

**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**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Лопастные турбомашинны**

**Москва  
2023**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

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)

## 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-1 Способен участвовать в проектно-конструкторской деятельности в сфере энергетического машиностроения

ИД-1 Демонстрирует знание закономерностей процессов, происходящих в объектах профессиональной деятельности

ИД-2 Демонстрирует знание конструкции и принципа работы объектов профессиональной деятельности

ИД-3 Выполняет комплекс расчетов элементов объектов профессиональной деятельности

ИД-4 Разрабатывает конструкцию отдельных элементов объектов профессиональной деятельности

ИД-5 Демонстрирует понимание влияния условий работы объекта профессиональной деятельности на принимаемые конструкционные решения

ИД-6 Принимает обоснованные технические решения при проектировании объекта профессиональной деятельности

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

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: 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 «Предельная мощность однопоточной турбины. Особенности расчета турбинных ступеней» (Контрольная работа)

2. Контрольная работа «Расчет турбинной ступени по параметрам на среднем диаметре» (Контрольная работа)

3. Контрольная работа «Решетки профилей и треугольники скоростей осевого компрессора. Определение числа ступеней газовой турбины» (Контрольная работа)

4. 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)
3. Лабораторная работа «Проектирование профиля рабочей решетки» (Лабораторная работа)
4. Лабораторная работа «Проектирование профиля сопловой решетки» (Лабораторная работа)

### БРС дисциплины

7 семестр

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

8 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %						
	Индекс КМ:	КМ-8	КМ-9	КМ-10	КМ-11	КМ-12	КМ-13
	Срок КМ:	4	6	8	12	13	14
Проектирование и расчет многоступенчатых турбин							
Проектирование и расчет многоступенчатых турбин	+			+			
Особенности расчета и конструкции ступеней турбин							
Особенности расчета и конструкции ступеней турбин		+	+	+			+
Компрессорная ступень							

Компрессорная ступень					+	
Особенности проектирования и расчета многоступенчатых газовых турбин						
Особенности проектирования и расчета многоступенчатых газовых турбин					+	
Вес КМ:	15	10	15	20	15	25

\$Общая часть/Для промежуточной аттестации\$

### БРС курсовой работы/проекта

8 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %						
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5	КМ-6
	Срок КМ:	2	5	9	12	13	14
Ознакомление с заданием на проект и методическими указаниями. Ознакомление с прототипом		+					
Тепловой расчет цилиндра или отсека турбомашин			+				
Аэродинамический расчет одной из ступеней турбомашин				+			
Прочностной расчет элементов ступени турбомашин					+		
Выполнение продольного разреза детально рассчитанной ступени турбомашин						+	
Оформление расчетно-пояснительной записки и графического материала							+
Вес КМ:	5	20	20	15	25	15	

## 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-1	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	Контрольная работа «Решетки профилей. Треугольники скоростей» (Контрольная работа) Контрольная работа «Расчет турбинной ступени по параметрам на среднем диаметре» (Контрольная работа) Тест «Многоступенчатые паровые турбины» (Тестирование) Выполнение п.5 и защита расчетного задания «Аэродинамический расчет турбинной ступени» (Расчетно-графическая работа) Контрольная работа «Решетки профилей и треугольники скоростей осевого компрессора. Определение числа ступеней газовой турбины» (Контрольная работа)
ПК-1	ИД-2 <sub>ПК-1</sub> Демонстрирует знание конструкции и принципа работы объектов профессиональной деятельности	Знать: основные термины, понятия и определения конструкции и принцип работы компрессорных	Тест «Терминология. Основные понятия и определения» (Тестирование) Выполнение п.5 и защита расчетного задания «Аэродинамический расчет турбинной ступени» (Расчетно-графическая работа) Контрольная работа «Решетки профилей и треугольники скоростей

			<p>ступеней конструкцию и принцип работы турбинных ступеней Уметь: объяснять физические принципы работы ступеней турбомашин</p>	<p>осевого компрессора. Определение числа ступеней газовой турбины» (Контрольная работа)</p>
ПК-1	ИД-3 <sub>ПК-1</sub> комплекс элементов профессиональной деятельности	Выполняет расчетов объектов	<p>Знать: особенности расчета проточной части газовой турбины основные методы аэродинамического расчета ступеней турбомашин основные методы теплого расчета проточной части многоступенчатой турбины Уметь: проводить тепловой расчет проточной части многоступенчатой газовой турбины применять типовые методики для расчета отдельных ступеней с определением их интегральных характеристик применять типовые</p>	<p>Выполнение пп.1-2 расчетного задания «Аэродинамический расчет турбинной ступени» (Расчетно-графическая работа) Выполнение п.5 и защита расчетного задания «Аэродинамический расчет турбинной ступени» (Расчетно-графическая работа) Лабораторная работа «Расчет и оптимизация группы унифицированных ступеней» (Лабораторная работа) Контрольная работа «Предельная мощность однопоточной турбины. Особенности расчета турбинных ступеней» (Контрольная работа) Контрольная работа «Решетки профилей и треугольники скоростей осевого компрессора. Определение числа ступеней газовой турбины» (Контрольная работа)</p>

		методики для расчета и проектирования группы ступеней	
ПК-1	ИД-4 <sub>ПК-1</sub> Разрабатывает конструкцию отдельных элементов объектов профессиональной деятельности	Знать: основные энергетические характеристики ступеней турбомашин, причины потерь энергии в ступени основные геометрические характеристики ступеней турбомашин, их влияние на потери энергии в ступени Уметь: профилировать решетки турбинных ступеней осуществлять подбор решеток профилей по «Атласу» и определять их характеристик	Контрольная работа «Расчет турбинной ступени по параметрам на среднем диаметре» (Контрольная работа) Выполнение пп.3-4 расчетного задания «Аэродинамический расчет турбинной ступени» (Расчетно-графическая работа) Выполнение п.5 и защита расчетного задания «Аэродинамический расчет турбинной ступени» (Расчетно-графическая работа) Лабораторная работа «Проектирование профиля сопловой решетки» (Лабораторная работа) Лабораторная работа «Проектирование профиля рабочей решетки» (Лабораторная работа)
ПК-1	ИД-5 <sub>ПК-1</sub> Демонстрирует понимание влияния условий работы объекта профессиональной деятельности на принимаемые конструкционные решения	Знать: особенности проектирования ступеней турбомашин Уметь: учитывать влияние условий работы ступени турбомашин на принимаемые конструкционные решения при ее проектировании	Лабораторная работа «Расчет ступени большой веерности с учетом изменения параметров потока по высоте» (Лабораторная работа) Контрольная работа «Предельная мощность однопоточной турбины. Особенности расчета турбинных ступеней» (Контрольная работа)
ПК-1	ИД-6 <sub>ПК-1</sub> Принимает обоснованные	Уметь: анализировать влияние	Контрольная работа «Решетки профилей. Треугольники скоростей» (Контрольная работа)



	<p>технические решения при проектировании объекта профессиональной деятельности</p>	<p>основных характеристик ступеней турбомашин на их технико-экономические показатели и турбомашин в целом</p>	<p>Выполнение пп.3-4 расчетного задания «Аэродинамический расчет турбинной ступени» (Расчетно-графическая работа)          Выполнение п.5 и защита расчетного задания «Аэродинамический расчет турбинной ступени» (Расчетно-графическая работа)</p>
--	---	---	---

## II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

7 семестр

### КМ-1. Тест «Терминология. Основные понятия и определения»

**Формы реализации:** Компьютерное задание

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 5

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Время выполнения - не более 20 минут.

**Краткое содержание задания:**

Тест состоит из 18 вопросов.

Максимальное количество баллов за все правильно выполненные тестовые задания - 100.

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Знать: основные термины, понятия и определения</p>	<p>1. ТУРБОМАШИНАМИ (turbo - вихрь, вращение) называют лопаточные машины, в которых кинетическая и (или) потенциальная энергия рабочего тела преобразуется в ... энергию на валу, или, наоборот, подводимая к валу извне ... энергия превращается в кинетическая и (или) потенциальная энергию рабочего тела. *</p> <p>5 баллов</p> <ul style="list-style-type: none"><li><input type="radio"/> электрическую(ая)</li><li><input type="radio"/> тепловую(ая)</li><li><input type="radio"/> внутреннюю(ая)</li><li><input type="radio"/> потенциальную(ая)</li><li><input type="radio"/> химическую(ая)</li><li><input type="radio"/> механическую(ая)</li><li><input type="radio"/> кинетическую(ая)</li></ul>
	<p>2. Во вращающемся лопаточном аппарате ступени турбины происходит превращение кинетической и(или) потенциальной энергии рабочего тела в .... *</p> <p>5 баллов</p> <ul style="list-style-type: none"><li><input type="radio"/> внутреннюю</li><li><input type="radio"/> механическую</li><li><input type="radio"/> относительную энергию вращения</li><li><input type="radio"/> тепловую</li><li><input type="radio"/> абсолютную энергию вращения</li></ul>
	<p>3. Относительным движением в ступени турбомашин называют: *</p> <p>5 баллов</p> <ul style="list-style-type: none"><li><input type="radio"/> вращение рабочего колеса</li><li><input type="radio"/> течение рабочего тела в лопаточных аппаратах в системе координат, вращающейся вместе с рабочим колесом</li><li><input type="radio"/> движение рабочего тела в рабочем колесе</li><li><input type="radio"/> вращение рабочего колеса относительно неподвижной решетки</li></ul>

	<p>Угол направления вектора скорости рабочего тела в абсолютном движении обозначают: *</p> <p>5 баллов</p> <p><input type="radio"/> <math>\varphi</math></p> <p><input type="radio"/> <math>\beta</math></p> <p><input type="radio"/> <math>\rho</math></p> <p><input type="radio"/> <math>\omega</math></p> <p><input type="radio"/> <math>\alpha</math></p> <p><input type="radio"/> <math>\delta</math></p>
4.	<p>При обтекании рабочей решетки турбинной ступени рабочее тело в общем случае дополнительно ... от давления <math>p_1</math> в зазоре между сопловой и рабочей решеткой до давления <math>p_2</math> за рабочими лопатками *</p> <p>5 баллов</p> <p><input type="radio"/> расширяется</p> <p><input type="radio"/> сжимается</p> <p><input type="radio"/> разворачивается</p> <p><input type="radio"/> тормозится</p> <p><input type="radio"/> нагревается</p>
5.	<p>Отрицательная степень реактивности в общем случае означает ... течение в рабочей решетке. *</p> <p>5 баллов</p> <p><input type="radio"/> диффузионное</p> <p><input type="radio"/> конфузорное</p> <p><input type="radio"/> кинетическое</p> <p><input type="radio"/> ускоренное</p> <p><input type="radio"/> отрывное</p> <p><input type="radio"/> диффузорное</p>
6.	<p>В чисто активной ступени в каналах рабочих лопаток не происходит дополнительного ... рабочего тела. *</p> <p>5 баллов</p> <p><input type="radio"/> поворота</p> <p><input type="radio"/> изменения направления</p> <p><input type="radio"/> торможения</p> <p><input type="radio"/> расширения</p> <p><input type="radio"/> сжатия</p>
7.	<p>Окружная проекция силы, действующей со стороны рабочего тела на рабочую лопатку турбинной ступени, направлена .... *</p> <p>5 баллов</p> <p><input type="radio"/> в направлении относительной скорости</p> <p><input type="radio"/> в направлении оси турбины</p> <p><input type="radio"/> против вращения сопловой решетки</p> <p><input type="radio"/> против вращения колеса</p> <p><input type="radio"/> в направлении окружной скорости</p>
8.	

К турбомашинам относятся следующие машины: \*

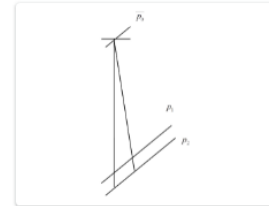
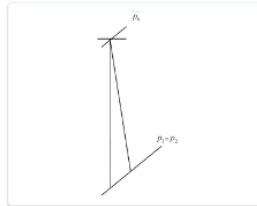
10 баллов

- двигатели внутреннего сгорания
- ветряные турбины
- гидравлические турбины
- вентиляторы
- поршневые насосы
- лопастные компрессоры
- газовые турбины

9.

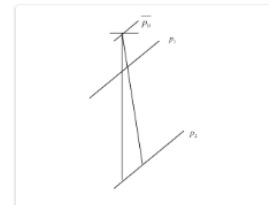
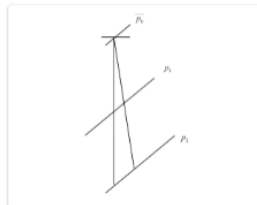
$h,s$ -диаграмма процесса в турбинной ступени с  $\rho=0,5$  выглядит так, как изображено на рисунке \*

5 баллов



а)

б)



в)

г)

10.

Скорость потока в абсолютном движении определяют по формуле: \*

5 баллов

$$c = \bar{w} + \bar{u}$$

$$c = \bar{w} - \bar{u}$$

а)

б)

$$c = \bar{u} - \bar{w}$$

$$c = \bar{w} \times \bar{u}$$

в)

г)

$$c = \bar{w} \div \bar{u}$$

$$c = \bar{u} + \bar{w}$$

д)

е)

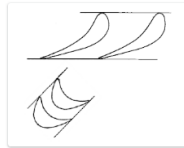
11.

Вследствие падения давления скорость рабочего тела в относительном движении на выходе из рабочей решетки .... \* 5 баллов

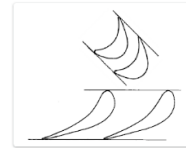
- понижается до  $w_2$
- понижается до  $c_2$
- понижается до  $w_1$
- повышается до  $w_2$
- понижается до  $c_1$
- повышается до  $w_1$
- повышается до  $c_2$
- повышается до  $c_1$

12.

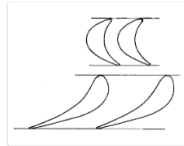
Укажите рисунок с правильным расположением профилей сопловых и рабочих решеток \* 5 баллов



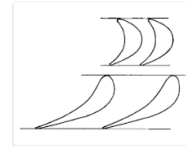
а)



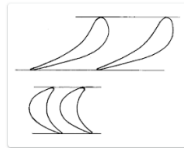
б)



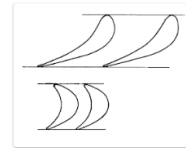
в)



г)



д)



е)

13.

Степень реактивности турбинной ступени показывает долю изэнтропного теплоперепада рабочей решетки по отношению к располагаемому теплоперепаду .... \* 5 баллов

- диафрагмы
- рабочего диска
- всей ступени
- сопловой решетки
- направляющей решетки
- рабочей решетки

14.

Изоэнтропийный теплоперепад рабочей решетки определяется как \* 5 баллов

$$\bar{H}_{op} = w_{2t}^2/2$$

$$H_{op} = w_{2t}^2/2 - w_1^2/2$$

а)

б)

$$\bar{H}_{op} = c_2^2/2$$

$$H_{op} = w_1^2/2$$

в)

г)

$$H_{op} = w_{2t}^2/2 - w_2^2/2$$

$$\bar{H}_{op} = w_{2t}^2/2 + c_2^2/2$$

д)

е)

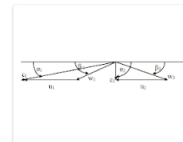
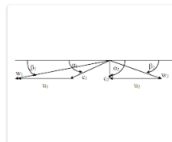
15.

Турбина (от лат. turbo - вихрь, вращение) - лопаточная машина, в которой происходит преобразование ... энергии рабочего тела в механическую работу на валу (работу). \* 5 баллов

- кинетической и (или) потенциальной
- тепловой и (или) кинетической
- внутренней и (или) тепловой
- кинетической и (или) внутренней
- потенциальной и (или) внутренней

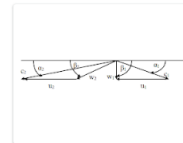
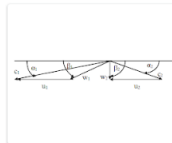
16.

Выберите изображение треугольников скоростей турбинной ступени, на котором правильно обозначены скорости и углы потока. \* 5 баллов



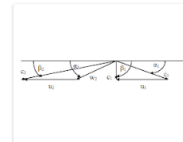
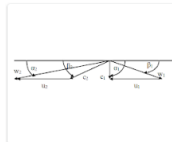
а)

б)



в)

г)

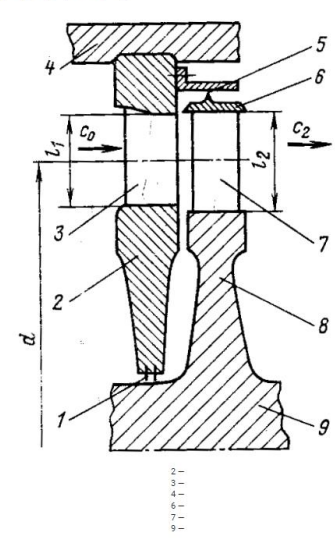


д)

е)

17.

Напишите названия основных частей турбинной ступени.\*  
Например: 1 - ступень; 2 - статор и т.д.



2 -  
3 -  
4 -  
5 -  
6 -  
7 -  
8 -  
9 -

Мой ответ

10 баллов

18.

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Описание характеристики выполнения знания:* выставляется, если набрано не менее 90% от максимального количества баллов.

*Оценка: 4*

*Описание характеристики выполнения знания:* выставляется, если набрано не менее 75% от максимального количества баллов.

*Оценка: 3*

*Описание характеристики выполнения знания:* выставляется, если набрано не менее 60% от максимального количества баллов.

**КМ-2. Контрольная работа «Решетки профилей. Треугольники скоростей»**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 15

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Контрольная работа содержит три задачи. Время выполнения - не более 90 минут. Для решения задачи 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").

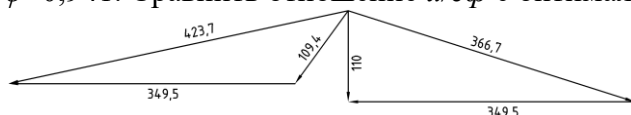
**Краткое содержание задания:**

**Задача 1**

Построить треугольники скоростей, определить удельную работу ступени и окружное усилие. Окружные скорости  $u_1 = u_2 = 0,5 \times c_1 u = 150$  м/с, относительные скорости равны, проекции абсолютных скоростей на направление оси турбины равны, угол выхода потока из сопловой решетки  $\alpha_1 = 15^\circ$ . Какова мощность, развиваемая паром, на лопатках, если расход рабочего тела  $G = 100$  кг/с?

**Задача 2**

Определить степень реактивности и относительный лопаточный КПД по заданным треугольникам скоростей промежуточной ступени. Коэффициенты скорости  $\varphi=0,97$ ,  $\psi=0,941$ . Сравнить отношение  $u/c\varphi$  с оптимальным значением и сделать выводы.



### Задача 3

Определить температуру поверхности рабочих лопаток. Температура торможения перед ступенью  $T_0=1300$  К; окружные скорости  $u_1=u_2=330$  м/с, угол выхода потока из сопловой решетки  $\alpha_1=25^\circ$ , проекция абсолютной скорости  $c_1a=180$  м/с. Характеристики рабочего тела: показатель изэнтропы  $k=1,30$ ; газовая постоянная  $R=0,290$  кДж/(кг×К). Считать рабочее тело идеальным.

### Контрольные вопросы/задания:

Знать: теоретические основы рабочих процессов, происходящих в турбинной ступени	1.Изобразить треугольники скоростей.
Уметь: рассчитывать тепловые процессы в турбинной ступени	1.Определить удельную работу турбинной ступени и окружное усилие. Какова мощность, развиваемая паром, на лопатках, если расход рабочего тела $G=100$ кг/с? 2.Определить температуру поверхности рабочих лопаток. 3.Определить степень реактивности и относительный лопаточный КПД по заданным треугольникам скоростей промежуточной ступени.
Уметь: анализировать влияние основных характеристик ступеней турбомашин на их технико-экономические показатели и турбомашин в целом	1.Сравнить отношение $u/c\varphi$ с оптимальным значением и сделать выводы.

### Описание шкалы оценивания:

*Оценка: 5*

*Описание характеристики выполнения знания:* выставляется, если обе задачи решены полностью и верно, без недочетов и правильно изображены требуемые зависимости; у всех величин указана размерность.

*Оценка: 4*

*Описание характеристики выполнения знания:* выставляется, если задачи решены в целом верно и правильно изображены требуемые зависимости: либо не доделано не более 10% какой-либо задачи; либо присутствуют арифметические ошибки в вычислениях одной из задач, искажающие результат не более чем на 10%; не у всех величин указана размерность.

*Оценка: 3*

*Описание характеристики выполнения знания:* выставляется, если в целом верно изображены требуемые зависимости или отсутствует требуемые зависимости в какой-либо из задач и либо правильно решено не менее 80% каждой задачи, либо использованы правильные формулы, но при подстановке значений допущены ошибки в одной из задач,



либо присутствуют арифметические ошибки в вычислениях каждой из задач, искажающие результат не более чем на 10%.

### КМ-3. Выполнение пп.1-2 расчетного задания «Аэродинамический расчет турбинной ступени»

**Формы реализации:** Проверка задания

**Тип контрольного мероприятия:** Расчетно-графическая работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 15

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Расчетное задание выдается не позднее 6 недели. Срок выполнения 1 и 2 пунктов расчетного задания - до 11 недели. Оценивается правильность выполнения пунктов в установленные сроки. При выполнении расчетного задания для определения теплофизических свойств водяного пара используется программа WaterSteamPro.

#### Краткое содержание задания:

Рассчитать ступень газовой турбины

Задано:	$p_0=0,808$ МПа	$T_0=1123$ К	$G=270$ кг/с
	$c_0=0$	$n=50$ 1/с	$\rho=0,230$
	$p_2=0,4718$ МПа	$b_1=150$ мм	$b_2=100$ мм
	$\alpha l \varepsilon \phi=18,5^\circ$	$\chi_{в.с}=1,0$	$\Delta l=20$ мм
	$k=1,30$	$R=289,7$ Дж/(кг×К)	

Периферийное уплотнение: ступенчатое, бандаж,  $\Delta b=10$  мм;  $z_r=2$ ;  $\delta r=6$  мм;  $\delta a=11$  мм.

#### Контрольные вопросы/задания:

<p>Уметь: применять типовые методики для расчета отдельных ступеней с определением их интегральных характеристик</p>	<p>1.1. Определить размеры ступеней (<math>l_1, l_2, d_1, d_2</math>), обосновав выбор необходимых для расчета дополнительных величин. Рассчитать и построить в масштабе треугольники скоростей на среднем диаметре ступени. Изобразить изменение термодинамических параметров (<math>p, t, h, v</math>) вдоль оси ступени и в <math>h,s</math>-диаграмме.</p> <p>2.2. Определить окружное усилие <math>R_u</math>, удельную работу <math>L_u</math>, мощность <math>N_u</math>, развиваемую на лопатках ступени, и КПД <math>\eta_{ол}</math>.</p>
--	---

#### Описание шкалы оценивания:

*Оценка: 5*

*Описание характеристики выполнения знания:* выставляется, если пункты сделаны полностью верно с опозданием не более чем на 1 неделю и не более чем со второй попытки.

*Оценка: 4*

*Описание характеристики выполнения знания:* выставляется, если либо в расчете присутствуют ошибки в заключительных действиях какого либо из пунктов, которые не влияют на последующие расчеты в данном пункте(ах); либо неверно указаны размерности величин; либо размерности величин не указаны; либо пункты сделаны полностью верно с опозданием не более чем на 2 недели и не более чем со второй попытки.

*Оценка: 3*

*Описание характеристики выполнения знания:* выставляется, если пункты сделаны полностью верно с опозданием более чем на 2 недели или более чем со второй попытки.

#### **КМ-4. Контрольная работа «Расчет турбинной ступени по параметрам на среднем диаметре»**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Контрольная работа содержит одну задачу. Время выполнения - не более 90 минут. Для решения задачи 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:**

Параметры пара перед ступенью  $p_0=5,76$  МПа,  $x_0=0,993$ . Средний диаметр ступени  $d=1,303$  м, степень реактивности  $\rho=0,224$ , частота вращения  $n=50$  1/с, угол  $\alpha/\varepsilon\phi=14^\circ$ .  
Дополнительно принять, что относительный угол выхода пара из рабочей решетки  $\beta_2 = 22,5^\circ$ .

#### **Контрольные вопросы/задания:**

Знать: основные энергетические характеристики ступеней турбомашин, причины потерь энергии в ступени	1.Необходимыми величинами в процессе расчета задаться самостоятельно, обосновав свой выбор.
Уметь: рассчитывать тепловые процессы в турбинной ступени	1.Построить треугольники скоростей и определить относительный лопаточный КПД первой ступени паровой турбины. 2.Рассчитать и изобразить процесс расширения пара в турбинной ступени в $h,s$ -диаграмме.

#### **Описание шкалы оценивания:**

*Оценка:* 5

*Описание характеристики выполнения знания:* выставляется, если задача решена полностью и верно, без недочетов; у всех величин указана размерность.

*Оценка:* 4

*Описание характеристики выполнения знания:* выставляется, если задача решена в целом верно, но присутствуют арифметические ошибки в вычислениях, искажающие результат не более чем на 5%; не у всех величин указана размерность.

*Оценка:* 3

*Описание характеристики выполнения знания:* выставляется, если либо не доделан последний пункт задания; либо использованы правильные формулы, но при подстановке значений допущены ошибки; либо присутствуют арифметические ошибки в вычислениях, искажающие результат не более чем на 10%.

#### **КМ-5. Выполнение пп.3-4 расчетного задания «Аэродинамический расчет турбинной ступени»**

**Формы реализации:** Проверка задания

**Тип контрольного мероприятия:** Расчетно-графическая работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 15

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Срок выполнения 3 и 4 пунктов расчетного задания - до 15 недели. Оценивается правильность выполнения пунктов в установленные сроки. При выполнении расчетного задания для определения теплофизических свойств водяного пара используется программа WaterSteamPro.

**Краткое содержание задания:**

Приведено в КМ-3.

**Контрольные вопросы/задания:**

Уметь: осуществлять подбор решеток профилей по «Атласу» и определять их характеристик	1.4. Подобрать профили сопловой и рабочей решеток, выбрать $\alpha$ ( $\beta$ ) и оптимальный шаг, уточнить принятые в первом приближении коэффициенты скорости $\varphi$ и $\psi$ , определив по «Атласу» все составляющие потерь в решетках. Начертить профили сопловой и рабочей решеток.
Уметь: анализировать влияние основных характеристик ступеней турбомашин на их технико-экономические показатели и турбомашин в целом	1.3. Определить КПД $\eta_{oi}$ и внутреннюю мощность ступени $N_i$ .

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Описание характеристики выполнения знания:* выставляется, если пункты сделаны полностью верно с опозданием не более чем на 1 неделю и не более чем со второй попытки.

*Оценка: 4*

*Описание характеристики выполнения знания:* выставляется, если либо в расчете присутствуют ошибки в заключительных действиях какого либо из пунктов, которые не влияют на последующие расчеты в данном пункте(ах); либо неверно указаны размерности величин; либо размерности величин не указаны; либо пункты сделаны полностью верно с опозданием не более чем на 2 недели и не более чем со второй попытки.

*Оценка: 3*

*Описание характеристики выполнения знания:* выставляется, если пункты сделаны полностью верно с опозданием более чем на 2 недели или более чем со второй попытки.

### **КМ-6. Тест «Многоступенчатые паровые турбины»**

**Формы реализации:** Компьютерное задание

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 5

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Время выполнения - не более 15 минут.

**Краткое содержание задания:**

Тест состоит из 12 вопросов.

Максимальное количество баллов за все правильно выполненные тестовые задания - 100.

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: теоретические основы рабочих процессов, происходящих в группе ступеней

Температурный перепад одной ступени, соответствующий максимальному КПД, зависит от оптимального отношения скоростей .... \*

6 баллов

$$(u/c_\phi)_{opt} = \frac{\varphi \cdot \cos(\alpha_1)}{2\sqrt{\rho-1}}$$

Вариант 4

$$(u/c_\phi)_{opt} = \frac{\varphi \cdot \cos(\alpha_1)}{2\sqrt{1-\rho}}$$

Вариант 3

$$(u/c_\phi)_{opt} = \frac{w_{2t}^2 - w_2^2}{w_{2t}^2}$$

Вариант 1

$$(u/c_\phi)_{opt} = \frac{c_{2t}^2 - c_1^2}{c_{2t}^2}$$

Вариант 2

1.

Окружная скорость для последних ступеней конденсационных турбин  $u=450...600$  м/с ограничена .... \*

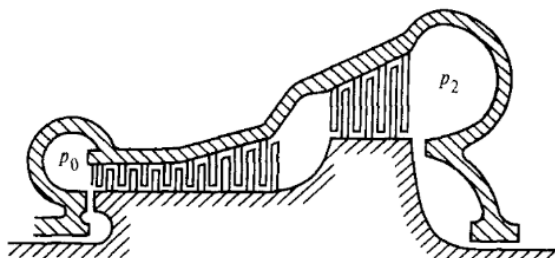
6 баллов

- частой вращения ротора
- эффективностью турбинной ступени
- степенью реактивности
- условиями прочности лопаток и диска или барабана

2.

На рисунке представлена схема проточной части .... \*

6 баллов



- многоступенчатой активно-реактивной турбины
- многоступенчатой реактивной турбины с дисковым облачением
- многоступенчатой реактивной турбины
- многоступенчатой активной турбины

3.

В современных паротурбинных установках ТЭС и АЭС располагаемый теплоперепад турбины составляет .... \*

6 баллов

- 100...300 кДж/кг
- 1000...1800 кДж/кг
- 500...700 кДж/кг
- 2000...3000 кДж/кг

4.

Уменьшение теплоперепада и диаметра ступени при заданной частоте вращения приводит к: \*

10 баллов

- увеличению высоты лопаток
- снижению концевых потерь в решетках
- уменьшению высоты лопаток
- росту профильных потерь в решетках

5.

На рисунке представлен процесс в h-s диаграмме для многоступенчатой турбины, который характеризуется ... \*

Вариант 1  $H_0^e > (H_1^e), \dots, H_n^e > (H_1^e)$       Вариант 3  $H_0^e < (H_1^e), \dots, H_n^e < (H_1^e)$   
 Вариант 2  $H_0^e = (H_1^e), \dots, H_n^e = (H_1^e)$       Вариант 4  $H_0^e > (H_1^e), \dots, H_n^e > (H_1^e)$

6.

За счет явления возврата теплоты внутренний относительный КПД турбины .... \*

6 баллов

- понижается по сравнению с внутренним относительным КПД первой ступени
- понижается по сравнению с внутренним относительным КПД одиночной ступени
- повышается по сравнению с внутренним относительным КПД одиночной ступени
- понижается по сравнению с внутренним относительным КПД последней ступени

7.

Коэффициент возврата теплоты составляет около .... \*

6 баллов

- 1,5...2,5%
- 0,1...0,2%
- 10...12%
- 3...8%

8.

Укажите преимущества многоступенчатых турбин перед одноступенчатыми. \*

10 баллов

- Возможность выбрать небольшой теплоперепад ступеней
- Увеличение располагаемого теплоперепада большинства ступеней
- Повышение температуры пара на входе в последующую ступень вследствие потерь энергии в предыдущей
- Возможность выполнения отборов пара на регенеративный подогрев питательной воды
- Упрощение и удешевление конструкции
- Частичное или полное использование потерь с выходной скоростью

9.

	<p>10. Укажите недостатки многоступенчатых турбин. * 10 баллов</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Увеличение стоимости изготовления</li> <li><input type="checkbox"/> Низкий КПД по сравнению с одноступенчатыми турбинами</li> <li><input type="checkbox"/> Невозможность выполнения отборов пара для регенеративного питательной воды</li> <li><input type="checkbox"/> Сложность конструкции</li> <li><input type="checkbox"/> Появление дополнительных потерь, которых нет или они незначительны в одноступенчатых турбинах</li> </ul>
	<p>11. Предельная мощность одного потока конденсационной турбины определяется ... * 6 баллов</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="radio"/> размерами регулирующей ступени</li> <li><input type="radio"/> размерами первой ступени</li> <li><input type="radio"/> размерами околоотборной ступени</li> <li><input type="radio"/> размерами последней ступени</li> </ul>
	<p>12. Укажите возможные способы повышения предельной мощности турбины. * 10 баллов</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Увеличение числа потоков пара в конденсатор</li> <li><input type="checkbox"/> Понижение давления в конденсаторе</li> <li><input type="checkbox"/> Изготовление лопаток последних ступеней из титанового сплава</li> <li><input type="checkbox"/> Применения двухрусных ступеней</li> <li><input type="checkbox"/> Повышение частоты вращения ротора</li> <li><input type="checkbox"/> Повышение потерь с выходной скоростью последней ступени</li> </ul>
	<p>13. Коэффициент возврата тепла зависит от: * 6 баллов</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="radio"/> объемного пропуска в конденсатор</li> <li><input type="radio"/> расхода рабочего тела</li> <li><input type="radio"/> числа ступеней</li> <li><input type="radio"/> очертания проточной части</li> </ul>
	<p>14. Потери энергии в каждой ступени многоступенчатой турбины вызывают ... в последующих ступенях. * 6 баллов</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="radio"/> повышение давления</li> <li><input type="radio"/> понижение энтальпии</li> <li><input type="radio"/> повышение температуры</li> <li><input type="radio"/> понижение удельного объема</li> </ul>

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Описание характеристики выполнения знания:* выставляется, если набрано не менее 90% от максимального количества баллов.

*Оценка: 4*

*Описание характеристики выполнения знания:* выставляется, если набрано не менее 75% от максимального количества баллов.

*Оценка: 3*

*Описание характеристики выполнения знания:* выставляется, если набрано не менее 60% от максимального количества баллов.

## КМ-7. Выполнение п.5 и защита расчетного задания «Аэродинамический расчет турбинной ступени»

**Формы реализации:** Защита задания

**Тип контрольного мероприятия:** Расчетно-графическая работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** К защите типового расчета допускаются обучающиеся, правильно выполнившие п. 5 расчетного задания. Время опроса - не более 15 мин.

### Краткое содержание задания:

На защите обучающемуся задаются теоретические и практические вопросы по выполненному расчетному заданию.

### Контрольные вопросы/задания:

Знать: теоретические основы рабочих процессов, происходящих в турбинной ступени	1.Какие недостатки у ступени, спроектированной с отрицательной степенью реактивности.
Знать: конструкцию и принцип работы турбинных ступеней	1.Что такое степень парциальности? 2.Изобразите схему турбинной ступени. 3.Из каких основных элементов состоит турбинная ступень? 4.Какие виды энергии преобразуются в сопловой и рабочей решетках?
Знать: основные методы аэродинамического расчета ступеней турбомашин	1.Изложите последовательность расчета турбинной ступени при заданных: $n$ , $d$ и $H_0$ . 2.Изложите последовательность расчета турбинной из условия обеспечения ее максимального КПД.
Знать: основные геометрические характеристики ступеней турбомашин, их влияние на потери энергии в ступени	1.Где больше величина оптимального относительного шага - у сопловых или рабочих решеток? 2.В каких случаях можно не учитывать влияние шероховатости поверхности на коэффициент потерь? 3.По каким параметрам подбирается типоразмер решетки? 4.От каких геометрических параметров завит угол $\alpha_{1\phi}$ ? 5.От каких основных режимных и геометрических параметров зависят коэффициенты скорости и расхода?
Знать: основные энергетические характеристики ступеней турбомашин, причины потерь энергии в ступени	1.Что такое коэффициенты потерь энергии, коэффициенты скорости и расхода? Как они определяются? 2.В чем физический смысл концевых потерь при обтекании турбинных решеток? 3.Назовите составляющие суммарных коэффициентов потерь при обтекании кольцевой турбинной решетки.
Уметь: объяснять физические принципы работы ступеней турбомашин	1.Объясните за счет чего создается окружное усилие, действующее на рабочие лопатки? 2.Объясните что такое степень реактивности и каков

	ее физический смысл?
Уметь: анализировать влияние основных характеристик ступеней турбомашин на их технико-экономические показатели и турбомашины в целом	<p>1.5. Проверить максимальные изгибающие напряжения в рабочей лопатке.</p> <p>2. Как влияет степень реактивности ступени на ее оптимальный теплоперепад?</p> <p>3. От каких главных параметров ступени зависит оптимальное отношение скоростей <math>u/c\phi</math>?</p> <p>4. Активная и реактивная ступени имеют одинаковые размеры, частоту вращения и начальные и конечные параметры. В какой из ступеней надбандажные протечки больше, если конструкция уплотнений одинакова?</p> <p>5. Активная и реактивная ступени выполнены на оптимальное отношение <math>u/c\phi</math>, имеют одинаковый диаметр и частоты вращения. Какая из ступеней срабатывает при большем теплоперепаде?</p>

### 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.

### 8 семестр

#### **КМ-8. Лабораторная работа «Расчет и оптимизация группы унифицированных ступеней»**

**Формы реализации:** Выполнение задания

**Тип контрольного мероприятия:** Лабораторная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 15

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Срок выполнения лабораторной работы - до 13 недели. Оценивается правильность выполнения лабораторной работы в установленные сроки.

#### **Краткое содержание задания:**

**Цель лабораторной работы:** приобретение навыков проектирования группы унифицированных ступеней и их оптимизации с применением программных средств.

**Задание на лабораторную работу:** провести расчет параметров потока в характерных сечениях на среднем диаметре группы унифицированных ступеней отсека или цилиндра турбины с использованием программы PGT и выполнить их оптимизацию. Известны расход рабочего тела и его параметры (давление и температура) перед отсеком или цилиндром, давление за отсеком или цилиндром.

**В процессе выполнения лабораторной работы необходимо:**



1. Выбрать основные геометрические характеристики группы унифицированных ступеней с учетом обеспечения их эффективности и надежности для двух типов проточной части: активного и реактивного.
2. Провести оптимизацию каждого из типов проточной части по  $\alpha_1$ ,  $d$  и  $\rho$  с целью обеспечения  $\alpha_2=90^\circ\pm(5...10)^\circ$  в каждой ступени.
3. Представить изменение основных характеристик ступеней ( $H_0$ ,  $d$ ,  $\rho$ ,  $u/c\phi$  и  $\eta_{ол}$ ) по потоку для оптимальных вариантов исполнения двух типов проточной части: активного и реактивного.

#### Контрольные вопросы/задания:

Знать: основные методы теплового расчета проточной части многоступенчатой турбины	1. Выбрать основные геометрические характеристики группы унифицированных ступеней с учетом обеспечения их эффективности и надежности для двух типов проточной части: активного и реактивного.
Уметь: применять типовые методики для расчета и проектирования группы ступеней	1. Провести оптимизацию каждого из типов проточной части по $\alpha_1$ , $d$ и $\rho$ с целью обеспечения $\alpha_2=90^\circ\pm(5...10)^\circ$ в каждой ступени. 2. Представить изменение основных характеристик ступеней ( $H_0$ , $d$ , $\rho$ , $u/c\phi$ и $\eta_{ол}$ ) по потоку для оптимальных вариантов исполнения двух типов проточной части: активного и реактивного.

#### Описание шкалы оценивания:

*Оценка: 5*

*Описание характеристики выполнения знания:* выставляется, если все пункты сделаны полностью верно с опозданием не более чем на 1 неделю и не более чем со второй попытки.

*Оценка: 4*

*Описание характеристики выполнения знания:* выставляется, если либо присутствуют ошибки в заключительных действиях какого либо из пунктов, которые не влияют на последующие расчеты в данном пункте(ах); либо все пункты сделаны полностью верно с опозданием не более чем на 2 недели и не более чем со второй попытки.

*Оценка: 3*

*Описание характеристики выполнения знания:* выставляется, если все пункты сделаны полностью верно с опозданием более чем на 2 недели или более чем со второй попытки.

#### **КМ-9. Лабораторная работа «Расчет ступени большой веерности с учетом изменения параметров потока по высоте»**

**Формы реализации:** Выполнение задания

**Тип контрольного мероприятия:** Лабораторная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 10

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Срок выполнения лабораторной работы - до 7 недель. Оценивается правильность выполнения лабораторной работы в установленные сроки.

#### **Краткое содержание задания:**

**Цель лабораторной работы:** приобретение навыков проведения расчетов ступени большой веерности учетом изменения параметров потока по высоте с применением программных средств.

**Задание на лабораторную работу:** провести расчет ступени большой верности учетом изменения параметров потока по высоте программы DLP, если известны:

$h_0 = \dots$ кДж/кг	– энтальпия рабочего тела на входе в ступень
$H_0 = \dots$ кДж/кг	– располагаемый теплоперепад на ступень
$p_0 = \dots$ МПа	– давление на входе в ступень
$v_0 = \dots$ м <sup>3</sup> /кг	– удельный объем рабочего тела на входе в ступень
$G = \dots$ кг/с	– расход рабочего тела через ступень
$\rho = \dots$	– реактивность в среднем сечении
$\alpha l \varepsilon \phi = \dots$ °	– угол выхода потока из сопловой решетки
$d_1 = \dots$ м	– средний диаметр сопловой диафрагмы
$d_2 = \dots$ м	– средний диаметр рабочего колеса
$l_1 = \dots$ мм	– высота сопловых лопаток
$l_2 = \dots$ мм	– высота рабочих лопаток
$\varphi = \dots$	– коэффициент скорости сопловых каналов
$\psi = \dots$	– коэффициент скорости рабочих каналов
$\mu_1 = \dots$	– коэффициент расхода сопловых каналов
$\mu_2 = \dots$	– коэффициент расхода рабочих каналов
$R = \dots$ кДж/(кг·К)	– газовая постоянная
$cp = \dots$ кДж/(кг·К)	– теплоемкость рабочего тела

**В процессе выполнения лабораторной работы необходимо:**

1. Провести детальный аэродинамический расчет ступени большой верности.
2. Графически представить распределение параметров потока по высоте ступени  $\eta_{ол}$ ,  $\rho$ ,  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\beta_1$  и  $\beta_2$ . Рассчитать и представить зависимости  $M_{1t}$ ,  $M_{1w}$ ,  $M_{2t}$  и  $M_{2c}$ .
3. Построить треугольники скоростей для трех сечений (корневого, среднего и периферийного).

**Методические указания:**

1. При расчете параметров потока по радиусу используется закон «закрутки»  $c_u \times r = const$ .
2. Расчет провести не менее чем по пяти сечениям по высоте.

**Контрольные вопросы/задания:**

Уметь: учитывать влияние условий работы ступени турбомашин на принимаемые конструктивные решения при ее проектировании	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Провести детальный аэродинамический расчет ступени большой верности.</li> <li>2. Графически представить распределение параметров потока по высоте ступени <math>\eta_{ол}</math>, <math>\rho</math>, <math>\alpha_1</math>, <math>\alpha_2</math>, <math>\beta_1</math> и <math>\beta_2</math>. Рассчитать и представить зависимости <math>M_{1t}</math>, <math>M_{1w}</math>, <math>M_{2t}</math> и <math>M_{2c}</math>.</li> <li>3. Построить треугольники скоростей для трех сечений (корневого, среднего и периферийного).</li> </ol>
--	---

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Описание характеристики выполнения знания:* выставляется, если все пункты сделаны полностью верно с опозданием не более чем на 1 неделю и не более чем со второй попытки.

*Оценка: 4*

*Описание характеристики выполнения знания:* выставляется, если либо присутствуют ошибки в заключительных действиях какого либо из пунктов, которые не влияют на последующие расчеты в данном пункте(ах); либо все пункты сделаны полностью верно с опозданием не более чем на 2 недели и не более чем со второй попытки.

Оценка: 3

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если все пункты сделаны полностью верно с опозданием более чем на 2 недели или более чем со второй попытки.

### КМ-10. Контрольная работа «Предельная мощность однопоточной турбины. Особенности расчета турбинных ступеней»

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 15

Процедура проведения контрольного мероприятия: Контрольная работа содержит две задачи. Время выполнения - не более 90 минут.

#### Краткое содержание задания:

##### Задача 1

Определить максимальную мощность турбины с 3-х поточным ЦНД, если:  
 $p_0=16$  МПа,  $t_0=540^\circ\text{C}$ ,  $p_k=5,0$  кПа,  $n=50$  1/с,  $u_2(z)\leq 350$  м/с,  $(d_2/l_2)_z\geq 3,0$ ,  $\eta_{0i}(m)=0,80$ ;  
 $\Delta H_{вс}(z) / H_{0\_m}\leq 0,3$ , регенеративных отборов нет.

Дополнительными величинами, необходимыми для расчета задаться самостоятельно, пояснив свой выбор.

##### Задача 2

Найти длину рабочей лопатки ступени газовой турбины при параметрах газа за ней:  
 $p_2=0,16$  МПа,  $t_2=600^\circ\text{C}$ . Расход газа  $G=300$  кг/с, частота вращения  $n=60$  1/с, средний диаметр  $d_2=2,0$  м, угол  $\beta_2=30^\circ$ ,  $k=1,4$ ,  $R=288$  Дж/(кг×К). Ступень спроектирована из условия максимального КПД.

На сколько будет отличаться  $c_{2a}(nep)$  от  $c_{2a}(cp)$ , если ступень закручена по закону  $c_u \times r = const$ ?

#### Контрольные вопросы/задания:

Знать: особенности проектирования турбомашин ступеней	1. На сколько будет отличаться $c_{2a\_nep}$ от $c_{2a\_cp}$ , если ступень закручена по закону $c_u \times r = const$ ? 2. Дополнительными величинами, необходимыми для расчета задаться самостоятельно, пояснив свой выбор.
Уметь: применять типовые методики для проектирования ступеней расчета и группы	1. Определить максимальную мощность турбины с 3-х поточным ЦНД. 2. Найти длину рабочей лопатки ступени газовой турбины, если спроектирована из условия максимального КПД.

#### Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если обе задачи решены полностью и верно, без недочетов и правильно изображены требуемые зависимости; у всех величин указана размерность.

Оценка: 4

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если задачи решены в целом верно и правильно изображены требуемые зависимости: либо не доделано не более 10% какой-либо задачи; либо присутствуют арифметические ошибки в вычислениях одной из задач, искажающие результат не более чем на 10%; не у всех величин указана размерность.

Оценка: 3

*Описание характеристики выполнения знания:* выставляется, если в целом верно изображены требуемые зависимости или отсутствует требуемые зависимости в какой-либо из задач и либо правильно решено не менее 80% каждой задачи, либо использованы правильные формулы, но при подстановке значений допущены ошибки в одной из задач, либо присутствуют арифметические ошибки в вычислениях каждой из задач, искажающие результат не более чем на 10%.

### **КМ-11. Лабораторная работа «Проектирование профиля сопловой решетки»**

**Формы реализации:** Проверка задания

**Тип контрольного мероприятия:** Лабораторная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Срок выполнения лабораторной работы - до 13 недели. Оценивается правильность выполнения лабораторной работы в установленные сроки.

**Краткое содержание задания:**

**Цель лабораторной работы:** приобретение навыков проектирования профиля сопловой решетки с применением программных средств.

**Задание на лабораторную работу:** спроектировать сопловую решетку с использованием программы AutoBlade.

**В процессе выполнения лабораторной работы необходимо:**

1. Разработать профиль сопловой решетки с использованием программы AutoBlade.
2. Выполнить экспорт геометрии сопловой лопатки для создания кругового массива в программе SolidWorks.

**Методические указания:**

1. В качестве исходных данных используются результаты лабораторной работы «Расчет ступени большой верности с учетом изменения параметров потока по высоте».
2. Профилирование лопатки провести по трем характерным сечениям.

**Контрольные вопросы/задания:**

Уметь: профилировать решетки турбинных ступеней	1. Разработать профиль сопловой решетки с использованием программы AutoBlade. 2. Выполнить экспорт геометрии сопловой лопатки для создания кругового массива в программе SolidWorks.
---	---

**Описание шкалы оценивания:**

Оценка: 5

*Описание характеристики выполнения знания:* выставляется, если все пункты сделаны полностью верно с опозданием не более чем на 1 неделю и не более чем со второй попытки.

Оценка: 4

*Описание характеристики выполнения знания:* выставляется, если либо присутствуют ошибки в заключительных действиях какого либо из пунктов, которые не влияют на последующие расчеты в данном пункте(ах); либо все пункты сделаны полностью верно с опозданием не более чем на 2 недели и не более чем со второй попытки.

Оценка: 3

*Описание характеристики выполнения знания:* выставляется, если все пункты сделаны полностью верно с опозданием более чем на 2 недели или более чем со второй попытки.

### **КМ-12. Контрольная работа «Решетки профилей и треугольники скоростей осевого компрессора. Определение числа ступеней газовой турбины»**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 15

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Контрольная работа содержит две задачи. Время выполнения - не более 90 минут.

#### **Краткое содержание задания:**

##### **Задача 1**

Рассчитать и изобразить треугольники скоростей ступени осевого компрессора, если  $c1=c2$ ;

$c1a=c2a$ ;

$c1u=-105$  м/с;

$u1=u2=180$  м/с;

$\alpha1=125^\circ$ .

Определить  $\eta_{ол}$  и  $Lu$ , если  $\Delta H_p/H_0=0,08$ ,  $\Delta H_n/H_0=0,07$ ,  $c3=c1$ ,  $\chi_{в.с}=1$ .

Изобразить форму профилей, характер изменения параметров в  $h,s$ -диаграмме и вдоль проточной части ступени компрессора.

##### **Задача 2**

Определить число ступеней газовой турбины:  $d2(1)=1,9$  м,  $d2(z)=2,1$  м,  $p_0=0,84$  МПа,  $t_0=900^\circ\text{C}$ ,  $p2(z)=0,11$  МПа,  $G=280$  кг/с,  $n=50$  1/с.

Приблизительно изобразите форму проточной части турбины в меридиональном сечении.

#### **Контрольные вопросы/задания:**

Знать: теоретические основы рабочих процессов, происходящих в ступени компрессора	1.Изобразить характер изменения параметров в $h,s$ -диаграмме и вдоль проточной части ступени компрессора.
Знать: конструкцию и принцип работы компрессорных ступеней	1.Изобразить форму профилей компрессорной ступени. 2.Изобразить треугольники скоростей ступени осевого компрессора.
Знать: особенности расчета проточной части газовой турбины	1.Приблизительно изобразите форму проточной части турбины в меридиональном сечении. 2.Какие плюсы и минусы имеет для группы ступеней тот или иной закон изменения $d2k$ ?
Уметь: рассчитывать тепловые процессы в ступени компрессора	1.Определить $\eta_{ол}$ и $Lu$ ступени осевого компрессора.
Уметь: проводить тепловой расчет проточной части многоступенчатой газовой турбины	1.Определить число ступеней газовой турбины.

#### **Описание шкалы оценивания:**

Оценка: 5

*Описание характеристики выполнения знания:* выставляется, если обе задачи решены полностью и верно, без недочетов и правильно изображены требуемые зависимости; у всех величин указана размерность.

*Оценка:* 4

*Описание характеристики выполнения знания:* выставляется, если задачи решены в целом верно и правильно изображены требуемые зависимости: либо не доделано не более 10% какой-либо задачи; либо присутствуют арифметические ошибки в вычислениях одной из задач, искажающие результат не более чем на 10%; не у всех величин указана размерность.

*Оценка:* 3

*Описание характеристики выполнения знания:* выставляется, если в целом верно изображены требуемые зависимости или отсутствует требуемые зависимости в какой-либо из задач и либо правильно решено не менее 80% каждой задачи, либо использованы правильные формулы, но при подстановке значений допущены ошибки в одной из задач, либо присутствуют арифметические ошибки в вычислениях каждой из задач, искажающие результат не более чем на 10%.

### **КМ-13. Лабораторная работа «Проектирование профиля рабочей решетки»**

**Формы реализации:** Проверка задания

**Тип контрольного мероприятия:** Лабораторная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Срок выполнения лабораторной работы - до зачетной недели. Оценивается правильность выполнения лабораторной работы в установленные сроки.

**Краткое содержание задания:**

**Цель лабораторной работы:** приобретение навыков проектирования профиля рабочей решетки с применением программных средств.

**Задание на лабораторную работу:** спроектировать рабочую решетку с использованием программы программы AutoBlade.

**В процессе выполнения лабораторной работы необходимо:**

1. Разработать профиль рабочей решетки с использованием программы AutoBlade.
2. Выполнить экспорт геометрии рабочей лопатки для создания кругового массива в программе SolidWorks.

**Методические указания:**

1. В качестве исходных данных используются результаты лабораторной работы «Расчет ступени большой веерности с учетом изменения параметров потока по высоте».
2. Профилирование лопатки провести по пяти характерным сечениям.

**Контрольные вопросы/задания:**

Уметь: профилировать решетки турбинных ступеней	1.Разработать профиль рабочей решетки с использованием программы AutoBlade. 2.Выполнить экспорт геометрии рабочей лопатки для создания кругового массива в программе SolidWorks.
---	---

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка:* 5

*Описание характеристики выполнения знания:* выставляется, если все пункты сделаны полностью верно с опозданием не более чем на 1 неделю и не более чем со второй попытки.

*Оценка:* 4

*Описание характеристики выполнения знания:* выставляется, если либо присутствуют ошибки в заключительных действиях какого либо из пунктов, которые не влияют на последующие расчеты в данном пункте(ах); либо все пункты сделаны полностью верно с опозданием не более чем на 2 недели и не более чем со второй попытки.

*Оценка:* 3

*Описание характеристики выполнения знания:* выставляется, если все пункты сделаны полностью верно с опозданием более чем на 2 недели или более чем со второй попытки.

## Для курсового проекта/работы

### 8 семестр

#### I. Описание КП/КР

Обучающемуся выдается индивидуальное задание.

#### II. Примеры задания и темы работы

Пример задания

№ п/п	Тема КП	Исходные данные					
		Тип установки: паротурбинная, газотурбинная или парогазовая	Электрическая мощность	Степень для проектирования	Частота вращения	Прототип	Прочее
1	Тепловой расчет проточной части газовой турбины ГТУ мощностью 300 кВт для автономной электростанции и проектирование одной из ее ступеней	газотурбинная	300 кВт	первая	1000 1/с	БЛМЗ ГТ-300	Топливо: смесь ксенона с гелием; $k=1,7$
2	Тепловой расчет ЦВД паровой турбины для двухконтурной утилизационной ПГУ на базе газовой	парогазовая	ГТУ - 100 МВт	последняя	3000 об/мин	К-110-6,5 ЛМЗ	

	турбины ГТЭ-110 ОАО "Сатурн" и проектирование одной его ступеней						
3	Тепловой расчет ЦВД паровой турбины для ПГУ на базе ГТУ-16П, предназначенной для привода ГПА и проектирование одной его ступеней	парогазовая	ГТУ - 16,47 МВт	перед камерой смешения	3000 об/мин	К-7,5-6,4Т КТЗ	
4	Тепловой расчет ЦВД паровой турбины типа К-1200-6,8/25 (прототип ЛМЗ) и проектирование одной его ступеней	паротурбинная	1200 МВт	первая	25 л/с	К-1200-6,8/25 ЛМЗ	
...	...	...	...	...	...	...	...
N	Тепловой расчет силовой турбины ГТУ мощностью 24,5 МВт (прототип - ГТУ типа SGT-600 фирмы Siemens) и проектирование одной ее ступеней	газотурбинная	24,5 МВт	последняя	ТВД - 5600 об/мин; силовая турбина - 7700 об/мин	SGT-600	Газообразное топливо - 100% метан

### Тематика КП/КР:

Тепловой расчет отсека или цилиндра турбомашин и проектирование одной из ее ступеней

### КМ-1. Соблюдение графика выполнения КП Описание шкалы оценивания



*Оценка: 5*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка 5 («отлично»), если задание получено в срок, подписано преподавателем и студентом, принято студентом к исполнению.

*Оценка: 4*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка 4 («хорошо»), если задание получено с опозданием не более чем на 1 неделю, подписано преподавателем и студентом, принято студентом к исполнению.

*Оценка: 3*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка 3 («удовлетворительно»), если задание получено с запозданием более чем на 2 недели, подписано преподавателем и студентом, принято студентом к исполнению.

## **КМ-2. Оценка выполнения раздела КП**

### **Описание шкалы оценивания**

*Оценка: 5*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка 5 («отлично»), если раздел сделан полностью верно с опозданием не более чем на 1 неделю и не более чем со второй попытки.

*Оценка: 4*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка 4 («хорошо»), если либо в расчете присутствуют ошибки в заключительных действиях, которые не влияют на последующие расчеты в данном разделе; либо неверно указаны размерности величин; либо размерности величин не указаны; либо раздел сделан полностью верно с опозданием не более чем на 2 недели и не более чем со второй попытки.

*Оценка: 3*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка 3 («удовлетворительно»), если раздел сделан полностью верно с опозданием более чем на 2 недели или более чем со второй попытки.

## **КМ-3. Оценка выполнения раздела КП**

### **Описание шкалы оценивания**

*Оценка: 5*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка 5 («отлично»), если раздел сделан полностью верно с опозданием не более чем на 1 неделю и не более чем со второй попытки.

*Оценка: 4*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка 4 («хорошо»), если либо в расчете присутствуют ошибки в заключительных действиях, которые не влияют на последующие расчеты в данном разделе; либо неверно указаны размерности величин; либо размерности величин не указаны; либо раздел сделан полностью верно с опозданием не более чем на 2 недели и не более чем со второй попытки.

*Оценка: 3*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка 3 («удовлетворительно»), если раздел сделан полностью верно с опозданием более чем на 2 недели или более чем со второй попытки.

## **КМ-4. Оценка выполнения раздела КП**

### **Описание шкалы оценивания**

*Оценка: 5*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка 5 («отлично»), если раздел сделан полностью верно с опозданием не более чем на 1 неделю и не более чем со второй попытки.

*Оценка: 4*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка 4 («хорошо»), если либо в расчете присутствуют ошибки в заключительных действиях, которые не влияют на последующие расчеты в данном разделе; либо неверно указаны размерности величин; либо размерности величин не указаны; либо раздел сделан полностью верно с опозданием не более чем на 2 недели и не более чем со второй попытки.

*Оценка: 3*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка 3 («удовлетворительно»), если раздел сделан полностью верно с опозданием более чем на 2 недели или более чем со второй попытки.

#### **КМ-5. Оценка выполнения и оформления чертежа**

##### **Описание шкалы оценивания**

*Оценка: 5*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка 5 («отлично»), если чертеж выполнен полностью верно в соответствии с действующими стандартами и имеющимися в технической литературе традициями с опозданием не более чем на 1 неделю и не более чем со второй попытки.

*Оценка: 4*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка 4 («хорошо»), если чертеж сделан полностью верно в соответствии с действующими стандартами и имеющимися в технической литературе традициями с опозданием не более чем на 2 недели и не более чем со второй попытки.

*Оценка: 3*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка 3 («удовлетворительно»), если чертеж сделан полностью верно в соответствии с действующими стандартами и имеющимися в технической литературе традициями с опозданием более чем на 2 недели или более чем со второй попытки.

#### **КМ-6. Соблюдение графика выполнения КП и качество оформления расчетно-пояснительной записки и графического материала**

##### **Описание шкалы оценивания**

*Оценка: 5*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка 5 («отлично»), если РПЗ выполнена полностью в соответствии с заданием и оформлена в соответствии с требованиями, имеет четкое построение, логическую последовательность изложения материала.

*Оценка: 4*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка 4 («хорошо»), если РПЗ выполнена в соответствии с заданием и оформлена в соответствии с требованиями, однако имеет отдельные отклонения и неточности в построении, логической последовательности изложения материала.

*Оценка: 3*

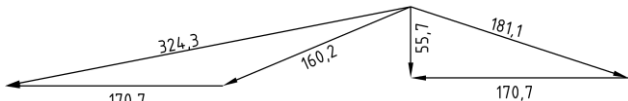
*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка 3 («удовлетворительно»), если РПЗ выполнена в соответствии с заданием и оформлена в соответствии с требованиями, однако имеет отдельные отклонения и нарушения в логическом изложении материала.

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

7 семестр

Форма промежуточной аттестации: Экзамен

Пример билета

МЭИ	ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №XX	Утверждаю
	Кафедра Паровых и газовых турбин	Зав. кафедрой
		Дисциплина «Лопастные машины»
	Институт ЭнМИ	20XX г.
1. Конструкция и принцип действия ступени осевой турбомашинны. 2. Внутренний относительный КПД турбинной ступени. Дополнительные потери энергии. 3. Задача. Определить степень реактивности и относительный лопаточный КПД по заданным треугольникам скоростей одиночной ступени. Коэффициенты скорости $\varphi=0,96$ , $\psi=0,94$ . Сравнить отношение $u/c\varphi$ с оптимальным значением и сделать выводы.		
		

## Процедура проведения

Экзамен проводится в устной форме по билетам согласно программе экзамена. Экзаменационный билет включает два теоретических вопроса и практическую задачу. Время на подготовку - не более 60 мин. Время опроса - не более 30 мин. Для решения практической задачи 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").

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

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-1ПК-1 Демонстрирует знание закономерностей процессов, происходящих в объектах профессиональной деятельности

## Вопросы, задания

1.Примеры теоретических вопросов:

1. Расчет течения в сопловой решетке проточной части турбины.
2. Расчет течения в рабочей решетке проточной части турбины.
3. Треугольники скоростей турбинной ступени.
4. Определение скоростей в характерных сечениях ступени.
5. Процесс расширения пара в турбинной ступени. Степень реактивности.
6. Определение высоты сопловой решетки.
7. Определение высоты рабочей решетки.
8. Усилия, действующие на рабочие лопатки.
9. Мощность ступени. Удельная работа на рабочих лопатках.
10. Располагаемая энергия турбинной ступени. Потери с выходной скоростью. Коэффициент использования выходной скорости.

11. Относительный лопаточный КПД.
12. Оптимальное значение  $u/c\phi$ . Диаграмма потерь в турбинной ступени.
13. Уравнение радиального равновесия.
14. Тепловой процесс в многоступенчатой паровой турбине. Коэффициент возврата теплоты.

**2. Компетенция/Индикатор:** ИД-2<sub>ПК-1</sub> Демонстрирует знание конструкции и принципа работы объектов профессиональной деятельности

### Вопросы, задания

1. Примеры теоретических вопросов:
  1. Конструкция и принцип действия ступени осевой турбомашин.
  2. Реактивные и активные турбинные ступени.
  3. Парциальный подвод пара. Конструкция ступени с парциальным подводом пара.

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. X

Ответы:

XX

Верный ответ: XXX

**3. Компетенция/Индикатор:** ИД-3<sub>ПК-1</sub> Выполняет комплекс расчетов элементов объектов профессиональной деятельности

### Вопросы, задания

1. Примеры теоретических вопросов:
  1. Тепловой расчет турбинной ступени, определение относительного лопаточного КПД и мощности  $N_u$ .
2. Примеры практических задач:

#### Задача № 1

Построить треугольники скоростей и определить удельную работу турбинной ступени. Диаметр ступени  $d_1=d_2=0,91$  м, частота вращения  $n=50$  1/с, проекции абсолютных скоростей на направление оси турбины  $c_1a=c_2a=0,6 \times u$ ; углы  $\alpha_1=14^\circ$  и  $\alpha_2=\pi/2$ .

#### Задача № 2

Рассчитать и построить треугольники скоростей первой ступени отсека, если известно:

$$u_1=u_2=u=250 \text{ м/с};$$

$$c_1=c_2;$$

$$c_1a=c_2a=0,3 \times u;$$

$$\alpha_1=15^\circ;$$

коэффициенты скорости  $\varphi=0,975$ ,  $\psi=0,943$ ;

кинетическая энергия выходной скорости используется полностью в следующей ступени.

Рассчитать окружное усилие  $R_u$ , если расход пара через ступень  $G=150$  кг/с.

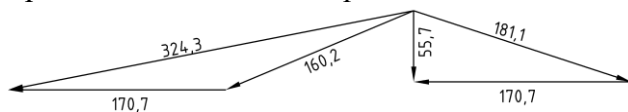
#### Задача № 3

Построить треугольники скоростей, определить удельную работу ступени и окружное усилие. Окружные скорости  $u_1=u_2=0,5 \times c_1u=150$  м/с, относительные скорости равны, проекции абсолютных скоростей на направление оси турбины равны, угол выхода потока из сопловой решетки  $\alpha_1=15^\circ$ .

Какова мощность, развиваемая паром, на лопатках, если расход рабочего тела  $G=300$  кг/с?

#### Задача № 4

Определить степень реактивности и относительный лопаточный КПД по заданным треугольникам скоростей одиночной ступени. Коэффициенты скорости  $\varphi=0,96$ ,  $\psi=0,94$ . Сравнить отношение  $u/c\varphi$  с оптимальным значением и сделать выводы.



#### Задача № 5

Построить треугольники скоростей, определить удельную работу ступени и окружное усилие. Окружные скорости  $u_1=u_2=167$  м/с, абсолютная скорость выхода из рабочей решетки  $c_2=c_2a$ , проекции абсолютных скоростей на направление оси турбины  $c_1a=c_2a=0,32 \times u_2$ , угол выхода потока из сопловой решетки  $\alpha_1=11^\circ$ . Какова мощность, развиваемая паром, на лопатках, если расход рабочего тела  $G=80$  кг/с?

**4. Компетенция/Индикатор:** ИД-4<sub>ПК-1</sub> Разрабатывает конструкцию отдельных элементов объектов профессиональной деятельности

#### Вопросы, задания

1.Примеры теоретических вопросов:

1. Турбинные решетки.
2. Классификация потерь в турбинной решетке.
3. Экспериментальное определение потерь энергии в решетке.
4. Определение расхода пара через решетку с суживающимися каналами при изменении перепада давления.
5. Расширение пара в косом срезе решетки.
6. Выбор сопловых и рабочих решеток по «Атласу» профилей МЭИ.
7. Профилирование лопаточного аппарата турбины.
- 2.1. Внутренний относительный КПД турбинной ступени. Дополнительные потери энергии.
2. Определение потерь от трения диска.
3. Потери, связанные с парциальным подводом пара.
4. Оптимальная степень парциальности.
5. Расчет потерь от утечек через диафрагменное уплотнение.
6. Расчет потерь от утечек через надбандажное уплотнение.
7. Потери от влажности. Методы уменьшения потерь от влажности. Сепарация влаги в турбине.
8. Дополнительные потери. Процесс в  $h,s$ -диаграмме с учетом дополнительных потерь.

#### Материалы для проверки остаточных знаний

1.X

Ответы:

XX

Верный ответ: XXX

**5. Компетенция/Индикатор:** ИД-6<sub>ПК-1</sub> Принимает обоснованные технические решения при проектировании объекта профессиональной деятельности

#### Вопросы, задания

1.Примеры теоретических вопросов:

1. Влияние коэффициента  $u/c\varphi$  на относительный лопаточный КПД активной ступени.
2. Влияние коэффициента  $u/c\varphi$  на относительный лопаточный КПД реактивной ступени.

3. Влияние числа оборотов на оптимальный теплоперепад турбинной ступени.
4. Влияние среднего диаметра на оптимальный теплоперепад турбинной ступени.
5. Влияние степени реактивности на оптимальный теплоперепад турбинной ступени.

### Материалы для проверки остаточных знаний

1.X

Ответы:

XX

Верный ответ: XXX

### II. Описание шкалы оценивания

*Оценка: 5*

*Описание характеристики выполнения знания:* выставляется, если правильно выполнено практическое задание 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 выполнено практическое задание или в нем допущено не более одной ошибки, которая была самостоятельно исправлена обучающимся, и при ответе на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы обучающийся допускает негрубые ошибки.

*Оценка: 3*

*Описание характеристики выполнения знания:* выставляется, если в выполненном практическом задании допущены грубые ошибки, которые затем исправлены обучающимся при участии экзаменатора или практическое задание не выполнено в полном объеме, но обучающийся смог довести решение до конца при участии экзаменатора, и в ответах на вопросы экзаменационного билета допущены ошибки.

### 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.

#### 8 семестр

**Форма промежуточной аттестации:** Экзамен

#### Пример билета

<b>МЭИ</b>	<b>ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № XX</b>	<i>Утверждаю</i>
	<b>Кафедра Паровых и газовых турбин</b>	<b>Зав.кафедрой</b>
		Дисциплина «Лопастные турбомашинны»
	<b>Институт ЭнМИ</b>	<b>20XX г.</b>
1. Предельная мощность однопоточной конденсационной турбины. 2. Глубина и эффективность охлаждения. Оценка расхода охлаждающего воздуха.. 3. Задача: Определить размеры сопловой решетки ступени газовой турбины: $p_0=1,25$ МПа, $t_0=870^\circ\text{C}$ , $\alpha l_{\text{эф}}=23^\circ$ , $\rho=0,35$ , $n=70$ 1/с, $p_2/p_0=0,65$ , $G=270$ кг/с.		

Характеристики газа:

$R_g=290 \text{ Дж}/(\text{кг}\times\text{К})$ ;

$c_{p,g}=1140 \text{ Дж}/(\text{кг}\times\text{К})$ .

Недостающими для расчета величинами задаться самостоятельно.

Определить давление  $p_{1кор}$ , если закрутка ступени  $c_u \times r = const$ .

## Процедура проведения

Экзамен проводится в устной форме по билетам согласно программе экзамена. Экзаменационный билет включает два теоретических вопроса и практическую задачу. Время на подготовку - не более 60 мин. Время опроса - не более 30 мин. Для решения практической задачи 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").

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

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-1<sub>ПК-1</sub> Демонстрирует знание закономерностей процессов, происходящих в объектах профессиональной деятельности

#### **Вопросы, задания**

- 1.1. Сжатие рабочего тела в компрессоре.
2. Треугольники скоростей ступени компрессора.
3. Рабочий процесс в ступени компрессора в  $h,s$ -диаграмме.
4. Степень реактивности ступени компрессора.
5. Многоступенчатый осевой компрессор, процесс в  $h,s$ -диаграмме, назначение поворотного направляющего аппарата.
6. Процесс в  $h,s$ -диаграмме движения рабочего тела в выхлопном патрубке газовой турбины.

#### **Материалы для проверки остаточных знаний**

1.X

Ответы:

XX

Верный ответ: XXX

**2. Компетенция/Индикатор:** ИД-2<sub>ПК-1</sub> Демонстрирует знание конструкции и принципа работы объектов профессиональной деятельности

#### **Вопросы, задания**

- 1.1. Конструкции проточной части многоступенчатой турбины.
2. Двухвенечные ступени. Конструкция, назначение, основы расчета. Треугольники скоростей для двухвенечной ступени.
3. Осерадиальные турбинные ступени.
4. Биротативные турбинные ступени. Конструкция и треугольники скоростей.
5. Конструкция поворотного направляющего аппарата.
6. Конструкция ступени компрессора. Основные геометрические параметры.
7. Конструкция осевого компрессора.
8. Конструкция выхлопного патрубка компрессора.
9. Конструкция выхлопного патрубка.

## Материалы для проверки остаточных знаний

1.Х

Ответы:

XX

Верный ответ: XXX

**3. Компетенция/Индикатор:** ИД-3<sub>ПК-1</sub> Выполняет комплекс расчетов элементов объектов профессиональной деятельности

### Вопросы, задания

1.1. Тепловой расчет ступени компрессора, определение относительного лопаточного КПД и мощности  $N_u$ .

2. Особенности расчета охлаждаемых ступеней.

2.Примеры практических задач:

#### Задача № 1

Оценить максимальную мощность  $N_{э}$ , на которую может быть спроектирована двухцилиндровая турбина с двухпоточным ЦНД. Параметры пара перед ступенью  $p_0=9$  МПа,  $t_0=500^\circ\text{C}$ ; давление в конденсаторе  $p_k=5$  кПа; частота вращения  $n=50$  1/с. Из условий прочности принято, что окружная скорость на среднем диаметре  $u=340$  м/с; отношение  $d_z/l_z=3$ . Потеря с выходной скоростью в последней ступени  $\Delta H_{в.с}=30$  кДж/кг. Относительный внутренний КПД проточной части турбины  $\eta_{oi}=0,84$ ;  $\eta_m=0,99$ ;  $\eta_{эз}=0,99$ . Принято, что мощность турбины, работающей с включенной регенеративной системой на 25% больше мощности турбины при работе без регенеративных отборов при условии одинакового пропуса пара в конденсатор.

#### Задача № 2

Определить потерю с выходной скоростью для турбины, имеющей  $l_2(z)=215$  мм,  $d_2(z)=1,30$  м,  $p_2(z)=0,05$  бар, степень влажности  $y_2(z)=0,1$ , расход пара в конденсатор  $G=6,2$  кг/с, принять для влажного пара  $k=1,135$  и оценить число Маха. (Необходимыми для расчета дополнительными величинами задаться самостоятельно).

#### Задача № 3

Определить размеры сопловой решетки ступени газовой турбины:  $p_0=1,25$  МПа,  $t_0=870^\circ\text{C}$ ,  $\alpha_{лэ\phi}=23^\circ$ ,  $\rho=0,35$ ,  $n=70$  1/с,  $p_2/p_0=0,65$ ,  $G=270$  кг/с.

Характеристики газа:

$R_z=290$  Дж/(кг×К);

$c_{pг}=1140$  Дж/(кг×К).

Недостающими для расчета величинами задаться самостоятельно.

Определить давление  $p_{1кор}$ , если закрутка ступени  $cu \times r = const$ .

#### Задача № 4

Цилиндр высокого давления паровой турбины спроектирован с числом ступеней давления  $z=11$ . Укажите возможные пути и последствия кардинального уменьшения числа ступеней (до  $z=6$ ). Частота вращения и общий теплоперепад ступеней остаются неизменными.

#### Задача № 5

Рассчитать и изобразить треугольники скоростей ступени осевого компрессора, если

$c1=w2$ ;

$c1a=c2a$ ;

$c1u=120$  м/с;

$u1=u2=320$  м/с;



$$\alpha l = 50^\circ.$$

#### Материалы для проверки остаточных знаний

1.X

Ответы:

XX

Верный ответ: XXX

**4. Компетенция/Индикатор:** ИД-4<sub>ПК-1</sub> Разрабатывает конструкцию отдельных элементов объектов профессиональной деятельности

#### Вопросы, задания

1.1. Компрессорные решетки.

2. Классификация потерь в компрессорной решетке.

3. Профилирование лопаточного аппарата компрессора.

4. Коэффициент полных потерь. Определение давления за выхлопным патрубком компрессора. Влияние геометрических параметров.

4. Классификация различных систем охлаждения, дополнительные потери, связанные с охлаждением и оценка коэффициентов скорости в решетках.

#### Материалы для проверки остаточных знаний

1.X

Ответы:

XX

Верный ответ: XXX

**5. Компетенция/Индикатор:** ИД-5<sub>ПК-1</sub> Демонстрирует понимание влияния условий работы объекта профессиональной деятельности на принимаемые конструкционные решения

#### Вопросы, задания

1.1. Предельная мощность однопоточной конденсационной турбины.

2. Осевые усилия в турбинной ступени. Методы уменьшения осевых усилий.

3. Выбор частоты вращения числа валов и цилиндров турбины.

4. Распределение теплоперепадов между ступенями турбины и оптимизация группы ступеней.

5. Проектирование ступеней большой веерности и профилирование для них лопаток.

6. Многоступенчатый осевой компрессор, процесс в  $h,s$ -диаграмме, оценка типа ступени.

7. Особенности определения числа ступеней и распределения теплоперепадов по ступеням охлаждаемых турбин.

#### Материалы для проверки остаточных знаний

1.X

Ответы:

XX

Верный ответ: XXX

**6. Компетенция/Индикатор:** ИД-6<sub>ПК-1</sub> Принимает обоснованные технические решения при проектировании объекта профессиональной деятельности

#### Вопросы, задания

1.1. Влияние степени реактивности на треугольники скоростей и процесс в  $h,s$ -диаграмме.

2. Глубина и эффективность охлаждения. Оценка расхода охлаждающего воздуха.

### **Материалы для проверки остаточных знаний**

1.X

Ответы:

XX

Верный ответ: XXX

### ***II. Описание шкалы оценивания***

*Оценка: 5*

*Описание характеристики выполнения знания:* выставляется, если правильно выполнено практическое задание 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 выполнено практическое задание или в нем допущено не более одной ошибки, которая была самостоятельно исправлена обучающимся, и при ответе на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы обучающийся допускает негрубые ошибки.

*Оценка: 3*

*Описание характеристики выполнения знания:* выставляется, если в выполненном практическом задании допущены грубые ошибки, которые затем исправлены обучающимся при участии экзаменатора или практическое задание не выполнено в полном объеме, но обучающийся смог довести решение до конца при участии экзаменатора, и в ответах на вопросы экзаменационного билета допущены ошибки.

### ***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:**

**8 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.

### ***III. Правила выставления итоговой оценки по курсу***

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