

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
ПЕРЕМЕННЫЕ РЕЖИМЫ ПТУ

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.05
Трудоемкость в зачетных единицах:	2 семестр - 4;
Часов (всего) по учебному плану:	144 часа
Лекции	2 семестр - 32 часа;
Практические занятия	2 семестр - 16 часов;
Лабораторные работы	не предусмотрено учебным планом
Консультации	2 семестр - 2 часа;
Самостоятельная работа	2 семестр - 93,5 часа;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая: Тестирование Контрольная работа Расчетно-графическая работа	
Промежуточная аттестация:	
Экзамен	2 семестр - 0,5 часа;

Москва 2022

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Богомолова Т.В.
	Идентификатор	R21082b96-BogomolovaTV-4ebcd3e

(подпись)

Т.В. Богомолова

(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 особенностей рабочих процессов в проточных частях паротурбинных установок на режимах отличных от номинального

Задачи дисциплины

- овладение основами расчета основных характеристик ступеней турбин и паротурбинной установки в целом при изменении ее режима работы;
- изучение основ эксплуатации паротурбинной установки и ее отдельных узлов при отклонении режима работы от расчетного;
- приобретение первичных навыков принятия и обоснования конкретных технических решений при проектировании и эксплуатации паротурбинных установок с учетом их работы в заданном диапазоне режимов работы.

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 к проектно-конструкторской деятельности в сфере энергетического машиностроения	ИД-2 _{ПК-2} Демонстрирует понимание влияния отдельных факторов на работу и конструкцию объекта профессиональной деятельности	знать: - критерии переменного режима ступени и турбины. уметь: - проводить поверочный расчет турбинной ступени большой веерности на переменных режимах работы; - оценивать экономичность и надежность работы турбинной ступени при изменении режима ее работы; - оценивать экономичность и надежность работы турбины при изменении режима ее работы.
ПК-2 Способен к проектно-конструкторской деятельности в сфере энергетического машиностроения	ИД-3 _{ПК-2} Принимает обоснованные технические решения при проектировании объекта профессиональной деятельности с учетом обеспечения надежности и эффективности	знать: - основные факторы, снижающие надежность и экономичность турбоустановки, при изменении режима ее работы. уметь: - принимать обоснованные технические решения при проектировании паротурбинной установки, надежно работающей при отклонении режимных параметров от расчетных; - выбирать основные параметры последней ступени турбины при ее проектировании, надежно работающей при сниженных нагрузках.

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	Классификация нерасчетных режимов турбоустановок. Переменный режим турбинных решеток	6	2	2	-	2	-	-	-	-	-	2	-	<p><u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Классификация нерасчетных режимов турбоустановок. Переменный режим турбинных решеток"</p> <p><u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Классификация нерасчетных режимов турбоустановок. Переменный режим турбинных решеток" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], стр. 7-13 [4], стр. 41-52 [5], глава 1</p>	
1.1	Классификация нерасчетных режимов турбоустановок. Переменный режим турбинных решеток	6		2	-	2	-	-	-	-	-	2	-		
2	Переменный режим работы ступени	26		10	-	6	-	-	-	-	-	-	10	-	<p><u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Переменный режим работы ступени"</p> <p><u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Переменный режим работы ступени" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], стр. 13-33</p>
2.1	Переменный режим работы ступени	26		10	-	6	-	-	-	-	-	-	10	-	

															[4], стр. 28-30 [5], раздел 2.1-2.7
3	Особенности переменного режима работы последних ступеней	36	6	-	2	-	-	-	-	-	-	28	-	<u>Подготовка расчетно-графического задания:</u> Выполнение расчетного задания "Переменный режим ступени большой вверности"	
3.1	Особенности переменного режима работы последних ступеней	36	6	-	2	-	-	-	-	-	-	28	-	<u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Особенности переменного режима работы последних ступеней" <u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Особенности переменного режима работы последних ступеней" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], стр. 44-64 [3], стр. 37-67 [4], стр. 30-32 [5], раздел 2.8	
4	Переменный режим группы ступеней и многоступенчатой турбины	16	4	-	2	-	-	-	-	-	-	10	-	<u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Переменный режим группы ступеней и многоступенчатой турбины"	
4.1	Переменный режим группы ступеней и многоступенчатой турбины	16	4	-	2	-	-	-	-	-	-	10	-	<u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Переменный режим группы ступеней и многоступенчатой турбины" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], стр. 34-43 [2], стр. 7-13 [4], стр. 32-41 [5], глава 3	
5	Влияние	24	10	-	4	-	-	-	-	-	-	10	-	<u>Подготовка к текущему контролю:</u>	

	эксплуатационных и конструктивных изменений на работу турбины													Повторение материала по разделу "Влияние эксплуатационных и конструктивных изменений на работу турбины" <u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Влияние эксплуатационных и конструктивных изменений на работу турбины" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [2], стр. 22-42 [5], глава 4,5
5.1	Влияние эксплуатационных и конструктивных изменений на работу турбины	24	10	-	4	-	-	-	-	-	10	-		
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5		
	Всего за семестр	144.0	32	-	16	-	2	-	-	0.5	60	33.5		
	Итого за семестр	144.0	32	-	16	2	-	-	0.5	60	93.5			

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. Классификация нерасчетных режимов турбоустановок. Переменный режим турбинных решеток

1.1. Классификация нерасчетных режимов турбоустановок. Переменный режим турбинных решеток

Переходные и переменные режимы работы турбоустановок. Критерии переменного режима. Расход газа через турбинные решетки при изменении начального и конечного давлений. Сетка расходов. Влияние основных газодинамических критериев M и Re и конструктивных параметров решеток на потери при изменении режима.

2. Переменный режим работы ступени

2.1. Переменный режим работы ступени

Критерии подобия и интегральные характеристики ступеней. Расход газа через ступень при изменении режима. Степень реактивности и КПД ступени при изменении режима. Универсальные характеристики турбинных ступеней. Детальный расчет переменного режима работы ступени.

3. Особенности переменного режима работы последних ступеней

3.1. Особенности переменного режима работы последних ступеней

Радиальный градиент давления в межвенцовом зазоре при изменении режима. Структурные изменения в обтекании лопаточных венцов. Методы расчета переменного режима ступеней большой верности. Переход ступени в режим потребления мощности. Связь переменного режима работы ступени с характеристиками надежности облопачивания. Влияние патрубка на характеристики последней ступени при изменении режима работы.

4. Переменный режим группы ступеней и многоступенчатой турбины

4.1. Переменный режим группы ступеней и многоступенчатой турбины

Распределение давлений при изменении расхода и параметров пара. Изменение теплоперепадов в проточной части турбины при изменении объемного пропуска пара. КПД группы ступеней. Влияние системы парораспределения на характеристики переменного режима турбины. Расход пара и экономичность турбины при дроссельном парораспределении. Сопловое парораспределение: расчет регулирующей ступени при изменении режима. Работа турбины при скользящем начальном давлении пара. Особенности переменного режима работы турбин АЭС. Особенности переменного режима работы паровых турбин, работающих в составе ПГУ.

5. Влияние эксплуатационных и конструктивных изменений на работу турбины

5.1. Влияние эксплуатационных и конструктивных изменений на работу турбины

Влияние изменения параметров пара на мощность и КПД турбины. Влияние технологических отклонений, изменения зазоров, эрозии и коррозии лопаток, отложений на их поверхности на характеристики ступени и работу турбины. Основные принципы модернизации и реконструкции турбин. Надежность элементов турбины при переменных режимах. Осевые усилия при переменном режиме работы. Определение режимов работы турбины, при которых в ее элементах возникают наибольшие напряжения. Переходные режимы работы турбины. Температурные переходные режимы. Напряжения в деталях турбины при переходных режимах. Особенности переходных режимов в турбинах АЭС.

Осевые усилия при переходных режимах. Переменные режимы работы турбоустановок. Типовые энергетические характеристики. Холостой ход турбины, беспаровой режим, моторный режим.

3.3. Темы практических занятий

1. Расчет турбинных решеток при переменных режимах. Сетка расхода (2 часа);
2. Расчет степени реактивности, теплоперепада и экономичности турбинных ступеней при различных изменениях режима работы (6 часов);
3. Расчет группы ступеней при изменении режима. Формула Стодола-Флюгеля (2 часа);
4. Расчет ступеней большой веерности при переменных режимах и режимах малых нагрузок (2 часа);
5. Расчет многоступенчатых турбин при изменении работы. Расчет осевых усилий при отклонении режима от расчетного (2 часа);
6. Влияние эксплуатационных характеристик на характеристики работы паротурбинных установок (2 часа).

3.4. Темы лабораторных работ

не предусмотрено

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	4	5	
Знать:							
критерии переменного режима ступени и турбины	ИД-2ПК-2	+	+				Тестирование/Тест №1 «Критерии переменного режима ступени и турбины»
основные факторы, снижающие надежность и экономичность турбоустановки, при изменении режима ее работы	ИД-3ПК-2		+	+	+		Тестирование/Тест №2 «Основные определения курса Переменные режимы ПТУ»
Уметь:							
оценивать экономичность и надежность работы турбины при изменении режима ее работы	ИД-2ПК-2					+	Расчетно-графическая работа/Выполнение и защита расчетного задания «Переменный режим ступени большой веерности» Контрольная работа/Контрольная работа №2 «Характеристики работы паротурбинной установки на нерасчетных режимах»
оценивать экономичность и надежность работы турбинной ступени при изменении режима ее работы	ИД-2ПК-2		+	+			Расчетно-графическая работа/Выполнение и защита расчетного задания «Переменный режим ступени большой веерности» Контрольная работа/Контрольная работа №1. «Характеристики работы турбинной ступени на нерасчетных режимах»
проводить поверочный расчет турбинной ступени большой веерности на переменных режимах работы	ИД-2ПК-2			+			Расчетно-графическая работа/Выполнение и защита расчетного задания «Переменный режим ступени большой веерности»
выбирать основные параметры последней ступени турбины при ее проектировании, надежно работающей при сниженных нагрузках	ИД-3ПК-2			+			Расчетно-графическая работа/Выполнение и защита расчетного задания «Переменный режим ступени большой веерности»

принимать обоснованные технические решения при проектировании паротурбинной установки, надежно работающей при отклонении режимных параметров от расчетных	ИД-3ПК-2				+	+	Контрольная работа/Контрольная работа №2 «Характеристики работы паротурбинной установки на нерасчетных режимах»
---	----------	--	--	--	---	---	---

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. Выполнение и защита расчетного задания «Переменный режим ступени большой верности» (Расчетно-графическая работа)

Форма реализации: Компьютерное задание

1. Тест №1 «Критерии переменного режима ступени и турбины» (Тестирование)
2. Тест №2 «Основные определения курса Переменные режимы ПТУ» (Тестирование)

Форма реализации: Письменная работа

1. Контрольная работа №1. «Характеристики работы турбинной ступени на нерасчетных режимах» (Контрольная работа)
2. Контрольная работа №2 «Характеристики работы паротурбинной установки на нерасчетных режимах» (Контрольная 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 семестровой 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. Трояновский, Б. М. Переменные режимы паровых турбин : учебное пособие по курсу "Паротурбинные установки" по направлению "Энергомашиностроение" / Б. М. Трояновский, Т. В. Богомолова, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Издательский дом МЭИ, 2010 . – 72 с. - ISBN 978-5-383-00444-9 .

http://elib.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=1685;

2. Трояновский, Б. М. Переменные режимы паротурбинных установок : учебное пособие по курсу "Паротурбинные установки" по направлению "Энергетическое машиностроение" / Б. М. Трояновский, Т. В. Богомолова, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" . – М. : Издательский дом МЭИ, 2012 . – 80 с. - ISBN 978-5-383-00682-5 .

http://elib.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=4059;

3. Богомолова, Т. В. Расчет и проектирование последних ступеней паровых турбин. Переменные режимы и расчеты на прочность : учебное пособие по курсу "Паротурбинные установки" для студентов, обучающихся по направлению 13.04.03 "Энергетическое

машиностроение" / Т. В. Богомоллова, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ") . – Москва : Изд-во МЭИ, 2021 . – 88 с. - ISBN 978-5-7046-2456-1 .
http://elib.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=11648;

4. Паровые и газовые турбины: Сборник задач : Учебное пособие для вузов по специальности "Турбиностроение" / Б. М. Трояновский, и др. ; Ред. Б. М. Трояновский, Г. С. Самойлович . – 3-е изд., перераб . – М. : Энергоатомиздат, 1987 . – 240 с.;

5. Г. С. Самойлович, Б. М. Трояновский- "Переменный режим работы паровых турбин", Издательство: "Государственное энергетическое издательство", Москва, Ленинград, 1955 - (284 с.)

<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=230916>.

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. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>
16. База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ - <https://rosmintrud.ru/opendata>
17. База открытых данных Росфинмониторинга - <http://www.fedsfm.ru/opendata>
18. Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование» - <https://openedu.ru>
19. Официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии - <http://protect.gost.ru/>
20. 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 практических занятий, КР и КП	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	П-25, Учебная аудитория	
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	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-22, Кабинет сотрудников каф. ПТ (проф. Богомолова Т.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

Переменные режимы ПТУ

(название дисциплины)

2 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Тест №1 «Критерии переменного режима ступени и турбины» (Тестирование)
- КМ-2 Контрольная работа №1. «Характеристики работы турбинной ступени на нерасчетных режимах» (Контрольная работа)
- КМ-3 Тест №2 «Основные определения курса Переменные режимы ПТУ» (Тестирование)
- КМ-4 Контрольная работа №2 «Характеристики работы паротурбинной установки на нерасчетных режимах» (Контрольная работа)
- КМ-5 Выполнение и защита расчетного задания «Переменный режим ступени большой верности» (Расчетно-графическая работа)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5
		Неделя КМ:	4	8	10	12	15
1	Классификация нерасчетных режимов турбоустановок. Переменный режим турбинных решеток						
1.1	Классификация нерасчетных режимов турбоустановок. Переменный режим турбинных решеток		+				
2	Переменный режим работы ступени						
2.1	Переменный режим работы ступени		+	+	+		+
3	Особенности переменного режима работы последних ступеней						
3.1	Особенности переменного режима работы последних ступеней			+	+		+
4	Переменный режим группы ступеней и многоступенчатой турбины						
4.1	Переменный режим группы ступеней и многоступенчатой турбины				+	+	
5	Влияние эксплуатационных и конструктивных изменений на работу турбины						
5.1	Влияние эксплуатационных и конструктивных изменений на работу турбины					+	+
Вес КМ, %:			10	20	10	30	30