

**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

**Оценочные материалы
по дисциплине
Паротурбинные установки**

**Москва
2024**

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

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

Т.В.
Богомолова

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной
программы

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

О.М.
Митрохова

Заведующий
выпускающей
кафедрой

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

В.Г. Грибин

ОБЩАЯ ЧАСТЬ

Оценочные материалы по дисциплине предназначены для оценки: достижения обучающимися запланированных результатов обучения по дисциплине, этапа формирования запланированных компетенций и уровня освоения дисциплины.

Оценочные материалы по дисциплине включают оценочные средства для проведения мероприятий текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

Формируемые у обучающегося компетенции:

1. ПК-2 Способен к проектно-конструкторской деятельности в сфере энергетического машиностроения

ИД-1 Выполняет расчеты и разрабатывает конструкцию объекта профессиональной деятельности

и включает:

для текущего контроля успеваемости:

Форма реализации: Защита задания

1. Выполнение и защита расчетного задания (Расчетно-графическая работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. Контрольная работа №1 «Определение параметров и характеристик ступеней паровых турбин» (Контрольная работа)

2. Контрольная работа №2 «Определение параметров и характеристик паротурбинных установок различного назначения» (Контрольная работа)

3. Тест «Выбор параметров и основных характеристик проточных частей паровых турбин» (Тестирование)

БРС дисциплины

1 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %				
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
	Срок КМ:	5	8	13	16
Усовершенствование узлов и деталей паровых турбин					
Усовершенствование узлов и деталей паровых турбин		+	+		+
Расчет и проектирование последних ступеней паровых турбин					
Расчет и проектирование последних ступеней паровых турбин					+
Развитие турбостроения для АЭС в свете государственной стратегии развития атомной энергетики в первой половине XXI века					
Развитие турбостроения для АЭС в свете государственной стратегии развития атомной энергетики в первой половине XXI века				+	

Пути повышения единичной мощности, экономичности и надежности паротурбинных установок на суперсверхкритические параметры пара				
Пути повышения единичной мощности, экономичности и надежности паротурбинных установок на суперсверхкритические параметры пара			+	
Турбины для комбинированной выработки тепловой и электрической энергии				
Турбины для комбинированной выработки тепловой и электрической энергии			+	
Паровые турбины на базе ПГУ с котлом утилизатором				
Паровые турбины на базе ПГУ с котлом утилизатором				+
Вес КМ:	10	30	30	30

\$Общая часть/Для промежуточной аттестации\$

БРС курсовой работы/проекта

1 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %					
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5
	Срок КМ:	4	8	12	15	16
Расчет тепловой схемы, включающий определение расходов пара на турбину и в регенеративные отборы, а также утечки через концевые уплотнения. Определение интегральных характеристик ПТУ: электрической мощности и экономичности.	+					
Выбор теплоперепада на регулируемую ступень, определение числа ступеней.	+					
Расчет проточной части регулирующей ступени или первой нерегулируемой ступени (при отсутствии регулирующей).			+			
Расчет последней нерегулируемой ступени			+			
Прочностные расчеты, включающие определение механических напряжений в рабочей лопатке одной из ступеней, оценку вибрационной надежности этой лопатки, определение критической частоты вращения ротора по упрощенной формуле, а также расчет диска на прочность.				+		
Конструкторский расчет проточной части ЦВД, выполненный при помощи ЭВМ в программе PGT в трех вариантах для выбора оптимального варианта.				+		
Выполнение продольного разреза ЦВД с изображением верхней половины корпуса турбины и подшипников и внешнего вида нижней половины турбины и подшипников с необходимыми местными разрезами; выноски элементов уплотнений. и других элементов конструкции;					+	
Выполнение поперечного разреза с изображением клапанов и одного из подшипников.					+	

Оформление пояснительной записки.					+
Защита КП.					+
Вес КМ:	15	20	40	20	5

СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

I. Оценочные средства для оценки запланированных результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Индекс компетенции	Индикатор	Запланированные результаты обучения по дисциплине	Контрольная точка
ПК-2	ИД-1ПК-2 Выполняет расчеты и разрабатывает конструкцию объекта профессиональной деятельности	Знать: основы рабочих процессов в проточных частях паровых турбин способы обеспечения соответствия проектируемых паротурбинных установок мировым стандартам и требованиям к их комплексной надежности особенности паровых турбин утилизационных ПГУ особенности расчета и проектирования ступеней большой всеерности Уметь: разрабатывать конструкции конкурентоспособных энергетических установок с прогрессивными показателями качества использовать методы	Тест «Выбор параметров и основных характеристик проточных частей паровых турбин» (Тестирование) Контрольная работа №1 «Определение параметров и характеристик ступеней паровых турбин» (Контрольная работа) Контрольная работа №2 «Определение параметров и характеристик паротурбинных установок различного назначения» (Контрольная работа) Выполнение и защита расчетного задания (Расчетно-графическая работа)

		расчета и проектирования ступеней большой веерности использовать методы расчета и проектирования деталей, узлов турбомашин и паротурбинных установок в целом с конкурентными показателями надежности и эффективности пользоваться программными пакетами для газодинамических расчетов проточной части паровых турбин	
--	--	---	--

II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

КМ-1. Тест «Выбор параметров и основных характеристик проточных частей паровых турбин»

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Тестирование

Вес контрольного мероприятия в БРС: 10

Процедура проведения контрольного мероприятия: Время выполнения 2 академических часа.

Краткое содержание задания:

Тест состоит из 90 вопросов.

При выполнении тестовых заданий нужно выбрать все правильные ответы и поставить в итоговой таблице знак "+" против их номеров, а знак "-" против номеров, содержащих неправильные ответы.

Контрольные вопросы/задания:

Знать: основы рабочих процессов в проточных частях паровых турбин	1.Сопловое парораспределение следует применять <table border="1"><tr><td>а)</td><td>в турбинах АЭС</td></tr><tr><td>б)</td><td>в турбинах, предназначенных для несения базовых нагрузок</td></tr><tr><td>в)</td><td>в турбинах, работающих в составе ПГУ</td></tr><tr><td>г)</td><td>в турбинах с противодавлением</td></tr><tr><td>д)</td><td>в турбинах, работающих в пиковых режимах</td></tr></table> 2.Предельная мощность однопоточной конденсационной турбины зависит <table border="1"><tr><td>а)</td><td>от начальных параметров турбины P_0 и t_0</td></tr><tr><td>б)</td><td>от ометаемой площади рабочих лопаток последней ступени</td></tr><tr><td>в)</td><td>от парораспределения</td></tr><tr><td>г)</td><td>от давления в конденсаторе</td></tr><tr><td>д)</td><td>от выходной скорости</td></tr></table> 3.Оптимальный теплоперепад ступени зависит <table border="1"><tr><td>а)</td><td>от числа Маха на выходе из предыдущей ступени</td></tr><tr><td>б)</td><td>от степени реактивности ступени</td></tr><tr><td>в)</td><td>от числа Re</td></tr><tr><td>г)</td><td>от коэффициента скорости рабочей решетки ψ</td></tr><tr><td>д)</td><td>от угла выхода потока из сопловой решетки α_1</td></tr></table> 4.Степень реактивности $\rho \leq 0,05$ применяется <table border="1"><tr><td>а)</td><td>в корневых сечениях ступеней большой всеерности</td></tr><tr><td>б)</td><td>в реактивных ступенях</td></tr><tr><td>в)</td><td>в активных ступенях</td></tr><tr><td>г)</td><td>в регулирующей ступени</td></tr><tr><td>д)</td><td>в периферийных сечениях ступеней большой всеерности</td></tr></table> 5.Протечка через передние концевые уплотнения	а)	в турбинах АЭС	б)	в турбинах, предназначенных для несения базовых нагрузок	в)	в турбинах, работающих в составе ПГУ	г)	в турбинах с противодавлением	д)	в турбинах, работающих в пиковых режимах	а)	от начальных параметров турбины P_0 и t_0	б)	от ометаемой площади рабочих лопаток последней ступени	в)	от парораспределения	г)	от давления в конденсаторе	д)	от выходной скорости	а)	от числа Маха на выходе из предыдущей ступени	б)	от степени реактивности ступени	в)	от числа Re	г)	от коэффициента скорости рабочей решетки ψ	д)	от угла выхода потока из сопловой решетки α_1	а)	в корневых сечениях ступеней большой всеерности	б)	в реактивных ступенях	в)	в активных ступенях	г)	в регулирующей ступени	д)	в периферийных сечениях ступеней большой всеерности
а)	в турбинах АЭС																																								
б)	в турбинах, предназначенных для несения базовых нагрузок																																								
в)	в турбинах, работающих в составе ПГУ																																								
г)	в турбинах с противодавлением																																								
д)	в турбинах, работающих в пиковых режимах																																								
а)	от начальных параметров турбины P_0 и t_0																																								
б)	от ометаемой площади рабочих лопаток последней ступени																																								
в)	от парораспределения																																								
г)	от давления в конденсаторе																																								
д)	от выходной скорости																																								
а)	от числа Маха на выходе из предыдущей ступени																																								
б)	от степени реактивности ступени																																								
в)	от числа Re																																								
г)	от коэффициента скорости рабочей решетки ψ																																								
д)	от угла выхода потока из сопловой решетки α_1																																								
а)	в корневых сечениях ступеней большой всеерности																																								
б)	в реактивных ступенях																																								
в)	в активных ступенях																																								
г)	в регулирующей ступени																																								
д)	в периферийных сечениях ступеней большой всеерности																																								

зависит

а)	от числа гребней в уплотнении
б)	от диаметра регулирующей ступени
в)	от диаметра уплотнения
г)	от отношения давлений за уплотнением и перед ним
д)	от степени сухости пара

6. Парциальный подвод пара применяется

а)	в реактивных ступенях
б)	в регулирующих ступенях
в)	в ступенях большой веерности
г)	в ступенях с малым объемным расходом пара
д)	в промежуточных ступенях противодавленческих турбин

7. Коэффициенты расхода сопловых и рабочих решеток введены в расчет

а)	для учета диафрагменных и периферийных утечек в ступени
б)	для учета влияния влажности пара
в)	для учета кромочных потерь при вычислении расхода
г)	для корректировки уравнения неразрывности при расчете по изоэнтропе
д)	для учета нестационарных явлений при течении пара в ступени

8. Профильные потери в рабочей решетке турбинной ступени зависят

а)	от угла атаки рабочей решетки
б)	от угла поворота потока в рабочей решетке
в)	от относительной высоты рабочих лопаток l_2/b_2
г)	от степени парциальности
д)	от толщины входных и выходных кромок лопаток

9. Потери с выходной скоростью в турбинной ступени снижаются

а)	при уменьшении скорости выхода потока из сопловой решетки c_1
б)	при увеличении скорости выхода потока из рабочей решетки c_2
в)	при увеличении ометаемой площади W рабочей решетки
г)	при углах выхода потока из сопловой решетки $\alpha_1 > 121^\circ$
д)	при отклонении угла выхода потока из рабочей решетки α_2 от 90°

10. Методы повышения эффективности влажнопаровых турбин включают

а)	Снижение потерь с выходной скоростью в последней ступени
б)	Применение реактивного облопачивания

	в)	Сепарацию пара в проточной части
	г)	Увеличение количества сопловых лопаток в ступенях
	д)	Применение сепараторов-промперегревателей
	11. Радиальный градиент давления в межвенцовом зазоре увеличивается	
	а)	при увеличении влажности
	б)	при уменьшении угла выхода потока из сопловой решетки
	в)	при увеличении угла навала сопловых лопаток
	г)	при прямой закрутке сопловых лопаток
	д)	при обратной закрутке сопловых лопаток
	12. Оптимальные методы профилирования сопловой решетки ступени большой веерности:	
	а)	постоянство потерь энергии по высоте
	б)	применение саблевидных лопаток
	в)	постоянство циркуляции по высоте $c1Ur$
	г)	постоянство угла выхода из сопловой решетки αl по высоте
	д)	постоянство удельного расхода по высоте
	13. Низкая экономичность последних ступеней по сравнению с промежуточными определяется	
	а)	потерями с выходной скоростью
	б)	увеличенными концевыми потерями на периферии от угла γn
	в)	неоптимальными относительными шагами у корня и на периферии
	г)	высокой степенью реактивности $\rho_{фср}$
	д)	потерями от влажности
	14. Саблевидные лопатки имеют следующие преимущества:	
	а)	устойчивая работа в режимах малых нагрузок
	б)	дешевы в изготовлении
	в)	уменьшенные концевые потери
	г)	их легче проектировать
	д)	уменьшенный радиальный градиент давления
	15. Требования, предъявляемые к регулирующим клапанам:	
	а)	высокая скорость течения
	б)	приемлемая величина усилия для перемещения клапана
	в)	максимальное сопротивление полностью открытого клапана
	г)	обеспечение необходимой плотности
	д)	минимальное сопротивление полностью открытого клапана
	16. Несовершенство выходных патрубков приводит	
	а)	к окружной неравномерности за последней

			ступенью
		б)	к выравниванию давлений по радиусу за последней ступенью
		в)	к ограничению мощности турбины при максимальных пропусках пара
		г)	к уменьшению экономичности турбоустановки
		д)	к увеличению осевых усилий
	17.Способы уравнивания осевых усилий		
		а)	выполнение разгрузочных отверстий в дисках
		б)	применение противотока
		в)	применение бандажей на периферии
		г)	применение проволоочных связей
		д)	применение разгрузочного диска (думмиса)
	18.Ударная эрозия приводит к повреждению		
		а)	повреждению рабочих лопаток на периферии
		б)	корпусов турбин
		в)	диафрагм
		г)	выходных кромок рабочих лопаток у корня
		д)	опорных подшипников

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если не более чем на 4 вопроса даны неправильные ответы.

Оценка: 4

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если не более чем на 9 вопросов даны неправильные ответы.

Оценка: 3

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если не более чем на 15 вопросов даны неправильные ответы.

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если более чем на 15 вопросов даны неправильные ответы.

КМ-2. Контрольная работа №1 «Определение параметров и характеристик ступеней паровых турбин»

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 30

Процедура проведения контрольного мероприятия: Контрольная работа содержит три задачи. Время выполнения два академических часа. Для решения задач могут предоставляться справочные данные теплофизических свойств воды и водяного пара на основе справочника А.А. Александров, Б.А. Григорьев. – М. : Изд-во МЭИ, 1999 . – 168 с. - ISBN 5-7046-0397-1 и h,s-диаграмма для водяного пара (по справочнику "Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара").

Краткое содержание задания:

Задача №1

Определить, как различаются абсолютные скорости выхода потока из сопловых решеток c_{11}/c_{12} для ступеней с разной степенью реактивности ($p_{11} = 0,05$ и $p_{12} = 0,45$).
Сравниваемые ступени спроектированы на оптимальное отношение скоростей $(u/cф)_{опт}$ и дозвуковые скорости потока, а также имеют одинаковые средние диаметры $d_{ср}$ и углы $\alpha_{1э}$.

Задача №2

Определить оптимальную степень парциальности $e_{опт}$ и высоту лопаток l_1 для активной ступени паровой турбины с учетом потерь от парциального подвода и концевых потерь в решетках. Параметры пара перед ступенью $p_0^* = 3,6$ МПа; $t_0^* = 450^\circ\text{C}$; давление за ступенью $p_2 = 2,6$ МПа; расход пара $G = 15$ кг/с; частота вращения ротора $n = 50$ с⁻¹; $(u/cф) = 0,45$; $\alpha_{1э} = 12^\circ$.

Задача №3

Располагаемый теплоперепад ступени $H_0^* = 160$ кДж/кг. Степень реактивности ступени $p = 0,18$. Коэффициент скорости $\phi = 0,97$. Диаметр ступени $d = 1,05$ м, частота вращения $n = 50$ 1/с., угол $\alpha_1 = 15^\circ$. Построить треугольники скоростей при $\beta_2 = 24^\circ$; коэффициент скорости для рабочей решетки $\psi = 0,95$.

Контрольные вопросы/задания:

Уметь: использовать методы расчета и проектирования деталей, узлов турбомашин и паротурбинных установок в целом с конкурентными показателями надежности и эффективности	1. Определить, как различаются абсолютные скорости выхода потока из сопловых решеток для ступеней с разной степенью реактивности. 2. Определить оптимальную степень парциальности и высоту лопаток для активной ступени паровой турбины с учетом потерь от парциального подвода и концевых потерь в решетках.
---	--

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если три задачи решены полностью и верно, без недочетов; у всех величин указана размерность.

Оценка: 4

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если две задачи решены верно, а одна задача решена неверно есть недочеты: не указаны размерности, ошибки в арифметических вычислениях, искажающие результат не более чем в два раза.

Оценка: 3

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если две задачи решены верно, а одна неверно, либо студент не приступал к ее решению.

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если либо правильно решена только одна задача, либо правильно не решена ни одна из трех задач или студент не приступал к их решению.

КМ-3. Контрольная работа №2 «Определение параметров и характеристик паротурбинных установок различного назначения»

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 30

Процедура проведения контрольного мероприятия: Контрольная работа содержит три задачи. Время выполнения два академических часа. Для решения задач могут предоставляться справочные данные теплофизических свойств воды и водяного пара на основе справочника А.А. Александров, Б.А. Григорьев. – М. : Изд-во МЭИ, 1999 . – 168 с. - ISBN 5-7046-0397-1 и h,s -диаграмма для водяного пара (по справочнику "Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара").

Краткое содержание задания:

Задача №1

Расход пара через турбину $G_p = 40$ кг/с. Перед лабиринтовым уплотнением прямоточного типа параметры пара $p_0 = 5$ МПа, $t = 450^\circ\text{C}$. Пространство за ним соединено с выхлопным патрубком турбины ($p_k = 4,5$ кПа). Найти количество гребней уплотнения ($d_y = 0,48$ м, $d_y = 0,5$ мм, $\mu_y = 0,78$), чтобы утечка не превышала 2%.

Задача №2

Оценить высоту рабочих лопаток последней ступени l_{12z} при условии сохранения постоянного корневого диаметра и $\beta_2 = 20^\circ$. Первая нерегулируемая ступень паровой турбины имеет следующие размеры: $d_{ср} = 0,847$ м; $l_2 = 47$ мм. Расход пара $G = 120$ кг/с; частота вращения ротора $n = 50$ с⁻¹; параметры пара за последней ступенью $p_z = 3,0$ МПа, $t_z = 340^\circ\text{C}$.

Задача №3

Найти с помощью диаграммы режимов турбины ПТ-60/70-12,8 электрическую мощность N_z и максимальный теплофикационный отбор GT при минимальном пропуске пара в конденсатор (расход свежего пара $G_0 = 280$ т/ч и производственный отбор $GP = 100$ т/ч).

Контрольные вопросы/задания:

Знать: способы обеспечения соответствия проектируемых паротурбинных установок мировым стандартам и требованиям к их комплексной надежности	1.Изобразите на диаграмме режимов порядок нахождения электрической мощности и максимального теплофикационного отбора при минимальном пропуске пара в конденсатор 2.Перечислите основные пути повышения единичной мощности однопоточной турбины при сохранении неизменной геометрии последней ступени. 3.Как сказывается на надежности последних лопаток конденсационной турбины работа ступени при малых объемных пропусках пара?
Уметь: разрабатывать конструкции конкурентоспособных энергетических установок с прогрессивными показателями качества	1.Найти количество гребней уплотнения, чтобы утечка не превышала 2%. 2.Оценить высоту рабочих лопаток последней ступени при условии сохранения постоянного корневого диаметра. 3.Найти с помощью диаграммы режимов турбины ПТ-60/70-12,8 электрическую мощность N_z и максимальный теплофикационный отбор GT при минимальном пропуске пара в конденсатор.

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если три задачи решены полностью и верно, без недочетов; у всех величин указана размерность.

Оценка: 4

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если две задачи решены верно, а одна задача решена неверно есть недочеты: не указаны размерности, ошибки в арифметических вычислениях, искажающие результат не более чем в два раза.

Оценка: 3

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если две задачи решены верно, а одна неверно, либо студент не приступал к ее решению.

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если либо правильно решена только одна задача, либо правильно не решена ни одна из трех задач или студент не приступал к их решению.

КМ-4. Выполнение и защита расчетного задания

Формы реализации: Защита задания

Тип контрольного мероприятия: Расчетно-графическая работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 30

Процедура проведения контрольного мероприятия: К защите расчетного задания допускаются обучающиеся, правильно выполнившие все пункты расчетного задания. На защите обучающемуся задаются теоретические и практические вопросы по выполненному расчетному заданию. Время опроса - не более 15 мин.

Краткое содержание задания:

Содержание расчетного задания.

Исходные данные: Прототип турбины _____.

начальные параметры пара $p_0 =$ МПа; $t_0 =$ °C;

конечное давление $p_k =$ кПа; температура питательной воды $t_{пв} =$ °C;

параметры промежуточного перегрева $r_{пп} / t_{пп}$ МПа/°C;

число потоков ЧНД = ; частота вращения $n =$ с⁻¹; мощность $N_э =$ МВт.

Объем задания:

1. Произвести тепловой расчет, включающий определение расходов пара на входе в турбину и в конденсатор, удельный расход теплоты $q_э$, абсолютный внутренний КПД установки η_i , абсолютный эффективный КПД η_e , абсолютный электрический КПД $\eta_э$.
2. Построить процесс в h,s -диаграмме. Выбрать теплоперепад на последнюю ступень Н0, корневую степень реактивности r_k и оценить длину рабочей лопатки последней ступени.
3. Произвести разбивку по теплоперепадам и определить число ступеней ЦНД.
4. Выполнить конструкторский расчет последней ступени по пяти сечениям, разбив ступень на элементарные ступени равной высоты. Принять закон закрутки сопловой решетки – постоянство угла α_1 по высоте. Задаться значениями коэффициентов скорости по высоте сопловой и рабочей решеток.
5. Выполнить аналогичный расчет на ЭВМ по программе STUP_dl в двух вариантах:
 - а) Для радиальной лопатки;
 - б) С учетом саблевидности сопловой решетки. Угол навала выбрать изменяющимся по линейному закону от $\delta_k = 12^\circ$ до $\delta = 0^\circ$ на среднем диаметре.
6. Сравнить и проанализировать полученные результаты, построив зависимости $\rho = f(r)$; $c_2 = f(r)$; $\alpha_2 = f(r)$; $M_{1t} = f(r)$; $M_{2t} = f(r)$; $\eta_{ол} = f(r)$, причем результаты для радиальной и саблевидной лопаток располагать на одном графике.

Контрольные вопросы/задания:

Знать: особенности паровых турбин утилизационных ПГУ	1. Назовите основные отличия паровых турбин ПГУ от традиционных паровых турбин ПТУ.
--	---

Знать: особенности расчета и проектирования ступеней большой веерности	1. Описать использовавшиеся в расчетном задании методы расчета и проектирования ступеней большой веерности. 2. Описать алгоритм работы использовавшихся в расчетном задании программных средств расчета и проектирования ступеней большой веерности. 3. Выбрать теплоперепад на последнюю ступень H_0 , корневую степень реактивности g_k и оценить длину рабочей лопатки последней ступени. 4. Задаться значениями коэффициентов скорости по высоте сопловой и рабочей решеток. 5. Сравнить и проанализировать полученные результаты, построив зависимости $\rho = f(r)$; $c_2 = f(r)$; $\alpha_2 = f(r)$; $M_{1t} = f(r)$; $M_{2t} = f(r)$; $\eta_{ол} = f(r)$.
Уметь: использовать методы расчета и проектирования деталей, узлов турбомашин и паротурбинных установок в целом с конкурентными показателями надежности и эффективности	1. Произвести тепловой расчет, включающий определение расходов пара на входе в турбину и в конденсатор, удельный расход теплоты $q_{\text{э}}$, абсолютный внутренний КПД установки η_i , абсолютный эффективный КПД $\eta_{\text{е}}$, абсолютный электрический КПД $\eta_{\text{э}}$. 2. Построить процесс в h,s -диаграмме. 3. Произвести разбивку по теплоперепадам и определить число ступеней ЦНД.
Уметь: использовать методы расчета и проектирования ступеней большой веерности	1. Выполнить конструкторский расчет последней ступени по пяти сечениям, разбив ступень на элементарные ступени равной высоты.
Уметь: пользоваться программными пакетами для газодинамических расчетов проточной части паровых турбин	1. Выполнить аналогичный конструкторский расчет на ЭВМ по программе STUP_d1 в двух вариантах.

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если на все вопросы даны правильные ответы, без недочетов.

Оценка: 4

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если на все вопросы даны ответы, при этом суммарно допущено не более двух ошибок.

Оценка: 3

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если не менее чем на половину вопросов даны правильные ответы либо при ответе часто допускались ошибки.

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если правильно даны ответы менее чем на половину вопросов.

СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

1 семестр

Форма промежуточной аттестации: Экзамен

Пример билета

МЭИ	ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № XX	Утверждаю
	Кафедра Паровых и газовых турбин им. А.В. Щегляева	Зав. кафедрой
		Дисциплина «Паротурбинные установки»
	Институт ЭнМИ	20XX г.
1. Особенности турбин, проектируемых на суперсверхкритические параметры пара. 2. Уравнение радиального равновесия; члены, учитывающие кривизну и наклон линий тока и навал лопаток в окружном направлении. Радиальный градиент реактивности. Задача. Во сколько раз электрическая мощность, вырабатываемая турбиной с противодавлением, отличается мощности конденсационной турбины при комбинированной выработке тепловой и электрической энергии? Необходимая потребителю электрическая мощность $N_{\text{э}} = 7,5$ МВт. Кроме того, тепловой потребитель потребляет $G_{\text{п}} = 6$ кг/с пара при параметрах $p_{\text{п}} = 0,15$ МПа. На ТЭС параметры свежего пара $p_0 = 4$ МПа, $t_0 = 450^\circ\text{C}$, $p_{\text{к}} = 4,5$ кПа. (Для расчета КПД оценить самостоятельно.)		

Процедура проведения

Экзамен проводится в устной форме по билетам согласно программе экзамена. Экзаменационный билет включает два теоретических вопроса и практическую задачу на все темы курса, разобранные на практических занятиях. Время на подготовку - не более 60 мин. Время опроса - не более 30 мин. Для решения практической задачи предоставляются справочные данные теплофизических свойств воды и водяного пара на основе справочника А.А. Александров, Б.А. Григорьев. – М. : Изд-во МЭИ, 1999 . – 168 с. - ISBN 5-7046-0397-1 и h,s -диаграмма для водяного пара (по справочнику "Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара")

1. Перечень компетенций/индикаторов и контрольных вопросов проверки результатов освоения дисциплины

1. Компетенция/Индикатор: ИД-1ПК-2 Выполняет расчеты и разрабатывает конструкцию объекта профессиональной деятельности

Вопросы, задания

1.Примеры теоретических вопросов

- Особенности турбин, проектируемых на суперсверхкритические параметры пара.
- Факторы, определяющие конструктивные особенности турбины и ее про-точной части. Исходные данные для проектирования турбины.
- Сравнение тихоходных и быстроходных турбин для АЭС.
- Турбины с двумя отопительными отборами пара. Диаграмма режимов.
- Выбор типа парораспределения турбин.
- Стопорные и регулирующие клапаны. Процесс в h,s -диаграмме. Требования, предъявляемые к клапанам.

7. Особенности детального расчета проточной части турбины. Выбор оптимального теплоперепада ступени.
8. Оценка числа ступеней в отсеке турбины или в одноцилиндровой турбине и диаметров ступеней. Коэффициент возврата тепла.
9. Уравнение радиального равновесия; члены, учитывающие кривизну и наклон линий тока и навал лопаток в окружном направлении. Радиальный градиент реактивности.
10. Методы профилирования сопловых и рабочих лопаток ступеней большой веерности.
11. Требования, предъявляемые к выходным патрубкам паровых турбин. Процесс в h,s -диаграмме.
12. Расчет и проектирование выхлопных патрубков. Потери в выхлопных патрубках

2. Примеры практических задач

Задача №1

Оценить высоту рабочих лопаток последней ступени l_{12z} при условии сохранения постоянного корневого диаметра $d_{2k} = \text{const}$ и $\beta_2 = 20^\circ$. Первая нерегулируемая ступень паровой турбины имеет следующие размеры: $d = 0,847$ м; $l_2 = 47$ мм. Расход пара $G = 120$ кг/с; частота вращения ротора $n = 50$ с⁻¹; параметры пара за последней ступенью $p_z = 3,0$ МПа, $t_z = 340^\circ\text{C}$.

Задача №2

Определить диаметр разгрузочного диска, если давление пара перед ним (в камере регулирующей ступени) $p_{p.ст.} = 16$ МПа, а за ним $p_{p.д.} = 4,1$ МПа. Осевое усилие, действующее на ротор в направлении потока пара, $\Sigma R = 300$ кН. Диаметр диафрагменного уплотнения первой нерегулируемой ступени $d_{1y} = 0,52$ м.

Задача №3

Параметры свежего пара $p_0 = 9$ МПа, $t_0 = 500^\circ\text{C}$, $p_k = 5$ кПа, частота вращения ротора $n = 50$ с⁻¹. Оценить максимальную мощность, на которую может быть спроектирована турбина с двухпоточным ЦНД с веерностью последней ступени $\theta = 2,8$, если по условиям прочности окружная скорость на периферии последней ступени $u_p < 450$ м/с, а потеря с выходной скоростью $\Delta h_{вс} = 40$ кДж/кг. (Для расчета КПД оценить самостоятельно, а регенерацией пренебречь.)

Задача №4

Необходимая потребителю электрическая мощность $P_{э} = 7,5$ МВт. Кроме того тепловой потребитель потребляет $G_{п} = 6$ кг/с пара при параметрах $p_{п} = 0,14$ МПа. На ТЭС параметры свежего пара $p_0 = 4$ МПа, $t_0 = 450^\circ\text{C}$, $p_k = 5$ кПа. Найти экономию теплоты DQ при комбинированной выработке тепловой и электрической мощности в схеме с конденсационной турбиной и турбиной с противодавлением по сравнению с отдельной выработкой тепловой и электрической энергии. (Для расчета КПД оценить самостоятельно.)

Задача №5

Расход пара через турбину $G_{п} = 40$ кг/с. Перед лабиринтовым уплотнением прямооточного типа параметры пара $p_0 = 5$ МПа, $t = 450^\circ\text{C}$. Пространство за ним соединено с выхлопным патрубком турбины ($p_k = 4,5$ кПа). Найти количество гребней уплотнения ($d_y = 0,48$ м, $d_y = 0,5$ мм, $\mu_y = 0,78$), чтобы утечка не превышала 2%

Материалы для проверки остаточных знаний

1. Задания формируются случайным образом из базы заданий. В тестирование включены теоретические вопросы, предполагающие либо выбор одного верного ответа из предложенных, либо нескольких верных ответов из предложенных вариантов, и задания свободного изложения и(или) небольшие вычислительные задачи на основе КМ

II. Описание шкалы оценивания

Оценка: 5

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если правильно решена задача и при ответе на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы обучающийся показал, что владеет материалом изученной дисциплины, свободно применяет свои знания для объяснения различных процессов и явлений или решения задач

Оценка: 4

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если правильно решена задача, и при ответе на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы обучающийся допускает негрубые ошибки

Оценка: 3

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если в решении задачи допущены ошибки, которые затем исправлены обучающимся при участии экзаменатора, и в ответах на вопросы экзаменационного билета допущены ошибки

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если практическое задание не выполнено или не даны ответы на вопросы экзаменационного билета и не выполнены критерии для оценки 3 («удовлетворительно»)

III. Правила выставления итоговой оценки по курсу

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

Для курсового проекта/работы:

1 семестр

Форма проведения: Защита КП/КР

I. Процедура защиты КП/КР

На защите курсового проекта обучающемуся задаются теоретические и практические вопросы по представленной расчетно-пояснительной записке и графическому материалу. Время опроса - не более 30 мин

II. Описание шкалы оценивания

Оценка: 5

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если на все вопросы даны правильные ответы, без недочетов

Оценка: 4

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если на все вопросы даны ответы, при этом суммарно допущено не более двух ошибок

Оценка: 3

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если не менее чем на половину вопросов даны правильные ответы либо при ответе часто допускались ошибки

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если правильно даны ответы менее чем на половину вопросов

III. Правила выставления итоговой оценки по курсу

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