

**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

«Воздухоразделительные установки»

**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

/ О.В. Калядин /

Заведующий кафедрой  
физики твердого тела

/ Ю.Е. Калинин /

Руководитель ОПОП

/ О.В. Калядин /

Воронеж 2021

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

### 1.1. Цели дисциплины

подготовка будущих бакалавров к решению основных задач профессиональной деятельности в области техники воздухоразделения. Формирование знаний конструкций и принципов работы промышленных воздухоразделительных установок, понимания особенностей физических принципов ожижения и ректификации воздуха, умений проводить разработку технологических схем блоков разделения и выполнять технические расчеты их основных параметров.

### 1.2. Задачи освоения дисциплины

Изучение физических принципов ожижения воздуха, существующих холодильных циклов, особенностей анализа их энергетической эффективности; основных способов очистки и разделения воздуха, принципа действия ректификационных колонн

Освоение методик расчета основных энергетических характеристик воздухоразделительных установок, способов определения числа теоретических тарелок

Ознакомление студентов с технологическим процессом разделения воздуха, с особенностями конструкций и схемами современных воздухоразделительных установок

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Воздухоразделительные установки» относится к дисциплинам вариативной части (дисциплина по выбору) блока Б1.

## 3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Воздухоразделительные установки» направлен на формирование следующих компетенций:

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

ПК-1 - Способен участвовать в разработке методов прогнозирования количественных характеристик процессов, протекающих в конкретных технических системах на основе существующих методик

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ПК-4	Знать устройство, принцип действия, а также методики расчета узлов и аппаратов, входящих в состав воздухоразделительных установок
	Уметь разрабатывать с использованием новых информационных технологий проекты узлов аппаратов воздухоразделительных установок с учетом сфор-

	мультированных к ним требований
	Владеть навыками разработки, в том числе с использованием новых информационных технологий, технических проектов узлов аппаратов воздухооразделительных установок
ПК-1	Знать способы расчета количественных характеристик процессов, протекающих в воздухооразделительных установках на основе существующих методик
	Уметь выполнять расчеты количественных характеристик процессов, протекающих в воздухооразделительных установках на основе существующих методик
	Владеть навыками расчета количественных характеристик процессов, протекающих в воздухооразделительных установках на основе существующих методик

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Воздухооразделительные установки» составляет 8 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий  
**очная форма обучения**

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры	
		7	8
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	138	90	48
В том числе:			
Лекции	60	36	24
Практические занятия (ПЗ)	60	36	24
Лабораторные работы (ЛР)	18	18	-
<b>Самостоятельная работа</b>	114	54	60
<b>Курсовая работа</b>	+		+
Часы на контроль	36	-	36
Виды промежуточной аттестации - экзамен, зачет	+	+	+
Общая трудоемкость:			
академические часы	288	144	144
зач.ед.	8	4	4

#### 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

**очная форма обучения**

№	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак	Лаб.	СРС	Всего,
---	-------------------	--------------------	------	------	------	-----	--------

п/п				зан.	зан.		час
1	Общие сведения о воздухе и продуктах его разделения	Введение. Воздухоразделительные установки. Общие сведения. Продукты разделения воздуха. Их области применения. Физические свойства газов и их смесей. Основные понятия. Давление. Температура. Плотность и удельный объем. Основное уравнение состояния газов. Сжижение газов. Теплоемкость. Некоторые сведения из термодинамики газов. Первый закон термодинамики. Энтальпия. Второй закон термодинамики. Энтропия. Энтропийная диаграмма S-T. Понижение температуры газов при расширении с отдачей и без отдачи внешней работы.	6	6		12	24
2	Холодильные циклы сжижения воздуха	Идеальный холодильный цикл. Циклы с дросселированием. Холодильные циклы, применяемые для сжижения воздуха в ректификационных установках. Идеальный цикл. Холодильный цикл с дросселированием воздуха. Необратимые потери в цикле. Расчет основных параметров. Холодильный цикл с дросселированием и предварительным охлаждением воздуха. Расчет основных параметров, учет потерь. Циклы с расширением воздуха в детандере и отдачей внешней работы. Холодильный цикл среднего давления с расширением воздуха в поршневом детандере. Наивыгоднейшие условия его реализации. Холодильный цикл высокого давления с расширением воздуха в поршневом детандере. Расчет основных параметров, учет потерь. Циклы с расширением воздуха в турбодетандере. Покрытие потерь в ВРУ. Цикл низкого давления (цикл Капицы). Принципиальная схема установки и построение цикла в T-S диаграмме. Расчет основных параметров, учет потерь. Необходимость наличия холодильного цикла в технологической схеме воздухоразделительной установки. Покрытие холодопотерь в установках высокого, среднего и низкого давления.	6	6		12	24
3	Ректификация воздуха	Общие сведения о процессе разделения воздуха. Жидкость и пар. Равновесное состояние. Температурные диаграммы кипения жидкой азото-кислородной смеси. Частичное разделение воздуха. Простое и фракционное испарение. Простая и фракционная конденсация. Ректификация воздуха. Сущность процесса ректификации. Принцип действия ректификационных колонн. Ректификационная тарелка. Процесс разделения воздуха в ректификационной колонне. Взаимодействие жидкости и пара. Отличие действительного процесса от теоретического. Коэффициент обогащения. КПД тарелки. Факторы, влияющие на его величину. Однократная ректификация воздуха. Колонна для получения кислорода. Принципиальная схема. Описание технологического процесса. Колонна для получения азота. Принципиальная	8	8		12	28

		схема. Описание технологического процесса. Недостатки однократной ректификации. Двукратная ректификация воздуха. Схема аппарата и описание процесса со змеевиком в кубе нижней колонны. Схема аппарата и описание процесса без змеевика в кубе нижней колонны.					
4	Расчет аппарата двукратной ректификации	Тепловой и материальный баланс аппарата двукратной ректификации. Виды тепловых потерь. Потери от недорекуперации. Потери через изоляцию. потери при работе жидкостного криогенного насоса. Потери с отводимым жидким продуктом. Тепловое равновесие суммарных потерь и холодопроизводительности цикла. Особенности составления материального баланса аппарата двукратной ректификации. 1. Тепловой и материальный балансы основных аппаратов блока разделения . 2. Тепловой баланс основного теплообменника. Тепловой баланс испарителя. Материальный баланс нижней колонны. Материальный баланс процесса дросселирования. Тепловой баланс конденсатора. Материальный баланс верхней колонны. Тепловой баланс переохладителя флегмы. Расчет числа теоретических тарелок аппарата двукратной ректификации. Графический метод Мак-Кэба и Тиле. Принятые допущения метода. Концентрационная и отгонная секция верхней и нижней колонны. Расчет числа теоретических тарелок в верхней и нижней колонне.	6	6	4,5	12	28,5
5	Очистка и осушка воздуха	Очистка воздуха. Удаление механических примесей. Необходимость очистки от пыли. Воздушные фильтры. Сетчатые и ячейковые висциновые фильтры. Непрерывно действующие самоочищающиеся цепные фильтры. Безмасляная очистка. Рулонные фильтры. Осушка воздуха (вымораживание влаги). Необходимость осушки. Методы осушки. Осушка вымораживанием. Вымораживание влаги в аммиачных теплообменниках в установках высокого и среднего давления. Вымораживание влаги в регенераторах установок низкого давления. 1. Осушка воздуха (адсорбция влаги). 2. Физическая адсорбция. Сущность процесса. Осушка воздуха с помощью адсорбентов. Основные адсорбенты, применяемые в криогенном производстве. Сравнительный анализ и особенности применения. Конструкция блоков адсорбционной осушки. Очистка воздуха от углекислого газа. Методы очистки. Химический метод. Скрубберы и декарбонизаторы. Физические методы очистки воздуха от углекислоты. Вымораживание и адсорбция углекислого газа. Отмывка твердой углекислоты кубовой жидкостью. Комплексная очистка и осушка воздуха. Комплексная очистка и осушка воздуха с использованием	10	10	4,5	20	44,5

		цеолитов. Природные и синтетические цеолиты. Описание цеолитов, применяемых в криогенном производстве. Конструкция блоков комплексной очистки. Рециркуляционная схема подачи регенерирующего газа. Сравнение с другими методами.						
6	Установки для получения газобразных азота и кислорода	Общие сведения о воздухоразделительных установках. Организация производства. Классификация установок по способу получения холода, по способу очистки воздуха, по схеме ректификации. Технологический процесс разделения воздушной смеси. Установки высокого давления, работающие по циклу с простым дросселированием. Принципиальная и технологическая схемы. Особенности работы. Тепловой баланс. Установки с жидкостным криогенным насосом. Причины возникновения дополнительных холодопотерь. Применение предварительного охлаждения. Установки среднего давления с поршневым детандером. Установки двух давлений. Принципиальная и технологическая схемы. Особенности работы. Установки с жидкостным криогенным насосом. Особенности работы установок низкого давления. Принципиальные схемы. Условия работы турбодетандера. Условия забываемости регенераторов твердой углекислотой. Схемы установок с тройным дутьем. Схемы установок, работающих на несбалансированном потоке. Воздушная и азотная тепловая петля. Установки низкого давления. Принципиальная и технологическая схема установки с использованием несбалансированного потока по методу воздушной тепловой петли. Тепловой баланс.	10	10	4,5	20	44,5	
7	Установки для получения жидких азота и кислорода	Установки высокого давления. Принципиальная и технологическая схемы. Особенности работы. Тепловой баланс. Установки низкого давления. Принципиальная и технологическая схемы установки Эйр-Продактс. Особенности работы. Тепловой баланс. Установки низкого давления с циркуляционным азотным холодильным циклом для получения жидкого кислорода.	4	4	4,5	6	18,5	
8	Установки для получения редких газов.	Получение аргона. Получение сырого аргона. Принципиальная схема аппарата и описание работы. Получение технического и чистого аргона. Схемы установок для очистки сырого аргона от кислорода и азота. Их технические характеристики и описание технологического процесса. Получение криптона и ксенона. Получение первичного криптоно-ксенонового концентрата. Обогащение первичного концентрата и получение технического криптона и криптон-ксеноновой смеси. Выделение из технического криптона и криптон-ксеноновой смеси чистых компонентов. Технологические схемы установок и описание процесса работы.	4	4		8	16	

9	Аппаратура блоков разделения воздуха	Теплообменная аппаратура. Трубчатые и пластинчатые теплообменники. Регенераторы (с насадкой из алюминиевой ленты и дробленого базальта). Конденсаторы (основные и выносные). аппараты с межтрубным и внутритрубным кипением. Ректификационные колонны. Колонны аппаратов однократной и двукратной ректификации. Нижние и верхние колонны блоков разделения. Конструкции ректификационных тарелок. Переливные устройства. Теплоизоляция блоков разделения воздуха. Классификация. Волокнистые, ячеистые и порошковые материалы. Вакуумная теплоизоляция блоков разделения воздуха. Классификация. Высоковакуумная, вакуумно-порошковая, вакуумно-многослойная изоляция. Особенности. Способы улучшения вакуума в изоляционном слое	6	6	12	24	
<b>Итого</b>			<b>60</b>	<b>60</b>	<b>18</b>	<b>114</b>	<b>252</b>

## 5.2 Перечень лабораторных работ

- Изучение принципа действия, конструкции и особенностей эксплуатации блоков комплексной очистки воздуха установки АЖА – 0.04;
- Изучение принципа действия, конструкции и особенностей эксплуатации блока разделения воздуха установки АЖА – 0.04;
- Расчет аппарата двукратной ректификации на примере установки АЖА – 0.04;
- Изучение принципа действия, конструкции и особенностей эксплуатации установки для получения жидкого азота из атмосферного воздуха ЗИФ – 1002.

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

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины предусматривает выполнение курсовой работы в 8 семестре для очной формы обучения.

Примерная тематика курсовой работы: «Расчет и проектирование технологической схемы воздуходелительной установки»

Задачи, решаемые при выполнении курсовой работы:

- анализ литературы по теме курсовой работы;
- определение расчетных параметров и построение схемы установки;
- составление теплового и материального баланса установки в целом;
- составление тепловых балансов основных частей установки и определение расчетных нагрузок теплообменников;
- определение всех материальных и тепловых потоков, а также параметров состояния в узловых точках схемы;
- определение общих энергетических затрат установки;
- расчёт процесса ректификации.

Курсовая работа 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».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ПК-4	Знать устройство, принцип действия, а также методики расчета узлов и аппаратов, входящих в состав воздухооразделительных установок	Активная работа на практических занятиях	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Уметь разрабатывать с использованием новых информационных технологий проекты узлов аппаратов воздухооразделительных установок с учетом сформулированных к ним требований	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Владеть навыками разработки, в том числе с использованием новых информационных технологий, технических проектов узлов аппаратов воздухооразделительных установок	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПК-1	Знать способы расчета количественных характеристик процессов, протекающих в воздухооразделительных установках на основе существующих методик	Активная работа на практических занятиях	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Уметь выполнять расчеты количественных характеристик процессов, протекающих в воздухооразделительных установках на основе существующих методик	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Владеть навыками расчета количественных характеристик процессов, протекающих в воздухооразделительных установках на основе существующих методик	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	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, 8 семестре для очной формы обучения по двух/четырёхбалльной системе:



«зачтено»

«не зачтено»

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Зачтено	Не зачтено
ПК-4	Знать устройство, принцип действия, а также методики расчета узлов и аппаратов, входящих в состав воздухооразделительных установок	Тест	Выполнение теста на 60-100%	В тесте менее 60% правильных ответов
	Уметь разрабатывать с использованием новых информационных технологий проекты узлов аппаратов воздухооразделительных установок с учетом сформулированных к ним требований	Тест	Выполнение теста на 60-100%	В тесте менее 60% правильных ответов
	Владеть навыками разработки, в том числе с использованием новых информационных технологий, технических проектов узлов аппаратов воздухооразделительных установок	Тест	Выполнение теста на 60-100%	В тесте менее 60% правильных ответов
ПК-1	Знать способы расчета количественных характеристик процессов, протекающих в воздухооразделительных установках на основе существующих методик	Тест	Выполнение теста на 60-100%	В тесте менее 60% правильных ответов
	Уметь выполнять расчеты количественных характеристик процессов, протекающих в воздухооразделительных установках на основе существующих методик	Тест	Выполнение теста на 60-100%	В тесте менее 60% правильных ответов
	Владеть навыками расчета количественных характеристик процессов, протекающих в воздухооразделительных установках на основе существующих методик	Тест	Выполнение теста на 60-100%	В тесте менее 60% правильных ответов

ИЛИ

«отлично»;

«хорошо»;

«удовлетворительно»;

«неудовлетворительно».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неудовл.
ПК-4	Знать устройство, принцип действия, а также методики расчета узлов и аппаратов,	Тест	Выполнение теста на 85-100%	Выполнение теста на 70-85%	Выполнение теста на 50-70%	В тесте менее 50% правильных ответов

	входящих в состав воздуходелительных установок					
	Уметь разрабатывать с использованием новых информационных технологий проекты узлов аппаратов воздуходелительных установок с учетом сформулированных к ним требований	Тест	Выполнение теста на 85-100%	Выполнение теста на 70-85%	Выполнение теста на 50-70%	В тесте менее 50% правильных ответов
	Владеть навыками разработки, в том числе с использованием новых информационных технологий, технических проектов узлов аппаратов воздуходелительных установок	Тест	Выполнение теста на 85-100%	Выполнение теста на 70-85%	Выполнение теста на 50-70%	В тесте менее 50% правильных ответов
ПК-1	Знать способы расчета количественных характеристик процессов, протекающих в воздуходелительных установках на основе существующих методик	Тест	Выполнение теста на 85-100%	Выполнение теста на 70-85%	Выполнение теста на 50-70%	В тесте менее 50% правильных ответов
	Уметь выполнять расчеты количественных характеристик процессов, протекающих в воздуходелительных установках на основе существующих методик	Тест	Выполнение теста на 85-100%	Выполнение теста на 70-85%	Выполнение теста на 50-70%	В тесте менее 50% правильных ответов
	Владеть навыками расчета количественных характеристик процессов, протекающих в воздуходелительных установках на основе существующих методик	Тест	Выполнение теста на 85-100%	Выполнение теста на 70-85%	Выполнение теста на 50-70%	В тесте менее 50% 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. Что происходит с поршневым компрессором (и его деталями), когда в него попадает пыль?

Износ лопаток рабочих колес

=Износ клапанов

=Износ поршневых колец

=Износ поверхностей цилиндров

2. В установках, перерабатывающих свыше 8000 м<sup>3</sup>/ч воздуха, устанавливаются

на всасывающем трубопроводе компрессора ...

Рулонные фильтры

Ячейковые фильтры

=Цепные фильтры

=Самоочищающиеся сетчатые фильтры

3. Какой максимальный перепад давления допустим для цепных и сетчатых масляных фильтров?

=100 Па

101 кПа

101325 Па

1 МПа

4. Что такое время защитного действия?

время от момента подачи воздуха до момента отключения установки

время прохождения воздуха через адсорбент

время от момента подачи воздуха до момента входа влажного воздуха

=время от момента подачи воздуха до момента выхода влажного воздуха

5. Абсолютная влажность воздуха – это...

Количество водяных паров в 10 м<sup>3</sup> влажного воздуха

Количество водяных паров в 10 м<sup>3</sup> сухого воздуха

=Количество водяных паров в 1 м<sup>3</sup> влажного воздуха

Количество водяных паров в 1 м<sup>3</sup> сухого воздуха

6. Основными холодопроизводящими процессами в ВРУ, работающей по циклу Линде, могут быть

=Блок предварительного охлаждения

Расширение в Детандере

=Изотермический дроссель-эффект

Дросселирование

7. Зачем в установках низкого давления необходимо часть жидкого кислорода отводить из основного конденсатора в выносной?

=В жидком кислороде накапливаются углеводороды

Температура кислорода повышается

Давление кислорода повышается

Жидкого кислорода очень много

8. Почему в установках низкого давления большой производительности не используют конденсатор с межтрубным кипением кислорода?

Конденсатор очень маленький

Уменьшается давление в нижней колонне

=Конденсатор очень громоздкий

=Увеличивается давление в нижней колонне

9. Какие стадии включает процесс производства аргона?

Получение сухого аргона

=Получение сырого аргона

=Получение технического аргона

=Очистка технического аргона

10. Из какой части воздухоразделительной колонны забирается аргонная фракция?

Из-под крышки конденсатора

Из куба нижней колонны

В месте ввода кубовой жидкости

=Из верхней колонны между 18 и 22 тарелками

### 7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1. В каком устройстве из неона-гелиевой смеси удаляется водород?

В адсорбере

В теплообменник

=В реакторе

В фильтре

2. Какую температуру имеет неон – гелиевая смесь перед попаданием в змеевик колонны РК?

25К

31К

35К

=41К

3. На каких установках целесообразно извлекать криптон и ксенон?

=на крупных

на средних

на малых

не имеет значения

4. Что может произойти с колонной при повышенном содержании N<sub>2</sub> в сыром аргоне?

= перестанет работать из-за отсутствия флегмы

будет меньше продукта на выходе

будет меньшая концентрация аргона

будет обмерзать в верхней части

5. Почему коэффициент извлечения аргона в установках низкого давления обычно не превышает 25%?

=Из-за переключения регенераторов

Из-за малого рабочего давления  
Из-за большой производительности  
Из-за больших холодопотерь

6. Какой марки цеолит используется для очистки от остатков углеводов в адсорбере при получении крипто-ксеноновой смеси?

NaX  
NaA  
CaX  
=CaA

7. В какой части ректификационной колонны накапливается криптон и ксенон?

В кубе нижней колонны  
=В жидком кислороде в конденсаторе  
В газообразном кислороде в конденсаторе  
В жидком азоте

8. Какой коэффициент извлечения крипто-ксеноновой смеси в установке Хром – 3?

= 0,97 – 0,99  
0,77 – 0,8  
0,5 – 0,6  
0,25 – 0,3

9. Какое количество неона содержится в атмосферном воздухе?

0,0005%  
15%  
95%  
=0,00018%

10. Что не является преимуществом (свойством) неона, как криоагента?

возможность получать широкий диапазон низких температур  
химическая инертность и взрывобезопасность  
простота сжижения и хранения  
=малая теплота испарения на единицу объема жидкости

### 7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. Какие преимущества у конденсатора, который работает в «мокро» режиме?

Обеспечение низкого коэффициента теплопередачи  
Способствование выпадению кристаллов углеводов  
=Обеспечение высокого коэффициента теплопередачи  
=Недопущение выпадения кристаллов углеводов

2. Какая температура достигается в реакторе при каталитической очистке аргона от кислорода?

100 °С

280 °С

390 °С

=450 °С

3. Какой состав имеет сырой аргон?

40-50 % аргон, 20-30% кислород, 10-30% азот

50-60% аргон, 10-20% кислород, 1-10% азот

70-80% аргон, 10% кислород, 10% азот

=82-90% аргон, 1-10% кислород, 4-8% азот

4. При какой температуре идет адсорбция в установке очищения сырого аргона от кислорода?

53-55K

= 93-95K

103-105K

123-125K

5. На установках какой производительности целесообразно извлечение криптона и ксенона?

10000-11000 м3/ч

5000-10000 м3/ч

1500-2000 м3/ч

=15000-20000 м3/ч

6. Какова нормальная температура кипения ксенона?

119,8 К

87,25 К

77,4 К

= 165,05 К

7. Что является отличительной особенностью установки Хром-3?

Отсутствие печи

Отсутствие адсорбера

=Отсутствие компрессора

Отсутствие теплообменника

8. До какой температуры нагревается криптон-ксеноновая смесь перед очисткой от углеводородов в печи (Установка УСК-1М)?

100°С

250 °С

=700 °С

1500 °С

9. Почему трудно удалить водород из неон-гелиевой смеси?

Так как температура кипения водорода не достижима

Так как температура кипения водорода находится ниже температур кипения неона и гелия

Так как температура кипения водорода находится выше температур кипения неона и гелия

=Так как температура кипения водорода находится между температурами кипения неона и гелия

10. Для отбора, обогащения неонгелиевой смеси применяют дополнительный?

скруббер

адсорбер

теплообменник

=дефлегматор

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

1. Воздухоразделительные установки. Общие сведения. Продукты разделения воздуха. Их характеристика и применение.

2. Жидкость и пар. Равновесное состояние. Температурные диаграммы кипения жидкой азото-кислородной смеси.

3. Частичное разделение воздуха. Простое и фракционное испарение. Простая и фракционная конденсация.

4. Ректификация воздуха. Сущность процесса. Принцип действия ректификационных колонн.

5. Процесс разделения воздуха в ректификационной колонне. Взаимодействие жидкости и пара. Отличие действительного процесса от теоретического. Коэффициент обогащения.

6. КПД тарелки. Факторы, влияющие на его величину.

7. Однократная ректификация воздуха. Колонна для получения кислорода.

8. Однократная ректификация воздуха. Колонна для получения азота

9. Двукратная ректификация. Схема аппарата и описание процесса со змеевиком в кубе нижней колонны.

10. Двукратная ректификация. Схема аппарата и описание процесса без змеевика в кубе нижней колонны.

11. Холодильные циклы, применяемые для ожижения воздуха в ректификационных установках. Идеальный цикл.

12. Холодильный цикл с дросселированием воздуха. Необратимые потери в цикле. Расчет основных параметров.

13. Холодильный цикл с дросселированием и предварительным охлаждением воздуха. Расчет основных параметров, учет потерь.

14. Холодильный цикл среднего давления с расширением воздуха в

поршневом детандере. Расчет основных параметров, учет потерь.

15. Холодильный цикл высокого давления с расширением воздуха в поршневом детандере. Расчет основных параметров, учет потерь.

16. Холодильный цикл низкого давления с расширением воздуха в турбодетандере. Расчет основных параметров, учет потерь.

17. Покрытие холодопотерь в установках воздухоразделения.

18. Тепловой баланс аппарата двукратной ректификации. Материальный баланс аппарата двукратной ректификации.

19. Определение числа теоретических тарелок в верхней колонне.

20. Определение числа теоретических тарелок в нижней колонне со змеевиком.

21. Определение числа теоретических тарелок в нижней колонне без змеевика.

22. Очистка воздуха. Удаление механических примесей.

23. Осушка воздуха, ее необходимость. Методы осушки. Осушка вымораживанием. Осушка воздуха с помощью адсорбентов. Основные адсорбенты, применяемые в криогенном производстве.

24. Очистка воздуха от двуокиси углерода. Методы очистки. Химический метод Скрубберы и декарбонизаторы.

25. Физические методы очистки воздуха от углекислоты. Вымораживание двуокиси углерода в регенераторах установок низкого давления.

26. Физические методы очистки воздуха от углекислоты. Адсорбционный способ очистки детандерного воздуха в установках низкого давления.

27. Физические методы очистки воздуха от углекислоты. Очистка потока воздуха, отводимого из средней части регенераторов установок низкого давления, в теплообменниках-вымораживателях.

28. Физические методы очистки воздуха от углекислоты. Отмывка твердой двуокиси углерода кубовой жидкостью.

29. Комплексная очистка и осушка воздуха с использованием цеолитов

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

1. Установки для разделения воздуха. Классификация. Технологический процесс разделения воздушной смеси.

2. Установки высокого давления. Особенности работы. Тепловой баланс. Принципиальная и технологическая схемы.

3. Установки высокого давления с жидкостным насосом. Особенности работы. Тепловой баланс. Принципиальная и технологическая схемы.

4. Установки среднего давления. Особенности работы. Тепловой баланс. Принципиальная и технологическая схемы.

5. Установки двух давлений. Особенности работы. Тепловой баланс. Принципиальная и технологическая схемы.

6. Установки низкого давления. Особенности работы.

7. Установки низкого давления. Принципиальная и технологическая схема установки с использованием несбалансированного потока по методу воздушной тепловой петли.



8. Установки высокого давления для получения жидкого кислорода и азота.
9. Установки низкого давления для получения жидкого кислорода.
10. Установки низкого давления с циркуляционным азотным холодильным циклом для получения жидкого кислорода.
11. Получение редких газов на воздухоразделительных установках. Распределение газов в колонне двукратной ректификации.
12. Аргон. Основные стадии получения. Применение. Получение сырого аргона. Описание технологического процесса и схема установки.
13. Получение технического аргона. Описание технологического процесса и схема установки.
14. Получение чистого аргона. Описание технологического процесса и схема установки.
15. Очистка сырого аргона цеолитами. Описание технологического процесса и схема установки.
16. Криптон и ксенон. Основные стадии получения. Применение. Получение первичного криптон-ксенонового концентрата. Описание технологического процесса и схема установки.
17. Получение технической криптон-ксеноновой смеси. Описание технологического процесса и схема установки.
18. Получение чистых криптона и ксенона. Описание технологического процесса и схема установки.
19. Неон и гелий. Основные стадии получения. Применение. Получение сырой неон-гелиевой смеси. Описание технологического процесса и схема установки.
20. Получение неон-гелиевой фракции. Описание технологического процесса и схема установки.
21. Получение чистого неона. Описание технологического процесса и схема установки.
22. Теплоизоляция блоков разделения воздуха. Волокнистые, ячеистые и порошковые материалы.
23. Вакуумная теплоизоляция блоков разделения воздуха. Классификация. Особенности высоко-вакуумной и вакуумно-порошковой изоляции. Способы улучшения вакуума в изоляционном слое.
24. Вакуумная теплоизоляция блоков разделения воздуха. Классификация. Особенности вакуумно-порошковой с экранированием и вакуумно-многослойной изоляции. Способы улучшения вакуума в изоляционном слое.
25. Ректификационные колонны. Устройство и конструкции. Тарелки и переливные устройства.
26. Конденсаторы. Назначение и принцип работы. Конструкции

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

*Экзамен проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 10 вопросов, 5 стандартных задач и 5 прикладных задач. Каждый правильный*

ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом, правильно решенная задача оценивается в 2 балла. Максимальное количество набранных баллов – 30.

1. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал менее 15 баллов.

2. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал от 15 до 20 баллов

3. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент набрал от 21 до 25 баллов.

4. Оценка «Отлично» ставится, если студент набрал от 26 до 30 баллов.

### 7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Общие сведения о воздухе и продуктах его разделения	ПК-4, ПК-1	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
2	Холодильные циклы сжижения воздуха	ПК-4, ПК-1	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
3	Ректификация воздуха	ПК-4, ПК-1	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
4	Расчет аппарата двукратной ректификации	ПК-4, ПК-1	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
5	Очистка и осушка воздуха	ПК-4, ПК-1	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
6	Установки для получения газобразных азота и кислорода	ПК-4, ПК-1	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
7	Установки для получения жидких азота и кислорода	ПК-4, ПК-1	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....

8	Установки для получения редких газов.	ПК-4, ПК-1	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
9	Аппаратура блоков разделения воздуха	ПК-4, ПК-1	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....

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

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста экзаменатором и выставляется оценка согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо 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, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо 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.

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**

- Жучков А.В. Ректификационные установки непрерывного действия. - Воронеж: ВПИ, 1986.

- Портнов В.В. Ректификационные установки: учеб. пособие. - Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2001. - 41 с.

- Портнов В.В. Ректификационные и дистилляционные установки: Учеб. пособие. - Воронеж: ГОУВПО "Воронежский государственный технический университет", 2009. - 82 с.

- Соколов Е.Я., Бродянский В.М. Энергетические основы трансформации тепла и процессов охлаждения, 1981

- Борзенко Е.И. Расчет колонны двукратной ректификации воздуха с

помощью i-х диаграммы [Электронный ресурс]: учебно-методическое пособие / Е.В. Логвиненко; Е.И. Борзенко. - Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2016. - 36 с. URL: <http://www.iprbookshop.ru/68087.html>

- Компьютерный расчет процесса ректификации [Электронный ресурс]: учебное пособие / А.В. Богданов; В.И. Гаврилов; Ф.Р. Гариева; А.А. Караванов; Р.Р. Мусин. - Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2014. - 99 с. - ISBN 978-5-7882-1637-9. URL: <http://www.iprbookshop.ru/61866.html>

- Свидченко А.И. Исследование и разработка методов расчета ректификационных колонн химических производств [Электронный ресурс]: монография / В.С. Стригин; Е.А. Свидченко; А.И. Свидченко. - Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет, 2014. - 211 с. - ISBN 978-5-88648-909-5. URL: <http://www.iprbookshop.ru/63209.html>

- Кузнецов О. А. Технологический расчёт ректификационной колонны для разделения бинарной смеси с применением Excel и Aspen Plus: учебное пособие / О.А. Кузнецов. - Москва|Берлин : Директ-Медиа, 2016. - 80 с. - ISBN 978-5-4475-8742-0. URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=453027>

- Салова Т. Ю. Перегонные и ректификационные установки: Методические указания для обучающихся по дисциплине «Тепломассообменное оборудование предприятий» по направлению подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» уровень высшего образования бакалавриат / Т.Ю. Салова. - Санкт-Петербург: СПбГАУ, 2016. - 36 с. URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=445956>

- Шайхутдинова М. К. Расчет ректификационной установки [Электронный ресурс]: Учебно-методическое пособие / М. К. Шайхутдинова, Н. В. Дерягина, Ф. А. Бурюкин. - Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2016. - 170 с. - ISBN 978-5-7638-3590-8. URL: <http://www.iprbookshop.ru/84110.html>

- Баррон Р. Криогенные системы / Пер. с англ. С. П. Сидорова; Под ред. А. К. Городова. - Москва: Энергоатомиздат, 1989. - 406 с.

- Беляков В.П. Криогенная техника и технология. - Москва: Энергоиздат, 1982. - 271 с.

- Алексеев В.П. Расчет и моделирование аппаратов криогенных установок. - Ленинград: Энергоатомиздат. Ленингр. отделение, 1987. - 277 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:**

- SMath Studio
- Mathcad
- Advanced Grapher
- Microsoft Windows 10
- Microsoft Office 2013/2007

- Компас 3D LT
- Refprop 8.0
- <https://elibrary.ru>
- <https://cchgeu.ru>

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

Специализированная лекционная аудитория, оснащенная оборудованием для лекционных демонстраций и проекционной аппаратурой

Азотное отделение криогенной лаборатории для проведения лабораторных работ, в которой размещаются:

- воздухоразделительная установка АЖА-0,04
- криогенная газовая машина ЗИФ-1000
- установка, для получения жидкого азота ЗИФ-1002

Дисплейный класс, оснащенный компьютерными программами для проведения практических занятий

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

По дисциплине «Воздухоразделительные установки» читаются лекции, проводятся практические занятия и лабораторные работы, выполняется курсовая работа.

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 криогенных воздухоразделительных установок. 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 курсовой работы изложена в учебно-методическом пособии. Выполнять этапы курсовой работы должны своевременно и в установленные сроки.

Контроль усвоения материала дисциплины производится проверкой курсовой работы, защитой курсовой работы.

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 прак-

	тическом 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: <ul style="list-style-type: none"> <li>- работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций;</li> <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	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, экзаменом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.