

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

Рабочая программа дисциплины
УСТАНОВКИ РАЗДЕЛЕНИЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СМЕСЕЙ

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.06
Трудоемкость в зачетных единицах:	3 семестр - 5;
Часов (всего) по учебному плану:	180 часов
Лекции	3 семестр - 32 часа;
Практические занятия	3 семестр - 32 часа;
Лабораторные работы	не предусмотрено учебным планом
Консультации	3 семестр - 2 часа;
Самостоятельная работа	3 семестр - 113,5 часов;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая:	
Контрольная работа	
Промежуточная аттестация:	
Экзамен	3 семестр - 0,5 часа;

Москва 2026

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

	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

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: изучение установок и систем разделения воздуха, природного газа и других газовых смесей для последующего использования при эксплуатации, разработке и проведении научно-исследовательских работ в области физики и техники низких температур..

Задачи дисциплины

- изучить основные современные процессы разделения газовых смесей и основы системного анализа эффективности систем;
- овладеть информацией о современных системах и установках разделения смесей ;;
- изучение и обоснование конкретных технических решений при эксплуатации и конструировании систем разделения..

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ПК-2 Способен проводить расчетно-теоретические и экспериментальные исследования теплогидравлических процессов в конструкциях низкотемпературных установках	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.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Физика и техника низких температур (далее – ОПОП), направления подготовки 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Требования к входным знаниям и умениям:

- 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

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 часов.

№ п/п	Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы										Содержание самостоятельной работы/ методические указания
				Контактная работа							СР			
				Лек	Лаб	Пр	Консультация		ИКР		ПА	Работа в семестре	Подготовка к аттестации /контроль	
КПР	ГК	ИККП	ТК											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Физические принципы разделения газовых смесей	12	3	2	-	2	-	-	-	-	-	8	-	<u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 5-180
1.1	Физические принципы разделения газовых смесей	12		2	-	2	-	-	-	-	-	8	-	
2	Основы конденсационно-испарительного метода.	12		2	-	2	-	-	-	-	-	8	-	<u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 5-180
2.1	Основы конденсационно-испарительного метода.	12		2	-	2	-	-	-	-	-	8	-	
3	Процесс ректификации	12		2	-	2	-	-	-	-	-	8	-	<u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 5-180
3.1	Процесс ректификации	12		2	-	2	-	-	-	-	-	8	-	
4	Расчет числа теоретических тарелок	12		2	-	2	-	-	-	-	-	8	-	<u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 5-180
4.1	Расчет числа теоретических тарелок	12		2	-	2	-	-	-	-	-	8	-	
5	Современное криогенное обеспечение процесса ректификации	10		2	-	2	-	-	-	-	-	6	-	<u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 5-180

5.1	Современное криогенное обеспечение процесса ректификации	10	2	-	2	-	-	-	-	-	-	6	-	
6	Колонны однократной и двукратной ректификации и системы очистки и осушки	10	2	-	2	-	-	-	-	-	-	6	-	<u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 5-180
6.1	Колонны однократной и двукратной ректификации и системы очистки и осушки	10	2	-	2	-	-	-	-	-	-	6	-	
7	Получение чистых кислорода, азота и аргона	10	2	-	2	-	-	-	-	-	-	6	-	<u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 193-257
7.1	Получение чистых кислорода, азота и аргона	10	2	-	2	-	-	-	-	-	-	6	-	
8	Получение неона, гелия и водорода.	10	2	-	2	-	-	-	-	-	-	6	-	<u>Изучение материалов литературных источников:</u>
8.1	Получение неона, гелия и водорода.	10	2	-	2	-	-	-	-	-	-	6	-	[3], 250-290
9	Разделение газов методом короткоциклового адсорбции	14	4	-	4	-	-	-	-	-	-	6	-	<u>Изучение материалов литературных источников:</u> [2], 5-87
9.1	Разделение газов методом короткоциклового адсорбции	14	4	-	4	-	-	-	-	-	-	6	-	
10	Установки мембранного разделения.	14	4	-	4	-	-	-	-	-	-	6	-	<u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 260-270
10.1	Установки мембранного разделения.	14	4	-	4	-	-	-	-	-	-	6	-	
11	Установки для	14	4	-	4	-	-	-	-	-	-	6	-	<u>Изучение материалов литературных</u>

	разделения природного газа												<u>источников:</u> [1], 294-312
11.1	Состав природного газа. Установки ожижения природного газа. Выделение «тяжелых» углеводородов и «неконденсирующихся» компонентов – азот и гелий.	14	4	-	4	-	-	-	-	-	6	-	
12	Получение особо чистых газов	14	4	-	4	-	-	-	-	-	6	-	<u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 315-345
12.1	Получение особо чистых газов	14	4	-	4	-	-	-	-	-	6	-	
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	Всего за семестр	180.0	32	-	32	-	2	-	-	0.5	80	33.5	
	Итого за семестр	180.0	32	-	32	2	-	-	0.5	113.5			

Примечание: Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПП – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

3.2 Краткое содержание разделов

1. Физические принципы разделения газовых смесей

1.1. Физические принципы разделения газовых смесей

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. Основы конденсационно-испарительного метода.

2.1. Основы конденсационно-испарительного метода.

Принцип конденсационно-испарительного метода. Тепловой и энергетический баланс. Непрерывное испарение и непрерывная конденсация. Прямоток и противоток паровой и жидкой фаз..

3. Процесс ректификации

3.1. Процесс ректификации

Ректификация. Конденсатор и испаритель ректификационной колонны . Определение полюса ректификационной колоны и рабочей линии (конноды). Ректификационная тарелка. Эффективность ректификационной тарелки..

4. Расчет числа теоретических тарелок

4.1. Расчет числа теоретических тарелок

Расчет процесса ректификации методом Понсона и методом Мак-Кабе и Тиле. Сравнение методов..

5. Современное криогенное обеспечение процесса ректификации

5.1. Современное криогенное обеспечение процесса ректификации

Разделение воздуха методом низкотемпературной ректификации. Криогенные системы обеспечения ректификации. Сравнение различных криогенных систем. Технические характеристики установок разделения воздуха..

6. Колонны однократной и двукратной ректификации и системы очистки и осушки

6.1. Колонны однократной и двукратной ректификации и системы очистки и осушки

Азотная и кислородная ректификационная колонна. Особенности работы таких колонн. Системы очистки и осушки. Регенераторы воздуходелительных установок. Адсорбционная осушка и очистка..

7. Получение чистых кислорода, азота и аргона

7.1. Получение чистых кислорода, азота и аргона

Схемы получения чистого газообразного и жидкого азота и кислорода. Ректификация трехкомпонентной смеси: азот, кислород и аргон. Получение чистого аргона..

8. Получение неона, гелия и водорода.

8.1. Получение неона, гелия и водорода.

Особенности получения неона, криптона и ксенона. Получение чистого газообразного гелия. Получение чистого газообразного водорода.

9. Разделение газов методом короткоциклового адсорбции

9.1. Разделение газов методом короткоциклового адсорбции

Физические принципы короткоциклового адсорбции. Типы адсорбентов и их характеристики. Принципиальные схемы разделения. Характеристики современных установок короткоциклового адсорбции и области их применения..

10. Установки мембранного разделения.

10.1. Установки мембранного разделения.

Физические принципы мембранного разделения. Типы мембран и их конструкция. Принципиальные схемы разделения. Характеристики современных установок мембранного разделения. Области применения таких установок..

11. Установки для разделения природного газа

11.1. Состав природного газа. Установки ожижения природного газа. Выделение «тяжелых» углеводородов и «неконденсирующихся» компонентов – азот и гелий.

12. Получение особо чистых газов

12.1. Получение особо чистых газов

Особенности получения особо чистых газов и области применения таких газов. Схемные решения. Современные методы анализа состава газовой смеси..

3.3. Темы практических занятий

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

3.4. Темы лабораторных работ

не предусмотрено

3.5 Консультации

3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ

Курсовой проект/ работа не предусмотрены

3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)												Оценочное средство (тип и наименование)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Знать:															
основы технологий изготовления основных элементов и узлов систем разделения газов	ИД-3ПК-2								+	+	+	+	+	+	Контрольная работа/Физические принципы разделения газовых смесей
Уметь:															
разработать основы конструкций основных узлов систем разделения, выбирать конструкционные материалы для их изготовления	ИД-3ПК-2	+	+	+	+	+	+								Контрольная работа/Современное криогенное обеспечение процесса ректификации

4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)

4.1. Текущий контроль успеваемости

3 семестр

Форма реализации: Письменная работа

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

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Экзамен (Семестр №3)

В диплом выставляется оценка за 3 семестр.

Примечание: Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. Архаров, А. М. Криогенные системы. Основы теории и расчета : учебник для вузов по специальностям "Криогенная техника" и "Холодильные и компрессорные машины и установки" / А. М. Архаров, И. В. Марфенина, Е. И. Микулин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1988. – 464 с. – ISBN 5-217-00083-X.;
2. Авгуль, Н. Н. Адсорбция газов и паров на однородных поверхностях / Н. Н. Авгуль, А. В. Киселев, Д. П. Пошкус. – М. : Химия, 1975. – 384 с.;
3. Антонов А. Н., Архаров А. М., Архаров И. А.- "Машины низкотемпературной техники. Криогенные машины и инструменты", (2-е изд., испр.), Издательство: "МГТУ им. Баумана", Москва, 2015 - (533 с.)
<https://e.lanbook.com/book/106308>.

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. Windows / Операционная система семейства Linux.

5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. Электронные ресурсы издательства Springer - <https://link.springer.com/>
2. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
3. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных	М-409/2, Аудитория каф. "НТ"	стол преподавателя, стол, доска меловая, мультимедийный проектор

занятий и текущего контроля	М-422/4, Учебная лаборатория криофизики	стол, стул, мультимедийный проектор
	М-412, Учебная аудитория	стеллаж для хранения книг, стол, стул, мультимедийный проектор, доска маркерная
	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	М-409/2, Аудитория каф. "НТ"	стол преподавателя, стол, доска меловая, мультимедийный проектор
	М-422/4, Учебная лаборатория криофизики	стол, стул, мультимедийный проектор
	М-412, Учебная аудитория	стеллаж для хранения книг, стол, стул, мультимедийный проектор, доска маркерная
	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	М-409/2, Аудитория каф. "НТ"	стол преподавателя, стол, доска меловая, мультимедийный проектор
	М-422/4, Учебная лаборатория криофизики	стол, стул, мультимедийный проектор
	М-412, Учебная аудитория	стеллаж для хранения книг, стол, стул, мультимедийный проектор, доска маркерная
	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
Помещения для самостоятельной работы	М-411/1, Компьютерный класс	стол, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, компьютер персональный
Помещения для консультирования	М-402, Аудитория каф. "НТ"	стеллаж для хранения книг, стул, стол письменный
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	М-407/1, Кладовая	стеллаж для хранения инвентаря, стеллаж для хранения книг, инвентарь специализированный

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Установки разделения низкотемпературных смесей

(название 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.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2
		Неделя КМ:	6	16
1	Физические принципы разделения газовых смесей			
1.1	Физические принципы разделения газовых смесей			+
2	Основы конденсационно-испарительного метода.			
2.1	Основы конденсационно-испарительного метода.			+
3	Процесс ректификации			
3.1	Процесс ректификации			+
4	Расчет числа теоретических тарелок			
4.1	Расчет числа теоретических тарелок			+
5	Современное криогенное обеспечение процесса ректификации			
5.1	Современное криогенное обеспечение процесса ректификации			+
6	Колонны однократной и двукратной ректификации и системы очистки и осушки			
6.1	Колонны однократной и двукратной ректификации и системы очистки и осушки			+
7	Получение чистых кислорода, азота и аргона			
7.1	Получение чистых кислорода, азота и аргона		+	
8	Получение неона, гелия и водорода.			
8.1	Получение неона, гелия и водорода.		+	

9	Разделение газов методом короткоциклового адсорбции		
9.1	Разделение газов методом короткоциклового адсорбции	+	
10	Установки мембранного разделения.		
10.1	Установки мембранного разделения.	+	
11	Установки для разделения природного газа		
11.1	Состав природного газа. Установки ожижения природного газа. Выделение «тяжелых» углеводородов и «неконденсирующихся» компонентов – азот и гелий.	+	
12	Получение особо чистых газов		
12.1	Получение особо чистых газов	+	
Вес КМ, %:		50	50