

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
ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ
СИСТЕМАХ

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.08
Трудоемкость в зачетных единицах:	2 семестр - 4;
Часов (всего) по учебному плану:	144 часа
Лекции	2 семестр - 16 часов;
Практические занятия	2 семестр - 32 часа;
Лабораторные работы	не предусмотрено учебным планом
Консультации	2 семестр - 2 часа;
Самостоятельная работа	2 семестр - 93,5 часа;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая: Контрольная работа Решение задач Реферат	
Промежуточная аттестация:	
Экзамен	2 семестр - 0,5 часа;

Москва 2025

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: теоретическое изучение стационарных и нестационарных процессов, протекающих в криогенном емкостном оборудовании, а также при транспортировании и регазификации криогенных жидкостей, позволяющее проводить расчеты основных технологических операций.

Задачи дисциплины

- приобретение навыков формулировать физико-математические модели для стационарных и нестационарных теплофизических процессов в криогенных системах с использованием законов (уравнений) сохранения и термодинамики открытых систем;
- изучение способов решения различных задач и методов расчета теплофизических процессов в криогенных системах;
- доведение расчетов теплофизических процессов, возникающих при эксплуатации систем с жидкими криоагентами до количественных результатов с использованием современного справочного материала.

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-1 Способен анализировать и моделировать физические процессы в элементах энергетического оборудования	ИД-5 _{ПК-1} Знает методы определения параметров работы элементов энергетического оборудования и способен провести их оценку	знать: - Аналитические и экспериментальные подходы к определению характерных параметров теплофизических процессов, возникающих при работе с жидкими криогенными продуктами. Основные положения низкотемпературной термодинамики, гидродинамики, теплообмена, необходимых для расчета технологических операций с криогенными жидкостями.
ПК-3 Готов самостоятельно определять направление и характер проводимых исследований, учитывать современные тенденции развития низкотемпературной техники	ИД-2 _{ПК-3} Знает основные направления развития и современные тенденции при расчете и анализе эффективности низкотемпературных установках	уметь: - Самостоятельно разбираться в существующих методиках расчета процессов в криогенных емкостях и применять их для решения поставленной задачи. Анализировать теплогидравлические процессы в элементах низкотемпературного оборудования и применять соответствующие методики расчета.

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 Аналитические и экспериментальные подходы к определению характерных параметров теплофизических процессов, возникающих при работе с жидкими криогенными продуктами.

Основные положения низкотемпературной термодинамики, гидродинамики, теплообмена, необходимых для расчета технологических операций с криогенными жидкостями

- уметь Самостоятельно разбираться в существующих методиках расчета процессов в криогенных емкостях и применять их для решения поставленной задачи. Анализировать теплогидравлические процессы в элементах низкотемпературного оборудования и применять соответствующие методики расчета

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 4 зачетных единицы, 144 часа.

№ 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	Физико-математические модели нестационарных теплогидравлических процессов в обогреваемых каналах	18	2	2	-	4	-	-	-	-	-	12	-	<u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 20-150
1.1	Физико-математические модели нестационарных теплогидравлических процессов в обогреваемых каналах	18		2	-	4	-	-	-	-	-	12	-	
2	Теплофизические процессы в криогенных трубопроводах	26		4	-	10	-	-	-	-	-	12	-	<u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 180-265
2.1	Теплофизические процессы в криогенных трубопроводах	26		4	-	10	-	-	-	-	-	12	-	
3	Регазификация криогенных жидкостей	14		2	-	4	-	-	-	-	-	8	-	<u>Изучение материалов литературных источников:</u> [2], 50-82 [3], 125-198
3.1	Регазификация криогенных жидкостей	14		2	-	4	-	-	-	-	-	8	-	

4	Переходные процессы в криогенных трубопроводах	18	2	-	4	-	-	-	-	-	12	-	<i><u>Изучение материалов литературных источников:</u></i> [3], 80-120
4.1	Переходные процессы в криогенных трубопроводах	18	2	-	4	-	-	-	-	-	12	-	
5	Теплофизические процессы в криогенных резервуарах	32	6	-	10	-	-	-	-	-	16	-	<i><u>Изучение материалов литературных источников:</u></i> [3], 20-78
5.1	Теплофизические процессы в криогенных резервуарах	32	6	-	10	-	-	-	-	-	16	-	
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	Всего за семестр	144.0	16	-	32	-	2	-	-	0.5	60	33.5	
	Итого за семестр	144.0	16	-	32	2	-	-	0.5	60	93.5		

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. Физико-математические модели нестационарных теплогидравлических процессов в обогреваемых каналах

1.1. Физико-математические модели нестационарных теплогидравлических процессов в обогреваемых каналах

Физико-математические модели нестационарных процессов, основные уравнения движения однофазного и двухфазного потоков в одномерной постановке, переходные процессы в обогреваемом канале при течении однофазной и двухфазной жидкости..

2. Теплофизические процессы в криогенных трубопроводах

2.1. Теплофизические процессы в криогенных трубопроводах

Течение криогенной жидкости в неадиабатном трубопроводе. Обеспечение однофазности потока. Оптимальная скорость потока. Захлаживание и заполнение трубопроводов криогенной жидкостью. Модель температурного скачка. Влияние теплоемкости стенки на длительность заполнения канала при постоянном перепаде давлений. Заполнение короткого канала..

3. Регазификация криогенных жидкостей

3.1. Регазификация криогенных жидкостей

Теплоотдача при течении жидкости в канале. Теплоотдача на наружной поверхности каналов с учетом эффекта вымораживания. Теплогидравлическая неустойчивость и переходные процессы при течении жидкости в парогенерирующем канале..

4. Переходные процессы в криогенных трубопроводах

4.1. Переходные процессы в криогенных трубопроводах

Гидродинамика процесса заполнения. Первичный и вторичный гидроудары, гидроудар при открытии клапана, меры снижения гидроударов..

5. Теплофизические процессы в криогенных резервуарах

5.1. Теплофизические процессы в криогенных резервуарах

Термодинамика открытых систем. Процессы хранения криогенной жидкости в сосуде с открытым и закрытым дренажем. Верхняя и нижняя заправка криогенных резервуаров, бездренажная заправка. Процесс выдачи жидкости из резервуара. Вскипание жидкости при снижении давления. Процессы охлаждения криогенных жидкостей. Процессы кристаллизации диоксида углерода при хранении и газификации криогенных жидкостей..

3.3. Темы практических занятий

1. Процесс выдачи криогенной жидкости из резервуара;
2. Процесс заправки криогенного резервуара;
3. Процесс бездренажного хранения криогенной жидкости;
4. Гидроудар при закрытии и открытии клапана;
5. Процесс заполнения длинного трубопровода криогенной жидкостью;
6. Гидравлическое сопротивление при течении жидкости с недогревом в обогреваемом канале.

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	
Знать:							
Аналитические и экспериментальные подходы к определению характерных параметров теплофизических процессов, возникающих при работе с жидкими криогенными продуктами. Основные положения низкотемпературной термодинамики, гидродинамики, теплообмена, необходимых для расчета технологических операций с криогенными жидкостями	ИД-5ПК-1	+	+			+	Реферат/"Теплофизические процессы в современном криогенном оборудовании" Решение задач/Типовой расчет "Хранение, заправка и выдача криогенной жидкости"
Уметь:							
Самостоятельно разбираться в существующих методиках расчета процессов в криогенных емкостях и применять их для решения поставленной задачи. Анализировать теплогидравлические процессы в элементах низкотемпературного оборудования и применять соответствующие методики расчета	ИД-2ПК-3			+	+		Контрольная работа/«Гидравлическое сопротивление двухфазных потоков» Контрольная работа/«Переходные процессы в трубопроводах» Решение задач/Типовой расчет "Хранение, заправка и выдача криогенной жидкости"

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

4.1. Текущий контроль успеваемости

2 семестр

Форма реализации: Письменная работа

1. "Теплофизические процессы в современном криогенном оборудовании" (Реферат)
2. «Гидравлическое сопротивление двухфазных потоков» (Контрольная работа)
3. «Переходные процессы в трубопроводах» (Контрольная работа)

Форма реализации: Проверка задания

1. Типовой расчет "Хранение, заправка и выдача криогенной жидкости" (Решение задач)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Экзамен (Семестр №2)

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и аттестационной составляющих

В диплом выставляется оценка за 2 семестр.

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

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. Баррон, Р. Ф. Криогенные системы : пер. с англ. / Р. Ф. Баррон, С. П. Горбачев, Е. В. Сидоров ; Ред. А. К. Городов. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 406 с. – ISBN 5-283-02431-8 : 2.10.;
2. Серов, Е. П. Динамика парогенераторов / Е. П. Серов, Б. П. Корольков. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоиздат, 1981. – 408 с.;
3. Архаров А. М., Кунис И. Д.- "Криогенные заправочные системы стартовых ракетно-космических комплексов", Издательство: "МГТУ им. Баумана", Москва, 2006 - (252 с.) <https://e.lanbook.com/book/106301>.

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 занятий и текущего контроля	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 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

Теплофизические процессы в низкотемпературных системах

(название дисциплины)

2 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

КМ-1 «Гидравлическое сопротивление двухфазных потоков» (Контрольная работа)

КМ-2 «Переходные процессы в трубопроводах» (Контрольная работа)

КМ-3 Типовой расчет "Хранение, заправка и выдача криогенной жидкости" (Решение задач)

КМ-4 "Теплофизические процессы в современном криогенном оборудовании" (Реферат)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	6	9	12	16
1	Физико-математические модели нестационарных теплогидравлических процессов в обогреваемых каналах					
1.1	Физико-математические модели нестационарных теплогидравлических процессов в обогреваемых каналах				+	+
2	Теплофизические процессы в криогенных трубопроводах					
2.1	Теплофизические процессы в криогенных трубопроводах				+	+
3	Регазификация криогенных жидкостей					
3.1	Регазификация криогенных жидкостей		+	+	+	
4	Переходные процессы в криогенных трубопроводах					
4.1	Переходные процессы в криогенных трубопроводах		+	+	+	
5	Теплофизические процессы в криогенных резервуарах					
5.1	Теплофизические процессы в криогенных резервуарах				+	+
Вес КМ, %:			25	25	25	25