

**Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

Направление подготовки/специальность: 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика

Наименование образовательной программы: Физика и техника низких температур

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Оценочные материалы
по дисциплине
Установки разделения низкотемпературных смесей**

**Москва
2023**

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Пузина Ю.Ю.
	Идентификатор	Re86e9a56-Puzina-4d2acad1

(подпись)

Ю.Ю.

Пузина

(расшифровка
подписи)

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной
программы

(должность, ученая степень, ученое
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Крюков А.П.
	Идентификатор	R9b81f956-KryukovAP-8dacf4ed

(подпись)

А.П. Крюков

(расшифровка
подписи)

Заведующий
выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Пузина Ю.Ю.
	Идентификатор	Re86e9a56-Puzina-4d2acad1

(подпись)

Ю.Ю.

Пузина

(расшифровка
подписи)

ОБЩАЯ ЧАСТЬ

Оценочные материалы по дисциплине предназначены для оценки: достижения обучающимися запланированных результатов обучения по дисциплине, этапа формирования запланированных компетенций и уровня освоения дисциплины.

Оценочные материалы по дисциплине включают оценочные средства для проведения мероприятий текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

Формируемые у обучающегося компетенции:

1. ПК-2 Способен проводить расчетно-теоретические и экспериментальные исследования теплогидравлических процессов в конструкциях низкотемпературных установках

ИД-3 Способен анализировать термодинамические свойства смесей, методы процессов разделения применительно к задачам низкотемпературной техники

и включает:

для текущего контроля успеваемости:

Форма реализации: Письменная работа

1. Современное криогенное обеспечение процесса ректификации (Контрольная работа)
2. Физические принципы разделения газовых смесей (Контрольная работа)

БРС дисциплины

3 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %		
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2
	Срок КМ:	6	16
Физические принципы разделения газовых смесей			
Физические принципы разделения газовых смесей			+
Основы конденсационно-испарительного метода.			
Основы конденсационно-испарительного метода.			+
Процесс ректификации			
Процесс ректификации			+
Расчет числа теоретических тарелок			
Расчет числа теоретических тарелок			+
Современное криогенное обеспечение процесса ректификации			
Современное криогенное обеспечение процесса ректификации			+

Колонны однократной и двукратной ректификации и системы очистки и осушки		
Колонны однократной и двукратной ректификации и системы очистки и осушки		+
Получение чистых кислорода, азота и аргона		
Получение чистых кислорода, азота и аргона	+	
Получение неона, гелия и водорода.		
Получение неона, гелия и водорода.	+	
Разделение газов методом короткоциклового адсорбции		
Разделение газов методом короткоциклового адсорбции	+	
Установки мембранного разделения.		
Установки мембранного разделения.	+	
Установки для разделения природного газа		
Состав природного газа. Установки ожижения природного газа. Выделение «тяжелых» углеводородов и «неконденсирующихся» компонентов – азот и гелий.	+	
Получение особо чистых газов		
Получение особо чистых газов	+	
Вес КМ:	50	50

\$Общая часть/Для промежуточной аттестации\$

СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

I. Оценочные средства для оценки запланированных результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Индекс компетенции	Индикатор	Запланированные результаты обучения по дисциплине	Контрольная точка
ПК-2	ИД-3ПК-2 Способен анализировать термодинамические свойства смесей, методы процессов разделения применительно к задачам низкотемпературной техники	Знать: основы технологий изготовления основных элементов и узлов систем разделения газов Уметь: разработать основы конструкций основных узлов систем разделения, выбирать конструкционные материалы для их изготовления	Физические принципы разделения газовых смесей (Контрольная работа) Современное криогенное обеспечение процесса ректификации (Контрольная работа)

II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

КМ-1. Физические принципы разделения газовых смесей

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 50

Процедура проведения контрольного мероприятия: Выбор задания, время на подготовку ответа, ответ

Краткое содержание задания:

Термодинамические и теплофизические свойства инертных газов, азота, кислорода.

Основные фазовые диаграммы. Фазовое равновесие жидкость-пар, жидкость- твердое тело, газ- твердое тело.

Контрольные вопросы/задания:

Знать: основы технологий изготовления основных элементов и узлов систем разделения газов	1.Термодинамические и теплофизические свойства инертных газов, азота, кислорода. Основные фазовые диаграммы. Фазовое равновесие жидкость-пар, жидкость- твердое тело, газ- твердое тело. Основные принципы разделения газовых смесей. Области применения и эффективность разделения смесей. Минимальная работа разделения. 2.Принцип конденсационно-испарительного метода. Тепловой и энергетический баланс. Непрерывное испарение и непрерывная конденсация. Прямоток и противоток паровой и жидкой фаз. 3.Ректификация. Конденсатор и испаритель ректификационной колонны . Определение полюса ректификационной колоны и рабочей линии (конноды). Ректификационная тарелка. Эффективность ректификационной тарелки. 4.Расчет процесса ректификации методом Понсона и методом Мак-Кабе и Тиле. Сравнение методов.
--	---

Описание шкалы оценивания:

Оценка: зачтено

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "зачтено" выставляется если задание выполнено правильно или с незначительными недочетами

Оценка: не зачтено

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "не зачтено" выставляется если задание не выполнено в отведенный срок или результат не соответствует заданию

КМ-2. Современное криогенное обеспечение процесса ректификации

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 50

Процедура проведения контрольного мероприятия: Выбор задания, время на подготовку ответа, ответ

Краткое содержание задания:

Разделение воздуха методом низкотемпературной ректификации

Контрольные вопросы/задания:

Уметь: разработать основы конструкций основных узлов систем разделения, выбирать конструкционные материалы для их изготовления	1. Анализ различных физических методов разделения газовых смесей 2. Фазовые диаграммы температура- концентрация и энтальпия –концентрация для бинарных смесей. Фазовое равновесие пар-жидкость. 3. Непрерывное испарение и конденсация бинарной смеси. Прямоток и противоток. 4. Расчет числа теоретических тарелок в ректификационной колонне. 5. Метод Понсона и метод Мак-Кабе и Тиле 6. Колонны однократной ректификации 7. Получение аргона, неона и ксенона и криптона 8. Получение азота и кислорода методом короткоциклового адсорбции
--	--

Описание шкалы оценивания:

Оценка: зачтено

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "зачтено" выставляется если задание выполнено правильно или с незначительными недочетами

Оценка: не зачтено

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "не зачтено" выставляется если задание не выполнено в отведенный срок или результат не соответствует заданию

СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

3 семестр

Форма промежуточной аттестации: Экзамен

Пример билета

1. Термодинамические и теплофизические свойства инертных газов, азота, кислорода. Основные фазовые диаграммы. Фазовое равновесие жидкость-пар, жидкость- твердое тело, газ- твердое тело. Основные принципы разделения газовых смесей. Области применения и эффективность разделения смесей. Минимальная работа разделения.
2. Особенности получения особо чистых газов и области применения таких газов. Схемные решения. Современные методы анализа состава газовой смеси.

Процедура проведения

Слепой выбор билета, время на подготовку ответа, ответ.

1. Перечень компетенций/индикаторов и контрольных вопросов проверки результатов освоения дисциплины

1. Компетенция/Индикатор: ИД-ЗПК-2 Способен анализировать термодинамические свойства смесей, методы процессов разделения применительно к задачам низкотемпературной техники

Вопросы, задания

- 1.1. Термодинамические и теплофизические свойства инертных газов, азота, кислорода. Основные фазовые диаграммы. Фазовое равновесие жидкость-пар, жидкость-твердое тело, газ- твердое тело. Основные принципы разделения газовых смесей. Области применения и эффективность разделения смесей. Минимальная работа разделения.
2. Особенности получения особо чистых газов и области применения таких газов. Схемные решения. Современные методы анализа состава газовой смеси.
- 2.1. Принцип конденсационно-испарительного метода. Тепловой и энергетический баланс. Непрерывное испарение и непрерывная конденсация. Прямоток и противоток паровой и жидкой фаз.
2. Состав природного газа. Установки ожижения природного газа. Выделение «тяжелых» углеводородов и «неконденсирующихся» компонентов – азот и гелий.
- 3.1. Ректификация. Конденсатор и испаритель ректификационной колонны . Определение полюса ректификационной колонны и рабочей линии (конноды). Ректификационная тарелка. Эффективность ректификационной тарелки.
2. Физические принципы мембранного разделения. Типы мембран и их конструкция. Принципиальные схемы разделения. Характеристики современных установок мембранного разделения. Области применения таких установок.
4. 1. Расчет процесса ректификации методом Понсона и методом Мак-Кабе и Тиле. Сравнение методов.
2. Физические принципы короткоциклового адсорбции. Типы адсорбентов и их характеристики. Принципиальные схемы разделения. Характеристики современных установок короткоциклового адсорбции и области их применения.
- 5.1. Разделение воздуха методом низкотемпературной ректификации. Криогенные системы обеспечения ректификации. Сравнение различных криогенных систем. Технические характеристики установок разделения воздуха.

2. Особенности получения неона, криптона и ксенона. Получение чистого газообразного гелия. Получение чистого газообразного водорода.
- 6.1. Азотная и кислородная ректификационная колонна. Особенности работы таких колонн. Системы очистки и осушки. Регенераторы воздухоразделительных установок. Адсорбционная осушка и очистка.
2. Схемы получения чистого газообразного и жидкого азота и кислорода. Ректификация трехкомпонентной смеси: азот, кислород и аргон. Получение чистого аргона.
- 7.1. Термодинамические и теплофизические свойства инертных газов, азота, кислорода. Основные фазовые диаграммы. Фазовое равновесие жидкость-пар, жидкость-твердое тело, газ- твердое тело. Основные принципы разделения газовых смесей. Области применения и эффективность разделения смесей. Минимальная работа разделения.
2. Принцип конденсационно-испарительного метода. Тепловой и энергетический баланс. Непрерывное испарение и непрерывная конденсация. Прямоток и противоток паровой и жидкой фаз.
- 8.1. Ректификация. Конденсатор и испаритель ректификационной колонны . Определение полюса ректификационной колоны и рабочей линии (конноды). Ректификационная тарелка. Эффективность ректификационной тарелки.
2. Расчет процесса ректификации методом Понсона и методом Мак-Кабе и Тиле. Сравнение методов.
- 9.1. Расчет процесса ректификации методом Понсона и методом Мак-Кабе и Тиле. Сравнение методов.
2. Разделение воздуха методом низкотемпературной ректификации. Криогенные системы обеспечения ректификации. Сравнение различных криогенных систем. Технические характеристики установок разделения воздуха.
- 10.1. Состав природного газа. Установки ожижения природного газа. Выделение «тяжелых» углеводородов и «неконденсирующихся» компонентов – азот и гелий.
2. Особенности получения особо чистых газов и области применения таких газов. Схемные решения. Современные методы анализа состава газовой смеси.

Материалы для проверки остаточных знаний

1.Ректификационная колонна

Ответы:

Устный ответ

Верный ответ: Ректификационная колонна — аппарат, предназначенный для разделения жидких смесей, составляющие которых имеют различную температуру кипения. Классическая колонна представляет собой вертикальный цилиндр с контактными устройствами внутри.

2.Ректификация

Ответы:

Устный ответ

Верный ответ: Ректификация — это процесс разделения двойных или многокомпонентных смесей за счёт противоточного массообмена между паром и жидкостью

3.Адсорбция

Ответы:

Устный ответ

Верный ответ: Адсорбция – это процесс сорбции, поглощения, которое происходит в поверхностном слое вещества, обычно – твердого микропористого материала. Поглощающий (фильтрующий) субстрат называется адсорбентом, а поглощаемое соединение – адсорбатом.

4. Абсорбция

Ответы:

Устный ответ

Верный ответ: Абсорбция - это химический или физический процесс впитывания одного вещества другим. При этом поглощаемое вещество полностью пропитывает поглощающее.

5. Состав природного газа

Ответы:

Устный ответ

Верный ответ: Основную часть природного газа составляет метан (CH_4) — от 70 до 98 %. В состав природного газа могут входить более тяжёлые углеводороды — гомологи метана: C_2H_6 , C_3H_8 , C_4H_{10} , C_5H_{12} . Природный газ содержит также другие вещества, не являющиеся углеводородами: H_2O , CO_2 . Чистый природный газ не имеет цвета и запаха

6. Испарение

Ответы:

Устный ответ

Верный ответ: Испарение — постепенный переход вещества из жидкости в газообразную фазу (пар). При тепловом движении некоторые молекулы покидают жидкость через её поверхность и переходят в пар.

7. Конденсация

Ответы:

Устный ответ

Верный ответ: Конденсация паров — переход вещества в жидкое или твёрдое состояние из газообразного (обратный последнему процессу называется сублимация).

8. Кавитация

Ответы:

Устный ответ

Верный ответ: Кавитация — физический процесс образования пузырьков (каверн, или пустот) в жидких средах, с последующим их схлопыванием и высвобождением большого количества энергии

9. Примеры уравнений состояния реальных газов

Ответы:

Устный ответ

Верный ответ: Примеры уравнений состояния реальных газов

10. Минимальная работа разделения

Ответы:

Устный ответ

Верный ответ: Минимальная затрата работы на полное разделение смеси газов при данных условиях окружающей среды p_0 и T_0 равна сумме работ обратимого изотермического сжатия всех компонентов смеси от их парциального давления до общего исходного давления смеси p_0 .

II. Описание шкалы оценивания

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена в рамках "продвинутого" уровня. Ответы даны верно, четко сформулированные особенности практических решений

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена в рамках "базового" уровня. Большинство ответов даны верно. В части материала есть незначительные недостатки

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена в рамках "порогового" уровня. Основная часть задания выполнена верно. на вопросы углубленного уровня

III. Правила выставления итоговой оценки по курсу