

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

Направление подготовки/специальность: 13.04.03 Энергетическое машиностроение

Наименование образовательной программы: Газотурбинные, паротурбинные установки и двигатели

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

Рабочая программа дисциплины
МЕТОДЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ТУРБОМАШИН

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.09
Трудоемкость в зачетных единицах:	3 семестр - 4;
Часов (всего) по учебному плану:	144 часа
Лекции	3 семестр - 16 часов;
Практические занятия	не предусмотрено учебным планом
Лабораторные работы	3 семестр - 32 часа;
Консультации	проводится в рамках часов аудиторных занятий
Самостоятельная работа	3 семестр - 95,7 часа;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая:	
Лабораторная работа	
Промежуточная аттестация:	
Зачет с оценкой	3 семестр - 0,3 часа;

Москва 2022

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Дмитриев С.С.
	Идентификатор	R846d2b27-Dmitriyev55-53ab785f

(подпись)

С.С. Дмитриев

(расшифровка подписи)

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной программы

(должность, ученая степень, ученое
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Митрохова О.М.
	Идентификатор	R1d0f453c-FichoriakOM-ee811867

(подпись)

О.М.

Митрохова

(расшифровка подписи)

Заведующий выпускающей
кафедры

(должность, ученая степень, ученое
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Грибин В.Г.
	Идентификатор	R44612ca0-GribinVG-8231e2ff

(подпись)

В.Г. Грибин

(расшифровка подписи)

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: изучение современных методов экспериментальных исследований турбомашин для использования их в решении задач энергетического машиностроения

Задачи дисциплины

- изучение информации о современных средствах измерения параметров парового и газового потока;
- изучение методик измерения основных параметров парового и газового потока на моделях элементов проточной части турбомашин;
- изучение методик оценки аэродинамической эффективности элементов проточной части турбомашин на основе измеренных параметров парового и газового потока.

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 к научно-исследовательской деятельности в сфере энергетического машиностроения	ИД-1 _{ПК-1} Выполняет теоретические и экспериментальные исследования процессов, происходящих в объектах профессиональной деятельности	<p>знать:</p> <ul style="list-style-type: none">- методы расчета экономической эффективности элементов проточных частей турбомашин на основе полученных экспериментальных данных;- методы измерения расходов паровых и газовых сред;- методы осреднения параметров потоков, существенно неравномерных по сечению;- методы измерения параметров паровых и газовых потоков. <p>уметь:</p> <ul style="list-style-type: none">- применять методы измерения параметров паровых и газовых потоков в экспериментальных исследованиях на моделях элементов проточных частей турбомашин;- применять методы осреднения параметров потоков с использованием экспериментальных данных, полученных в экспериментальных исследованиях на моделях элементов проточных частей турбомашин;- применять методы измерения расходов паровых и газовых сред в экспериментальных исследованиях;- применять методы расчета экономической эффективности элементов проточной части турбомашин на основе полученных экспериментальных данных.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Газотурбинные, паротурбинные установки и двигатели (далее – ОПОП), направления подготовки 13.04.03 Энергетическое машиностроение, 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 4 зачетных единицы, 144 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	Методы измерения параметров паровых и газовых потоков и обработки экспериментальных данных	56	3	8	16	-	-	-	-	-	-	32	-	<p><u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Методы измерения параметров паровых и газовых потоков и обработки экспериментальных данных"</p> <p><u>Подготовка к лабораторной работе:</u> 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 "Методы измерения параметров паровых и газовых потоков и обработки экспериментальных данных" материалу.</p> <p><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u> Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], стр. 83-88 [2], стр. 32-57 [4], стр. 12-21</p>	
1.1	Методы измерения параметров паровых и газовых потоков и обработки экспериментальных данных	56		8	16	-	-	-	-	-	-	32	-		
2	Методы осреднения параметров неравномерных потоков	42		4	12	-	-	-	-	-	-	-	26		-
2.1	Методы осреднения параметров	42		4	12	-	-	-	-	-	-	-	26		-

	неравномерных потоков												необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "Методы осреднения параметров неравномерных потоков" материалу. <u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u> Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [3], стр. 250-257
3	Методы измерения расходов паровых и газовых сред	28	4	4	-	-	-	-	-	-	20	-	<u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Методы измерения расходов паровых и газовых сред"
3.1	Методы измерения расходов паровых и газовых сред	28	4	4	-	-	-	-	-	-	20	-	<u>Подготовка к лабораторной работе:</u> 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 "Методы измерения расходов паровых и газовых сред" материалу. <u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u> Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [5], стр. 183-189
	Зачет с оценкой	18.0	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	17.7	
	Всего за семестр	144.0	16	32	-	-	-	-	-	0.3	78	17.7	
	Итого за семестр	144.0	16	32	-	-	-	-	-	0.3	95.7		

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. Методы измерения параметров паровых и газовых потоков и обработки экспериментальных данных

1.1. Методы измерения параметров паровых и газовых потоков и обработки экспериментальных данных

Теоретические основы измерения давления и определения вектора скорости пневмометрическими приемниками. Приемники полного давления. Их характеристики. Приемники статического давления. Их характеристики. Методы измерения температуры потока. Приемники для определения величины скорости. Приемники для определения направления скорости. Приемники для определения величины и направления скорости в двумерных потоках. Цилиндрические приемники. Чечевицеобразные приемники. Конические и клиновидные приемники. Приемники для определения величины и направления скорости в пространственных потоках. Особенности приемников для определения скорости в дозвуковых и сверхзвуковых потоках. Градуировка пневмометрических приемников. Методы оценки неопределенностей полученных результатов. Методические неопределенности косвенного определения параметров газового потока пневмометрическими приемниками. Инерционные характеристики манометрических и вакуумных пневмотрасс. Инерционные характеристики жидкостных манометров и манометров с упругим чувствительным элементом. Малоинерционные датчики давления. Механические и акустические характеристики мембранных датчиков давления. Чувствительность датчика. Собственная акустическая частота. Тензометрические, емкостные и пьезометрические датчики. Измерительный канал. Частота собственных колебаний. Постановка экспериментальных исследований в аэродинамике. Аэродинамические трубы. Техника аэродинамического эксперимента при дозвуковых скоростях. Техника аэродинамического эксперимента при больших дозвуковых скоростях. Оценка аэродинамической эффективности элементов проточной части турбомшины на основе измеренных параметров парового и газового потока: диффузоры и выхлопные патрубки турбомашин.

2. Методы осреднения параметров неравномерных потоков

2.1. Методы осреднения параметров неравномерных потоков

Теоретические основы осреднения параметров неравномерных потоков для приведения к одномерной задаче. Способы осреднения потоков. Задача правильного осреднения потока. Способы осреднения при сохранении суммарного импульса потока и суммарной величины энтропии. Их преимущества и недостатки. Условия подобия потоков. Непосредственное измерение среднего значения нескольких давлений. Шаговые осредняющие гребенки полного давления. Неосредняющие приемники в схемах осреднения.

3. Методы измерения расходов паровых и газовых сред

3.1. Методы измерения расходов паровых и газовых сред

Основы теории. Основные расчетные формулы для определения расхода. Стандартные суживающиеся устройства. Особенности их применения. Основные сведения о методике расчета суживающихся устройств. Коэффициенты расхода и их определение в эксперименте. Методы оценки неопределенностей полученных результатов. Определение плотности измеряемой среды. Методы измерения расхода на входе в исследуемую модель и на выходе.

3.3. Темы практических занятий не предусмотрено

3.4. Темы лабораторных работ

1. Определение энергетических характеристик в плоском диффузорном канале при безотрывных и отрывных режимах течения (4 часа);
2. Определение влияния угловых точек и точек излома поверхности на распределение давлений и скоростей в плоском диффузорном канале при безотрывных и отрывных режимах течения (6 часов);
3. Определение пульсационных характеристик пристеночного давления в турбулентном пограничном слое при конфузорном, безградиентном и диффузорном течении в плоском канале (6 часов);
4. Осреднение давления полного торможения и статического давления на входе в плоский диффузорный канал для приведения осредненного потока к одномерному при безотрывных и отрывных режимах течения (6 часов);
5. Определение коэффициента полных потерь и полей скоростей на входе в модель бездиффузорного выхлопного патрубка ЦВД турбины К-1000/6,8/50 для АЭС при существенной неравномерности потока (6 часов);
6. Тарировка мерного суживающегося сопла по образцовому соплу Витошинского (4 часа).

3.5 Консультации

3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ

Курсовой проект/ работа не предусмотрены

3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)			Оценочное средство (тип и наименование)
		1	2	3	
Знать:					
методы измерения параметров паровых и газовых потоков	ИД-1пк-1		+		Лабораторная работа/Лабораторная работа №1 "Определение энергетических характеристик в плоском диффузорном канале при безотрывных и отрывных режимах течения" Лабораторная работа/Лабораторная работа №2 "Определение влияния угловых точек и точек излома поверхности на распределение давлений и скоростей в плоском диффузорном канале при безотрывных и отрывных режимах течения" Лабораторная работа/Лабораторная работа №3 "Определение пульсационных характеристик пристеночного давления в турбулентном пограничном слое при конфузорном, безградиентном и диффузорном течении в плоском канале"
методы осреднения параметров потоков, существенно неравномерных по сечению	ИД-1пк-1			+	Лабораторная работа/Лабораторная работа №4 "Осреднение давления полного торможения и статического давления на входе в плоский диффузорный канал для приведения осредненного потока к одномерному при безотрывных и отрывных режимах течения"
методы измерения расходов паровых и газовых сред	ИД-1пк-1				Лабораторная работа/Лабораторная работа №6 "Тарировка мерного суживающегося сопла по образцовому соплу Витошинского"
методы расчета экономической эффективности элементов проточных частей турбомашин на	ИД-1пк-1			+	Лабораторная работа/Лабораторная работа №5 "Определение коэффициента полных потерь и полей"

основе полученных экспериментальных данных					скоростей на входе в модель бездиффузорного выхлопного патрубка ЦВД турбины К-1000/6,8/50 для АЭС при существенной неравномерности потока"
Уметь:					
применять методы расчета экономической эффективности элементов проточной части турбомашин на основе полученных экспериментальных данных	ИД-1ПК-1		+		Лабораторная работа/Лабораторная работа №5 "Определение коэффициента полных потерь и полей скоростей на входе в модель бездиффузорного выхлопного патрубка ЦВД турбины К-1000/6,8/50 для АЭС при существенной неравномерности потока"
применять методы измерения расходов паровых и газовых сред в экспериментальных исследованиях	ИД-1ПК-1			+	Лабораторная работа/Лабораторная работа №6 "Тарировка мерного суживающегося сопла по образцовому соплу Витошинского"
применять методы осреднения параметров потоков с использованием экспериментальных данных, полученных в экспериментальных исследованиях на моделях элементов проточных частей турбомашин	ИД-1ПК-1		+		Лабораторная работа/Лабораторная работа №4 "Осреднение давления полного торможения и статического давления на входе в плоский диффузорный канал для приведения осредненного потока к одномерному при безотрывных и отрывных режимах течения"
применять методы измерения параметров паровых и газовых потоков в экспериментальных исследованиях на моделях элементов проточных частей турбомашин	ИД-1ПК-1		+		Лабораторная работа/Лабораторная работа №1 "Определение энергетических характеристик в плоском диффузорном канале при безотрывных и отрывных режимах течения" Лабораторная работа/Лабораторная работа №2 "Определение влияния угловых точек и точек излома поверхности на распределение давлений и скоростей в плоском диффузорном канале при безотрывных и отрывных режимах течения"

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: Смешанная форма

1. Лабораторная работа №1 "Определение энергетических характеристик в плоском диффузорном канале при безотрывных и отрывных режимах течения" (Лабораторная работа)
2. Лабораторная работа №2 "Определение влияния угловых точек и точек излома поверхности на распределение давлений и скоростей в плоском диффузорном канале при безотрывных и отрывных режимах течения" (Лабораторная работа)
3. Лабораторная работа №3 "Определение пульсационных характеристик пристеночного давления в турбулентном пограничном слое при конфузорном, безградиентном и диффузорном течении в плоском канале" (Лабораторная работа)
4. Лабораторная работа №4 "Осреднение давления полного торможения и статического давления на входе в плоский диффузорный канал для приведения осредненного потока к одномерному при безотрывных и отрывных режимах течения" (Лабораторная работа)
5. Лабораторная работа №5 "Определение коэффициента полных потерь и полей скоростей на входе в модель бездиффузорного выхлопного патрубка ЦВД турбины К-1000/6,8/50 для АЭС при существенной неравномерности потока" (Лабораторная работа)
6. Лабораторная работа №6 "Тарировка мерного суживающегося сопла по образцовому соплу Витошинского" (Лабораторная работа)

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. Зарянкин А.Е.- "Механика несжимаемых и сжимаемых жидкостей", Издательство: "МЭИ", Москва, 2014 - (590 с.)
<https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383009031.html>;
2. Зарянкин, А. Е. Выхлопные патрубки паровых и газовых турбин / А. Е. Зарянкин, Б. П. Симонов . – М. : Изд-во МЭИ, 2002 . – 274 с. - ISBN 5-7046-0821-3 .;
3. Г. Н. Абрамович- "Прикладная газовая динамика", (Изд. 3-е), Издательство: "Наука", Москва, 1969 - (826 с.)
<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=476989>;
4. Петунин, А. Н. Методы и техника измерений параметров газового потока (Приемники давления и скоростного напора) / А. Н. Петунин . – М. : Машиностроение, 1972 . – 332 с.;

5. Горлин, С. М. Экспериментальная аэромеханика : Учебное пособие для вузов / С. М. Горлин . – М. : Высшая школа, 1970 . – 423 с..

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. SmathStudio.

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

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red
3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
4. База данных ВИНТИ online - <http://www.viniti.ru/>
5. База данных журналов издательства Elsevier - <https://www.sciencedirect.com/>
6. Электронные ресурсы издательства Springer - <https://link.springer.com/>
7. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
8. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
9. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
10. ЭБС "Консультант студента" - <http://www.studentlibrary.ru/>
11. Журналы American Chemical Society - <https://www.acs.org/content/acs/en.html>
12. Журналы American Institute of Physics - <https://www.scitation.org/>
13. Журналы American Physical Society - <https://journals.aps.org/about>
14. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
15. Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование» - <https://openedu.ru>
16. Официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии - <http://protect.gost.ru/>
17. 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	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	П-25, Учебная аудитория	
Учебные аудитории для проведения лабораторных занятий	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	П-32, Учебная аудитория лаборатории газодинамики	стол преподавателя, стол учебный, стул, вешалка для одежды, доска меловая, компьютерная сеть с выходом в Интернет, кондиционер, мел, маркер, стилус
	П-03, Лаборатория газодинамики турбомашин	
Учебные аудитории для	Ж-120, Машинный зал	сервер, кондиционер

проведения промежуточной аттестации	ИВЦ	
	П-25, Учебная аудитория	
Помещения для самостоятельной работы	П-28, Комната для самостоятельных занятий студентов	
Помещения для консультирования	П-03/1, Кабинет сотрудников	
	П-27, Переговорная	
	П-43, Кабинет сотрудников каф. ПГТ (доц. Дмитриев С.С.)	
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	П-42, Кафедральная библиотека	
	П-05/1, Помещение для учебного инвентаря	
	П-03/3, Подсобное помещение	

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Методы экспериментальных исследований турбомашин

(название дисциплины)

3 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Лабораторная работа №1 "Определение энергетических характеристик в плоском диффузорном канале при безотрывных и отрывных режимах течения" (Лабораторная работа)
- КМ-2 Лабораторная работа №2 "Определение влияния угловых точек и точек излома поверхности на распределение давлений и скоростей в плоском диффузорном канале при безотрывных и отрывных режимах течения" (Лабораторная работа)
- КМ-3 Лабораторная работа №3 "Определение пульсационных характеристик пристеночного давления в турбулентном пограничном слое при конфузормом, безградиентном и диффузорном течении в плоском канале" (Лабораторная работа)
- КМ-4 Лабораторная работа №4 "Осреднение давления полного торможения и статического давления на входе в плоский диффузорный канал для приведения осредненного потока к одномерному при безотрывных и отрывных режимах течения" (Лабораторная работа)
- КМ-5 Лабораторная работа №5 "Определение коэффициента полных потерь и полей скоростей на входе в модель бездиффузорного выхлопного патрубка ЦВД турбины К-1000/6,8/50 для АЭС при существенной неравномерности потока" (Лабораторная работа)
- КМ-6 Лабораторная работа №6 "Тарировка мерного суживающегося сопла по образцовому соплу Витошинского" (Лабораторная работа)

Вид промежуточной аттестации – Зачет с оценкой.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5	КМ-6
		Неделя КМ:	3	6	9	12	14	16
1	Методы измерения параметров паровых и газовых потоков и обработки экспериментальных данных							
1.1	Методы измерения параметров паровых и газовых потоков и обработки экспериментальных данных		+	+	+			
2	Методы осреднения параметров неравномерных потоков							
2.1	Методы осреднения параметров неравномерных потоков					+	+	
3	Методы измерения расходов паровых и газовых сред							
3.1	Методы измерения расходов паровых и газовых сред							+
Вес КМ, %:			20	15	15	20	20	10