

**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: Теплофизика

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины  
МЕХАНИКА ЖИДКОСТИ И ГАЗА**

<b>Блок:</b>	<b>Блок 1 «Дисциплины (модули)»</b>
<b>Часть образовательной программы:</b>	<b>Часть, формируемая участниками образовательных отношений</b>
<b>№ дисциплины по учебному плану:</b>	<b>Б1.Ч.02</b>
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	<b>5 семестр - 4; 6 семестр - 4; всего - 8</b>
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	<b>288 часа</b>
<b>Лекции</b>	<b>5 семестр - 32 часа; 6 семестр - 28 часа; всего - 60 часов</b>
<b>Практические занятия</b>	<b>5 семестр - 32 часа;</b>
<b>Лабораторные работы</b>	<b>6 семестр - 14 часов;</b>
<b>Консультации</b>	<b>5 семестр - 2 часа; 6 семестр - 2 часа; всего - 4 часа</b>
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>5 семестр - 77,5 часа; 6 семестр - 99,5 часа; всего - 177,0 часа</b>
<b>в том числе на КП/КР</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Иная контактная работа</b>	<b>проводится в рамках часов аудиторных занятий</b>
<b>включая:</b> <b>Контрольная работа</b> <b>Коллоквиум</b> <b>Лабораторная работа</b> <b>Расчетно-графическая работа</b>	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Экзамен</b>	<b>5 семестр - 0,5 часа;</b>
<b>Экзамен</b>	<b>6 семестр - 0,5 часа; всего - 1,0 час</b>

**Москва 2019**

## ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Свиридов Е.В.
	Идентификатор	R572c90f4-SviridovEV-281cc7f4

(подпись)

Е.В. Свиридов

(расшифровка подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Яньков Г.Г.
	Идентификатор	Rbb1f0c84-YankovGG-11a2e4dc

(подпись)

Г.Г. Яньков

(расшифровка подписи)

Заведующий выпускающей  
кафедры

(должность, ученая степень, ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Герасимов Д.Н.
	Идентификатор	Ra5495398-GerasimovDN-6b58615

(подпись)

Д.Н. Герасимов

(расшифровка подписи)

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** изучение основ механики жидкости и газа, а также использование полученных знаний для описания физических процессов в теплообменном энергетическом оборудовании

### Задачи дисциплины

- освоение с классификации моделей жидкости в механике жидкости и газа;
- изучение способов описания движения среды по методу Лагранжа и Эйлера;
- изучение кинематики сплошной среды;;
- приобретение навыков постановки задач по динамике движения сплошной среды – уравнения неразрывности, уравнения движения и условий однозначности;;
- приобретение навыков решения задач по гидростатике с использованием законов Паскаля и Архимеда;
- изучение методов решения задач на плоское стационарное безвихревое течение несжимаемой жидкости;
- приобретение навыков анализа течений вязкой жидкости с использованием уравнения Навье-Стокса;
- изучение динамики ламинарных течений в плоском канале и круглой трубе;
- изучение основ теории турбулентных течений, вывода и применения уравнения Рейнольдса, гипотезы Прандтля о длине пути перемешивания;;
- приобретение навыков практического расчета полей скорости, определения коэффициентов гидравлического сопротивления;
- освоение применения соотношений для расчета полей скорости при течении вязких жидкостей в плоском канале, круглой трубе и пограничном слое;;
- изучение основ статистических характеристиках турбулентности..

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-2 <sub>ПК-1</sub> Знает и умеет использовать аппарат механики сплошных сред для анализа основных теплофизических процессов в энергетическом оборудовании	знать: - принцип действия и устройство приборов для измерения скорости потока: расходомер типа «труба Вентури», трубка Пито, Прандтля;; - аппарат тензорной алгебры применительно к теории и задачам механики жидкости и газа, основные законы механики жидкости и газа – уравнение неразрывности, уравнение движения; формулировку уравнения движения в различных видах: уравнение Эйлера, уравнение Навье-Стокса, уравнение Рейнольдса; теорему и формулу Бернулли;  уметь: - Выполнять гидравлический расчет контуров экспериментальных установок, контуров теплоносителей тепловых, атомных и термоядерных станций;;

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
		<ul style="list-style-type: none"> <li>- •Выполнять экспериментальные и численные исследования гидродинамических процессов, проводить обработку и анализ экспериментальных данных.</li> </ul>
<p>ПК-2 Способен к проведению лабораторного и численного теплофизического эксперимента, к проектированию и конструированию с этой целью соответствующих экспериментальных стендов, к обработке опытных данных</p>	<p>ИД-1ПК-2 Обосновывает методику исследования конкретных процессов гидродинамики и теплообмена</p>	<p>знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- •методы расчета профилей скорости при турбулентном течении жидкости, методы расчетного и экспериментального исследования коэффициентов сопротивления;;</li> <li>- •методы расчета профилей скорости при течении вязкой жидкости в круглой трубе; формулы расчета гидравлического сопротивления при течении вязкой жидкости – формулы Дарси-Вайсбаха, Пуазейля, Блазиуса.</li> </ul> <p>уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- •проектировать узлы лабораторных экспериментальных установок для изучения теплофизических свойств веществ и характеристик процессов тепло- и массообмена с использованием современных информационных технологий, участвовать в разработках проектов аппаратов новой техники и в модернизации стандартного теплообменного оборудования;;</li> <li>- •выбирать приборы и оборудование для замены в процессе эксплуатации экспериментальных установок и при модернизации теплообменных систем.</li> </ul>

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

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

Базируется на уровне среднего общего образования.

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 8 зачетных единиц, 288 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	15	5	5	-	4	-	-	-	-	-	6	-	<p><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Введение" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Изучение материалов по разделу Введение и подготовка к контрольной работе</p> <p><b><u>Подготовка домашнего задания:</u></b> Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "Введение" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам.</p> <p><b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы</p> <p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Введение"</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Введение"</p>
1.1	Введение	15		5	-	4	-	-	-	-	-	6	-	

													<u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 7-17	
2	Кинематика жидкости	23	8	-	7	-	-	-	-	-	-	8	-	<u>Самостоятельное изучение</u>
2.1	Кинематика жидкости	23	8	-	7	-	-	-	-	-	-	8	-	<u>теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Кинематика жидкости" <u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Кинематика жидкости" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <u>Подготовка к контрольной работе:</u> Изучение материалов по разделу Кинематика жидкости и подготовка к контрольной работе <u>Подготовка домашнего задания:</u> Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "Кинематика жидкости" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам. <u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u> Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы <u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Кинематика жидкости" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 18-34 [2], 35-99
3	Уравнения динамики жидкости	24	7	-	7	-	-	-	-	-	-	10	-	<u>Подготовка к текущему контролю:</u>
3.1	Уравнения динамики жидкости	24	7	-	7	-	-	-	-	-	-	10	-	"Уравнения динамики жидкости"

	жидкости												<p><b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Уравнения динамики жидкости"</p> <p><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Уравнения динамики жидкости" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Изучение материалов по разделу Уравнения динамики жидкости и подготовка к контрольной работе</p> <p><b><u>Подготовка домашнего задания:</u></b> Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "Уравнения динамики жидкости" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам.</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 37-40</p>
4	Гидростатика	22	5	-	7	-	-	-	-	-	10	-	<p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Гидростатика"</p> <p><b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы</p> <p><b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Изучение материалов по разделу Гидростатика и подготовка к контрольной</p>
4.1	Гидростатика	22	5	-	7	-	-	-	-	-	10	-	



														идеальной жидкости и подготовка к контрольной работе <b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Динамика идеальной жидкости" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Динамика идеальной жидкости" <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 53-66
	Экзамен	36.0		-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	Всего за семестр	144.0		32	-	32	-	2	-	-	0.5	44	33.5	
	Итого за семестр	144.0		32	-	32		2		-	0.5		77.5	
6	Плоское стационарное движение идеальной несжимаемой жидкости	19	6	4	4	-	-	-	-	-	-	11	-	<b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Плоское стационарное движение идеальной несжимаемой жидкости"
6.1	Плоское стационарное движение идеальной несжимаемой жидкости	19		4	4	-	-	-	-	-	-	11	-	<b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> Для выполнения заданий по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "Плоское стационарное движение идеальной несжимаемой жидкости" материалу. <b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Изучение материалов по разделу Плоское стационарное движение идеальной несжимаемой жидкости и подготовка к контрольной работе <b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Плоское стационарное движение идеальной несжимаемой жидкости" подготовка к

													<p>выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Плоское стационарное движение идеальной несжимаемой жидкости"</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b></p> <p>[1], 69-87</p>
7	Динамика вязкой жидкости	23	8	4	-	-	-	-	-	-	11	-	<p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b></p> <p>Повторение материала по разделу "Динамика вязкой жидкости"</p>
7.1	Динамика вязкой жидкости	23	8	4	-	-	-	-	-	-	11	-	<p><b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> Для выполнения заданий по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "Динамика вязкой жидкости" материалу.</p> <p><b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b></p> <p>Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы</p> <p><b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b></p> <p>Изучение материалов по разделу Динамика вязкой жидкости и подготовка к контрольной работе</p> <p><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b></p> <p>Изучение материала по разделу "Динамика вязкой жидкости" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Динамика вязкой жидкости"</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b></p> <p>[1], 89-102</p>

8	Ламинарные течения	23		8	3	-	-	-	-	-	-	12	-	<b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Ламинарные течения"
8.1	Ламинарные течения	23		8	3	-	-	-	-	-	-	12	-	<b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> Для выполнения заданий по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "Ламинарные течения" материалу. <b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы <b><u>Подготовка домашнего задания:</u></b> Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "Ламинарные течения" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам. <b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Изучение материалов по разделу Ламинарные течения и подготовка к контрольной работе <b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Ламинарные течения" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Ламинарные течения" <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 105-127

9	Турбулентные течения	23		8	3	-	-	-	-	-	-	12	-	<b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Турбулентные течения"
9.1	Турбулентные течения	23		8	3	-	-	-	-	-	-	12	-	<b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> Для выполнения заданий по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "Турбулентные течения" материалу. <b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы <b><u>Подготовка домашнего задания:</u></b> Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "Турбулентные течения" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам. <b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Изучение материалов по разделу Турбулентные течения и подготовка к контрольной работе <b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Турбулентные течения" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Турбулентные течения" <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b>

[1], 132-191

10	РГР	20	-	-	-	-	-	-	-	-	20	-	<b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "РГР". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 1-191
10.1	РГР	20	-	-	-	-	-	-	-	-	20	-	
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	<b>Всего за семестр</b>	<b>144.0</b>	<b>28</b>	<b>14</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.5</b>	<b>66</b>	<b>33.5</b>	
	<b>Итого за семестр</b>	<b>144.0</b>	<b>28</b>	<b>14</b>	<b>-</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.5</b>	<b>99.5</b>		
	<b>ИТОГО</b>	<b>288.0</b>	<b>-</b>	<b>60</b>	<b>14</b>	<b>32</b>	<b>4</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>1.0</b>	<b>177.0</b>		

**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. Введение

#### 1.1. Введение

Место механики жидкости и газа (МЖГ) в науке о движении материальных тел. Предмет МЖГ. Основные классы задач МЖГ: задачи внешнего обтекания, течения в каналах, свободные потоки. Метод МЖГ. Основные особенности феноменологического метода: модель сплошной среды; макропараметры среды; фундаментальное понятие об элементарной жидкой частице; допущение о применимости к ней основных законов механики. Классификация моделей жидкости в МЖГ: модели сжимаемой и несжимаемой жидкости; модели вязкой и идеальной жидкости; модели жидкости с постоянными и переменными свойствами. Элементы тензорной алгебры. Понятие о тензоре. Ранг тензора. Инварианты. Разложение тензора на симметричную и антисимметричную часть. Свойства симметричного тензора..

### 2. Кинематика жидкости

#### 2.1. Кинематика жидкости

Способы описания движения среды по Лагранжу и Эйлеру. Понятия о траектории частицы и о линии тока. Струи и трубки тока. Поступательное, вращательное и деформационное движение жидкой частицы. Понятие об относительном движении. Тензор «векторный градиент», физический смысл его разложения на симметричную и антисимметричную части. Описание вращательного движения: ротор скорости, тензор вращения. Описание деформационного движения: тензор скоростей деформации. Первая теорема Гельмгольца. Определения вихревого и безвихревого течения жидкости. Особенности вихревого движения. Вихревые линии и трубки, вторая теорема Гельмгольца. Теорема Стокса. Особенности безвихревого (потенциального) течения. Потенциал скорости. Полная (субстанциональная) производная, физический смысл её локальной и конвективной части..

### 3. Уравнения динамики жидкости

#### 3.1. Уравнения динамики жидкости

Уравнение неразрывности, его физический смысл. Уравнение движения жидкости. Силы, действующие в жидкости – массовые и поверхностные. Напряжения. Вывод уравнения движения « в напряжениях», его физический смысл. Различные формы записи уравнений. Проблема незамкнутости системы уравнений динамики жидкости.

### 4. Гидростатика

#### 4.1. Гидростатика

Предмет гидростатики. Абсолютное и относительное равновесие. Условия абсолютного равновесия жидкости. Основные законы гидростатики. Закон Паскаля, закон Архимеда. Равновесие жидкости в поле силы тяжести..

### 5. Динамика идеальной жидкости

#### 5.1. Динамика идеальной жидкости

Особенности идеальной жидкости. Система уравнений динамики идеальной жидкости. Уравнение движения в форме Эйлера, различные формы записи, физический смысл слагаемых.. Условия однозначности, начальные и граничные условия. Формулировки

граничных условий для внешних и внутренних задач течения идеальной жидкости. Уравнение движения идеальной жидкости в форме Громеки – Лэмба. Теорема Бернулли, её доказательство и практические применения: анализ течений, трубка Пито – Прандтля, труба Вентури. Движение идеальной сжимаемой жидкости. Обобщенная теорема Бернулли. Число Маха – критерий сжимаемости..

## 6. Плоское стационарное движение идеальной несжимаемой жидкости

### 6.1. Плоское стационарное движение идеальной несжимаемой жидкости

Определение и особенности плоского течения. Функция тока, её связь с потенциалом скорости. Линии тока и эквипотенциальные линии. Метод суперпозиции. Потенциалы и функции тока некоторых «элементарных» потоков. Решение методом суперпозиции задачи о поперечном обтекании цилиндра идеальной жидкостью. Поле скорости, поле давления. Парадокс Даламбера. Поперечное обтекание с циркуляцией. Формула Жуковского о подъемной силе. Подъемная сила крыла. Постулат Чаплыгина – Жуковского..

## 7. Динамика вязкой жидкости

### 7.1. Динамика вязкой жидкости

Особенности течения вязкой жидкости. Проблема незамкнутости уравнений динамики вязкой жидкости. Гипотезы Стокса. Обобщенный закон Ньютона для вязкой жидкости. Уравнения Навье - Стокса в общем виде и для частного случая течения вязкой несжимаемой жидкости с постоянными свойствами. Физический смысл слагаемых. Различные формы записи уравнений Навье – Стокса. Граничные условия течений вязкой жидкости. Основы теории подобия. Подобие течений вязкой жидкости. Приведение системы уравнений динамики вязкой жидкости к безразмерному виду. Числа и критерии подобия. Число гомохронности, числа Эйлера, Фруда, Рейнольдса. Роль числа Рейнольдса как критерия режима течения вязкой жидкости. Условия подобия, правила моделирования. Гидравлическое сопротивление при течении вязкой жидкости..

## 8. Ламинарные течения

### 8.1. Ламинарные течения

Стационарное течение Куэтта. Ламинарное стационарное течение в круглой трубе. Понятие о гидродинамической стабилизации. Стабилизированное течение в круглой трубе. Решение задачи о профиле скорости. Парабола Пуазейля. Формула Пуазейля для расчета коэффициента гидравлического сопротивления. Течение на начальном гидродинамическом участке круглой трубы. Решение Тарга. Ламинарный пограничный слой. Понятие пограничного слоя. Уравнения пограничного слоя. Пограничный слой при продольном обтекании тонкой пластины (задача Блазиуса). Пограничный слой при наличии продольного градиента давления. Явление отрыва пограничного слоя. Управление пограничным слоем..

## 9. Турбулентные течения

### 9.1. Турбулентные течения

Определение турбулентности. Потеря устойчивости и переход от ламинарного течения к турбулентному в трубах, в пограничном слое. Коэффициент перемежаемости. Опыты Ротта. Первое и второе критические числа Рейнольдса. Элементы теории устойчивости. Энергетический метод. Метод малых возмущений. Уравнение Орра – Зоммерфельда, нейтральная кривая. Статистический подход Рейнольдса. Мгновенные, осредненные и пульсационные значения гидродинамических полей. Уравнения Рейнольдса – осредненные

уравнения турбулентного движения, физический смысл слагаемых. Напряжения Рейнольдса и проблема незамкнутости системы осредненных уравнений. Полуэмпирические модели турбулентности. Гипотеза Прандтля о «длине пути перемешивания». Стационарное гидродинамически стабилизированное турбулентное течение в трубе. Двухслойная модель Прандтля. Универсальный логарифмический профиль скорости. Модели Кармана, Рейхардта. Практические расчеты профилей скорости и коэффициентов гидравлического сопротивления при турбулентном течении. Анализ физики турбулентных течений на основе уравнений энергетического баланса. Основные статистические характеристики турбулентности – математическое ожидание, дисперсия, корреляционные функции и спектры пульсаций..

## 10. РГР

### 10.1. РГР

РГР.

### **3.3. Темы практических занятий**

1. •Практическое применение теоремы Бернулли. Решение задачи о течении жидкости в канале переменного сечения. Оценка возможности использования трубки Пито для измерения скорости в конкретных потоках. Проектирование расходомера – трубы Вентури.;
2. •Решение задач на гидростатику. Задачи о движении цистерны с жидкостью с постоянным ускорением, о движении цистерны под уклон под действием силы тяжести. Задача об относительном равновесии жидкости в цилиндрическом сосуде, вращающемся вокруг своей оси с постоянной угловой скоростью.;
3. •Кинематика жидкости. Примеры вихревого и безвихревого течения. Задачи о ламинарном течении в плоской щели, о плоском потенциальном вихре. Запись субстанциональной производной. Контрольный опрос по пройденному материалу.;
4. •Гидравлический расчёт контура. Подход к проблеме. Примеры расчёта гидравлических сопротивлений участков труб, местных сопротивлений. Навыки пользования справочной литературой. Работа на компьютерах в диалоговом режиме, подготовка к компьютерному коллоквиуму.;
5. •Упражнения по тензорной алгебре. Ранг тензора, его определение. Скалярное, векторное и диадное произведение векторов. Векторные операторы на тензорном языке. Некоторые тождества векторной алгебры в тензорной записи, их доказательства. Разложение тензора на симметричную и антисимметричную часть.;
6. •Вводное занятие. Основные физические свойства газов, жидкостей, жидких металлов. Важнейшие характеристики течения жидкости – локальная скорость, средняя по сечению скорость, объёмный и массовый расход. Понятие о ламинарном и турбулентном режимах течения. Критерий Рейнольдса. Определение режимов конкретных течений в трубах.;
7. •Понятие о гидравлическом сопротивлении в задачах внешнего обтекания, при течении в трубах. Формулы для расчёта коэффициента сопротивления при ламинарном и турбулентном течениях в трубе. Решение конкретных задач. Установление факта сильной зависимости гидравлического сопротивления от диаметра трубы. Способы снижения гидравлического сопротивления.;
8. •Автоматизированный диалоговый компьютерный коллоквиум по пройденному в пятом семестре материалу.

### 3.4. Темы лабораторных работ

1. Исследование обтекания крылового профиля потоком воздуха в аэродинамической трубе;
2. Моделирование потенциального обтекания тела идеальной жидкостью по методу электрогидродинамической аналогии (ЭГДА);
3. Исследование гидравлического сопротивления при ламинарном и турбулентном течении жидкости в трубе.

### 3.5 Консультации

#### Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Введение"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Кинематика жидкости"
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Уравнения динамики жидкости"
4. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Гидростатика"
5. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Динамика идеальной жидкости"
6. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Плоское стационарное движение идеальной несжимаемой жидкости"
7. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Динамика вязкой жидкости"
8. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Ламинарные течения"
9. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Турбулентные течения"

#### Текущий контроль (ТК)

1. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Введение"
2. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Кинематика жидкости"
3. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Уравнения динамики жидкости"
4. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Гидростатика"
5. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Динамика идеальной жидкости"
6. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Плоское стационарное движение идеальной несжимаемой жидкости"
7. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Динамика вязкой жидкости"
8. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Ламинарные течения"
9. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Турбулентные течения"
10. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "РГР"

### 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		
<b>Знать:</b>													
•аппарат тензорной алгебры применительно к теории и задачам механики жидкости и газа, основные законы механики жидкости и газа – уравнение неразрывности, уравнение движения; формулировку уравнения движения в различных видах: уравнение Эйлера, уравнение Навье-Стокса, уравнение Рейнольдса; теорему и формулу Бернулли;	ИД-2ПК-1	+	+	+	+	+							Коллоквиум/Компьютерный коллоквиум МЖГ часть 1 Контрольная работа/Контрольная работы 1 "Решение задач на элементы тензорной алгебры, кинематику, гидростатику"
•принцип действия и устройство приборов для измерения скорости потока: расходомер типа «труба Вентури», трубка Пито, Прандтля;	ИД-2ПК-1							+			+		Лабораторная работа/ЛР-2
•методы расчета профилей скорости при течении вязкой жидкости в круглой трубе; формулы расчета гидравлического сопротивления при течении вязкой жидкости – формулы Дарси-Вайсбаха, Пуазейля, Блазиуса	ИД-1ПК-2								+			+	Лабораторная работа/ЛР-3
•методы расчета профилей скорости при турбулентном течении жидкости, методы расчетного и экспериментального исследования коэффициентов сопротивления;	ИД-1ПК-2							+	+		+	+	Коллоквиум/Компьютерный коллоквиум МЖГ часть 2
<b>Уметь:</b>													
•Выполнять экспериментальные и численные исследования гидродинамических процессов, проводить обработку и анализ экспериментальных данных	ИД-2ПК-1							+				+	Лабораторная работа/ЛР-1
•Выполнять гидравлический расчет контуров	ИД-2ПК-1		+	+									Контрольная работа/Контрольная

экспериментальных установок, контуров теплоносителей тепловых, атомных и термоядерных станций;												работа 2 "Решение задач по расчету гидравлического сопротивления, на теорему Бернулли"	
•выбирать приборы и оборудование для замены в процессе эксплуатации экспериментальных установок и при модернизации теплообменных систем	ИД-1ПК-2			+	+	+						Контрольная работа/Контрольная работа 3 "Проектирование гидравлического контура и датчика расхода потока"	
•проектировать узлы лабораторных экспериментальных установок для изучения теплофизических свойств веществ и характеристик процессов тепло- и массообмена с использованием современных информационных технологий, участвовать в разработках проектов аппаратов новой техники и в модернизации стандартного теплообменного оборудования;	ИД-1ПК-2								+	+	+	+	Расчетно-графическая работа/Расчетное задание " Проектирование трубы Вентури и гидравлический расчет экспериментального контура"

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

##### **4.1. Текущий контроль успеваемости**

###### **5 семестр**

Форма реализации: Компьютерное задание

1. Компьютерный коллоквиум МЖГ часть 1 (Коллоквиум)

Форма реализации: Письменная работа

1. Контрольная работа 2 "Решение задач по расчету гидравлического сопротивления, на теорему Бернулли" (Контрольная работа)
2. Контрольная работа 3 "Проектирование гидравлического контура и датчика расхода потока" (Контрольная работа)
3. Контрольная работы 1 "Решение задач на элементы тензорной алгебры, кинематику, гидростатику" (Контрольная работа)

###### **6 семестр**

Форма реализации: Защита задания

1. ЛР-1 (Лабораторная работа)
2. ЛР-2 (Лабораторная работа)
3. ЛР-3 (Лабораторная работа)

Форма реализации: Компьютерное задание

1. Компьютерный коллоквиум МЖГ часть 2 (Коллоквиум)

Форма реализации: Смешанная форма

1. Расчетное задание " Проектирование трубы Вентури и гидравлический расчет экспериментального контура" (Расчетно-графическая работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

##### **4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине**

###### Экзамен (Семестр №5)

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

###### Экзамен (Семестр №6)

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

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. Валуева, Е. П. Введение в механику жидкости : учебное пособие для вузов по направлениям "Техническая физика", "Теплоэнергетика" / Е. П. Валуева, В. Г. Свиридов . – 2-е изд., перераб. – М. : Издательский дом МЭИ, 2007 . – 212 с. - ISBN 978-5-383-00109-7 .;
2. Л. Г. Лойцянский- "Механика жидкости и газа", Издательство: "Государственное издательство технико-теоретической литературы", Москва, Ленинград, 1950 - (678 с.)  
<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=256639>.

### 5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. СДО "Прометей";
2. Windows / Операционная система семейства Linux;
3. Майнд Видеоконференции;
4. Libre Office.

### 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. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>

## 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	А-320, Учебная аудитория "А"	парта со скамьей, стол преподавателя, стул, доска меловая
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Т-108, Учебная лаборатория механики жидкости и газа; Учебная лаборатория автоматизированных систем измерения; Учебная лаборатория теплообмена	стол преподавателя, стол учебный, стул, шкаф, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, доска маркерная, оборудование учебное, компьютер персональный
Учебные аудитории для проведения лабораторных занятий	Т-108, Учебная лаборатория механики жидкости и газа; Учебная лаборатория автоматизированных систем измерения; Учебная лаборатория теплообмена	стол преподавателя, стол учебный, стул, шкаф, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, доска маркерная, оборудование учебное, компьютер персональный
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Т-108, Учебная лаборатория механики жидкости и газа; Учебная лаборатория автоматизированных систем измерения; Учебная лаборатория теплообмена	стол преподавателя, стол учебный, стул, шкаф, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, доска маркерная, оборудование учебное, компьютер персональный
Помещения для	Т-412, Учебная лаборатория	стол преподавателя, стол

самостоятельной работы	вычислительной техники	учебный, стул, компьютерная сеть с выходом в Интернет, доска маркерная, компьютер персональный
Помещения для консультирования	Т-205, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол учебный, стул, шкаф, доска маркерная
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	Т-213, Подсобное помещение	

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### Механика жидкости и газа

(название дисциплины)

#### 5 семестр

**Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:**

- КМ-1 Контрольная работы 1 "Решение задач на элементы тензорной алгебры, кинематику, гидростатику" (Контрольная работа)
- КМ-2 Контрольная работа 2 "Решение задач по расчету гидравлического сопротивления, на теорему Бернулли" (Контрольная работа)
- КМ-3 Контрольная работа 3 "Проектирование гидравлического контура и датчика расхода потока" (Контрольная работа)
- КМ-4 Компьютерный коллоквиум МЖГ часть 1 (Коллоквиум)

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	3	6	9	13
1	Введение					
1.1	Введение		+			+
2	Кинематика жидкости					
2.1	Кинематика жидкости		+	+		+
3	Уравнения динамики жидкости					
3.1	Уравнения динамики жидкости		+	+	+	+
4	Гидростатика					
4.1	Гидростатика		+		+	+
5	Динамика идеальной жидкости					
5.1	Динамика идеальной жидкости		+		+	+
Вес КМ, %:			25	25	25	25

#### 6 семестр

**Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:**

- КМ-5 ЛР-1 (Лабораторная работа)
- КМ-6 ЛР-2 (Лабораторная работа)
- КМ-7 ЛР-3 (Лабораторная работа)

КМ-8 Компьютерный коллоквиум МЖГ часть 2 (Коллоквиум)

КМ-9 Расчетное задание " Проектирование трубы Вентури и гидравлический расчет экспериментального контура" (Расчетно-графическая работа)

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-5	КМ-6	КМ-7	КМ-8	КМ-9
		Неделя КМ:	3	6	9	14	12
1	Плоское стационарное движение идеальной несжимаемой жидкости						
1.1	Плоское стационарное движение идеальной несжимаемой жидкости		+			+	
2	Динамика вязкой жидкости						
2.1	Динамика вязкой жидкости			+	+	+	+
3	Ламинарные течения						
3.1	Ламинарные течения					+	+
4	Турбулентные течения						
4.1	Турбулентные течения		+	+	+	+	+
5	РГР						
5.1	РГР						+
Вес КМ, %:			20	20	20	20	20