

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

---

Направление подготовки/специальность: 15.04.03 Прикладная механика

Наименование образовательной программы: Динамика и прочность машин, приборов и аппаратуры

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**ГИДРОАЭРОУПРУГОСТЬ**

<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.03</b>
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	<b>3 семестр - 2;</b>
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	<b>72 часа</b>
<b>Лекции</b>	<b>3 семестр - 32 часа;</b>
<b>Практические занятия</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Лабораторные работы</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Консультации</b>	<b>проводится в рамках часов аудиторных занятий</b>
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>3 семестр - 39,7 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>Проверочная работа</b> <b>Коллоквиум</b>	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Зачет с оценкой</b>	<b>3 семестр - 0,3 часа;</b>

**Москва 2022**

## ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Бабин О.А.
	Идентификатор	Re55a0851-BabinOA-a86deff3

(подпись)

О.А. Бабин

(расшифровка подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель образовательной программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Позняк Е.В.
	Идентификатор	Rd1b94958-PozniakYV-2647307e

(подпись)

Е.В. Позняк

(расшифровка подписи)

Заведующий выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Меркурьев И.В.
	Идентификатор	Rd52c763c-MerkuryevIV-1e4a883f

(подпись)

И.В. Меркурьев

(расшифровка подписи)

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** изучение основных положений теории гидроаэроупругости применительно к динамическим расчетам конструкций помещенных в поток газа или жидкости или содержащих протекающую жидкость

### Задачи дисциплины

- изучение основных положений теории гидроаэроупругости;
- изучение основ постановки задач аэроупругости и гидроупругости с учетом упругой деформации конструкции и обратного влияния деформации конструкции на жидкость или газ;
- обучение обоснованному применению моделей и методов теории гидроаэроупругости к прикладным задачам механики;
- освоение методами численного решения задач гидроаэроупругости применительно к реальным конструкциям с использованием современных математических программных комплексов.

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 Готов участвовать в научных и расчетно-экспериментальных исследованиях объектов профессиональной деятельности с целью обеспечения их прочности, жесткости, устойчивости, долговечности, безопасности и надежности	ИД-3ПК-1 Способен решать сложные инженерные задачи, применяя теории механики разрушения, композиционных материалов, пластичности, ползучести, физики прочности, учитывать физически- и геометрически-нелинейное деформирование	знать: - <input type="checkbox"/> математическую постановку задачи об устойчивости упругих конструкций помещенных в поток газа или жидкости или содержащих протекающую жидкость; - <input type="checkbox"/> особенности расчета конструкций, содержащих протекающую жидкость или находящихся в протекающей жидкости.  уметь: - <input type="checkbox"/> использовать современные математические программные средства, в том числе компьютерной математики, для решения прикладных задач гидроаэроупругости; - проводить расчет на устойчивость конструкций, находящихся в потоке газа или в жидкости или с жидкостью.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Динамика и прочность машин, приборов и аппаратуры (далее – ОПОП), направления подготовки 15.04.03 Прикладная механика, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать основы расчета конструкций на прочность, жесткость и устойчивость при действии детерминистических и случайных нагрузок
- уметь рассчитывать конструкции на прочность, жесткость и устойчивость с использованием методов вычислительной механики

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	Основы ГАУ	14	3	8	-	-	-	-	-	-	-	6	-	<p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Для подготовки и освоения материала необходимо выучить термины и определения в рамках раздела "Основы ГАУ"</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], с.250-257 [4], с.469,477,478 [7], 236-245</p>		
1.1	Основы ГАУ	14		8	-	-	-	-	-	-	-	6	-			
2	Устойчивость упругих панелей в потоке газа	10		6	-	-	-	-	-	-	-	-	4		-	<p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Для подготовки и освоения материала в рамках раздела "Устойчивость упругих панелей в потоке газа" необходимо знать постановку задач, рассматриваемых в аэроупругости, основные определения, гипотезы и понятия, границы применимости, примеры различных типов задач</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], с.257-262</p>
2.1	Устойчивость упругих панелей в потоке газа	10		6	-	-	-	-	-	-	-	-	4		-	
3	Параметрические колебания панелей в потоке газа	10		6	-	-	-	-	-	-	-	-	4		-	<p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Подготовка к коллоквиуму №1 по Аэроупругости, включающий в себя материалы раздела "Параметрические колебания панелей в потоке газа" (постановка задачи, основные предположения, уравнение колебания</p>
3.1	Параметрические колебания панелей в потоке газа	10	6	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-			

													панели, метод его решения, анализ влияние различных параметров системы на устойчивость) и материала раздела "Устойчивость упругих панелей в потоке газа"(основные понятия, определения, постановки задач) <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], с.116-134 [4], с.347-367
4	Колебания упругих систем в жидкости и с жидкостью	20	12	-	-	-	-	-	-	-	8	-	<b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Подготовка к коллоквиуму №2 по Гидроупругости, включающий в себя материалы раздела "Колебания упругих систем в жидкости и с жидкостью" (постановки задач, основные предположения и гипотезы, уравнения колебаний систем, методы их решения, анализ численных результатов) <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [3], с.145-163 [5], с.6-11 [6], с.167-190
4.1	Колебания упругих систем в жидкости и с жидкостью	20	12	-	-	-	-	-	-	-	8	-	
	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; 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. Основы ГАУ

#### 1.1. Основы ГАУ

Основные закономерности течений жидкости и газа. Физические свойства движущейся среды. Основные уравнения аэрогидромеханики. Вихревые течения. Течение вязкой жидкости и пограничный слой. Аэродинамические операторы. Несущие поверхности в установившемся потоке. Крыло в плоском установившемся потоке. Крыло в стационарном околосзвуковом потоке. Определение аэродинамических сил и моментов на колеблющемся крыле. Аэродинамическая гипотеза плоских сечений.

### 2. Устойчивость упругих панелей в потоке газа

#### 2.1. Устойчивость упругих панелей в потоке газа

Упругие, массовые и аэродинамические модели летательных аппаратов при расчете на флаттер. Флаттер, как неконсервативная задача теории упругой устойчивости. Типы расчетных схем. Основные задачи аэродинамики летательных аппаратов. Основные уравнения аэродинамики. Начальные и граничные условия. Закон плоских сечений для сверхзвуковых скоростей. Границы применимости поршневой теории. Флаттер крыла. Схематизация крыла консольной балкой с прямолинейной осью жесткости. Уравнения движения, граничные условия. Метод решения. Статическая аэроупругость. Дивергенция крыла. Изгибно-крутильный флаттер крыла. Влияние конструктивных параметров. Флаттер упругих пластин и оболочек при больших сверхзвуковых скоростях..

### 3. Параметрические колебания панелей в потоке газа

#### 3.1. Параметрические колебания панелей в потоке газа

Постановка задачи. Сведение задачи к системе обыкновенных дифференциальных уравнений с периодическими коэффициентами. Сведения из теории линейных дифференциальных уравнений с периодическими коэффициентами. Устойчивость автономных систем: устойчивость по Ляпунову. Теоремы об устойчивости. Критерии асимптотической устойчивости: Рауса-Гурвица, Зубова, Коши- Михайлова - Найквиста. Классификация параметрических резонансов. Мультипликаторы. Матрица монодромии. Влияние параметров системы, потока и параметрического возбуждения на поведение областей неустойчивости и возможность стабилизации системы..

### 4. Колебания упругих систем в жидкости и с жидкостью

#### 4.1. Колебания упругих систем в жидкости и с жидкостью

а) Колебания упругих систем в жидкости. Этапы решения задач упругих колебаний конструкций в жидкости. Исследование колебания упругих стержней в вакууме. Определение частот и форм собственных колебаний. Постановка задачи о собственных колебаниях стержня в жидкости. Уравнение Лапласа. Нахождение потенциала скоростей. Определение присоединенных масс и частот собственных колебаний стержня в жидкости. б) Колебания упругих систем с жидкостью. Колебания трубопроводов с пульсирующим потоком жидкости. Устойчивость трубопроводов при детерминистических пульсациях расхода жидкости. Устойчивость трубопроводов при случайных воздействиях. Стохастическая устойчивость. Устойчивость по совокупности моментных функций. Метод моментных функций. Влияние параметров системы и потока на поведение областей неустойчивости и возможность стабилизации систем..

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

не предусмотрено

### **3.4. Темы лабораторных работ**

не предусмотрено

### **3.5 Консультации**

#### *Текущий контроль (ТК)*

1. Консультации проводятся по разделу "Основы ГАУ"
2. Консультации направлены для подготовки к контрольному мероприятию по разделу "Устойчивость упругих панелей в потоке газа"
3. Консультации направлены на подготовку к коллоквиуму №1 по "Аэроупругости"
4. Консультации направлены на подготовку к коллоквиуму №2 "Гидроупругость"

### **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	
<b>Знать:</b>						
<input type="checkbox"/> особенности расчета конструкций, содержащих протекающую жидкость или находящихся в протекающей жидкости	ИД-3ПК-1				+	Коллоквиум/Колебания упругих систем в жидкости и с жидкостью
<input type="checkbox"/> математическую постановку задачи об устойчивости упругих конструкций помещенных в поток газа или жидкости или содержащих протекающую жидкость	ИД-3ПК-1		+	+	+	Проверочная работа/Устойчивость упругих панелей в потоке газа
<b>Уметь:</b>						
проводить расчет на устойчивость конструкций, находящихся в потоке газа или в жидкости или с жидкостью	ИД-3ПК-1	+		+	+	Коллоквиум/Колебания упругих систем в жидкости и с жидкостью Проверочная работа/Основы ГАУ Проверочная работа/Устойчивость упругих панелей в потоке газа
<input type="checkbox"/> использовать современные математические программные средства, в том числе компьютерной математики, для решения прикладных задач гидроаэроупругости	ИД-3ПК-1		+		+	Коллоквиум/Колебания упругих систем в жидкости и с жидкостью Коллоквиум/Параметрические колебания панелей в потоке газа

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

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

**3 семестр**

Форма реализации: Билеты (письменный опрос)

1. Основы ГАУ (Проверочная работа)
2. Устойчивость упругих панелей в потоке газа (Проверочная работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. Колебания упругих систем в жидкости и с жидкостью (Коллоквиум)
2. Параметрические колебания панелей в потоке газа (Коллоквиум)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

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

*Зачет с оценкой (Семестр №3)*

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

В диплом выставляется оценка за 3 семестр.

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

## **5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **5.1 Печатные и электронные издания:**

1. Болотин, В. В. Неконсервативные задачи теории упругой устойчивости / В. В. Болотин . – М. : Физматлит, 1961 . – 339 с.;
2. Вибрации в технике. В 6 т. Т.1. Колебания линейных систем : справочник / И. И. Артоболевский, [и др.] ; Ред. В. В. Болотин . – М. : Машиностроение, 1978 . – 352 с.;
3. Лойцянский, Л. Г. Механика жидкости и газа : учебник по специальности "Механика" / Л. Г. Лойцянский . – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Наука, 1973 . – 847 с.;
4. Прочность, устойчивость, колебания: в 3 т. Т.1 : справочник / Б. Л. Абрамян, [и др.] ; общ. ред. И. А. Биргер, Я. Г. Пановко . – М. : Машиностроение, 1968 . – 831 с. - Авт. указаны на обороте тит. л.;
5. Бабин, О. А. Устойчивость и колебания трубопроводов при действии динамических нагрузок : Специальность 01.02.06 - Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры : Диссертация кандидата технических наук / О. А. Бабин, Моск. энерг. ин-т (МЭИ) . – 1982 . – 135 с. - Автореферат есть .;
6. Болотин, В. В. Случайные колебания упругих систем / В. В. Болотин . – М. : Наука, 1979 . – 331 с.;
7. "Прочность. Устойчивость. Колебания", Издательство: "Машиностроение", Москва, 1968 - (829 с.)  
<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=116078>.

## 5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;
3. Windows / Операционная система семейства Linux;
4. Майнд Видеоконференции.

## 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](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	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Б-05, Помещение кафедры РМДиПМ	
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Б-400, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, экран, доска маркерная
	Б-411, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, экран, доска маркерная
	Б-407, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, экран, доска маркерная
Помещения для самостоятельной работы	НТБ-304, Читальный зал отдела обслуживания учебной литературой	стул, трибуна, стол письменный, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный
Помещения для консультирования	Б-110/3, Кабинет сотрудников каф. "РМДиПМ"	кресло рабочее, стол, стул, шкаф, компьютер персональный, принтер

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

## Гидроаэроупругость

(название дисциплины)

## 3 семестр

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

КМ-1 Основы ГАУ (Проверочная работа)

КМ-2 Устойчивость упругих панелей в потоке газа (Проверочная работа)

КМ-3 Параметрические колебания панелей в потоке газа (Коллоквиум)

КМ-4 Колебания упругих систем в жидкости и с жидкостью (Коллоквиум)

**Вид промежуточной аттестации – Зачет с оценкой.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	4	8	11	15
1	Основы ГАУ					
1.1	Основы ГАУ		+	+		+
2	Устойчивость упругих панелей в потоке газа					
2.1	Устойчивость упругих панелей в потоке газа			+	+	+
3	Параметрические колебания панелей в потоке газа					
3.1	Параметрические колебания панелей в потоке газа		+	+		+
4	Колебания упругих систем в жидкости и с жидкостью					
4.1	Колебания упругих систем в жидкости и с жидкостью		+	+	+	+
Вес КМ, %:			10	20	40	30