

**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:

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

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	<ol style="list-style-type: none"><li>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.</li><li>2.Принцип конденсационно-испарительного метода. Тепловой и энергетический баланс. Непрерывное испарение и непрерывная конденсация. Прямоток и противоток паровой и жидкой фаз.</li><li>3.Ректификация. Конденсатор и испаритель ректификационной колонны . Определение полюса ректификационной колонны и рабочей линии ( конноды). Ректификационная тарелка. Эффективность ректификационной тарелки.</li><li>4.Расчет процесса ректификации методом Понсона и методом Мак-Кабе и Тиле. Сравнение методов.</li></ol>
--	--

#### 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:**

<p>Уметь: разработать основы конструкций основных узлов систем разделения, выбирать конструкционные материалы для их изготовления</p>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Анализ различных физических методов разделения газовых смесей</li><li>2. Фазовые диаграммы температура- концентрация и энтальпия –концентрация для бинарных смесей. Фазовое равновесие пар-жидкость.</li><li>3. Непрерывное испарение и конденсация бинарной смеси. Прямоток и противоток.</li><li>4. Расчет числа теоретических тарелок в ректификационной колонне.</li><li>5. Метод Понсона и метод Мак-Кабе и Тиле</li><li>6. Колонны однократной ректификации</li><li>7. Получение аргона, неона и ксенона и криптона</li><li>8. Получение азота и кислорода методом короткоциклового адсорбции</li></ol>
---	--

**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-3ПК-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 воздуходелительных 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 ( $\text{CH}_4$ ) — от 70 до 98 %. В состав природного газа могут входить более тяжёлые углеводороды — гомологи метана:  $\text{C}_2\text{H}_6$ ,  $\text{C}_3\text{H}_8$ ,  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ,  $\text{C}_5\text{H}_{12}$ . Природный газ содержит также другие вещества, не являющиеся углеводородами:  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{CO}_2$ . 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

*Оценка: 2*

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

### ***III. Правила выставления итоговой оценки по курсу***