

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

---

Направление подготовки/специальность: 13.03.03 Энергетическое машиностроение

Наименование образовательной программы: Газотурбинные, паротурбинные установки и двигатели

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**ЛОПАСТНЫЕ ТУРБОМАШИНЫ**

<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.07.01</b>
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	<b>7 семестр - 4; 8 семестр - 6; всего - 10</b>
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	<b>360 часов</b>
<b>Лекции</b>	<b>7 семестр - 32 часа; 8 семестр - 28 часа; всего - 60 часов</b>
<b>Практические занятия</b>	<b>7 семестр - 32 часа; 8 семестр - 28 часа; всего - 60 часов</b>
<b>Лабораторные работы</b>	<b>8 семестр - 14 часов;</b>
<b>Консультации</b>	<b>7 семестр - 2 часа; 8 семестр - 16 часов; всего - 18 часов</b>
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>7 семестр - 77,5 часа; 8 семестр - 125,2 часа; всего - 202,7 часа</b>
<b>в том числе на КП/КР</b>	<b>8 семестр - 53,7 часа;</b>
<b>Иная контактная работа</b>	<b>8 семестр - 4 часа;</b>
<b>включая:</b> Тестирование Контрольная работа Расчетно-графическая работа Лабораторная работа	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Экзамен</b>	<b>7 семестр - 0,5 часа;</b>
<b>Защита курсового проекта</b>	<b>8 семестр - 0,3 часа;</b>
<b>Экзамен</b>	<b>8 семестр - 0,5 часа;</b>
	<b>всего - 1,3 часа</b>

**Москва 2022**

## ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

	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)

## 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 теории и методов расчета тепловых процессов в ступенях лопастных турбомашин: турбин и компрессоров с единых позиций и основ их конструирования

### Задачи дисциплины

- изучение теоретических основ тепловых процессов в лопастных турбомашинах: турбинах и компрессорах с единых позиций;
- освоение методик расчета ступени лопастной турбомашин и турбомашин в целом с учетом их максимальной эффективности и надежности;
- овладение основами проектирования ступеней лопастных турбомашин и турбомашин в целом.

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 участвовать в проектно-конструкторской деятельности в сфере энергетического машиностроения	ИД-1 <sub>ПК-1</sub> Демонстрирует знание закономерностей процессов, происходящих в объектах профессиональной деятельности	знать: - теоретические основы рабочих процессов, происходящих в группе ступеней; - теоретические основы рабочих процессов, происходящих в ступени компрессора; - теоретические основы рабочих процессов, происходящих в турбинной ступени.  уметь: - рассчитывать тепловые процессы в турбинной ступени; - рассчитывать тепловые процессы в ступени компрессора.
ПК-1 Способен участвовать в проектно-конструкторской деятельности в сфере энергетического машиностроения	ИД-2 <sub>ПК-1</sub> Демонстрирует знание конструкции и принципа работы объектов профессиональной деятельности	знать: - основные термины, понятия и определения; - конструкцию и принцип работы компрессорных ступеней; - конструкцию и принцип работы турбинных ступеней.  уметь: - объяснять физические принципы работы ступеней турбомашин.
ПК-1 Способен участвовать в проектно-конструкторской деятельности в сфере энергетического машиностроения	ИД-3 <sub>ПК-1</sub> Выполняет комплекс расчетов элементов объектов профессиональной деятельности	знать: - особенности расчета проточной части газовой турбины; - основные методы аэродинамического расчета ступеней турбомашин; - основные методы теплового расчета проточной части многоступенчатой

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
		<p>турбины.</p> <p>уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- проводить тепловой расчет проточной части многоступенчатой газовой турбины;</li> <li>- применять типовые методики для расчета отдельных ступеней с определением их интегральных характеристик;</li> <li>- применять типовые методики для расчета и проектирования группы ступеней.</li> </ul>
<p>ПК-1 Способен участвовать в проектно-конструкторской деятельности в сфере энергетического машиностроения</p>	<p>ИД-4<sub>ПК-1</sub> Разрабатывает конструкцию отдельных элементов объектов профессиональной деятельности</p>	<p>знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основные энергетические характеристики ступеней турбомашин, причины потерь энергии в ступени;</li> <li>- основные геометрические характеристики ступеней турбомашин, их влияние на потери энергии в ступени.</li> </ul> <p>уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- профилировать решетки турбинных ступеней;</li> <li>- осуществлять подбор решеток профилей по «Атласу» и определять их характеристик.</li> </ul>
<p>ПК-1 Способен участвовать в проектно-конструкторской деятельности в сфере энергетического машиностроения</p>	<p>ИД-5<sub>ПК-1</sub> Демонстрирует понимание влияния условий работы объекта профессиональной деятельности на принимаемые конструкционные решения</p>	<p>знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- особенности проектирования ступеней турбомашин.</li> </ul> <p>уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- учитывать влияние условий работы ступени турбомашин на принимаемые конструкционные решения при ее проектировании.</li> </ul>
<p>ПК-1 Способен участвовать в проектно-конструкторской деятельности в сфере энергетического машиностроения</p>	<p>ИД-6<sub>ПК-1</sub> Принимает обоснованные технические решения при проектировании объекта профессиональной деятельности</p>	<p>уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- анализировать влияние основных характеристик ступеней турбомашин на их технико-экономические показатели и турбомашин в целом.</li> </ul>

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Газотурбинные, паротурбинные установки и двигатели (далее – ОПОП), направления подготовки

13.03.03 Энергетическое машиностроение, 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 10 зачетных единиц, 360 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	Турбомашины в схемах преобразования энергии на электростанциях	6	7	2	-	-	-	-	-	-	-	4	-	<p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Турбомашины в схемах преобразования энергии на электростанциях" и подготовка к тесту «Терминология. Основные понятия и определения»</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], стр. 33-35</p>	
1.1	Турбомашины в схемах преобразования энергии на электростанциях	6		2	-	-	-	-	-	-	-	4	-		
2	Течение пара в турбинных решетках	20		6	-	4	-	-	-	-	-	-	10		-
2.1	Течение пара в турбинных решетках	20		6	-	4	-	-	-	-	-	-	10		-

													[2], стр. 40-49, 67-83 [3], стр. 100-171 [4], стр. 7-29
3	Турбинная ступень. Определение экономичности и оптимизация турбинных ступеней	70	20	-	26	-	-	-	-	-	24	-	<b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Турбинная ступень. Определение экономичности и оптимизация турбинных ступеней" и подготовка к контрольной работе «Расчет турбинной ступени по параметрам на среднем диаметре» <b><u>Подготовка расчетно-графического задания:</u></b> Выполнение пп.2-4 расчетного задания «Аэродинамический расчет турбинной ступени» <b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Турбинная ступень. Определение экономичности и оптимизация турбинных ступеней" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], стр. 49-60, 83-131 [3], стр. 172-320 [5], стр. 1-96
3.1	Турбинная ступень. Определение экономичности и оптимизация турбинных ступеней	70	20	-	26	-	-	-	-	-	24	-	
4	Многоступенчатые турбины	12	4	-	2	-	-	-	-	-	6	-	<b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Многоступенчатые турбины" и подготовка к тесту «Многоступенчатые паровые турбины» <b><u>Подготовка расчетно-графического задания:</u></b> Выполнение п.5 и защита расчетного задания «Аэродинамический расчет турбинной ступени» <b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Многоступенчатые турбины" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях
4.1	Многоступенчатые турбины	12	4	-	2	-	-	-	-	-	6	-	

													<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], стр. 132-144 [3], стр. 321-368	
	Экзамен	36.0		-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	<b>Всего за семестр</b>	<b>144.0</b>		<b>32</b>	-	<b>32</b>	-	<b>2</b>	-	-	<b>0.5</b>	<b>44</b>	<b>33.5</b>	
	<b>Итого за семестр</b>	<b>144.0</b>		<b>32</b>	-	<b>32</b>		<b>2</b>		<b>-</b>	<b>0.5</b>		<b>77.5</b>	
5	Проектирование и расчет многоступенчатых турбин	22	8	6	2	6	-	-	-	-	-	8	-	<b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Проектирование и расчет многоступенчатых турбин"
5.1	Проектирование и расчет многоступенчатых турбин	22		6	2	6	-	-	-	-	-	8	-	<b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> Для выполнения заданий по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы «Расчет и оптимизация группы унифицированных ступеней» <b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Проектирование и расчет многоступенчатых турбин" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], стр. 145-174 [6], стр. 7-94 [9], стр. 6-13
6	Особенности расчета и конструкции ступеней турбин	48		8	12	8	-	-	-	-	-	20	-	<b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Особенности расчета и конструкции ступеней турбин" и подготовка к контрольной работе «Предельная мощность однопоточной турбины. Особенности расчета турбинных ступеней»
6.1	Особенности расчета и конструкции ступеней турбин	48		8	12	8	-	-	-	-	-	20	-	<b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> Для выполнения заданий по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторных работ:



													«Расчет ступени большой верности с учетом изменения параметров потока по высоте», «Проектирование профиля сопловой решетки» и «Проектирование профиля рабочей решетки» <b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Особенности расчета и конструкции ступеней турбин" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], стр. 60-67 [4], стр. 322-369 [5], стр. 1-96
7	Компрессорная ступень	24	8	-	10	-	-	-	-	-	6	-	<b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Компрессорная ступень" и подготовка к контрольной работе «Решетки профилей и треугольники скоростей осевого компрессора. Определение числа ступеней газовой турбины» <b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Компрессорная ступень" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [7], стр. 221-302
7.1	Компрессорная ступень	24	8	-	10	-	-	-	-	-	6	-	<b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Особенности проектирования и расчета многоступенчатых газовых турбин" и подготовка к контрольной работе «Решетки профилей и треугольники скоростей осевого компрессора. Определение числа ступеней газовой турбины» <b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Особенности проектирования и расчета многоступенчатых газовых турбин" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [7], стр. 221-302
8	Особенности проектирования и расчета многоступенчатых газовых турбин	14	6	-	4	-	-	-	-	-	4	-	<b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Особенности проектирования и расчета многоступенчатых газовых турбин" и подготовка к контрольной работе «Решетки профилей и треугольники скоростей осевого компрессора. Определение числа ступеней газовой турбины» <b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Особенности проектирования и расчета многоступенчатых газовых турбин" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [7], стр. 221-302
8.1	Особенности проектирования и расчета многоступенчатых	14	6	-	4	-	-	-	-	-	4	-	<b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Особенности проектирования и расчета многоступенчатых газовых турбин" и подготовка к контрольной работе «Решетки профилей и треугольники скоростей осевого компрессора. Определение числа ступеней газовой турбины» <b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Особенности проектирования и расчета многоступенчатых газовых турбин" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [7], стр. 221-302

	газовых турбин												Изучение материала по разделу "Особенности проектирования и расчета многоступенчатых газовых турбин" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [8], стр. 55-81
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	Курсовой проект (КП)	72.0	-	-	-	14	-	4	-	0.3	53.7	-	
	Всего за семестр	216.0	28	14	28	14	2	4	-	0.8	91.7	33.5	
	Итого за семестр	216.0	28	14	28	16		4		0.8	125.2		
	<b>ИТОГО</b>	<b>360.0</b>	-	<b>60</b>	<b>14</b>	<b>60</b>	<b>18</b>	<b>4</b>		<b>1.3</b>	<b>202.7</b>		

**Примечание:** Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПП – 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. Турбомашины в схемах преобразования энергии на электростанциях

##### 1.1. Турбомашины в схемах преобразования энергии на электростанциях

Принцип действия турбомашин. Классификация энергетических машин – тепловых турбомашин: паровая и газовая турбина, компрессор, вентилятор, насос. Преимущества турбомашин. Применение турбомашин в энергетике и других отраслях промышленности. Краткая история развития турбомашин. Современное состояние.

#### 2. Течение пара в турбинных решетках

##### 2.1. Течение пара в турбинных решетках

Схема ступени турбины. Абсолютное и относительное движение, треугольники скоростей, изменение параметров, решетки профилей. Понятие элементарной ступени. Приложение уравнений МЖГ к турбинным ступеням. Закон сохранения массы. Уравнение расхода в относительном и абсолютном движении. Закон сохранения количества движения. Определение сил, действующих на профиль. Уравнения для работы, крутящего момента, мощности ступени турбины в абсолютном и относительном движении. Закон сохранения энергии для ступени турбины.

#### 3. Турбинная ступень. Определение экономичности и оптимизация турбинных ступеней

##### 3.1. Турбинная ступень. Определение экономичности и оптимизация турбинных ступеней

Тепловой процесс в ступени турбины: изображение в  $h,s$ -диаграмме, степень реактивности. Расчет треугольников скоростей. Определение размеров ступени. Основные потери в ступени, лопаточный КПД. Условия достижения максимального КПД ступени турбины. Баланс потерь. Дополнительные потери в ступени турбины: потери на трение диска и бандажа, потери от парциального подвода. Оптимальная степень парциальности. Потери от утечек и двухфазности рабочего тела. Относительный внутренний КПД. Осевые силы в ступени. Выбор характеристик и методика расчета турбинной ступени. Регулирующая ступень: особенности расчета. Подбор решеток профилей по «Атласу» и определение их характеристик. Пространственный поток в ступени турбины: описание, упрощения, постановка задачи расчета. Осесимметричный поток в ступени турбомашин. Уравнение радиального равновесия. Законы закрутки. Изменение параметров потока по радиусу ступени для закона «постоянства циркуляции». Сравнение законов закрутки. Границы применения лопаток постоянного профиля. «Длинные лопатки»..

#### 4. Многоступенчатые турбины

##### 4.1. Многоступенчатые турбины

Многоступенчатые турбины. Преимущества многоступенчатых турбин. «Возврат» тепла в турбине. Соотношение КПД ступени и многоступенчатой турбомашин. Процесс в  $h,s$ -диаграмме..

#### 5. Проектирование и расчет многоступенчатых турбин

##### 5.1. Проектирование и расчет многоступенчатых турбин

Предельные характеристики однопоточных турбин. Осевые усилия в многоступенчатых турбинах и способы их уравнивания. Системы парораспределения паровых турбин: сопловое и дроссельное; сравнение. Распределение теплоперепадов между ступенями

турбины и оптимизация группы ступеней. Методика определения числа ступеней. Выбор частоты вращения числа валов и цилиндров турбины..

## 6. Особенности расчета и конструкции ступеней турбин

### 6.1. Особенности расчета и конструкции ступеней турбин

Проектирование ступеней большой верности и профилирование для них лопаток. Особенности расчета и конструкции ступеней турбин, предназначенных для эффективного преобразования больших энергий. Ступени скорости: принцип действия, схема ступени, процесс в  $h,s$ -диаграмме. Методика расчета треугольников скоростей, удельная работа, относительный лопаточный КПД, оптимальное значение параметра  $u/cф$ , дополнительные потери, относительный внутренний КПД. Определение размеров ступени. Сравнение характеристик одно-, двух- и трех-венечных ступеней скорости. Биротативные турбины: принцип действия, схема ступени, процесс в  $h,s$ -диаграмме, треугольники скоростей, удельная работа, КПД. Схемы активной и реактивно-активной ступени. Примеры применения биротативных ступеней. Радиальные ступени турбомашин. Центростремительные радиальные и радиально-осевые ступени турбин: схема ступени, процесс в  $h,s$ -диаграмме, треугольники скоростей, удельная работа, КПД. Особенности расчета радиально-осевых ступеней. Примеры использования.

## 7. Компрессорная ступень

### 7.1. Компрессорная ступень

Осевые и центробежные компрессорные ступени. Особенности расчета. Методика расчета треугольников скоростей, удельная работа, относительный лопаточный КПД, дополнительные потери, относительный внутренний КПД. Выбор оптимальных параметров. Определение характерных размеров.

## 8. Особенности проектирования и расчета многоступенчатых газовых турбин

### 8.1. Особенности проектирования и расчета многоступенчатых газовых турбин

Определение термодинамических характеристик рабочего тела. Особенности расчета охлаждаемых ступеней. Классификация различных систем охлаждения, дополнительные потери, связанные с охлаждением и оценка коэффициентов скорости в решетках. Глубина и эффективность охлаждения. Оценка расхода охлаждающего воздуха. Особенности определения числа ступеней и распределения теплоперепадов по ступеням охлаждаемых турбин. Учет влияния сопротивления выходных устройств в газовых турбинах.

## **3.3. Темы практических занятий**

1. Расчет процесса в  $h,s$ -диаграмме для ступени компрессора (4 часа);
2. Определение сил, крутящего момента и удельной работы ступени компрессора по треугольникам скоростей (2 часа);
3. Расчет элементов треугольников скоростей ступени компрессора (2 часа);
4. Расчет параметров по радиусу ступени (4 часа);
5. Расчет двухвенечной ступени скорости (4 часа);
6. Расчет числа ступеней многоступенчатой паровой турбины (4 часа);
7. Предельная мощность однопоточной турбины (2 часа);
8. Многоступенчатые турбины (2 часа);
9. Расчет дополнительных потерь в ступени турбомашин (6 часов);
10. Расчет КПД и степени реактивности ступеней компрессора по треугольникам скоростей (2 часа);

11. Расчет КПД и степени реактивности ступени турбины по треугольникам скоростей (4 часа);
12. Расчет процесса в  $h,s$ -диаграмме для ступени паровой турбины с использованием диаграммы и таблиц водяного пара (4 часа);
13. Расчет процесса в  $h,s$ -диаграмме для ступени газовой турбины (4 часа);
14. Определение сил, крутящего момента и удельной работы ступени турбины по треугольникам скоростей (2 часа);
15. Расчет элементов треугольников скоростей ступени турбины (2 часа);
16. Определение расхода рабочего тела через решетки турбины (4 часа);
17. Работа с «Атласом» профилей МЭИ (4 часа);
18. Расчет числа ступеней многоступенчатой газовой турбины (4 часа).

### 3.4. Темы лабораторных работ

1. Расчет и оптимизация группы унифицированных ступеней (2 часа);
2. Расчет ступени большой веерности с учетом изменения параметров потока по высоте (2 часа);
3. Проектирование профиля сопловой решетки (4 часа);
4. Проектирование профиля рабочей решетки (6 часов).

### 3.5 Консультации

### 3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ

#### 8 Семестр

Курсовой проект (КП)

Темы:

- Тепловой расчет отсека или цилиндра турбомашины и проектирование одной из ее ступеней

#### График выполнения курсового проекта

Неделя	1 - 2	3 - 5	6 - 9	10 - 12	13	14	Зачетная
Раздел курсового проекта	1	2	3	4	5	6	Защита курсового проекта
Объем раздела, %	5	20	20	15	25	15	-
Выполненный объем нарастающим итогом, %	5	25	45	60	85	100	-

Номер раздела	Раздел курсового проекта
1	Ознакомление с заданием на проект и методическими указаниями. Ознакомление с прототипом
2	Тепловой расчет цилиндра или отсека турбомашины
3	Аэродинамический расчет одной из ступеней турбомашины
4	Прочностной расчет элементов ступени турбомашины
5	Выполнение продольного разреза детально рассчитанной ступени турбомашины
6	Оформление расчетно-пояснительной записки и графического материала

### 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	
<b>Знать:</b>										
теоретические основы рабочих процессов, происходящих в турбинной ступени	ИД-1пк-1		+							Расчетно-графическая работа/Выполнение п.5 и защита расчетного задания «Аэродинамический расчет турбинной ступени»  Контрольная работа/Контрольная работа «Решетки профилей. Треугольники скоростей»
теоретические основы рабочих процессов, происходящих в ступени компрессора	ИД-1пк-1								+	Контрольная работа/Контрольная работа «Решетки профилей и треугольники скоростей осевого компрессора. Определение числа ступеней газовой турбины»
теоретические основы рабочих процессов, происходящих в группе ступеней	ИД-1пк-1				+					Тестирование/Тест «Многоступенчатые паровые турбины»
конструкцию и принцип работы турбинных ступеней	ИД-2пк-1				+					Расчетно-графическая работа/Выполнение п.5 и защита расчетного задания «Аэродинамический расчет турбинной ступени»
конструкцию и принцип работы компрессорных ступеней	ИД-2пк-1								+	Контрольная работа/Контрольная работа «Решетки профилей и треугольники скоростей осевого компрессора. Определение числа ступеней газовой турбины»
основные термины, понятия и определения	ИД-2пк-1	+								Тестирование/Тест «Терминология. Основные понятия и определения»
основные методы теплового расчета проточной части многоступенчатой турбины	ИД-3пк-1						+			Лабораторная работа/Лабораторная работа «Расчет и оптимизация группы унифицированных ступеней»
основные методы аэродинамического расчета ступеней турбомашин	ИД-3пк-1				+					Расчетно-графическая работа/Выполнение п.5 и защита расчетного задания

										«Аэродинамический расчет турбинной ступени»
особенности расчета проточной части газовой турбины	ИД-3ПК-1								+	Контрольная работа/Контрольная работа «Решетки профилей и треугольники скоростей осевого компрессора. Определение числа ступеней газовой турбины»
основные геометрические характеристики ступеней турбомашин, их влияние на потери энергии в ступени	ИД-4ПК-1			+						Расчетно-графическая работа/Выполнение п.5 и защита расчетного задания «Аэродинамический расчет турбинной ступени»
основные энергетические характеристики ступеней турбомашин, причины потерь энергии в ступени	ИД-4ПК-1			+						Расчетно-графическая работа/Выполнение п.5 и защита расчетного задания «Аэродинамический расчет турбинной ступени» Контрольная работа/Контрольная работа «Расчет турбинной ступени по параметрам на среднем диаметре»
особенности проектирования ступеней турбомашин	ИД-5ПК-1							+		Контрольная работа/Контрольная работа «Предельная мощность однопоточной турбины. Особенности расчета турбинных ступеней»
<b>Уметь:</b>										
рассчитывать тепловые процессы в ступени компрессора	ИД-1ПК-1								+	Контрольная работа/Контрольная работа «Решетки профилей и треугольники скоростей осевого компрессора. Определение числа ступеней газовой турбины»
рассчитывать тепловые процессы в турбинной ступени	ИД-1ПК-1			+						Контрольная работа/Контрольная работа «Расчет турбинной ступени по параметрам на среднем диаметре» Контрольная работа/Контрольная работа «Решетки профилей. Треугольники скоростей»
объяснять физические принципы работы	ИД-2ПК-1			+						Расчетно-графическая работа/Выполнение п.5

ступеней турбомашин										и защита расчетного задания «Аэродинамический расчет турбинной ступени»
применять типовые методики для расчета и проектирования группы ступеней	ИД-3 <sub>ПК-1</sub>							+		Контрольная работа/Контрольная работа «Предельная мощность однопоточной турбины. Особенности расчета турбинных ступеней»  Лабораторная работа/Лабораторная работа «Расчет и оптимизация группы унифицированных ступеней»
применять типовые методики для расчета отдельных ступеней с определением их интегральных характеристик	ИД-3 <sub>ПК-1</sub>							+		Расчетно-графическая работа/Выполнение пп.1-2 расчетного задания «Аэродинамический расчет турбинной ступени»
проводить тепловой расчет проточной части многоступенчатой газовой турбины	ИД-3 <sub>ПК-1</sub>								+	Контрольная работа/Контрольная работа «Решетки профилей и треугольники скоростей осевого компрессора. Определение числа ступеней газовой турбины»
осуществлять подбор решеток профилей по «Атласу» и определять их характеристик	ИД-4 <sub>ПК-1</sub>							+		Расчетно-графическая работа/Выполнение пп.3-4 расчетного задания «Аэродинамический расчет турбинной ступени»
профилировать решетки турбинных ступеней	ИД-4 <sub>ПК-1</sub>								+	Лабораторная работа/Лабораторная работа «Проектирование профиля рабочей решетки»  Лабораторная работа/Лабораторная работа «Проектирование профиля сопловой решетки»
учитывать влияние условий работы ступени турбомашин на принимаемые конструктивные решения при ее проектировании	ИД-5 <sub>ПК-1</sub>								+	Лабораторная работа/Лабораторная работа «Расчет ступени большой веерности с учетом изменения параметров потока по высоте»
анализировать влияние основных характеристик ступеней турбомашин на их технико-экономические показатели и турбомашин в целом	ИД-6 <sub>ПК-1</sub>							+		Расчетно-графическая работа/Выполнение п.5 и защита расчетного задания «Аэродинамический расчет турбинной ступени»



											Расчетно-графическая работа/Выполнение пп.3-4 расчетного задания «Аэродинамический расчет турбинной ступени»  Контрольная работа/Контрольная работа «Решетки профилей. Треугольники скоростей»
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	---

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

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

###### **7 семестр**

Форма реализации: Защита задания

1. Выполнение п.5 и защита расчетного задания «Аэродинамический расчет турбинной ступени» (Расчетно-графическая работа)

Форма реализации: Компьютерное задание

1. Тест «Многоступенчатые паровые турбины» (Тестирование)
2. Тест «Терминология. Основные понятия и определения» (Тестирование)

Форма реализации: Письменная работа

1. Контрольная работа «Расчет турбинной ступени по параметрам на среднем диаметре» (Контрольная работа)
2. Контрольная работа «Решетки профилей. Треугольники скоростей» (Контрольная работа)

Форма реализации: Проверка задания

1. Выполнение пп.1-2 расчетного задания «Аэродинамический расчет турбинной ступени» (Расчетно-графическая работа)
2. Выполнение пп.3-4 расчетного задания «Аэродинамический расчет турбинной ступени» (Расчетно-графическая работа)

###### **8 семестр**

Форма реализации: Выполнение задания

1. Лабораторная работа «Расчет и оптимизация группы унифицированных ступеней» (Лабораторная работа)
2. Лабораторная работа «Расчет ступени большой веерности с учетом изменения параметров потока по высоте» (Лабораторная работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. Контрольная работа «Предельная мощность однопоточной турбины. Особенности расчета турбинных ступеней» (Контрольная работа)
2. Контрольная работа «Решетки профилей и треугольники скоростей осевого компрессора. Определение числа ступеней газовой турбины» (Контрольная работа)

Форма реализации: Проверка задания

1. Лабораторная работа «Проектирование профиля рабочей решетки» (Лабораторная работа)
2. Лабораторная работа «Проектирование профиля сопловой решетки» (Лабораторная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

Балльно-рейтинговая структура курсового проекта является приложением Б.

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

Экзамен (Семестр №7)

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

#### Экзамен (Семестр №8)

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

#### Курсовой проект (КП) (Семестр №8)

Оценка за курсовой проект определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ».

В диплом выставляется оценка за 8 семестр.

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

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

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

1. Малышенко С.П.- "Основы современной энергетики в 2 т. Том 1. Современная теплоэнергетика", Издательство: "МЭИ", Москва, 2016 - (512 с.)  
<https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383010433.html>;
2. Костюк А.Г. , Фролов В. В., Булкин А.Е. , Трухний А.Д. - "Паровые и газовые турбины для электростанций", Издательство: "Издательский дом МЭИ", Москва, 2016 - (557 с.)  
[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=72260](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=72260);
3. Щегляев, А. В. Паровые турбины: Теория теплового процесса и конструкции турбин. Кн.1. : Учебник для энергомашиностроительных и теплоэнергетических специальностей вузов / А. В. Щегляев . – 6-е изд, перераб. и доп . – М. : Энергоатомиздат, 1993 . – 383 с. : 60.00 .;
4. Дейч, М. Е. Газодинамика решеток турбомашин / М. Е. Дейч ; Ред. Г. А. Филиппов . – М. : Энергоатомиздат, 1996 . – 528 с. - ISBN 5-283-00155-5 : 50000.00 .;
5. Дейч, М. Е. Атлас профилей решеток осевых турбин : учебное пособие для вузов по специальности "Турбостроение" / М. Е. Дейч, Г. А. Филиппов, Л. Я. Лазарев . – М. : Машиностроение, 1965 . – 96 с. - Атлас выпущен к 60-летию юбилею МЭИ .;
6. Щегляев, А. В. Паровые турбины: Теория теплового процесса и конструкции турбин. Кн. 2. : Учебник для энергомашиностроительных и теплоэнергетических специальностей вузов / А. В. Щегляев . – 6-е изд., перераб. и доп . – М. : Энергоатомиздат, 1993 . – 414 с. : 60.60 .;
7. А. Н. Шерстюк- "Насосы, вентиляторы и компрессоры", Издательство: "Высшая школа", Москва, 1972 - (343 с.)  
<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=561897>;
8. Абрамов, В. И. Учебное пособие по курсу "Газотурбинные установки": Основы проектирования и расчета стационарных газотурбинных установок / В. И. Абрамов, В. В. Чижов ; Ред. А. И. Соколов ; Моск. энерг. ин-т (МЭИ) . – М. : Изд-во МЭИ, 1988 . – 100 с.;
9. Зиновьев Д. В.- "Основы моделирования в SolidWorks", Издательство: "ДМК Пресс", Москва, 2017 - (240 с.)  
<https://e.lanbook.com/book/97361>.

### **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. Компас 3D;

6. SmathStudio;
7. AutoCAD/ T Flex CAD (версия для обучающихся и преподавателей).

### 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 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
	Б-407, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, экран, доска маркерная
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	Б-407, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, экран, доска маркерная
Учебные аудитории для проведения лабораторных занятий	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	П-31, Компьютерный класс	стол преподавателя, стол учебный, стул, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, экран, компьютер персональный, кондиционер
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	Б-413, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол, стул, доска меловая, мультимедийный проектор,

		экран, доска маркерная
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
	П-28, Комната для самостоятельных занятий студентов	
Помещения для консультирования	П-24а, Кабинет заведующего кафедрой	
	П-34, Кабинет сотрудников каф. ПГТ (доц. Митрохова О.М. и асс. Гурьянова А.В.)	
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

### Лопастные турбомашины

(название дисциплины)

#### 7 семестр

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

- КМ-1 Тест «Терминология. Основные понятия и определения» (Тестирование)
- КМ-2 Контрольная работа «Решетки профилей. Треугольники скоростей» (Контрольная работа)
- КМ-3 Выполнение пп.1-2 расчетного задания «Аэродинамический расчет турбинной ступени» (Расчетно-графическая работа)
- КМ-4 Контрольная работа «Расчет турбинной ступени по параметрам на среднем диаметре» (Контрольная работа)
- КМ-5 Выполнение пп.3-4 расчетного задания «Аэродинамический расчет турбинной ступени» (Расчетно-графическая работа)
- КМ-6 Тест «Многоступенчатые паровые турбины» (Тестирование)
- КМ-7 Выполнение п.5 и защита расчетного задания «Аэродинамический расчет турбинной ступени» (Расчетно-графическая работа)

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5	КМ-6	КМ-7
		Неделя КМ:	4	8	10	12	14	15	16
1	Турбомашины в схемах преобразования энергии на электростанциях								
1.1	Турбомашины в схемах преобразования энергии на электростанциях		+						
2	Течение пара в турбинных решетках								
2.1	Течение пара в турбинных решетках			+					+
3	Турбинная ступень. Определение экономичности и оптимизация турбинных ступеней								
3.1	Турбинная ступень. Определение экономичности и оптимизация турбинных ступеней			+	+	+	+		+
4	Многоступенчатые турбины								
4.1	Многоступенчатые турбины							+	
Вес КМ, %:			5	15	15	20	15	5	25

## 8 семестр

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

- КМ-8 Лабораторная работа «Расчет и оптимизация группы унифицированных ступеней» (Лабораторная работа)
- КМ-9 Лабораторная работа «Расчет ступени большой верности с учетом изменения параметров потока по высоте» (Лабораторная работа)
- КМ-10 Контрольная работа «Предельная мощность однопоточной турбины. Особенности расчета турбинных ступеней» (Контрольная работа)
- КМ-11 Лабораторная работа «Проектирование профиля сопловой решетки» (Лабораторная работа)
- КМ-12 Контрольная работа «Решетки профилей и треугольники скоростей осевого компрессора. Определение числа ступеней газовой турбины» (Контрольная работа)
- КМ-13 Лабораторная работа «Проектирование профиля рабочей решетки» (Лабораторная работа)

### Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-8	КМ-9	КМ-10	КМ-11	КМ-12	КМ-13
		Неделя КМ:	4	6	8	12	13	14
1	Проектирование и расчет многоступенчатых турбин							
1.1	Проектирование и расчет многоступенчатых турбин		+		+			
2	Особенности расчета и конструкции ступеней турбин							
2.1	Особенности расчета и конструкции ступеней турбин			+	+	+		+
3	Компрессорная ступень							
3.1	Компрессорная ступень						+	
4	Особенности проектирования и расчета многоступенчатых газовых турбин							
4.1	Особенности проектирования и расчета многоступенчатых газовых турбин						+	
Вес КМ, %:			15	10	15	20	15	25

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА КУРСОВОГО ПРОЕКТА/РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

### Лопастные турбомашинны

(название дисциплины)

#### 8 семестр

**Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по курсовому проекту:**

- КМ-1 Соблюдение графика выполнения КП
- КМ-2 Оценка выполнения раздела КП
- КМ-3 Оценка выполнения раздела КП
- КМ-4 Оценка выполнения раздела КП
- КМ-5 Оценка выполнения и оформления чертежа
- КМ-6 Соблюдение графика выполнения КП и качество оформления расчетно-пояснительной записки и графического материала

**Вид промежуточной аттестации – защита КП.**

Номер раздела	Раздел курсового проекта/курсовой работы	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5	КМ-6
		Неделя КМ:	2	5	9	12	13	14
1	Ознакомление с заданием на проект и методическими указаниями. Ознакомление с прототипом		+					
2	Тепловой расчет цилиндра или отсека турбомашинны			+				
3	Аэродинамический расчет одной из ступеней турбомашинны				+			
4	Прочностной расчет элементов ступени турбомашинны					+		
5	Выполнение продольного разреза детально рассчитанной ступени турбомашинны						+	
6	Оформление расчетно-пояснительной записки и графического материала							+
Вес КМ, %:			5	20	20	15	25	15