

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: Физико-технические проблемы атомной энергетики

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

Рабочая программа дисциплины
ГАЗОДИНАМИКА ДВУХФАЗНЫХ СРЕД

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.09.01.02
Трудоемкость в зачетных единицах:	2 семестр - 2;
Часов (всего) по учебному плану:	72 часа
Лекции	2 семестр - 32 часа;
Практические занятия	не предусмотрено учебным планом
Лабораторные работы	не предусмотрено учебным планом
Консультации	проводится в рамках часов аудиторных занятий
Самостоятельная работа	2 семестр - 39,7 часа;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая:	
Контрольная работа	
Промежуточная аттестация:	
Зачет с оценкой	2 семестр - 0,3 часа;

Москва 2026

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Мелихов О.И.
	Идентификатор	Re9797a97-MelikhovOI-83f385d8

О.И. Мелихов

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Мелихов О.И.
	Идентификатор	Re9797a97-MelikhovOI-83f385d8

О.И. Мелихов

Заведующий выпускающей
кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Хвостова М.С.
	Идентификатор	R5ead212f-KhvastovaMS-a4cf11ca

М.С. Хвостова

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: Цель освоения дисциплины состоит в изучении закономерностей газодинамических процессов в двухфазных средах в аварийных условиях на АЭС..

Задачи дисциплины

- Формирование начальных представлений о математическом аппарате для описания газодинамических процессов в двухфазных средах.;
- Приобретение навыков прогнозирования конденсационных гидроударов при авариях с течью теплоносителя на АЭС.;
- Освоение методов расчета амплитуд гидроударов в трубопроводах АЭС.;
- Формирование качественных представлений о закономерностях возникновения и развития паровых взрывов при тяжелых авариях на АЭС..

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 Владеет расчетно-теоретическими и экспериментальными методами исследования теплогидравлических и нейтронно-физических процессов в энергетическом оборудовании	ИД-4 _{ПК-2} Владеет знаниями в области многофазной теплогидравлики, лежащими в основе современных методов и подходов к исследованию нестационарных теплогидравлических процессов	знать: - Основы динамики многофазных течений и методов исследований динамических процессов в многофазных системах.. уметь: - Выполнять расчетные оценки и экспериментальные исследования быстрых многофазных процессов в энергетическом оборудовании..

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Физико-технические проблемы атомной энергетики (далее – ОПОП), направления подготовки 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Базируется на уровне высшего образования (бакалавриат, специалитет).

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 2 зачетных единицы, 72 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	Введение в механику многофазных сред	12	2	8	-	-	-	-	-	-	-	4	-	<p><u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Введение в механику многофазных сред"</p> <p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Введение в механику многофазных сред"</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], стр. 12-20 [2], стр. 18-30 [3], стр. 22-56</p>	
1.1	Уравнения сохранения массы, импульса и энергии в многофазных потоках	6		4	-	-	-	-	-	-	-	-	2		-
1.2	Описание межфазного взаимодействия	6		4	-	-	-	-	-	-	-	-	2		-
2	Конденсационный гидроудар в двух-фазных потоках	21		12	-	-	-	-	-	-	-	-	9		-
2.1	Механизм возникновения конденсационных гидроударов	6	4	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	<p><u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Конденсационный гидроудар в двух-фазных потоках"</p> <p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Конденсационный гидроудар в двух-фазных потоках"</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [3], стр. 10-20</p>	
2.2	Экспериментальные исследования конденсационных гидроударов	6	4	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-		
2.3	Расчетно-теоретические исследования конденсационных гидроударов	9	4	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-		

3	Паровые взрывы	21	12	-	-	-	-	-	-	-	9	-	<u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Паровые взрывы" <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Паровые взрывы" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [4], стр. 34-39 [5], стр. 49-54
3.1	Общие сведения	6	4	-	-	-	-	-	-	-	2	-	
3.2	Перемешивание расплава с охладителем	9	4	-	-	-	-	-	-	-	5	-	
3.3	Термическая детонация в многофазной смеси	6	4	-	-	-	-	-	-	-	2	-	
	Зачет с оценкой	18.0	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	17.7	
	Всего за семестр	72.0	32	-	-	-	-	-	-	0.3	22	17.7	
	Итого за семестр	72.0	32	-	-	-	-	-	-	0.3	39.7		

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. Введение в механику многофазных сред

1.1. Уравнения сохранения массы, импульса и энергии в многофазных потоках

Основные понятия механики многофазных сред. Определение объемной доли фазы. Вывод уравнений сохранения масс фаз. Вывод уравнений сохранения импульсов фаз. Вывод уравнений сохранения энергий фаз. Первые интегралы уравнений сохранения..

1.2. Описание межфазного взаимодействия

Силы межфазного взаимодействия. Сила присоединенных масс. Корреляции для описания межфазных сил. Описание межфазного теплообмена. Определение скорости фазового перехода..

2. Конденсационный гидроудар в двух-фазных потоках

2.1. Механизм возникновения конденсационных гидроударов

Стратифицированное течение пара и воды в горизонтальном канале. Неустойчивость Кельвина-Гельмгольца. Переход стратифицированного течения в пробковое. Критерий Тайтеля-Даклера..

2.2. Экспериментальные исследования конденсационных гидроударов

Экспериментальное исследование Бьёржа и Гриффита возникновения конденсационных гидроударов в горизонтальной трубе. Область параметров, при которых реализуются конденсационные гидроудары. Исследование конденсационных гидроударов в условиях холодной стенки трубы, выполненное Кондо и Анода. Эксперименты, выполненные в ФЭИ и ЭНИЦ..

2.3. Расчетно-теоретические исследования конденсационных гидроударов

Математические модели роста возмущения на поверхности воды при стратифицированном течении (линейная теория устойчивости, влияние поверхностного натяжения, теория Кордобьяна-Ранова, модель Уоллиса, модель Ишии-Мишимы, модель Гарднера). Межфазный теплообмен при стратифицированном течении. Описание кода WANA, разработанного для моделирования конденсационных гидроударов. Критерии Гриффита..

3. Паровые взрывы

3.1. Общие сведения

Механизм парового взрыва. Паровые взрывы в природе и техногенной сфере. Паровые взрывы на АЭС: внутрикорпусные, внекорпусные, стратифицированные. Концептуальная схема протекания крупномасштабного парового взрыва..

3.2. Перемешивание расплава с охладителем

Экспериментальные исследования фрагментации струи расплава в охладителе (эксперименты FARO, MAGICO, DEFOR). Математические модели фрагментации струи и перемешивания расплава с охладителем. Механизм перемешивания в стратифицированном паровом взрыве..

3.3. Термическая детонация в многофазной смеси

Экспериментальные исследования термической детонации (эксперименты KROTOS, FITS, SERENA). Математическое моделирование термической детонации. Концепция микровзаимодействий. Техника адиабат Гюгонио для оценки параметров волны термической детонации..

3.3. Темы практических занятий
не предусмотрено

3.4. Темы лабораторных работ
не предусмотрено

3.5 Консультации

Текущий контроль (ТК)

1. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Введение в механику многофазных сред"
2. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Конденсационный гидроудар в двух-фазных потоках"
3. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Паровые взрывы"

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	
Знать:					
Основы динамики многофазных течений и методов исследований динамических процессов в многофазных системах.	ИД-4ПК-2	+	+	+	Контрольная работа/Основные представления о конденсационных гидроударах Контрольная работа/Основы механики многофазных сред Контрольная работа/Паровые взрывы Контрольная работа/Расчетные оценки конденсационных гидроударов
Уметь:					
Выполнять расчетные оценки и экспериментальные исследования быстрых многофазных процессов в энергетическом оборудовании.	ИД-4ПК-2	+	+	+	Контрольная работа/Основные представления о конденсационных гидроударах Контрольная работа/Основы механики многофазных сред Контрольная работа/Паровые взрывы Контрольная работа/Расчетные оценки конденсационных гидроударов

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: Билеты (письменный опрос)

1. Основные представления о конденсационных гидроударах (Контрольная работа)
2. Основы механики многофазных сред (Контрольная работа)
3. Паровые взрывы (Контрольная работа)
4. Расчетные оценки конденсационных гидроударов (Контрольная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Зачет с оценкой (Семестр №2)

Оценка определяется по итогам выполнения всех контрольных мероприятий.

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. Мелихов, В. И. Двухжидкостная модель течения теплоносителя в ЯЭУ. Часть 1 : учебное пособие по курсу "Теплогидравлика ЯЭУ" по направлению 14.04.01 "Ядерная энергетика и теплофизика", профилю подготовки "Физико-технические проблемы атомной энергетики" / В. И. Мелихов, О. И. Мелихов, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ"). – М. : Изд-во МЭИ, 2018. – 75 с. – ISBN 978-5-7046-1923-9.
<http://elib.mpei.ru/elib/view.php?id=10305>;
2. Нигматулин, Р. И. Динамика многофазных сред. Ч.1 / Р. И. Нигматулин. – М. : Наука, 1987. – 464 с.;
3. Мелихов, В. И. Основы механики двухфазных потоков : учебное пособие для вузов / В. И. Мелихов, О. И. Мелихов, Нац. исслед. ун-т "МЭИ". – М. : Изд-во МЭИ, 2016. – 60 с. – ISBN 978-5-7046-1734-1.
<http://elib.mpei.ru/elib/view.php?id=8484>;
4. Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ"). Вестник МЭИ : теоретический и научно-практический журнал / Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ"). – 1994-. – М. : Изд-во МЭИ, 1994-. – Выходит 6 раз в год. – С 2016 г. доступен в электронном виде. – ISSN 1993-6982. Вестник МЭИ. – 2017. – №2.;
5. "Вестник Московского энергетического института", Издательство: "Издательство МЭИ", Москва, 2016 - (98 с.)
<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=442978>.

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. Office / Российский пакет офисных программ.

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

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red
3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Т-320, Учебная аудитория	стол, стул, мультимедийный проектор, экран, доска маркерная, компьютер персональный
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Т-319, Учебная аудитория	стол, стул, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, экран, доска маркерная
Помещения для самостоятельной работы	НТБ-303, Лекционная аудитория	стол компьютерный, стул, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер
Помещения для консультирования	Т-319, Учебная аудитория	стол, стул, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, экран, доска маркерная
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	Т-317, Помещение учебно-вспомогательного персонала	стол, стул, шкаф, тумба, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Газодинамика двухфазных сред

(название дисциплины)

2 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

КМ-1 Основы механики многофазных сред (Контрольная работа)

КМ-2 Основные представления о конденсационных гидроударах (Контрольная работа)

КМ-3 Расчетные оценки конденсационных гидроударов (Контрольная работа)

КМ-4 Паровые взрывы (Контрольная работа)

Вид промежуточной аттестации – Зачет с оценкой.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	4	8	12	16
1	Введение в механику многофазных сред					
1.1	Уравнения сохранения массы, импульса и энергии в многофазных потоках		+	+	+	+
1.2	Описание межфазного взаимодействия		+	+	+	+
2	Конденсационный гидроудар в двух-фазных потоках					
2.1	Механизм возникновения конденсационных гидроударов		+	+	+	+
2.2	Экспериментальные исследования конденсационных гидроударов		+	+	+	+
2.3	Расчетно-теоретические исследования конденсационных гидроударов		+	+	+	+
3	Паровые взрывы					
3.1	Общие сведения		+	+	+	+
3.2	Перемешивание расплава с охладителем		+	+	+	+
3.3	Термическая детонация в многофазной смеси		+	+	+	+
Вес КМ, %:			25	25	25	25