

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Направление подготовки/специальность: 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика

Наименование образовательной программы: Нанотехнологии и наноматериалы в энергетике

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная

Рабочая программа дисциплины
ГИДРОДИНАМИКА

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.07
Трудоемкость в зачетных единицах:	6 семестр - 5;
Часов (всего) по учебному плану:	180 часов
Лекции	6 семестр - 14 часов;
Практические занятия	6 семестр - 42 часа;
Лабораторные работы	не предусмотрено учебным планом
Консультации	6 семестр - 16 часов;
Самостоятельная работа	6 семестр - 103,2 часа;
в том числе на КП/КР	6 семестр - 15,7 часов;
Иная контактная работа	6 семестр - 4 часа;
включая:	
Контрольная работа	
Промежуточная аттестация:	
Защита курсовой работы	6 семестр - 0,4 часа;
Экзамен	6 семестр - 0,4 часа;
	всего - 0,8 часа

Москва 2022

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Макаров П.Г.
	Идентификатор	R9a51899a-MakarovPG-4f257daf

(подпись)

П.Г. Макаров

(расшифровка
подписи)

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Дмитриев А.С.
	Идентификатор	R8d0ce031-DmitriyevAS-aaaaeae2f

(подпись)

А.С. Дмитриев

(расшифровка
подписи)

Заведующий выпускающей
кафедры

(должность, ученая степень, ученое звание)

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

(подпись)

Ю.Ю. Пузина

(расшифровка
подписи)

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: изучение основных закономерностей течений в жидкостях и газах, изучение особенностей течений в различных средах при малых масштабах

Задачи дисциплины

- освоить основные законы гидродинамики;
- изучить особенности процессов, связанных с течениями жидкостей и газов при наномасштабах;
- приобрести навык использования изучаемых законов при анализе процессов, протекающих в различных условиях, в том числе при наномасштабах.

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 проводить базовыми методами экспериментальные исследования и теоретическое описание основных теплофизических процессов в энергетическом оборудовании	ИД-2ПК-1 Знает и умеет использовать аппарат механики сплошных сред для анализа основных теплофизических процессов в энергетическом оборудовании	знать: - основные законы гидродинамики и особенности движения различных сред при наномасштабах; - современные технологии, использующие законы гидродинамики на наномасштабах. уметь: - осуществлять поиск и анализировать научно-техническую информацию; - анализировать информацию о новых технологиях, использующих гидродинамические течения на малых масштабах.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Нанотехнологии и наноматериалы в энергетике (далее – ОПОП), направления подготовки 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика, уровень образования: высшее образование - бакалавриат.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать Общая физика
- знать Высшая математика

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	Законы гидродинамических течений идеальной жидкости	20.0	6	4.0	-	6	-	-	-	-	-	10	-	<p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Законы гидродинамических течений идеальной жидкости"</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 86-106, 112-281 [2], 13-71</p>
1.1	Классификация жидкостей	4		1	-	1	-	-	-	-	-	2	-	
1.2	Гидродинамика идеальной жидкости	5		1	-	2	-	-	-	-	-	2	-	
1.3	Гидростатика идеальной жидкости	4		1	-	1	-	-	-	-	-	2	-	
1.4	Понятие завихренности	3.5		0.5	-	1	-	-	-	-	-	2	-	
1.5	Несжимаемая жидкость	3.5		0.5	-	1	-	-	-	-	-	2	-	
2	Законы гидродинамических течений вязкой жидкости	33.0		4.0	-	14	-	-	-	-	-	15	-	<p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Законы гидродинамических течений вязкой жидкости"</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 359-497 [2], 71-137</p>
2.1	Гидродинамика вязкой жидкости	7		1	-	3	-	-	-	-	-	3	-	
2.2	Течения вязкой жидкости в каналах	7		1	-	3	-	-	-	-	-	3	-	
2.3	Течения при малых числах Рейнольдса	7		1	-	3	-	-	-	-	-	3	-	
2.4	Устойчивости гидродинамических течений	5.5		0.5	-	2	-	-	-	-	-	3	-	

2.5	Силы в гидродинамических течениях	6.5	0.5	-	3	-	-	-	-	-	3	-	
3	Пограничный слой	16.0	2.0	-	8	-	-	-	-	-	6	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Пограничный слой" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 497-531 [2], 223-269 [3], 116-127
3.1	Понятие пограничного слоя	6	1	-	3	-	-	-	-	-	2	-	
3.2	Ламинарный пограничный слой на пластине (задача Блазиуса)	5.5	0.5	-	3	-	-	-	-	-	2	-	
3.3	Отрыв пограничного слоя	4.5	0.5	-	2	-	-	-	-	-	2	-	
4	Турбулентные течения	19.0	2.0	-	6	-	-	-	-	-	11	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Турбулентные течения" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 584-695 [2], 137-223
4.1	Турбулентность: основные понятия и свойства турбулентных течений	7	1	-	2	-	-	-	-	-	4	-	
4.2	Турбулентное течение в трубах	6.5	0.5	-	2	-	-	-	-	-	4	-	
4.3	Развитая турбулентность и спектры турбулентности	5.5	0.5	-	2	-	-	-	-	-	3	-	
5	Особенности течений при малых масштабах	22	2	-	8	-	-	-	-	-	12	-	
5.1	Гидродинамика на малых масштабах	11	1	-	4	-	-	-	-	-	6	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Особенности течений при малых масштабах" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [4], 223-269, 319-332
5.2	Гидродинамика границ раздела	11	1	-	4	-	-	-	-	-	6	-	
	Экзамен	35.9	-	-	-	-	2	-	-	0.4	-	33.5	
	Курсовая работа (КР)	34.1	-	-	-	14	-	4	-	0.4	15.7	-	
	Всего за семестр	180.0	14.0	-	42	14	2	4	-	0.8	69.7	33.5	
	Итого за семестр	180.0	14.0	-	42	16		4		0.8	103.2		

Примечание: Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПр – 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. Законы гидродинамических течений идеальной жидкости

1.1. Классификация жидкостей

Модели гидродинамики классических жидкостей. Модели сплошной и разреженной среды.

1.2. Гидродинамика идеальной жидкости

Законы сохранения. Условия адиабатичности и изоэнтропийности. Методы описания в гидродинамике. Основные уравнения гидродинамики идеальной жидкости. Граничные и начальные условия. Уравнение Эйлера и его обоснование.

1.3. Гидростатика идеальной жидкости

Стационарные течения идеальной жидкости. Уравнение Бернулли. Понятие линий тока. Поток энергии и вектор плотности потока энергии. Поток импульса и тензор плотности потока импульса. Сохранение циркуляции скорости.

1.4. Понятие завихренности

Потенциальные и вихревые течения. Основные свойства. Уравнение для потенциала скорости.

1.5. Несжимаемая жидкость

Условие несжимаемости и основные свойства течений несжимаемой жидкости.

2. Законы гидродинамических течений вязкой жидкости

2.1. Гидродинамика вязкой жидкости

Тензор вязких напряжений. Основные свойства вязкой жидкости. Обобщенный закон Ньютона для вязких течений. Понятие динамической и кинематической вязкости. Число Рейнольдса. Граничные условия. Система уравнений вязкой жидкости. Граничные условия для уравнений вязкой жидкости.

2.2. Течения вязкой жидкости в каналах

Примеры плоских течений. Течение Куэтта. Течение в трубе (течение Пуазейля). Профиль скорости и вычисление расхода.

2.3. Течения при малых числах Рейнольдса

Законы подобия. Течение и закон Стокса. Поправка Озеена.

2.4. Устойчивости гидродинамических течений

Основные понятия устойчивости. Устойчивость течения в трубе (устойчивость течения Пуазейля). Понятие нейтральной кривой.

2.5. Силы в гидродинамических течениях

Теорема Жуковского о подъемной силе. Лобовое сопротивление: основные составляющие. Хорошо обтекаемые тела. Особенности обтекания цилиндра и коэффициент сопротивления.

3. Пограничный слой

3.1. Понятие пограничного слоя

Ламинарный пограничный слой и основные его свойства. Уравнения пограничного слоя Прандтля. Толщина пограничного слоя.

3.2. Ламинарный пограничный слой на пластине (задача Блазиуса)

Касательные напряжения и сила трения при ламинарном обтекании пластины. Местный коэффициент сопротивления. Неустойчивость ламинарного пограничного слоя. Развитие гидродинамических структур при обтекании пластины. Отрыв пограничного слоя.

3.3. Отрыв пограничного слоя

Точка и линия отрыва. Условия отрыва.

4. Турбулентные течения

4.1. Турбулентность: основные понятия и свойства турбулентных течений

Переход от ламинарных к турбулентным течениям. Методы описания турбулентности. Статистический подход.

4.2. Турбулентное течение в трубах

Коэффициенты сопротивления. Влияние шероховатости. Турбулентный пограничный слой.

4.3. Развитая турбулентность и спектры турбулентности

Закон Колмогорова-Обухова. Методы численного моделирования турбулентных течений.

5. Особенности течений при малых масштабах

5.1. Гидродинамика на малых масштабах

Примеры гидродинамических течений на малых масштабах. Режимы течения как функция числа Кнудсена. Условия скольжения и нескольжения.

5.2. Гидродинамика границ раздела

Формула Юнга-Лапласа. Равновесие жидкости со свободной границей. Равновесие жидкости на подложке (твердая граница). Капиллярные волны и их затухание.

3.3. Темы практических занятий

1. Законы течения идеальной жидкости;
2. Особенности течений вязкой жидкости;
3. Пограничный слой;
4. Закономерности турбулентных течений и модели турбулентности;
5. Течения на малых масштабах.

3.4. Темы лабораторных работ

не предусмотрено

3.5 Консультации

Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Законы гидродинамических течений идеальной жидкости"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Законы гидродинамических течений вязкой жидкости"
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Пограничный слой"
4. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Турбулентные течения"
5. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Особенности течений при малых масштабах"

3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ 6 Семестр

Курсовая работа (КР)

Темы:

- Гидродинамика истечения жидкости из малых отверстий
- Методики прямого измерения расхода жидкости
- Методики косвенного измерения расхода жидкости
- Расчет гидродинамических параметров потока

График выполнения курсового проекта

Неделя	1 - 10	11 - 14	Зачетная
Раздел курсового проекта	1	2	Защита курсового проекта
Объем раздела, %	50	50	-
Выполненный объем нарастающим итогом, %	50	100	-

Номер раздела	Раздел курсового проекта
1	Получение аналитического решения поставленной задачи
2	Получение численного решения поставленной задачи

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:							
современные технологии, использующие законы гидродинамики на наномасштабах	ИД-2ПК-1		+				Контрольная работа/Течение вязкой жидкости
основные законы гидродинамики и особенности движения различных сред при наномасштабах	ИД-2ПК-1	+					Контрольная работа/Течение идеальной жидкости
Уметь:							
анализировать информацию о новых технологиях, использующих гидродинамические течения на малых масштабах	ИД-2ПК-1				+	+	Контрольная работа/Течения на малых масштабах
осуществлять поиск и анализировать научно-техническую информацию	ИД-2ПК-1			+			Контрольная работа/Силы в течениях

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

4.1. Текущий контроль успеваемости

6 семестр

Форма реализации: Проверка задания

1. Силы в течениях (Контрольная работа)
2. Течение вязкой жидкости (Контрольная работа)
3. Течение идеальной жидкости (Контрольная работа)
4. Течения на малых масштабах (Контрольная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

Балльно-рейтинговая структура курсовой работы является приложением Б.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Экзамен (Семестр №6)

Итоговая оценка по курсу выставляется на основе оценок за промежуточную аттестацию. Возможен случай, когда в силу значительно отличающейся текущей оценки может быть применен повышающий или понижающий коэффициент

Курсовая работа (КР) (Семестр №6)

Итоговая оценка по курсу выставляется на основе оценок за промежуточную аттестацию. Возможен случай, когда в силу значительно отличающейся текущей оценки может быть применен повышающий или понижающий коэффициент

В диплом выставляется оценка за 6 семестр.

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

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. Лойцянский, Л. Г. Механика жидкости и газа : Учебник для вузов по специальности 010500 - Механика / Л. Г. Лойцянский . – 7-е изд., испр . – М. : Дрофа, 2003 . – 840 с. – (Классики отечественной науки) . - ISBN 5-7107-6327-6 .;
2. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика. Т.6. Гидродинамика : учебное пособие для физических специальностей университетов / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц . – 3-е изд., перераб. . – М. : Наука, 1986 . – 736 с.;
3. Валуева, Е. П. Введение в механику жидкости : Учебное пособие для вузов по направлению 651100 "Техническая физика", специальности 070700 "Теплофизика" и по направлению 650800 "Теплоэнергетика" / Е. П. Валуева, В. Г. Свиридов . – М. : Изд-во МЭИ, 2001 . – 212 с. - ISBN 5-7046-0666-0 .;
4. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М.- "Гидродинамика" Т. 6, (6-е изд., испр.), Издательство: "ФИЗМАТЛИТ", Москва, 2021 - (728 с.)
<https://e.lanbook.com/book/185671>.

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. Office / Российский пакет офисных программ;
2. Windows / Операционная система семейства Linux.

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

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
3. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
4. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
5. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
6. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
7. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>
8. База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ - <https://rosmintrud.ru/opendata>
9. База открытых данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ - <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>
10. База открытых данных Министерства экономического развития РФ - <http://www.economy.gov.ru>
11. База открытых данных Росфинмониторинга - <http://www.fedsfm.ru/opendata>
12. Электронная открытая база данных "Polpred.com Обзор СМИ" - <https://www.polpred.com>
13. Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование» - <https://openedu.ru>
14. Официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии - <http://protect.gost.ru/>
15. Открытая университетская информационная система «РОССИЯ» - <https://uisrussia.msu.ru>

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	сервер, кондиционер

	зал ИВЦ	
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-423/1, Аудитория каф. "НТ"	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

Гидродинамика

(название дисциплины)

6 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

КМ-1 Течение идеальной жидкости (Контрольная работа)

КМ-2 Течение вязкой жидкости (Контрольная работа)

КМ-3 Силы в течениях (Контрольная работа)

КМ-4 Течения на малых масштабах (Контрольная работа)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	4	8	12	16
1	Законы гидродинамических течений идеальной жидкости					
1.1	Классификация жидкостей		+			
1.2	Гидродинамика идеальной жидкости		+			
1.3	Гидростатика идеальной жидкости		+			
1.4	Понятие завихренности		+			
1.5	Несжимаемая жидкость		+			
2	Законы гидродинамических течений вязкой жидкости					
2.1	Гидродинамика вязкой жидкости			+		
2.2	Течения вязкой жидкости в каналах			+		
2.3	Течения при малых числах Рейнольдса			+		
2.4	Устойчивости гидродинамических течений			+		
2.5	Силы в гидродинамических течениях			+		
3	Пограничный слой					
3.1	Понятие пограничного слоя				+	
3.2	Ламинарный пограничный слой на пластине (задача Блазиуса)				+	

3.3	Отрыв пограничного слоя			+	
4	Турбулентные течения				
4.1	Турбулентность: основные понятия и свойства турбулентных течений				+
4.2	Турбулентное течение в трубах				+
4.3	Развитая турбулентность и спектры турбулентности				+
5	Особенности течений при малых масштабах				
5.1	Гидродинамика на малых масштабах				+
5.2	Гидродинамика границ раздела				+
Вес КМ, %:		30	30	30	10

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА КУРСОВОГО ПРОЕКТА/РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Гидродинамика

(название дисциплины)

6 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по курсовой работе:

КМ-1 Соблюдение графика выполнения КР

КМ-2 Соблюдение графика выполнения КР

Вид промежуточной аттестации – защита КР.

Номер раздела	Раздел курсового проекта/курсовой работы	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2
		Неделя КМ:	10	14
1	Получение аналитического решения поставленной задачи		+	
2	Получение численного решения поставленной задачи			+
Вес КМ, %:			50	50