

**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
2024**

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

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

Ю.Ю.
Пузина

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной
программы

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

А.П.
Крюков

Заведующий
выпускающей кафедрой

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

Ю.Ю.
Пузина

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

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

КМ-1 Физические принципы разделения газовых смесей (Контрольная работа)

КМ-2 Современное криогенное обеспечение процесса ректификации (Контрольная работа)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

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

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	КМ-1 Физические принципы разделения газовых смесей (Контрольная работа) КМ-2 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:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
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:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
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 («отлично»)

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 («хорошо»)

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 («удовлетворительно»)

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

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: Работа не выполнена или выполнена преимущественно неправильно

III. Правила выставления итоговой оценки по курсу