

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

---

Направление подготовки/специальность: 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Наименование образовательной программы: Научно-технологические и управленческие инновации в теплоэнергетике

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**МЕТОДЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

<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.06</b>
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	<b>2 семестр - 5;</b>
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	<b>180 часов</b>
<b>Лекции</b>	<b>2 семестр - 16 часов;</b>
<b>Практические занятия</b>	<b>2 семестр - 32 часа;</b>
<b>Лабораторные работы</b>	<b>2 семестр - 32 часа;</b>
<b>Консультации</b>	<b>2 семестр - 2 часа;</b>
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>2 семестр - 97,5 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>Лабораторная работа</b> <b>Тестирование</b>	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Экзамен</b>	<b>2 семестр - 0,5 часа;</b>

**Москва 2021**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Шевченко И.В.
	Идентификатор	R0722806b-ShevchenkoIGV-73cb47

И.В. Шевченко

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель  
образовательной программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Милюков И.А.
	Идентификатор	R4a280e9c-MilukovIA-621c67c1

И.А. Милюков

Заведующий выпускающей  
кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Рогалев А.Н.
	Идентификатор	Rb956ba44-RogalevAN-6233a28b

А.Н. Рогалев

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** изучение методов планирования, проведения и обработки данных экспериментальных исследований гидрогазодинамических процессов в элементах сложного наукоемкого оборудования

### Задачи дисциплины

- изучение основ проведения экспериментальных исследований гидрогазодинамических процессов;
- изучение методов и средств измерения параметров гидрогазодинамических процессов;
- изучение методов сбора, обработки и интерпретации экспериментальных данных с целью формирования выводов об эффективности и надежности предлагаемых конструкторских решений.

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 Способен применять информационные технологии на всех стадиях жизненного цикла наукоемкой продукции	ИД-1ПК-2 Проводит научные исследования с применением методов математического и физического моделирования, обрабатывает и интерпретирует полученные результаты	знать: - основные принципы моделирования, обеспечивающие гидромеханическое подобие потоков; - методы и средства измерения параметров гидрогазодинамических процессов для проведения их экспериментальных исследований.  уметь: - проводить экспериментальные исследования гидрогазодинамических процессов; - обрабатывать и интерпретировать результаты экспериментальных исследований гидрогазодинамических процессов, протекающих в элементах наукоемкого оборудования.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Наукоемкие технологии и управление инновациями в теплоэнергетике (далее – ОПОП), направления подготовки 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника, уровень образования: высшее образование - магистратура.

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 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	Физическое моделирование гидрогазодинамических процессов и методы их исследования	72	2	8	16	16	-	-	-	-	-	32	-	<p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Физическое моделирование гидрогазодинамических процессов и методы их исследования"</p> <p><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Физическое моделирование гидрогазодинамических процессов и методы их исследования" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Физическое моделирование гидрогазодинамических процессов и методы их исследования"</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 17-51 [2], 55-76, 199-350</p>
1.1	Физическое моделирование гидрогазодинамических процессов. Устройство газодинамических стендов	36		4	8	8	-	-	-	-	-	16	-	
1.2	Методы исследования течения газового потока в элементах энергетического оборудования	36		4	8	8	-	-	-	-	-	16	-	
2	Автоматизация сбора и обработки данных измерений параметров гидрогазодинамических процессов	72		8	16	16	-	-	-	-	-	32	-	
2.1	Автоматизация сбора и обработки данных	36		4	8	8	-	-	-	-	-	16	-	

	измерений параметров гидрогазодинамических процессов													"Автоматизация сбора и обработки данных измерений параметров гидрогазодинамических процессов" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Автоматизация сбора и обработки данных измерений параметров гидрогазодинамических процессов" <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], 497-533, 537-602 [3], 40-68
2.2	Погрешности измерения параметров физических процессов	36	4	8	8	-	-	-	-	-	16	-		
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5		
	<b>Всего за семестр</b>	<b>180.0</b>	<b>16</b>	<b>32</b>	<b>32</b>	<b>-</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.5</b>	<b>64</b>	<b>33.5</b>		
	<b>Итого за семестр</b>	<b>180.0</b>	<b>16</b>	<b>32</b>	<b>32</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.5</b>	<b>64</b>	<b>97.5</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. Физическое моделирование гидрогазодинамических процессов и методы их исследования

1.1. Физическое моделирование гидрогазодинамических процессов. Устройство газодинамических стендов

Объекты экспериментального исследования. Газодинамические функции. Основные принципы моделирования, обеспечивающие гидромеханическое подобие потоков. Теоремы подобия. Режимы течения. Устройство экспериментальных стендов для проведения гидрогазодинамических исследований.

1.2. Методы исследования течения газового потока в элементах энергетического оборудования

Методы и средства измерений давлений потоков. Методы и средства измерений температур потоков. Методы и средства измерения средних и мгновенных скоростей. Методы и средства измерения поверхностного трения. Методы и средства визуализации течений.

#### 2. Автоматизация сбора и обработки данных измерений параметров гидрогазодинамических процессов

2.1. Автоматизация сбора и обработки данных измерений параметров гидрогазодинамических процессов

Основные понятия автоматизированного эксперимента. Сигналы в измерительной системе. Электронные компоненты измерительной системы. Подключение измерительной системы в ЭВМ. Автоматизированные комплексы сбора экспериментальных данных. Программное обеспечение систем автоматизации сбора и обработки экспериментальных данных.

2.2. Погрешности измерения параметров физических процессов

Погрешности средств измерений и результатов измерений. Методы вероятностного описания результатов измерений и их погрешностей. Математическое ожидание и дисперсия. Нормальный закон распределения случайных величин. Математическая обработка исправленных результатов измерений. Обработка результатов прямых и косвенных измерений.

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

1. Численное моделирование течения в рабочих участках экспериментальных стендов;
2. Обработка результатов прямых и косвенных измерений;
3. Определение погрешности измерений параметров потока. Определение доверительного интервала;
4. Разработка измерительной петли для измерения давления в процессе гидрогазодинамического эксперимента;
5. Разработка измерительной петли для измерения температуры в процессе гидрогазодинамического эксперимента;
6. Расчет газодинамических параметров течений с использованием таблиц газодинамических функций.

### **3.4. Темы лабораторных работ**

1. Визуализация линий тока в жидкостях и газах;
2. Сборка измерительной петли для определения давления, температуры в процессе эксперимента;
3. Экспериментальное исследование системы охлаждения лопатки газовой турбины;
4. Экспериментальное исследование течений в типовых каналах арматуры.

### **3.5 Консультации**

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

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Физическое моделирование гидрогазодинамических процессов и методы их исследования"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Автоматизация сбора и обработки данных измерений параметров гидрогазодинамических процессов"

### **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	
<b>Знать:</b>				
методы и средства измерения параметров гидрогазодинамических процессов для проведения их экспериментальных исследований	ИД-1ПК-2	+		Контрольная работа/КМ-1. Определение параметров потока с помощью газодинамических функций
основные принципы моделирования, обеспечивающие гидромеханическое подобие потоков	ИД-1ПК-2	+	+	Тестирование/КМ-6. Физическое моделирование гидрогазодинамических процессов
<b>Уметь:</b>				
обрабатывать и интерпретировать результаты экспериментальных исследований гидрогазодинамических процессов, протекающих в элементах наукоемкого оборудования	ИД-1ПК-2	+		Лабораторная работа/КМ-2. Визуализация линий тока в жидкостях и газах Лабораторная работа/КМ-3. Сборка измерительной петли для определения давления, температуры в процессе эксперимента Лабораторная работа/КМ-4. Экспериментальное исследование течений в типовых каналах арматуры Лабораторная работа/КМ-5. Экспериментальное исследование системы охлаждения лопатки газовой турбины
проводить экспериментальные исследования гидрогазодинамических процессов	ИД-1ПК-2	+	+	Лабораторная работа/КМ-2. Визуализация линий тока в жидкостях и газах Лабораторная работа/КМ-3. Сборка измерительной петли для определения давления, температуры в процессе

				<p>эксперимента</p> <p>Лабораторная работа/КМ-4. Экспериментальное исследование течений в типовых каналах арматуры</p> <p>Лабораторная работа/КМ-5. Экспериментальное исследование системы охлаждения лопатки газовой турбины</p>
--	--	--	--	---

## **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: Защита задания

1. КМ-2. Визуализация линий тока в жидкостях и газах (Лабораторная работа)
2. КМ-3. Сборка измерительной петли для определения давления, температуры в процессе эксперимента (Лабораторная работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. КМ-1. Определение параметров потока с помощью газодинамических функций (Контрольная работа)
2. КМ-6. Физическое моделирование гидрогазодинамических процессов (Тестирование)

Форма реализации: Проверка задания

1. КМ-4. Экспериментальное исследование течений в типовых каналах арматуры (Лабораторная работа)
2. КМ-5. Экспериментальное исследование системы охлаждения лопатки газовой турбины (Лабораторная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

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

#### *Экзамен (Семестр №2)*

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

В диплом выставляется оценка за 2 семестр.

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

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

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

1. Семенов Б. А.- "Инженерный эксперимент в промышленной теплотехнике, теплоэнергетике и теплотехнологиях", (2-е изд., доп.), Издательство: "Лань", Санкт-Петербург, 2013 - (400 с.)  
[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_cid=25&pl1\\_id=5107;](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=5107;)
2. А. М. Харитонов- "Техника и методы аэрофизического эксперимента", Издательство: "Новосибирский государственный технический университет", Новосибирск, 2011 - (643 с.)  
<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=436216;>
3. Е. Осипов, А. Д. Припадчев, И. Кривошеев- "Экспериментальные исследования межтурбинных переходных каналов авиационных двигателей и газотурбинных установок", Издательство: "Оренбургский государственный университет", Оренбург, 2014 - (136 с.)  
[https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=259300.](https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=259300)

## **5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:**

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;
3. Windows / Операционная система семейства Linux;
4. Ansys / САЕ Fidesys;
5. 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/>
4. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
5. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
6. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
7. ЭБС "Консультант студента" - <http://www.studentlibrary.ru/>
8. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
9. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>
10. База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ - <https://rosmintrud.ru/opendata>
11. База открытых данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ - <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>
12. База открытых данных Министерства экономического развития РФ - <http://www.economy.gov.ru>
13. База открытых данных Росфинмониторинга - <http://www.fedsfm.ru/opendata>
14. Электронная открытая база данных "Polpred.com Обзор СМИ" - <https://www.polpred.com>
15. Информационно-справочная система «Кодекс/Техэксперт» - <Http://proinfosoft.ru;>  
<http://docs.cntd.ru/>
16. Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование» - <https://openedu.ru>
17. Официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии - <http://protect.gost.ru/>
18. Открытая университетская информационная система «РОССИЯ» - <https://uisrussia.msu.ru>
19. Официальный сайт Министерства науки и высшего образования Российской Федерации - <https://minobrnauki.gov.ru>
20. Официальный сайт Федеральной службы по надзору в сфере образования и науки - <https://obrnadzor>
21. Федеральный портал "Российское образование" - <http://www.edu.ru>

## **6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

<b>Тип помещения</b>	<b>Номер аудитории, наименование</b>	<b>Оснащение</b>
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	3-404/11, Компьютерный класс каф. "ИТНО"	стеллаж, стол преподавателя, стол, стул, мультимедийный проектор, экран, доска маркерная, компьютер персональный, кондиционер
Учебные аудитории для проведения практических	3-404/11, Компьютерный	стеллаж, стол преподавателя, стол, стул, мультимедийный проектор, экран, доска

занятий, КР и КП	класс каф. "ИТНО"	маркерная, компьютер персональный, кондиционер
Учебные аудитории для проведения лабораторных занятий	3-311, Серверная каф. ВМСС	стол, стул, шкаф, доска меловая
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	3-311, Серверная каф. ВМСС	стол, стул, шкаф, доска меловая
Помещения для самостоятельной работы	НТБ-303, Компьютерный читальный зал	стол компьютерный, стул, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер
Помещения для консультирования	3-307, Лекционная аудитория каф. ВМСС	парта, стол преподавателя, стул, мультимедийный проектор, доска маркерная, компьютер персональный, мел, маркер, стилус
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	3-318, Помещение не существует	стеллаж для хранения инвентаря, стол, стул, шкаф

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### Методы экспериментальных исследований

(название дисциплины)

#### 2 семестр

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

- КМ-1 КМ-1. Определение параметров потока с помощью газодинамических функций (Контрольная работа)
- КМ-2 КМ-2. Визуализация линий тока в жидкостях и газах (Лабораторная работа)
- КМ-3 КМ-3. Сборка измерительной петли для определения давления, температуры в процессе эксперимента (Лабораторная работа)
- КМ-4 КМ-4. Экспериментальное исследование течений в типовых каналах арматуры (Лабораторная работа)
- КМ-5 КМ-5. Экспериментальное исследование системы охлаждения лопатки газовой турбины (Лабораторная работа)
- КМ-6 КМ-6. Физическое моделирование гидрогазодинамических процессов (Тестирование)

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5	КМ-6
		Неделя КМ:	4	8	10	12	14	16
1	Физическое моделирование гидрогазодинамических процессов и методы их исследования							
1.1	Физическое моделирование гидрогазодинамических процессов. Устройство газодинамических стендов		+	+	+	+	+	+
1.2	Методы исследования течения газового потока в элементах энергетического оборудования		+	+	+	+	+	+
2	Автоматизация сбора и обработки данных измерений параметров гидрогазодинамических процессов							
2.1	Автоматизация сбора и обработки данных измерений параметров гидрогазодинамических процессов			+	+	+	+	+
2.2	Погрешности измерения параметров физических процессов			+	+	+	+	+
Вес КМ, %:			10	15	20	20	20	15