самостоятельная работа	54	54
Часы на контроль	36	36
Виды промежуточной аттестации - экзамен	+	+
Общая трудоемкость: академические часы зач.ед.	180 5	180 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 тепломассообменных процессов, аппаратов и установок	Теплотехнологические схемы, процессы, аппараты, установки. Классификация тепломассообменных 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 тепломассообменные установки.	4	4	-	6	14

		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	Рекуперативные 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 расчета. Рекуперативные ТОА периодического действия, их тепловой расчет, графики температур и тепловой нагрузки. Тепловой расчет водонагревателей-аккумуляторов с паровым и водяным обогревом.	12	16	8	12	48
3	Регенеративные теплообменные аппараты	Регенеративные ТОА. Аппараты с неподвижной и перемещающейся насадкой. Особенности теплообмена, температурные режимы и поле температур. Тепловой расчет регенеративных ТОА..	4	2	-	4	10
4	Теплообменные аппараты с «кипящим» (псевдооживленным) слоем	Псевдооживленный слой. Свойства насыпных слоев. Кривая псевдооживления. Методика теплового расчета ТОА с кипящим слоем	2	2	-	8	12
5	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. Диаграмма состояния t-x,y и диаграмма равновесия y-x для бинарных смесей. Процессы в ректификационных установках и их изображение на t-x,y и y-x 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.	10	8	10	16	44
6	Смесительные тепло-массообменные аппараты	Технологические процессы и установки с тепло-массообменом. Движущая сила массо-обменных процессов. H - 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 H - d - диаграмме. Методика определения конечных температур и температурного напора в скрубберах.	4	4	-	8	16
Итого			36	36	18	54	144

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:

- часть 1 – методом А.Н. Плановского

- часть 2 – методом РТМ.

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-1	Знать методы сбора и анализа исходных данных для разработки мероприятий по совершенствованию и модернизации технологического оборудования, технологических процессов, техническую и нормативную документацию предприятий; типовые методики расчета тепло-массообменных процессов и установок	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 составлять структурные схемы элементов тепло-массообменного	Активная работа на практических и лабораторных занятиях, правильные ответы на теоретические	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

	<p>оборудования; анализировать научно-техническую информацию, изучать отечественный и зарубежный опыт, анализировать информацию о новых типах и конструкциях теплообменного оборудования, принципах их действия, методах их расчета и проектирования; проводить гидравлические и тепло-массообменные расчеты применительно к теплообменному оборудованию по типовым методикам с использованием нормативной документации и современных методов поиска и обработки информации</p>	<p>ческие вопросы при защите лабораторных работ и курсового проекта</p>		
	<p>владеть методами проведения тепловых и гидравлических расчетов теплообменного оборудования с использованием нормативной документации</p>	<p>Активная работа на практических и лабораторных занятиях, правильно отвечает на теоретические вопросы при защите лабораторных работ и курсового проекта</p>	<p>Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах</p>	<p>Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах</p>
ПК-2	<p>знать методы сбора и анализа исходных данных для разработки мероприятий по совершенствованию и модернизации технологического оборудования, технологических процессов, техническую и нормативную документацию предприятий; типовые методики расчета теплообменных процессов и установок</p>	<p>Активная работа на практических и лабораторных занятиях, правильно отвечает на теоретические вопросы при защите лабораторных работ и курсового проекта</p>	<p>Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах</p>	<p>Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах</p>
	<p>уметь составлять структурные схемы элементов теплообменного оборудования; анализировать научно-</p>	<p>Активная работа на практических и лабораторных занятиях, правильно отвечает на теоретические вопросы при защите лабораторных работ и курсового проекта</p>	<p>Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах</p>	<p>Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах</p>

	<p>техническую информацию, изучать отечественный и зарубежный опыт, анализировать информацию о новых типах и конструкциях теплообменного оборудования, принципах их действия, методах их расчета и проектирования; проводить гидравлические и тепло-массообменные расчеты применительно к теплообменному оборудованию по типовым методикам с использованием нормативной документации и современных методов поиска и обработки информации</p>			
	<p>владеть методами проведения тепловых и гидравлических расчетов теплообменного оборудования с использованием нормативной документации</p>	<p>Активная работа на практических и лабораторных занятиях, правильно отвечает на теоретические вопросы при защите лабораторных работ и курсового проекта</p>	<p>Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах</p>	<p>Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах</p>
ПК-3	<p>знать методы проектирования энергетических систем атомных электростанций и промышленных предприятий</p>	<p>Активная работа на практических и лабораторных занятиях, правильно отвечает на теоретические вопросы при защите лабораторных работ и курсового проекта</p>	<p>Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах</p>	<p>Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах</p>
	<p>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</p>	<p>Активная работа на практических и лабораторных занятиях, правильно отвечает на теоретические вопросы при защите лабораторных работ и курсового проекта</p>	<p>Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах</p>	<p>Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах</p>
	<p>владеть навыками расчета теплообменного оборудования инструментарием для решения математических и физических задач; методами</p>	<p>Активная работа на практических и лабораторных занятиях, правильно отвечает на теоретические вопросы при защите лабораторных работ и курсового проекта</p>	<p>Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах</p>	<p>Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах</p>

	анализа физических явлений в технических устройствах и системах; средствами компьютерной техники и информационных технологий.			
--	---	--	--	--

7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 7 семестре для очной формы обучения по четырехбалльной системе:

«отлично»;

«хорошо»;

«удовлетворительно»;

«неудовлетворительно».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неудовл.
ПК-1	Знать методы сбора и анализа исходных данных для разработки мероприятий по совершенствованию и модернизации технологического оборудования, технологических процессов, техническую и нормативную документацию предприятий; типовые методики расчета тепло-массообменных процессов и установок	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	Уметь составлять структурные схемы элементов тепло-массообменного оборудования; анализировать научно-техническую информацию, изучать отечественный и зарубежный опыт, анализировать информацию о новых типах и конструкциях тепло-массообмен-	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

	ного оборудования, принципах их действия, методах их расчета и проектирования; проводить гидравлические и тепло- массообменные расчеты применительно к тепло-массообменному оборудованию по типовым методикам с использованием нормативной документации и современных методов поиска и обработки информации					
	владеть методами проведения тепловых и гидравлических расчетов тепло-массообменного оборудования с использованием нормативной документации	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-2	знать методы сбора и анализа исходных данных для разработки мероприятий по совершенствованию и модернизации технологического оборудования, технологических процессов, техническую и нормативную документацию предприятий; типовые методики расчета тепло-массообменных процессов и установок	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	уметь составлять структурные схемы элементов тепло-массообменного оборудования; анализировать	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

	научно-техническую информацию, изучать отечественный и зарубежный опыт, анализировать информацию о новых типах и конструкциях теплообменного оборудования, принципах их действия, методах их расчета и проектирования; проводить гидравлические и тепло-массообменные расчеты применительно к теплообменному оборудованию по типовым методикам с использованием нормативной документации и современных методов поиска и обработки информации					
	владеть методами проведения тепловых и гидравлических расчетов теплообменного оборудования с использованием нормативной документации	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-3	знать методы проектирования энергетических систем атомных электростанций и промышленных предприятий	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	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

технические расчеты в процессе разработки и создания						
владеть навыками расчета тепломассообменного 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	

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 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 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. Компоновкой 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 ТОО

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных 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 неоребренной 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 смесительном теплообменнике из его теплового баланса, считая газ на выходе полностью насыщенным.

8. Найти оптимальное значение флегмового числа методом Плановского.

9. Найти оптимальное значение флегмового числа методом РТМ

10. Найти количество тарелок ректификационной колонны методом кинетической кривой

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. Воздух в количестве 800 м³ при температуре 2000 °С охлаждается до 200 °С при постоянном давлении, равном 1,5 бар. Определить количество теплоты, выделенной при охлаждении.

2. Баллон емкостью 100 л заполнен окисью углерода под абсолютным давлением 50 ат и при температуре –25 °С, после внесения его в теплое помещение температура газа поднялась до +20 °С. Определить количество теплоты, приобретенное газом, и давление в баллоне после нагревания.

3. В газгольдер объемом $V = 200$ м³ подается газ по трубопроводу диаметром $d = 0,1$ м со скоростью 3 м/с. Удельный объем газа $v = 0,4$ м³/кг. За какое время наполнится газгольдер, если плотность газа, заполнившего газгольдер, равна 1,3 кг/м³.

4. Определить массу углекислого газа в сосуде с объемом $V = 4$ м³ при $t = 80$ °С. Давление газа по манометру 0,04 МПа. Барометрическое давление 103990 Па.

5. В цилиндре с подвижным поршнем находится 0,8 м³ воздуха при давлении $p_1 = 0,5$ МПа. Как должен измениться объем, чтобы при повышении давления до 0,8 МПа температура воздуха не изменилась?

6. Дымовые газы, образовавшиеся в топке парового котла, охлаждаются с 1200 до 250 °С. 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 м и высоту 2,4 м, находится воздух при $t = 18$ °С. Давление воздуха 0,765 МПа. Барометрическое давление 101858 Па. Определить массу воздуха в сосуде.

8. Баллон с кислородом емкостью 20 л находится под давлением 10 МПа при $t = 15$ °С. После израсходования части кислорода давление понизилось до 7,6 МПа, а температура упала до 10 °С. Определить массу израсходованного кислорода.

9. Резервуар объемом 4 м³ заполнен углекислым газом. Найти массу m и вес G газа в резервуаре, если избыточное давление газа $p = 40$ кПа, температура его 80 °С, а барометрическое давление воздуха 102,4 кПа.

10. В газгольдер объемом $V = 100$ м³ подается газ по трубопроводу диаметром $d = 0,1$ м со скоростью 3 м/с. Удельный объем газа $v = 0,4$ м³/кг. За какое время наполнится газгольдер, если плотность газа, заполнившего газгольдер, равна 1 кг/м³.

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

Не предусмотрено учебным планом

7.2.5 Примерный перечень заданий для подготовки к экзамену

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 смешительных 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 ТОО..
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 ТОО непрерывного действия.
16. Основные уравнения, используемые при тепловом расчете рекуперативных ТОО. Средняя разность температур. Прямоток и противоток. Сложные схемы течения теплоносителей.
17. Диаграммы состояния идеальных и реальных бинарных смесей. Азеотропные смеси.
18. Тепловой расчет регенеративных ТОО
19. Теплообмен на развитых поверхностях. Методы оребрения. Метод расчета
20. Теплообмен при течении однофазного теплоносителя в прямых круглых каналах, при течении в непрямоугольных 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.

7.2.6. 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 доступ к тесту в ЭИОС.

В тесте 20 вопросов. Время прохождения неограниченно.

Оценки

Отлично - 18 правильных ответов

Хорошо - 16 правильных ответов

Удовлетворительно - 14 правильных ответов

неудовлетворительно - 12 и меньше.

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Основные виды промышленных теплообменных процессов, аппаратов и установок	ПК-1, ПК-2, ПК-3	Тест, экзамен
2	Рекуперативные теплообменные аппараты	ПК-1, ПК-2, ПК-3	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, экзамен
3	Регенеративные теплообменные аппараты	ПК-1, ПК-2, ПК-3	Тест, контрольная работа, экзамен
4	Теплообменные аппараты с «кипящим» (псевдоожигенным) слоем	ПК-1, ПК-2, ПК-3	Тест, контрольная работа, экзамен
5	Дистилляционные и ректификационные установки	ПК-1, ПК-2, ПК-3	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, экзамен
6	Смесительные теплообменные аппараты	ПК-1, ПК-2, ПК-3	Тест, контрольная работа, экзамен

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

Тестирование осуществляется при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования неограниченно. Затем осуществляется проверка

теста экзаменатором и выставляется оценка согласно методики выставления 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

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

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

Практические занятия

4. 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.

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

Лабораторные работы

6. 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.

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;

САД 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

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

– Федеральный институт промышленной собственности. Информационно-поисковая система.

www1.fips.ru

- Национальная электронная библиотека.

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 теплообменное оборудование» (ауд. 303/3), оснащенная необходимым лабораторным оборудованием.

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

По дисциплине «Тепломассообменные аппараты АЭС и промышленных предприятий» 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 теплообменной 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.

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 усвоения 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 экзаменом 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
----------	-----------------------------	----------------------------	--