

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Обнинский институт атомной энергетики -

филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования

«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

(ИАТЭ НИЯУ МИФИ)

ОТДЕЛЕНИЕ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ (О)

Одобрено на заседании

УМС ИАТЭ НИЯУ МИФИ

Протокол № 1-8/2022 от 30.08.2022

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Турбомашины АЭС

название дисциплины

для студентов специальности

14.04.01 - «Эксплуатация атомных электрических станций»

код и название специальности

образовательная программа

Эксплуатация атомных электрических станций и установок

Шифр, название специализации/профиля

Форма обучения: очная/заочная

г. Обнинск 2022 г.

Область применения

Фонд оценочных средств (ФОС) – является неотъемлемой частью учебно-методического комплекса учебной дисциплины «Турбомашины АЭС» и предназначен для контроля и оценки образовательных достижений обучающихся, освоивших программу данной дисциплины.

Цели и задачи фонда оценочных средств

Целью Фонда оценочных средств является установление соответствия уровня подготовки обучающихся требованиям федерального государственного образовательного стандарта.

Для достижения поставленной цели Фондом оценочных средств по дисциплине «Турбомашины АЭС» решаются следующие задачи:

- контроль и управление процессом приобретения обучающимися знаний, умений и навыков предусмотренных в рамках данного курса;
- контроль и оценка степени освоения компетенций предусмотренных в рамках данного курса;
- обеспечение соответствия результатов обучения задачам будущей профессиональной деятельности через совершенствование традиционных и внедрение инновационных методов обучения в образовательный процесс в рамках данного курса.

1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы

1.1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

В результате освоения ООП специалитета обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

Коды компетенций	Наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
ПК-3	способен владеть основами проектирования и конструирования оборудования	З-ПК-3 знать основы компьютерных и информационных технологий У-ПК-3 уметь работать с документацией по эксплуатации систем, оборудования, средств измерения, контроля, управления, автоматике, средств вычислительной техники В-ПК-3 владеть навыками оформления результатов проведенных измерений, расчетов и других работ при проектировании и конструировании оборудования

ПК-4	способен использовать в разработке технических проектов новые информационные технологии и алгоритмы	З-ПК-4 знать основы компьютерных и информационных технологий; У-ПК-4 уметь обобщать и анализировать информацию В-ПК-4 владеть информацией по перспективам развития атомной энергетики
ПК-4.1	Способен организовывать и планировать безопасную эксплуатацию оборудования и трубопроводов основных фондов реакторного отделения АЭС	<p>З-ПК-4.1 Знать: требования надзорных органов в части реализации трудовой функции. Реакторное оборудование, блокировочное, сигнальное, контрольно- измерительное оборудование, энергооборудование реакторного отделения АЭС. Основные правила обеспечения эксплуатации АЭС. Нормы и правила по безопасности в области использования атомной энергии в рамках трудовой функции.</p> <p>У-ПК-4.1 Уметь: принимать к рассмотрению результаты входного контроля оборудования трубопроводов, запчастей, приборов, материалов, полуфабрикатов. Анализировать отказы и нарушения в работе оборудования и трубопроводов. Применять в работе передовой отечественный и зарубежный опыт эксплуатации реакторного оборудования. Применять современные информационные технологии</p> <p>В-ПК-4.1 Владеть: Обеспечение оперативных и качественных исследований, нарушений в работе оборудования, выявление причин, вызвавших их, и разработка корректирующих мероприятий по их устранению</p>

1.2. Этапы формирования компетенций в процессе освоения ООП специалитета

Компоненты компетенций, как правило, формируются при изучении нескольких дисциплин, а также в немалой степени в процессе прохождения практик, НИР и во время самостоятельной работы обучающегося. Выполнение и защита ВКР являются видом учебной деятельности, который завершает процесс формирования компетенций.

Этапы формирования компетенции в процессе освоения дисциплины:

- **начальный** этап – на этом этапе формируются знаниевые и инструментальные основы компетенции, осваиваются основные категории, формируются базовые умения. Студент воспроизводит термины, факты, методы, понятия, принципы и правила; решает учебные задачи по образцу;
- **основной** этап – знания, умения, навыки, обеспечивающие формирование компетенции, значительно возрастают, но еще не достигают итоговых значений. На этом этапе студент осваивает аналитические действия с предметными знаниями по дисциплине, способен самостоятельно решать учебные задачи, внося коррективы в алгоритм действий, осуществляя коррекцию в ходе работы, переносит знания и умения на новые условия;
- **завершающий** этап – на этом этапе студент достигает итоговых показателей по заявленной компетенции, то есть осваивает весь необходимый объем знаний, овладевает всеми умениями и навыками в сфере заявленной компетенции. Он способен использовать эти знания, умения, навыки при решении задач повышенной сложности и в нестандартных условиях.

Этапы формирования компетенций в ходе освоения дисциплины отражаются в тематическом плане (см.п. 4 рабочей программы дисциплины).

1.3. Паспорт фонда оценочных средств по дисциплине

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины (результаты по разделам)	Код контролируемой компетенции (или её части) / и ее формулировка	Наименование оценочного средства
Текущий контроль, 8 семестр			
1.	Течение рабочего тела в соплах и диффузорах	ПК-3, ПК-4, ПК-4.1	Индивидуальное домашнее задание
2.	Теория теплового процесса в ступени паровой и газовой турбины	ПК-3, ПК-4, ПК-4.1	Индивидуальное домашнее задание
3.	Тепловой расчет влажнопаровой турбины	ПК-3, ПК-4, ПК-4.1	Индивидуальное домашнее задание
Промежуточный контроль, 8 семестр			
4	экзамен	ПК-3, ПК-4, ПК-4.1	Комплект вопросов к экзамену, экзаменационные билеты.
Всего: 4			
Текущий контроль, 9 семестр			
1.	Расчет проточной части паровых турбин	ПК-3, ПК-4, ПК-4.1	Расчетно-графическая работа (курсовой проект).

			Примеры вариантов задания, методические рекомендации.
Промежуточный контроль, 9 семестр			
	зачет	ПК-3, ПК-4, ПК-4.1	Защита курсовой работы
Всего: 1			

2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

Конечными результатами освоения программы дисциплины являются сформированные когнитивные дескрипторы «знать», «уметь», «владеть», расписанные по отдельным компетенциям, которые приведены в п.1.1. Формирование этих дескрипторов происходит в процессе изучения дисциплины по этапам в рамках различного вида учебных занятий и самостоятельной работы.

Выделяются три уровня сформированности компетенций на каждом этапе: пороговый, продвинутый и высокий.

Уровни	Содержательное описание уровня	Основные признаки выделения уровня	БРС, % освоения	ECTS/Пятибалльная шкала для оценки экзамена/зачета
Высокий <i>Все виды компетенций сформированы на высоком уровне в соответствии с целями и задачами дисциплины</i>	Творческая деятельность	<i>Включает нижестоящий уровень.</i> Студент демонстрирует свободное обладание компетенциями, способен применить их в нестандартных ситуациях: показывает умение самостоятельно принимать решение, решать проблему/задачу теоретического или прикладного характера на основе изученных методов, приемов, технологий	90-100	A/ Отлично/ Зачтено
Продвинутый <i>Все виды компетенций сформированы на продвинутом уровне в соответствии с целями и задачами дисциплины</i>	Применение знаний и умений в более широких контекстах учебной и профессиональной деятельности, нежели по образцу, большей долей самостоятельности и инициативы	<i>Включает нижестоящий уровень.</i> Студент может доказать владение компетенциями: демонстрирует способность собирать, систематизировать, анализировать и грамотно использовать информацию из самостоятельно найденных теоретических источников и иллюстрировать ими теоретические положения или обосновывать практику применения.	85-89	B/ Очень хорошо/ Зачтено
			75-84	C/ Хорошо/ Зачтено
Пороговый <i>Все виды компетенций сформированы на пороговом уровне</i>	Репродуктивная деятельность	Студент демонстрирует владение компетенциями в стандартных ситуациях: излагает в пределах задач курса теоретически и практически контролируемый материал.	65-74	D/Удовлетворительно/ Зачтено
			60-64	E/Посредственно/ Зачтено
Ниже порогового	Отсутствие признаков порогового уровня: компетенции не сформированы. Студент не в состоянии продемонстрировать обладание компетенциями в стандартных ситуациях.		0-59	Неудовлетворительно/ Зачтено

Оценивание результатов обучения студентов по дисциплине осуществляется по регламенту текущего контроля и промежуточной аттестации.

Критерии оценивания компетенций на каждом этапе изучения дисциплины для каждого вида оценочного средства и приводятся в п. 4 ФОС. Итоговый уровень сформированности компетенции при изучении дисциплины определяется по таблице. При этом следует понимать, что граница между уровнями для конкретных результатов освоения образовательной программы может смещаться.

Уровень сформированности компетенции	Текущий контроль	Промежуточная аттестация
высокий	высокий	высокий
	<i>продвинутый</i>	<i>высокий</i>
	<i>высокий</i>	<i>продвинутый</i>
продвинутый	<i>пороговый</i>	<i>высокий</i>
	<i>высокий</i>	<i>пороговый</i>
	продвинутый	продвинутый
	<i>продвинутый</i>	<i>пороговый</i>
	<i>пороговый</i>	<i>продвинутый</i>
пороговый	пороговый	пороговый
ниже порогового	пороговый	ниже порогового
	ниже порогового	-

3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков или опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.

Рейтинговая оценка знаний является интегральным показателем качества теоретических и практических знаний и навыков студентов по дисциплине и складывается из оценок, полученных в ходе текущего контроля и промежуточной аттестации.

Текущий контроль в семестре проводится с целью обеспечения своевременной обратной связи, для коррекции обучения, активизации самостоятельной работы студентов.

Промежуточная аттестация предназначена для объективного подтверждения и оценивания достигнутых результатов обучения после завершения изучения дисциплины.

Текущий контроль осуществляется два раза в семестр: контрольная точка № 1 (КТ № 1) и контрольная точка № 2 (КТ № 2).

Результаты текущего контроля и промежуточной аттестации подводятся по шкале балльно-рейтинговой системы.

Вид контроля	Этап рейтинговой системы Оценочное средство	Балл	
		Минимум	Максимум
Текущий	Контрольная точка № 1		
	Домашнее задание. Раздел «Течение рабочего тела в соплах и диффузорах»	10	20
	Контрольная точка № 2		
	Домашнее задание. Раздел «Тепловые циклы паротурбинной	10	20

	установки»		
Промежуточный	Экзамен	40	60
ИТОГО по дисциплине		60	100

4. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков

6.2.1. Экзамен

а) типовые вопросы к экзамену:

1. Место турбины и турбоустановки в энергоблоке АЭС. Типы турбин АЭС.
2. Конденсационная установка. Понятия предельного и экономического вакуума.
3. Адиабатическое течение пара в канале. Уравнение состояния.
4. Относительный лопаточный к.п.д. осевой ступени турбины. Оптимальное соотношение скоростей.
5. Адиабатическое течение пара в канале. Уравнение неразрывности.
6. Преимущества и недостатки многоступенчатых паровых турбин.
7. Адиабатическое течение пара в канале. Уравнение количества движения.
8. Принципиальные схемы паротурбинных установок. Конденсационные турбины.
9. Адиабатическое течение пара в канале. Уравнение сохранения энергии.
10. Компоновка многоступенчатой паровой турбины. Типы турбин и их классификация.
11. Параметры заторможенного состояния потока, i - s - диаграмма состояния.
12. Ступени скорости и ступени давления.
13. Трение в процессе истечения потока через канал. Располагаемая и действительная работа расширения рабочего тела.
14. Цикл Ренкина и обобщенный цикл Карно с регенеративным подогревом.
15. Турбинная ступень. Конструктивная схема осевой ступени турбомашин. Принцип работы турбинной ступени.
16. Особенности теплового процесса в области влажного пара. Течение влажного пара в турбинных решетках.
17. Принцип работы турбинной ступени. Турбинные решетки (основные элементы конструкции). Классификация решеток турбин.
18. Дополнительные потери в турбомашине с течением влажного пара. Способы уменьшения влаги в проточной части.
19. Тепловой процесс в турбинной ступени. Активный и реактивный принципы работы ступени.
20. Процесс преобразования энергии в турбинной ступени. Треугольники скоростей.
21. Выражение для мощности ступени через скорости с помощью уравнения сохранения энергии.
22. Изображение процесса расширения рабочего тела в ступени в i - s -диаграмме.
23. Многоступенчатые турбины. Ступени давления и ступени скорости многоступенчатой турбины.
24. Элементы паротурбинной установки: конденсационные устройства, насосы, сепараторы-промпрегреватели.
25. Классификация потерь в ступенях турбомашин.
26. Конструкции роторов, решеток рабочих колес, диафрагм.
27. Корпуса ЦВД и ЦНД. Концевые уплотнения.
28. Конструкции турбин АЭС и их особенности.
29. Конструкции рабочих лопаток.
30. Валоповоротное устройство. Назначение и принцип работы.

31. Конструкция роторов цилиндров турбины.
32. Подшипники турбины. Маслохозяйство.
33. Относительный лопаточный к.п.д. осевой ступени турбины. Оптимальное соотношение скоростей.
34. Конструкция ступени турбины. Надбандажное и диафрагменные уплотнения.
35. Бандаж лопаточного аппарата. Назначение и конструкция.
36. Вибрационная надежность рабочих лопаток. Причины возникновения вибраций.
37. Предельная мощность однопоточной турбины.
38. Параметры заторможенного состояния потока, i-s- диаграмма состояния.
39. Способы увеличения мощности однопоточной турбины.
40. Стопорно-регулирующий клапан турбины. Назначение, конструкция, принцип работы.
41. Турбины АЭС с пониженной частотой вращения. Преимущества и недостатки.
42. Конструкция ступени турбины. Надбандажное и диафрагменные уплотнения.

б) критерии оценивания компетенций (результатов):

Оценка	Критерии оценки
Отлично 90-100	<ul style="list-style-type: none"> - полно раскрыто содержание материала экзаменационного билета – материал изложен грамотно, в определенной логической последовательности; - продемонстрировано глубокое знание материала программы курса (части курса) – точно используется терминология; – показано умение иллюстрировать теоретические положения конкретными примерами, применять их в новой ситуации; – продемонстрировано усвоение ранее изученных сопутствующих материалов, сформированность и устойчивость компетенций, умений и навыков; – ответ прозвучал самостоятельно, без наводящих вопросов; – продемонстрирована способность творчески применять знание теории к решению профессиональных задач; – продемонстрировано знание современной учебной и научной литературы; – допущены одна – две неточности при освещении второстепенных вопросов, которые исправляются по замечанию
Хорошо 75-89	<ul style="list-style-type: none"> – вопросы экзаменационного билета изложены систематизированно и последовательно; – продемонстрировано умение анализировать материал, однако не все выводы носят аргументированный и доказательный характер; – продемонстрировано усвоение основной литературы; – ответ удовлетворяет в основном требованиям на оценку «5», но при этом имеет один из недостатков: <ul style="list-style-type: none"> - в изложении допущены небольшие пробелы, не исказившие содержание ответа; - допущены один – два недочета при освещении основного содержания вопроса, исправленные по замечанию преподавателя; - допущены ошибка или более двух недочетов при освещении материала вопроса, которые могут быть относительно просто исправлены по замечанию преподавателя.
Удовлетворительно 60-74	<ul style="list-style-type: none"> - неполно и непоследовательно раскрыто содержание материала вопроса (вопросов) билета, однако показано общее понимание вопросов и продемонстрированы умения, достаточные для дальнейшего усвоения материала;

	<ul style="list-style-type: none"> – даны удовлетворительные ответы на дополнительные вопросы; – имелись затруднения или допущены ошибки в определении понятий, использовании терминологии, исправленные после нескольких наводящих вопросов; – выявлена недостаточная сформированность компетенций, умений и навыков; – продемонстрировано усвоение основной литературы.
Неудовлетворительно Менее 60	<ul style="list-style-type: none"> – не раскрыто основное содержание программного материала; – обнаружено незнание или непонимание большей или наиболее важной части учебного материала, требуемого при формировании компетенций курса АЭС; – допущены ошибки в определении понятий, при использовании терминологии, которые не исправлены после нескольких наводящих вопросов. – не сформированы компетенции, умения и навыки.

в) описание шкалы оценивания:

Уровни	Содержательное описание уровня	Основные признаки выделения уровня	БРС, % освоения	ECTS/Пятибалльная шкала для оценки экзамена/зачета
Высокий Все виды компетенций сформированы на высоком уровне в соответствии с целями и задачами дисциплины	Творческая деятельность	<i>Включает нижестоящий уровень.</i> Студент демонстрирует свободное обладание компетенциями, способен применить их в нестандартных ситуациях: показывает умение самостоятельно принимать решение, решать проблему/задачу теоретического или прикладного характера на основе изученных методов, приемов, технологий	90-100	A/ Отлично/ Зачтено
Продвинутый Все виды компетенций сформированы на продвинутом уровне в соответствии с целями и задачами дисциплины	Применение знаний и умений в более широких контекстах учебной и профессиональной деятельности, нежели по образцу,	<i>Включает нижестоящий уровень.</i> Студент может доказать владение компетенциями: демонстрирует способность собирать, систематизировать, анализировать и грамотно использовать информацию из самостоятельно	85-89	B/ Очень хорошо/ Зачтено
			75-84	C/ Хорошо/ Зачтено

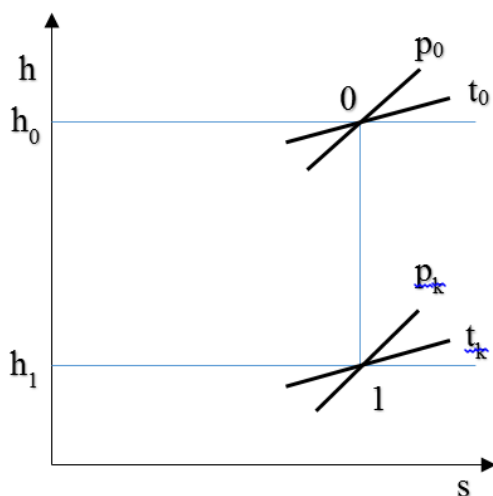
	большой долей самостоятельности и инициативы	найденных теоретических источников и иллюстрировать ими теоретические положения или обосновывать практику применения.		
Пороговый Все виды компетенций сформированы на пороговом уровне	Репродуктивная деятельность	Студент демонстрирует владение компетенциями в стандартных ситуациях: излагает в пределах задач курса теоретически и практически контролируемый материал.	65-74	Д/Удовлетворительно/ Зачтено
			60-64	Е/Посредственно /Зачтено
Ниже порогового	Отсутствие признаков порогового уровня: компетенции не сформированы. Студент не в состоянии продемонстрировать обладание компетенциями в стандартных ситуациях.		0-59	Неудовлетворительно/ Не зачтено

6.2.2. Индивидуальное домашнее задание

а) типовые задания (вопросы) - образец:

1. ТЕПЛОВЫЕ ЦИКЛЫ ТУРБИНОЙ УСТАНОВКИ

1.1. Найти, пользуясь таблицами водяного пара, располагаемый теплоперепад H_0 , если начальные параметры пара $p_0 = 32$ ата, $t_0 = 400^\circ \text{C}$, давление отработавшего пара $p_k = 0,04$ ата.



h-s диаграмма расширения пара

Решение:

Располагаемый теплоперепад: $H_0 = h_0 - h_1$

$p_0 = 32$ ата = 31,3824 бар;

$p_k = 0,04$ ата = 0,03923 бар;

Пользуясь таблицами водяного пара, получим:

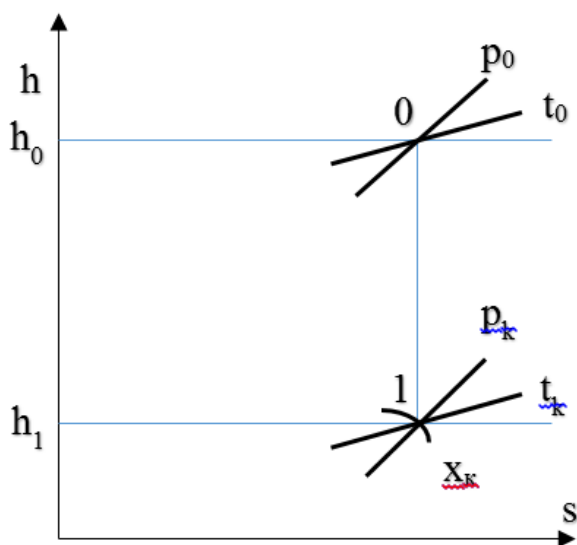
$$h_0 = 3239,2 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right], s_0 = 6,8998 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \right]$$

$$h_1 = 2066,5 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right], s_1 = s_0 = 6,8998 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \right]$$

$$H_0 = 3239,2 - 2066,5 = 1162,7 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right]$$

Ответ: $H_0 = 1162,7 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right]$

1.2. Определить, пользуясь таблицами водяного пара, начальные параметры пара: давление p_0 и температуру t_0 , при которых располагаемый теплоперепад $H_0 = 325,7$ ккал/кг. Давление отработавшего пара $p_k = 0,045$ ата и сухость пара в конце адиабатического расширения $x_k = 0,8$.



h-s диаграмма расширения пара

Решение:

$$H_0 = 325,7 \left[\frac{\text{ккал}}{\text{кг}} \right] = 1363,32 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right]$$

$$p_k = 0,045 \text{ ата} = 0,044132 \text{ бар};$$

$$\text{Располагаемый теплоперепад: } H_0 = h_0 - h_1$$

$$\rightarrow h_0 = H_0 + h_1$$

Пользуясь таблицами водяного пара, получим:

$$h_1 = 2071,1 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right],$$

$$\text{Тогда } h_0 = 1363,32 + 2071,1 = 3434,42 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right]$$

$$s_0 = 10,2 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \right]$$

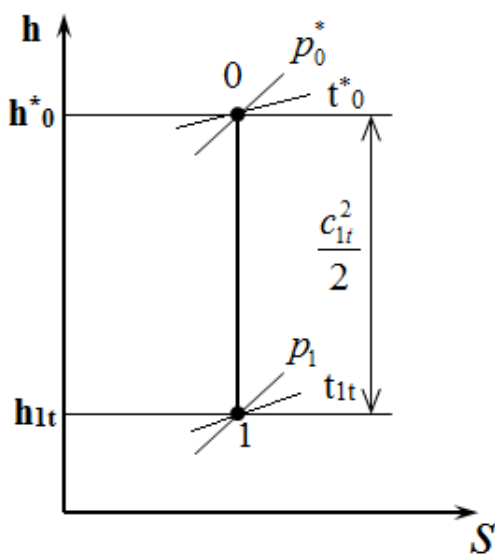
Пользуясь h-s диаграммой при h_0 и s_0 находим:

$$t_0 = 501^\circ\text{C}, p_0 = 52 \text{ бар}$$

Ответ: $t_0 = 501^\circ\text{C}$, $p_0 = 52$ бар

1.3. Определить расход пара D в турбине с противодавлением, если начальные параметры пара: $p_0 = 40$ ата, $t_0 = 420^\circ\text{C}$ и $v_0 = 0,0816 \text{ м}^3/\text{кг}$. Пар перегретый, показатель адиабаты $k = 1,3$. Степень расширения пара в турбине $p_2/p_0 = 1,3$. Относительный к.п.д. $\eta_{oe} = 0,78$. Мощность турбины $N_e = 4000$ кВт.

Решение:



$$p_0 = 40 \text{ ата} = 39,228 \text{ бар}$$

Процесс расширения пара происходит в области перегретого пара, поэтому располагаемый теплоперепад можно найти по законам для идеального газа, то есть

$$p_0^* = p_0 \text{ и } t_0^* = t_0$$

$$N_e = D \cdot \eta_{oe} \cdot h_1^*$$

$$\frac{c_{1t}^2}{2} = h_0^* - h_{1t} = h_1^*$$

$$p_0^* v_0^* = R T_0^*$$

$$h_1^* = \frac{k}{k-1} \cdot R \cdot t_0^* \cdot \left[1 - \left(\frac{p_1}{p_0^*} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right] = \frac{k}{k-1} \cdot p_0^* \cdot v_0^* \cdot \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_0^*} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]$$

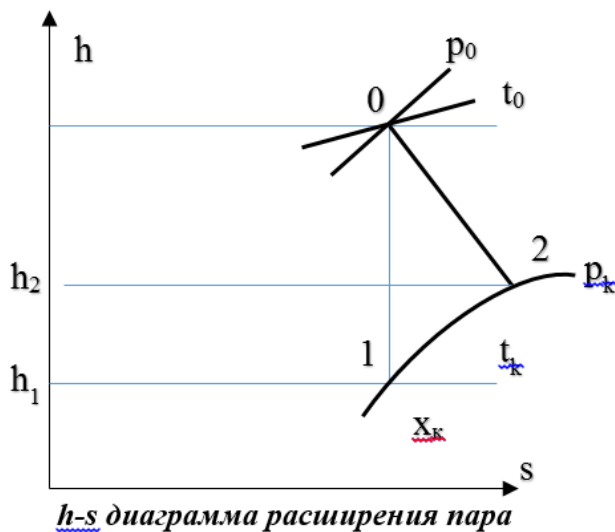
$$h_1^* = \frac{1,3}{1,3-1} \cdot 39,228 \cdot 10^5 \cdot 0,0816 \cdot \left[1 - (0,13)^{\frac{1,3-1}{1,3}} \right] = 520,87 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right]$$

$$D = \frac{N_e}{\eta_{oe} \cdot h_1^*} = \frac{4000 \cdot 10^3}{0,78 \cdot 520,87 \cdot 10^3} = 9,845 \left[\frac{\text{кг}}{\text{с}} \right] = 35,44 \left[\frac{\text{т}}{\text{ч}} \right]$$

Ответ: $D = 9,845 \left[\frac{\text{кг}}{\text{с}} \right] = 35,44 \left[\frac{\text{т}}{\text{ч}} \right]$

1.4. Параметры пара перед турбиной: давление $p_0 = 87$ ата, $t_0 = 500^\circ \text{C}$; давление в конденсаторе $p_k = 0,04$ ата. Внутренний относительный к.п.д. турбины $\eta_{oi} = 0,84$. Найти состояние пара после расширения в турбине.

Решение:



$$p_0 = 87 \text{ ата} = 85,3029 \text{ бар};$$

$$p_k = 0,04 \text{ ата} = 0,039238 \text{ бар};$$

Точка 1: состояние пара после расширения в идеальном цикле.

Точка 2: состояние пара после расширения в реальном цикле

$$\text{Относительный внутренний КПД: } \eta_{oi} = \frac{h_0 - h_2}{h_0 - h_1},$$

$$h_0 = 3393 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right]; s_0 = s_1 = 6,6903 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \right]$$

$$h_1 = 2066,5 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right]$$

Выразим h_2 из формулы (1), тогда получим:

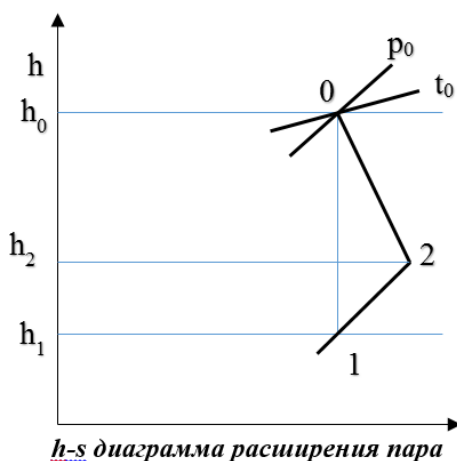
$$h_2 = h_0 - \eta_{oi} \cdot (h_0 - h_1) = 3393 - 0,84 \cdot (3393 - 2066,5) = 2278,74 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right]$$

Пользуясь таблицами водяного пара:

$$s_2 = 7,57 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \right], x_2 = 0,887; y_2 = 1 - x_2 = 0,113; t_2 = 28,9^\circ \text{C}$$

Ответ: $s_2 = 7,57 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \right], x_2 = 0,887; y_2 = 0,113; t_2 = 28,9^\circ \text{C}$

1.5. При испытании конденсационной турбины были измерены: мощность турбины на муфте $N_e = 12340$ кВт, расход пара $D = 55$ т/час, начальное давление $p_0 = 24,0$ ата, начальная температура $t_0 = 380^\circ \text{C}$, давление в конденсаторе $p_k = 0,045$ ата. Требуется определить удельный расход пара d_e и тепла q_e , относительный η_{oe} и абсолютный η_e коэффициенты полезного действия. Турбина работает без регенерации.



Решение:

$$p_0 = 24,0 \text{ ата} = 23,5368 \text{ бар}$$

$$h_0 = 3197,7 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right]; s_0 = s_1 = 6,980 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \right]$$

$$h_1 = 2071,1 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right]; D = 55 \left[\frac{\text{т}}{\text{час}} \right] = 15,28 \left[\frac{\text{кг}}{\text{с}} \right]$$

Точка 1 и 2 – состояния пара после расширения в идеальном и реальном цикле соответственно.

$$d_e = \frac{D}{N_e}$$

$$q_e = d_e \cdot (h_0 - h'_k)$$

$$\eta_{oe} = \frac{N_e}{D \cdot h_1^*}; \eta_e = \frac{h_0 - h_1}{h_0 - h'_k}$$

$$h_1^* = h_0 - h_1 = 3197,7 - 2071,1 = 1126,6 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right]$$

$$\eta_{oe} = \frac{N_e}{D \cdot h_1^*} = \frac{12340 \cdot 10^3}{15,28 \cdot 1126,6 \cdot 10^3} = 0,72$$

$$d_e = \frac{D}{N_e} = \frac{15,28}{12340 \cdot 10^3} = 4,5 \left[\frac{\text{кг}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}} \right]; h'_k = 128,34 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right]$$

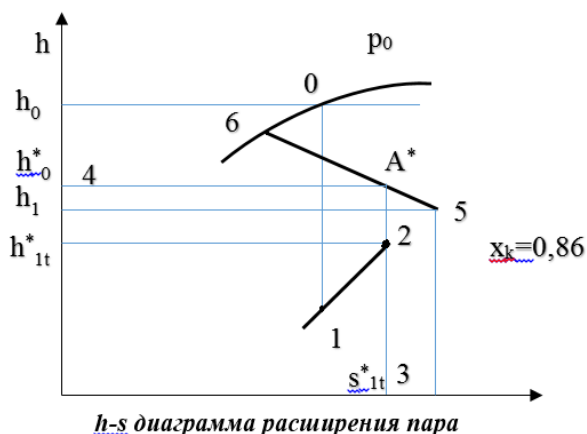
$$q_e = d_e \cdot (h_0 - h'_k) = 4,5 \cdot (3197,7 - 128,34) = 13812,12 \left[\frac{\text{Дж}}{\text{Вт} \cdot \text{ч}} \right]$$

$$\eta_e = \frac{h_0 - h_1}{h_0 - h'_k} = \frac{1126,6}{3197,7 - 128,34} = 0,37$$

Ответ: $\eta_{oe} = 0,75; \eta_e = 0,37; d_e = 4,5 \left[\frac{\text{кг}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}} \right]; q_e = 13812,12 \left[\frac{\text{Дж}}{\text{Вт} \cdot \text{ч}} \right]$

1.6. Какая наименьшая температура пара t_0 должна быть перед турбиной сверхвысоких параметров (СВК-150) без промежуточного перегрева, чтобы при начальном давлении $p_0 = 160$ ата и давлении в конденсаторе $p_k = 0,045$ ата влажность пара за турбиной не превышала $y_k = 0,14$? Относительный внутренний к.п.д. турбины $\eta_{oi} = 0,82$

Решение:



$$p_0 = 160 \text{ ата} = 156,9 \text{ бар}$$

$$p_k = 0,045 \text{ ата} = 0,044 \text{ бар}, h_1 = 2320 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right]$$

$$y_k = 0,14 \rightarrow x_k = 1 - y_k = 1 - 0,14 = 0,86$$

Предположим, что $h_{1t} < h_1$.

$$\text{Примем } h_{1t} = h^*_{1t} = 2000 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right], s^*_{1t} = 6,59 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \right]$$

$$\eta_{oi} = \frac{h_0 - h_1}{h_0 - h_{1t}} \rightarrow h_0 = \frac{h_1 - \eta_{oi} \cdot h_{1t}}{1 - \eta_{oi}}$$

$$h_0 = \frac{h_1 - \eta_{oi} \cdot h_{1t}}{1 - \eta_{oi}} = \frac{2220 - 0,82 \cdot 2000}{1 - 0,82} = 3222,2 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right]$$

Из т.3 проведем перпендикулярно до пересечения с прямой, перпендикулярной и т.4, получим точку А*

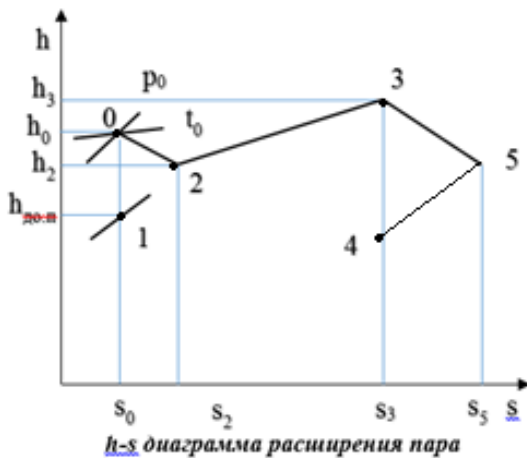
Из т.5 проводим прямую через т. А* до пересечения с изобарной p_0 , получим т.6, это и есть наша искомая точка.

Пользуясь h-s диаграммой расширения пара находим t_0 : $t_0 = 555^\circ\text{C}$

Ответ: $t_0 = 555^\circ\text{C}$

1.7. Конденсационная турбина сверхвысоких параметров ($p_0 = 170$ ата, $t_0 = 550^\circ\text{C}$, $p_k = 0,04$ ата) имеет промежуточный газовый перегрев пара до температуры $t_n = 520^\circ\text{C}$. Давление пара перед вторичным перегревом $p_1 = 35$ ата. Потеря давления в тракте промежуточного перегрева $\Delta p = 6$ ат. Внутренние к.п.д. части высокого давления $\eta_{oi}^{вд} = 0,73$ и части низкого давления $\eta_{oi}^{нд} = 0,83$. Определить абсолютный к.п.д. цикла $\eta_i^{nn} = 0,83$

Решение:



Т.1 и т.2 состояния пара после расширения в идеальном и реальном цикле соответственно.

Т.4 и т.5 состояния пара после расширения в идеальном и реальном цикле соответственно.

$$p_0 = 170 \text{ ата} = 166,719 \text{ бар}$$

$$h_0 = 3430 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right]; s_0 = 6,45 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \right]$$

При адиабатическом расширении пара в ЦВД до давления:

$$p_k = 0,04 \text{ ата} = 0,039 \text{ бар}$$

$$p_1 = 35 \text{ ата} = 34,32 \text{ бар}; \Delta p = 6 \text{ ата} = 5,88 \text{ бар}$$

$$h'_{\text{к}} = 119 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right]$$

Рассмотрим расширение пара в ЦВД и ЦНД:

1. ЦВД

$$h_{\text{до.п}} = 2975 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right]; s_0 = s_{\text{до.п}} = 6,45 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \right]$$

$$\text{Располагаемый теплоперепад: } N_{\text{расп}} = h_0 - h_{\text{до.п}} = 3430 - 2975 = 455 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right]$$

$$\text{Используемый теплоперепад: } N_{\text{исп.}} = N_{\text{расп.}} \times \eta_{oi}^{\text{ЦВД}} = 455 \cdot 0,73 = 332 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right]$$

$$h_2 = h_0 - N_{\text{исп.}} = 3430 - 332 = 3098 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right]; s_2 = 6,66 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \right]$$

2. ЦНД

$$p_{\text{II}} = p_1 - \Delta p = 34,32 - 5,88 = 28,44 \text{ бар}$$

$$t_{\text{II}} = 520^\circ \text{C}$$

$$h_3 = 3505 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right]; s_3 = 7,32 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \right]$$

$$h_4 = 2330 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right]$$

$$\text{Располагаемый теплоперепад: } N_{\text{расп.}} = h_3 - h_4 = 3505 - 2330 = 1295 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right]$$

$$\text{Используемый теплоперепад: } N_{\text{исп.}} = N_{\text{расп.}} \times \eta_{\text{oi}}^{\text{ЦНД}} = 1295 \cdot 0,83 = 1075 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right]$$

$$h_5 = h_3 - N_{\text{исп.}} = 3505 - 1075 = 2430 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right]; s_5 = 8,08 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \right]$$

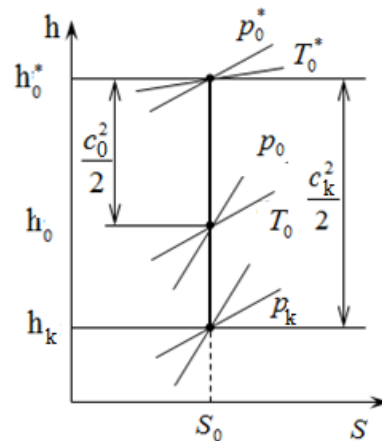
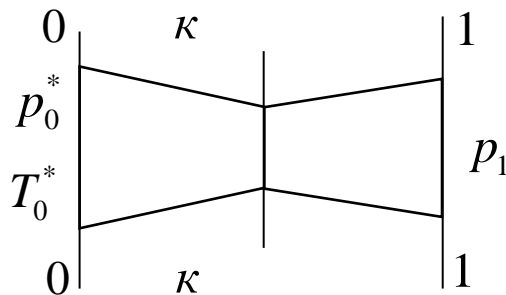
Абсолютный к.п.д. цикла ПТУ с ПП пара составит:

$$\eta_{\text{oi}}^{\text{mn}} = \frac{h_0 - h_2 + h_3 - h_5}{h_0 - h_k + h_3 - h_2} = \frac{3430 - 3098 + 3505 - 2430}{3430 - 119 + 3505 - 3098} = 0,378$$

2. ИСТЕЧЕНИЕ ПАРА И РАСЧЕТ СОПЕЛ

2.1. Найти критическую скорость пара в сопле, если начальное давление $p_0 = 11 \text{ ата}$, начальная температура $t_0 = 280^\circ \text{C}$ и начальная скорость $c_0 = 200 \text{ м/с}$.

Решение:



$$p_0 = 11 \text{ ата} = 10,79 \text{ бар}$$

$$h_0 = 3010 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right]; s_0 = 7,0 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \right]$$

$$\frac{c_0^2}{2} = h_0^* - h_0 \rightarrow h_0^* = \frac{c_0^2}{2} + h_0 = \frac{200^2}{2} + 3010 = 3030 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \right];$$

$$p_0^* = 11,8 \text{ бар}$$

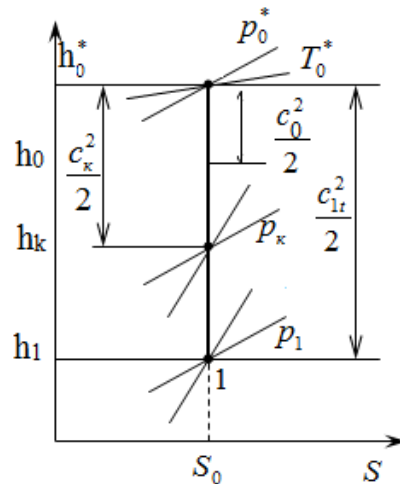
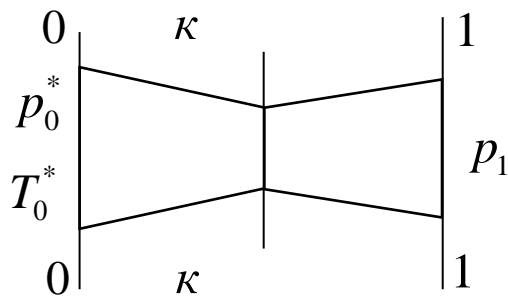
$$\frac{p_k}{p_0^*} = 0,5457 \rightarrow p_k = 6,44 \text{ бар} \rightarrow h_k = 2860 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right]$$

$$\frac{c_k^2}{2} = h_0^* - h_k \rightarrow c_k = \sqrt{2(h_0^* - h_k)} = 583,1 \left[\frac{\text{м}}{\text{с}} \right]$$

Ответ: $c_k = 583,1 \left[\frac{\text{м}}{\text{с}} \right]$

2.2. Параметры пара перед соплом: $p_0 = 30$ ата, $t_0 = 400^\circ \text{C}$, давление пара за соплом $p_1 = 18$ ата. Скорость истечения пара при адиабатическом расширении равна критической. Найти скорость c_0 , с которой пар подходит к соплу.

Решение:



$$p_0 = 30 \text{ ата} = 29,4 \text{ бар}; h_0 = 3235 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right]; s_0 = 6,95 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \right]$$

$$p_1 = 18 \text{ ата} = 17,65 \text{ бар}; h_1 = 3090 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right]. \text{ Т.к. } c_1 = c_k \rightarrow h_1 = h_k = 3090 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right]$$

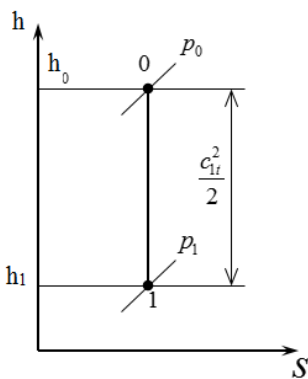
$$\text{Для перегретого пара: } \frac{p_k}{p_0^*} = 0,5457 \rightarrow p_0^* = 31,7 \text{ бар} \rightarrow h_0^* = 3270 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right]$$

$$c_1 = \sqrt{2(h_0^* - h_1)} = 600 \left[\frac{\text{м}}{\text{с}} \right]$$

$$\begin{cases} \frac{c_1^2}{2} = h_0^* - h_1 \\ \frac{c_0^2}{2} = h_0^* - h_0 \end{cases} \Rightarrow \frac{c_0^2}{2} = -(-h_1 + h_0) + \frac{c_1^2}{2} \Rightarrow c_0 = 264,6 \left[\frac{\text{м}}{\text{с}} \right]$$

Ответ: $c_0 = 264,6 \left[\frac{\text{м}}{\text{с}} \right]$

2.3. Найти площадь минимального $F_{\text{мин}}$ и выходного F_1 сечений расширяющегося сопла, если известны параметры пара перед соплом $p_0 = 10$ ата, $t_0 = 300^\circ \text{C}$. Давление за соплом $p_1 = 2,5$ ата. Расход пара $G = 0,2$ кг/с. Истечение пара с потерями. Коэффициент скорости $\varphi = 0,93$ и постоянен по длине сопла.



Решение:

Т.к процесс расширения происходит в области перегретого пара, то располагаемый теплоперепад можно найти по законам для идеального пара.

$$\frac{c_1^2}{2} = \varphi \cdot (h_0 - h_1)$$

$$p_0 = 10 \text{ ата} = 9,8 \text{ бар}; h_0 = 3055 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right]$$

$$p_1 = 2,5 \text{ ата} = 2,45 \text{ бар}; h_1 = 2745 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right]$$

$$c_1 = \sqrt{2\varphi \cdot (h_0 - h_1)} = 759,3 \left[\frac{\text{м}}{\text{с}} \right]$$

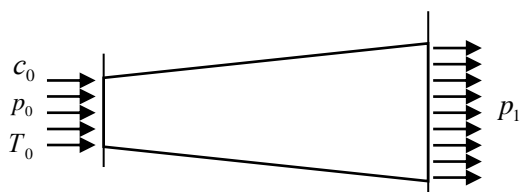
Площадь выходного сечения сопла: $F_1 = \frac{G \cdot v_1}{c_1} = \frac{0,2 \cdot 0,74}{759,3} = 1,95 \text{ см}^2$

Площадь минимального сечения сопла: $F_\kappa = F_{\min} = \frac{G \sqrt{T_0}}{b p_0} = \frac{0,2 \cdot \sqrt{573}}{0,0404 \cdot 9,8 \cdot 10^5} = 1,2 \text{ см}^2$

Ответ: $F_1 = 1,95 \text{ см}^2$; $F_\kappa = F_{\min} = 1,2 \text{ см}^2$

2.4. Расход через суживающее сопло при начальных параметрах пара $p_0 = 16 \text{ ата}$, $t_0 = 350^\circ \text{ С}$, начальной скорости $c_0 = 240 \text{ м/с}$ и противодавлении $p_1 = 9,5 \text{ ата}$ составляет $G = 0,6 \text{ кг/с}$. Чему должно быть равно давление за соплом p_{11} (при неизменных начальных параметрах и скорости c_0), чтобы расход уменьшился до $G = 0,45 \text{ кг/с}$?

Решение:



$$p_0 = 16 \text{ ата} = 15,7 \text{ бар}$$

$$p_1 = 9,5 \text{ ата} = 9,3 \text{ бар}$$

$$\frac{p_1}{p_0} = 0,59375 \rightarrow \frac{p_\kappa}{p_0} = 0,5283$$

Показатель адиабаты $k = 1,4$

Скорость звука сечении 0-0: $a_0 = \sqrt{kRT_0} = 500 \left[\frac{\text{м}}{\text{с}} \right] \rightarrow M_0 = \frac{c_0}{a_0} = 0,48$

Пользуясь таблицами газодинамических функций находим: $\Pi_0 = 0,8616$, $f_0 = 1,1239$

$$\frac{G_0}{G_{11}} = \frac{f_0 \cdot q_0}{f_{11} \cdot q_{11}} = \frac{f_0}{f_{11}} \Rightarrow f_{11} = \frac{G_{11}}{G_0} \cdot f_0 = 0,843 \Rightarrow \Pi_{11} = 0,1205$$

$$\Pi_{11} = \frac{p_{11}}{p_0} \Pi_0 \Rightarrow p_{11} = 2,2 \text{ бар}$$

Ответ: $p_{11} = 2,2 \text{ бар}$

2.5. Параметры пара перед соплом: $p_0 = 35$ ата, $t_0 = 435^\circ \text{C}$. Расход пара равен $G = 0,35$ кг/с. Определить расход пара при новых начальных параметрах: $p_{01} = 29$ ата и $t_{01} = 400^\circ \text{C}$. Противодавление $p_1 = 15$ ата остается постоянным.

Решение:

$$p_0 = 35 \text{ ата} = 34,3 \text{ бар}$$

$$p_{01} = 29 \text{ ата} = 28,4 \text{ бар}$$

$$p_1 = 15 \text{ ата} = 14,7 \text{ бар}$$

$$\frac{p_1}{p_0} = 0,42857; \quad \frac{p_1}{p_{01}} = 0,5172$$

Т.к $\frac{p_1}{p_0}$ и $\frac{p_1}{p_{01}} < \frac{p_k}{p_0} = 0,5283$, то можно сделать вывод, что сопло имеет форму сопла Лаваля.

Принимаем в таком случае формулу: $F = \frac{G\sqrt{T_0}}{b \cdot p_0}$; $b = f(R, k) = \text{const}$, т.к среда не меняется

$$\frac{G \cdot \sqrt{T_0}}{b \cdot p_0} = \frac{G_{01} \cdot \sqrt{T_{01}}}{b \cdot p_{01}} \Rightarrow G_{01} = G \cdot \sqrt{\frac{T_0}{T_{01}}} \cdot \frac{p_{01}}{p_0} = 0,297 \left[\frac{\text{кг}}{\text{с}} \right]$$

Ответ: $G_{01} = 0,297 \left[\frac{\text{кг}}{\text{с}} \right]$

3. РАСЧЕТ СТУПЕНИ

3.1. Параметры пара перед соплами активной ступени: давление $p_0 = 20$ ата, температура $t_0 = 330^\circ \text{C}$. Давление пара за ступенью $p_2 = 15$ ата. Отношение окружной скорости к скорости истечения пара из сопел $u/c_1 = 0,45$. Угол наклона сопел $\alpha_1 = 13^\circ$. Входной и выходной углы лопаток равны $\beta_1 = \beta_2$. Коэффициент скорости $\varphi = 0,95$. Построить треугольники скоростей и определить c_2 и ω_2 – абсолютную и относительную скорости выхода пара из рабочих лопаток.

Решение:

$$p_0 = 20 \text{ ата} = 19,61 \text{ бар}; \quad h_0 = 3090 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right]; \quad s_0 = 6,88 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \right]$$

$$p_2 = 15 \text{ ата} = 14,71 \text{ бар}; \quad h_{2t} = 3020 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right]$$

$$c_1 = \varphi \cdot \sqrt{h_0 - h_{2t}} = 0,95 \cdot \sqrt{3090 - 3020} = 251,35 \left[\frac{\text{м}}{\text{с}} \right]$$

Отношение окружной скорости к скорости истечения пара из сопел: $u/c_1 = 0,45$

$$\rightarrow u = 0,45 \cdot c_1 = 0,45 \cdot 251,35 = 113,11 \left[\frac{\text{м}}{\text{с}} \right]$$

$$\text{tg } \beta_1 = \frac{\sin \alpha_1}{\cos \alpha_1 - u/c_1} = \frac{\sin 13^\circ}{\cos 13^\circ - 0,45} = 0,429 \rightarrow \beta_1 = \text{arctg} 0,429 = 23,22^\circ$$

$$\omega_1 = c_1 \cdot \frac{\sin \alpha_1}{\sin \beta_1} = 251,35 \cdot \frac{\sin 13^\circ}{\sin 23,22^\circ} = 140,5 \left[\frac{\text{м}}{\text{с}} \right]$$

$\omega_2 = \psi \cdot \omega_1$, где ψ - коэффициент скорости для лопаток берем по графику.

Берем: $\psi = 0,866 \rightarrow \omega_2 = \psi \cdot \omega_1 = 0,866 \cdot 140,5 = 121,67 \left[\frac{м}{с} \right]$

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{\sin \beta_2}{\cos \beta_2 - u/\omega_2} = \frac{\sin 23,22^\circ}{\cos 23,22^\circ - 113,11/121,67} = 50 \rightarrow \alpha_2 = \operatorname{arctg} 50 = 89^\circ$$

$$c_2 = \omega_2 \cdot \frac{\sin \beta_2}{\sin \alpha_2} = 121,67 \cdot \frac{\sin 23,22^\circ}{\sin 89^\circ} = 47,6 \left[\frac{м}{с} \right]$$

Треугольники скоростей:



Ответ: $c_2 = 47,6 \left[\frac{м}{с} \right]$; $\omega_2 = 121,67 \left[\frac{м}{с} \right]$

3.2. Параметры пара перед ступенью: $p_0 = 32$ ата и $t_0 = 450^\circ \text{C}$. Располагаемый теплоперепад ступени $h_0 = 20$ ккал/кг. Расход пара $D = 100$ т/час. Чему будут равны выхлопные площади сопел F_1 и лопаток F_2 если ступень выполнена со степенью реакции 1) $\rho = 0$; 2) $\rho = 0,1$. При расчете принять $u/c_1 = 0,45$. Выходной угол сопел $\alpha_1 = 14^\circ$. Коэффициенты скорости: $\varphi = 0,96$, $\psi = 0,90$

Решение:

$$p_0 = 32 \text{ ата} = 31,38 \text{ бар}; h_0 = 20 \text{ ккал/кг} = 83,6 \left[\frac{кДж}{кг} \right]; D = 100 \text{ т/час} = 27,78 \left[\frac{кг}{с} \right]$$

Площадь выходного сечения сопла: $F_1 = \frac{G \cdot v_{1t}}{c_{1t}} = \left[\text{см}^2 \right]$; $F_2 = \frac{G \cdot v_{2t}}{\omega_{2t}} = \left[\text{см}^2 \right]$, где $G = 27,8 \left[\frac{кг}{с} \right]$

$$c_{1t} = \sqrt{2 \cdot h_0 \cdot (1 - \rho)}$$

$$\omega_{2t} = \sqrt{\omega_{1t}^2 + \frac{\rho}{1 - \rho} \cdot c_{1t}^2}$$

Используясь таблицами водяного пара и h-s диаграммой расширения пара.

$$v_{1t} = 0,11 \left[\frac{M^3}{KZ} \right]; p_1 = 25,3 \text{ бар}; t_1 = 410^\circ \text{ C}$$

$$v_{2t_1} = 0,16 \left[\frac{M^3}{KZ} \right]; v_{2t_2} = 0,13 \left[\frac{M^3}{KZ} \right]; p_2 = 17 \text{ бар}; h_{2t} = 3245 \left[\frac{KДЖ}{KZ} \right]$$

1) $\rho = 0$

$$c_{1t} = \sqrt{2 \cdot h_0 \cdot (1 - \rho)} = \sqrt{2 \cdot h_0} = \sqrt{2 \cdot 83,6 \cdot 10^3} = 408,9 \left[\frac{M}{c} \right]$$

$$c_1 = \varphi \cdot c_{1t} = 0,96 \cdot 408,9 = 392,5 \left[\frac{M}{c} \right]$$

Отношение окружной скорости к скорости истечения пара из сопел: $u/c_1 = 0,45$

$$\rightarrow u = 0,45 \cdot c_1 = 0,45 \cdot 392,5 = 176,6 \left[\frac{M}{c} \right].$$

$$\operatorname{tg} \beta_1 = \frac{\sin \alpha_1}{\cos \alpha_1 - u/c_1} = \frac{\sin 14^\circ}{\cos 14^\circ - 0,45} = 0,465 \rightarrow \beta_1 = \operatorname{arctg} 0,465 = 25^\circ$$

$$\omega_1 = c_1 \cdot \frac{\sin \alpha_1}{\sin \beta_1} = 392,5 \cdot \frac{\sin 14^\circ}{\sin 25^\circ} = 224,68 \left[\frac{M}{c} \right]$$

$$\omega_{2t} = \sqrt{\omega_{1t}^2 + \frac{\rho}{1 - \rho} \cdot c_{1t}^2} = \sqrt{224,68^2} = 224,68 \left[\frac{M}{c} \right]$$

Площадь выходного сечения сопла:

$$F_1 = \frac{G \cdot v_{1t}}{c_{1t}} = \frac{27,8 \cdot 0,11}{408,9} = 74,8 \left[\text{cm}^2 \right];$$

$$F_2 = \frac{G \cdot v_{2t}}{\omega_{2t}} = \frac{27,8 \cdot 0,16}{224,68} = 197,97 \left[\text{cm}^2 \right]$$

2) $\rho = 0,1$

$$c_{1t} = \sqrt{2 \cdot h_0 \cdot (1 - \rho)} = \sqrt{2 \cdot 83,6 \cdot 10^3 \cdot (1 - 0,1)} = 387,9 \left[\frac{M}{c} \right]$$

$$c_1 = \varphi \cdot c_{1t} = 0,96 \cdot 387,9 = 372,4 \left[\frac{M}{c} \right]$$

Отношение окружной скорости к скорости истечения пара из сопел: $u/c_1 = 0,45$

$$\rightarrow u = 0,45 \cdot c_1 = 0,45 \cdot 372,4 = 167,6 \left[\frac{M}{c} \right].$$

$$\operatorname{tg} \beta_1 = \frac{\sin \alpha_1}{\cos \alpha_1 - u/c_1} = \frac{\sin 14^\circ}{\cos 14^\circ - 0,45} = 0,465 \rightarrow \beta_1 = \operatorname{arctg} 0,465 = 25^\circ$$

$$\omega_1 = c_1 \cdot \frac{\sin \alpha_1}{\sin \beta_1} = 372,4 \cdot \frac{\sin 14^\circ}{\sin 25^\circ} = 213,18 \left[\frac{M}{c} \right]$$

$$\omega_{2t} = \sqrt{\omega_{1t}^2 + \frac{\rho}{1 - \rho} \cdot c_{1t}^2} = \sqrt{213,18^2 + \frac{0,1}{1 - 0,1} \cdot 387,9^2} = 213,28 \left[\frac{M}{c} \right]$$

Площадь выходного сечения сопла:

$$F_1 = \frac{G \cdot v_{1t}}{c_{1t}} = \frac{27,8 \cdot 0,16}{387,9} = 114,7 \text{ [см}^2\text{]};$$

$$F_2 = \frac{G \cdot v_{2t}}{c_{2t}} = \frac{27,8 \cdot 0,13}{213,28} = 169,5 \text{ [см}^2\text{]}$$

Ответ: 1) $\rho = 0$: $F_1 = 74,8 \text{ [см}^2\text{]}; F_2 = 197,97 \text{ [см}^2\text{]}$

2) $\rho = 0,1$: $F_1 = 114,7 \text{ [см}^2\text{]}; F_2 = 169,5 \text{ [см}^2\text{]}$

3.3. Для осевой турбинной ступени заданы располагаемая работа $h_0 = 20$ ккал/кг, термодинамическая степень реактивности в расчетном сечении ступени $\rho_T = 0,3$, угол $\alpha_1 = 20^\circ$, коэффициент скорости $\varphi = 0,95$, к.п.д. ступени $\eta_u^* = 0,91$, частота вращения $n = 3000$ об/мин. Требуется определить диаметр, необходимый для осевого выхода потока из рабочего колеса, построить треугольники скоростей, вычислить удельную работу, к.п.д. с учетом выходной потери η_u , потери энергии и основные характеристические числа. В расчетах принять $c_{1z} = c_{2z}$.

Решение:

$$h_0 = 20 \text{ ккал/кг} = 83,6 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right];$$

Перепад энтальпии в направляющем аппарате: $h_n = h_0 \cdot (1 - \rho_T) = 83,6 \cdot (1 - 0,3) = 58,2 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right];$

Перепад энтальпии в рабочем колесе: $h_p = h_0 \cdot \rho_T = 83,6 \cdot 0,3 = 24,95 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right];$

$$c_0 = \sqrt{2 \cdot h_0} = \sqrt{2 \cdot 83,6 \cdot 10^3} = 407,8 \left[\frac{\text{м}}{\text{с}} \right]$$

$$c_1 = \varphi \cdot \sqrt{2 \cdot h_n} = 0,95 \cdot \sqrt{2 \cdot 58,2 \cdot 10^3} = 324 \left[\frac{\text{м}}{\text{с}} \right];$$

$$c_{1n} = c_1 \cdot \cos \alpha_1 = 324 \cdot \cos 20^\circ = 304,5 \left[\frac{\text{м}}{\text{с}} \right];$$

$$c_{1t} = c_{2t} = c_1 \cdot \sin \alpha_1 = 324 \cdot \sin 20^\circ = 120,8 \left[\frac{\text{м}}{\text{с}} \right];$$

Располагаемый теплоперепад: $h_{расч.} = h_0 - \frac{c_{2t}^2}{2} = h_0 - \frac{c_{1t}^2}{2} = 83,6 - \frac{120,8^2}{2} = 77 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right];$

Используемый теплоперепад: $h_{исп.} = h_{расч.} \cdot \eta_u^* = 77 \cdot 0,91 = 70,07 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right];$

Потери энергии в направляющем аппарате: $\Delta h_n = (1 - \varphi^2) \cdot h_n = (1 - 0,95^2) \cdot 58,2 = 5,7 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right];$

Потери энергии в рабочем колесе: $\Delta h_p = h_{расч.} - h_{исп.} - \Delta h_n = 77 - 70,07 - 5,7 = 1,23 \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right];$

$$u = \frac{h_{исн.}}{c_{1н}} = \frac{70,07 \cdot 10^3}{304,5} = 230,1 \left[\frac{м}{с} \right]$$

Характеристическое число: $x = \frac{u}{c_0} = \frac{230,1}{407,8} = 0,56$

Диаметр рабочего колеса: $d_p = \frac{60 \cdot u}{\pi \cdot n} = \frac{60 \cdot 230,1}{\pi \cdot 3000} = 1,466 [м]$

$$\omega_1 = \sqrt{(c_{1u} - u)^2 + c_i^2} = \sqrt{(304,5 - 230,1)^2 + 120,8^2} = 133,5 \left[\frac{м}{с} \right];$$

$$\omega_2 = \sqrt{u^2 + c_i^2} = \sqrt{230,1^2 + 120,8^2} = 255,4 \left[\frac{м}{с} \right];$$

$$tg \beta_1 = \frac{\sin \alpha_1}{\cos \alpha_1 - u/c_1} = \frac{\sin 20^0}{\cos 20^0 - 230,1/324} = 1,49 \rightarrow \beta_1 = arctg 1,49 = 56,14^0$$

$\omega_2 = \psi \cdot \omega_1$, где ψ - коэффициент скорости для лопаток берем по графику.

Берем: $\psi = 0,98 \rightarrow \beta_2 = 93,9^0$

Угол поворота потока в рабочем колесе: $\varepsilon_2 = \beta_2 - \beta_1 = 93,9 - 56,14 = 37,76^0$

Коэффициент скорости для рабочего колеса: $\psi = \frac{\omega_2}{\sqrt{2 \cdot h_p + \omega_1^2}} = \frac{255,4}{\sqrt{2 \cdot 24,95 + 133,5^2}} = 0,98$

КПД с учетом потерь с выходной скоростью: $\eta_u = \frac{h_{исн.}}{h_0} = \frac{70,07}{83,6} = 0,84$

Выходная кинетическая энергия: $h_{c_2} = \frac{c_2^2}{2} = 6,1 \left[\frac{кДж}{кг} \right]$

$$\rho_T^* = \rho_T \cdot \frac{h_0}{h_{расп.}} = 0,324$$

Кинематическая степень реактивности: $\rho_k = \frac{\omega_2^2 - \omega_1^2}{2 \cdot h_{исн.}} = 0,338$

$$x_1 = \frac{u}{c_1} = 0,71; \quad x_2 = \frac{u}{c_2} = 2,08$$

Треугольники скоростей:



	пояснительной записки
Зачтено 60-74	домашнее задание выполнено не в полном объеме (решено менее 60 процентов задач каждого из разделов);
Не зачтено Менее 60	Большая часть задач домашнего задания либо отсутствует, либо решено неправильно.

в) описание шкалы оценивания:

Уровни	Содержательное описание уровня	Основные признаки выделения уровня	БРС, % освоения	ECTS/Пятибалльная шкала для оценки экзамена/зачета
Высокий <i>Все виды компетенций сформированы на высоком уровне в соответствии с целями и задачами дисциплины</i>	Творческая деятельность	<i>Включает нижестоящий уровень.</i> Студент демонстрирует свободное обладание компетенциями, способен применить их в нестандартных ситуациях: показывает умение самостоятельно принимать решение, решать проблему/задачу теоретического или прикладного характера на основе изученных методов, приемов, технологий	90-100	A/ Отлично/ Зачтено
Продвинутый <i>Все виды компетенций сформированы на продвинутом уровне в соответствии с целями и задачами дисциплины</i>	Применение знаний и умений в более широких контекстах учебной и профессиональной деятельности, нежели по образцу, большей долей самостоятельности и инициативы	<i>Включает нижестоящий уровень.</i> Студент может доказать владение компетенциями: демонстрирует способность собирать, систематизировать, анализировать и грамотно использовать информацию из самостоятельно найденных теоретических источников и иллюстрировать ими теоретические положения или обосновывать практику применения.	85-89	B/ Очень хорошо/ Зачтено
			75-84	C/ Хорошо/ Зачтено

Пороговый <i>Все виды компетенций сформированы на пороговом уровне</i>	Репродуктивная деятельность	Студент демонстрирует владение компетенциями в стандартных ситуациях: излагает в пределах задач курса теоретически и практически контролируемый материал.	65-74	Д/Удовлетворительно/ Зачтено
			60-64	Е/Посредственно /Зачтено
Ниже порогового	Отсутствие признаков порогового уровня: компетенции не сформированы. Студент не в состоянии продемонстрировать обладание компетенциями в стандартных ситуациях.		0-59	Неудовлетворительно/ Не зачтено

6.2.3. Расчетно-графическая работа (курсовой проект)

а) типовые задания (вопросы) - образец:

Задание на курсовое проектирование.

Провести расчет проточной части паровой турбины. Провести профилирование ступени цилиндра низкого давления и построить треугольники скоростей для характерных диаметров. Исходные данные для расчета:

- начальное давление пара P_0 , – 4,5 МПа;
- конечное давление пара P_k , – 3,9 кПа;
- внутренняя мощность турбины N_i – 550 МВт;
- частота вращения ротора турбины n – 3000 об/мин;
- № ступени для профилирования – 3.

Сведения об курсовом проекте

Курсовой проект выполняется в 9 семестре. Целью курсового проекта является закрепление и углубление материала лекционной части курса «Турбомашины АЭС», подготовка к выполнению дипломного проекта.

Варианты заданий на выполнение курсового проекта приведены в методическом пособии (см. раздел 5 «Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине»). Корректировка данных на курсовое проектирование проводится индивидуально преподавателем-консультантом при выдаче задания на курсовое проектирование и в процессе консультаций по проекту.

Объем курсовой работы:

1. расчетно-пояснительная записка (20-25 страниц);
2. графическая часть на одном листе (формат А1) – продольный разрез цилиндра турбины.

Содержание расчетно-пояснительной записки:

1. На первой странице расчетно-пояснительной записки проводится задание на курсовую работу и рекомендации, выданные консультантом.
2. Небольшое введение, в котором приводятся основные особенности паровых турбин АЭС.
3. Обоснование выбора принимаемых параметров ПТУ (величина разделительного давления, расход пара на эжекторы и т.д.)
4. Обоснование выбора числа потоков пара в цилиндрах турбомашин и предварительный расход пара на турбоустановку.
5. Расчет внутреннего КПД турбомашин.
6. Распределение теплоперепадов по ступеням турбомашин и уточнение величины разделительного давления.
7. Расчет сепарации влаги в проточной части турбомашин, уточнение внутреннего КПД, расхода пара и теплоперепадов по ступеням.
8. Пример расчета плана скоростей ступени и высот решеток ступени.
9. Таблица, в которой приведены значения абсолютных и относительных скоростей пара в ступенях турбомашин, а также высоты лопаток ступеней.
10. Расчетные данные по профилированию лопаток ступени, краткое обоснование выбора закона закрутки потока в ступени.
11. Иллюстрации: процесс расширения пара в турбине на диаграмме, график распределения средних диаметров, теплоперепадов, степеней реактивности по ступеням, планы скоростей профилированной ступени в корневом, среднем и периферийном сечениях.

Методические указания по выполнению курсовой работы:

1. Для предварительно выбранного внутреннего КПД турбины и температуры промперегрева определяется разделительное давление. Выбор разделительного давления производится с учетом влажности в конце процесса расширения пара в цилиндрах и предельной высоты лопаток последней ступени ЦВД. На данном этапе выполнения курсовой работы производится предварительный расчет последних ступеней цилиндров.
2. Определяется расход пара для заданной мощности турбины и проводится выбор числа потоков по цилиндрам.
3. Рассчитывается внутренний КПД турбины с учетом потерь от влажности.
4. Проводится распределение теплоперепадов по ступеням турбомашин при выбранных высотах ступеней с уточнением разделительного давления. Строится процесс расширения пара в H-S диаграмме.
5. Совместно с консультантом задаются параметры пара на регенеративный подогрев питательной воды и оцениваются расходы пара на регенерацию.
6. Рассчитывается сепарация влаги в проточной части турбомашин и

уточняется внутренний КПД, расход пара, распределение теплоперепадов по ступеням, высоты лопаток.

7. Стоится процесс расширения пара с учетом внутритурбинной сепарации влаги и уточненных значений внутреннего КПД в H-S диаграмме.
8. Проводится расчет планов скоростей всех ступеней на среднем диаметре и расчет профилирования заданной ступени.
9. Проводится расчет протечек пара через уплотнения турбомашин.

б) критерии оценивания компетенций (результатов):

Оценка	Характеристики ответа студента
<p>Отлично 90-100</p>	<ul style="list-style-type: none"> – расчетно-пояснительная записка к курсовому проекту содержит в полном объеме материал, отражающий ход выполнения проекта: задание на курсовое проектирование и исходные данные, обоснование и выбор необходимых дополнительных параметров, представлено поэтапное выполнение работы по курсовому проектированию, представлены выводы по работе; – материал изложен грамотно и логично; – точно и профессионально используется терминология; – продемонстрирована способность формировать законченное представление о принятых решениях и полученных результатах; - продемонстрирована способность выбирать цели проекта, определять критерии и показатели решения задачи; – продемонстрировано умение защищать публично результаты работы; – продемонстрирована способность творчески применять знание теории к решению профессиональных задач; – продемонстрировано знание современной учебной и научной литературы; - продемонстрировано умение выбирать основное технологическое оборудование ЯЭУ по его характеристикам; - задание на курсовое проектирование выполнено в полном объеме, работа проиллюстрирована необходимыми схемами, рисунками, чертежами; – допущены одна – две неточности при освещении второстепенных вопросов, которые исправляются по замечанию.
<p>Хорошо 75-89</p>	<ul style="list-style-type: none"> – расчетно-пояснительная записка к курсовому проекту содержит весь основной материал, отражающий ход выполнения проекта: задание на курсовое проектирование и исходные данные, обоснование и выбор необходимых дополнительных параметров, представлено поэтапное выполнение работы по курсовому проектированию, представлены выводы по работе; – материал изложен грамотно и логично; – продемонстрировано умение анализировать материал, выбирать цели проекта, определять критерии и показатели решения задачи, однако не все выводы носят

	<p>аргументированный и доказательный характер;</p> <ul style="list-style-type: none"> – продемонстрировано усвоение основной литературы; – продемонстрировано умение защищать публично результаты работы; – ответ удовлетворяет в основном требованиям на оценку «5», но при этом имеется один из недостатков: <ul style="list-style-type: none"> - в изложении допущены небольшие пробелы, не исказившие суть защиты курсового проекта; - допущены один – два недочета при освещении основного содержания курсового проекта, исправленные по замечанию комиссии; - допущены ошибка или более двух недочетов при ответах на дополнительные вопросы, которые могут быть относительно просто исправлены по замечанию комиссии, демонстрационный материал (схемы, графики, чертежи) по курсовому проекту не в полном объеме.
<p>Удовлетворительно 60-74</p>	<ul style="list-style-type: none"> – расчетно-пояснительная записка к курсовому проекту содержит в основном материал, отражающий ход выполнения проекта: задание на курсовое проектирование и исходные данные, выбраны необходимые дополнительные параметры, но без надлежащей аргументации, представлено поэтапное выполнение работы по курсовому проектированию, представлены основные выводы по работе; – даны удовлетворительные ответы на дополнительные вопросы комиссии; – имелись затруднения или допущены ошибки в определении понятий, использовании терминологии, исправленные после нескольких наводящих вопросов; – публичная защита результатов курсового проекта проходила неуверенно; - при защите курсового проекта выявлены пробелы в знаниях по основным системам и оборудованию тепловой схемы АЭС; - имели место затруднения и ошибки при ответах на дополнительные вопросы комиссии; – демонстрационные материалы (схемы, графики, чертежи) выполнены или небрежно, или неполно.
<p>Неудовлетворительно Менее 60</p>	<ul style="list-style-type: none"> – расчетно-пояснительная записка к курсовому проекту содержит основной материал, отражающий ход выполнения проекта: задание на курсовое проектирование и исходные данные, выбраны необходимые дополнительные параметры, но без надлежащей аргументации, представлено поэтапное выполнение работы по курсовому проектированию, представлены основные выводы по работе; – обнаружено незнание или непонимание большей или наиболее важной части учебного материала, требуемого при формировании компетенций курса «Турбомашин АЭС»; -при защите результатов курсового проекта даны нечеткие или неправильные ответы на вопросы членов комиссии; – допущены ошибки в определении понятий, при использовании терминологии, которые не исправлены после

	нескольких наводящих вопросов. – не сформированы компетенции, умения и навыки.
--	---

в) описание шкалы оценивания:

Уровни	Содержательное описание уровня	Основные признаки выделения уровня	БРС, % освоения	ECTS/Пятибалльная шкала для оценки экзамена/зачета
Высокий <i>Все виды компетенций сформированы на высоком уровне в соответствии с целями и задачами дисциплины</i>	Творческая деятельность	<i>Включает нижестоящий уровень.</i> Студент демонстрирует свободное обладание компетенциями, способен применить их в нестандартных ситуациях: показывает умение самостоятельно принимать решение, решать проблему/задачу теоретического или прикладного характера на основе изученных методов, приемов, технологий	90-100	A/ Отлично/ Зачтено
Продвинутый <i>Все виды компетенций сформированы на продвинутом уровне в соответствии с целями и задачами дисциплины</i>	Применение знаний и умений в более широких контекстах учебной и профессиональной деятельности, нежели по образцу, большей долей самостоятельности и инициативы	<i>Включает нижестоящий уровень.</i> Студент может доказать владение компетенциями: демонстрирует способность собирать, систематизировать, анализировать и грамотно использовать информацию из самостоятельно найденных теоретических источников и иллюстрировать ими теоретические положения или обосновывать практику применения.	85-89	B/ Очень хорошо/ Зачтено
			75-84	C/ Хорошо/ Зачтено
Пороговый <i>Все виды компетенций</i>	Репродуктивная деятельность	Студент демонстрирует владение компетенциями	65-74	D/Удовлетворительно/ Зачтено

<i>сформированы на пороговом уровне</i>		стандартных ситуациях: излагает в пределах задач курса теоретически и практически контролируемый материал.	60-64	Е/Посредственно но /Зачтено
Ниже порогового	Отсутствие признаков порогового уровня: компетенции не сформированы. Студент не в состоянии продемонстрировать обладание компетенциями в стандартных ситуациях.		0-59	Неудовлетворительно/ Не зачтено

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ**

«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Обнинский институт атомной энергетики –

филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Кафедра Оборудование и Эксплуатация ЯЭУ

Направление/ Специальность	14.04.01 «Ядерная энергетика и теплофизика»
Профиль/ Специализация	Эксплуатация атомных электрических станций и установок
Дисциплина	Турбомашины АЭС

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1

1. Место турбины и турбоустановки в энергоблоке АЭС. Типы турбин АЭС.

2. Конденсационная установка. Понятия предельного и экономического вакуума.

3. Задача.

Составитель _____ А.С. Шелегов
(подпись)

Заведующий кафедрой _____ С.Т. Лескин
(подпись)

«____» _____ 20 г.

Примечание.

Билеты по курсу «Атомные электрические станции» находятся в отдельном приложении.

Задачи для экзаменационных билетов аналогичны тем, которые приведены в разделе «Комплект типовых заданий для семинарских занятий».

Критерии и шкала оценивания

Оценка	Критерии оценки
Отлично 36-40	Студент должен: <ul style="list-style-type: none">- продемонстрировать глубокое и прочное усвоение знаний программного материала;- исчерпывающе, последовательно, грамотно и логически стройно изложить теоретический материал;- правильно формулировать определения;- продемонстрировать умения самостоятельной работы с литературой;- уметь сделать выводы по излагаемому материалу.
Хорошо 30-35	Студент должен: <ul style="list-style-type: none">- продемонстрировать достаточно полное знание программного материала;- продемонстрировать знание основных теоретических понятий; достаточно последовательно, грамотно и логически стройно излагать материал;- продемонстрировать умение ориентироваться в литературе;- уметь сделать достаточно обоснованные выводы по излагаемому материалу.
Удовлетворительно 24-29	Студент должен: <ul style="list-style-type: none">- продемонстрировать общее знание изучаемого материала;- показать общее владение понятийным аппаратом дисциплины;- уметь строить ответ в соответствии со структурой излагаемого вопроса;- знать основную рекомендуемую программой учебную литературу.
Неудовлетворительно 23 и меньше	Студент демонстрирует: <ul style="list-style-type: none">- незнание значительной части программного материала;- не владение понятийным аппаратом дисциплины;- существенные ошибки при изложении учебного материала;- неумение строить ответ в соответствии со структурой излагаемого вопроса;- неумение делать выводы по излагаемому материалу.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Обнинский институт атомной энергетики –

филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Кафедра Оборудование и Эксплуатация ЯЭУ

Направление/ Специальность	14.04.01 «Ядерная энергетика и теплофизика»
Профиль/ Специализация	Эксплуатация атомных электрических станций и установок
Дисциплина	Турбомашины АЭС

ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ

1. Место турбины и турбоустановки в энергоблоке АЭС. Типы турбин АЭС.
2. Адиабатическое течение пара в канале. Уравнение состояния.
3. Адиабатическое течение пара в канале. Уравнение неразрывности (сохранения расхода).
4. Адиабатическое течение пара в канале. Уравнение количества движения (сохранения импульса).
5. Адиабатическое течение пара в канале. Уравнение сохранения энергии.
6. Параметры заторможенного состояния потока, $i-s$ - диаграмма состояния.
7. Трение в процессе истечения потока через канал. Располагаемая и действительная работа расширения рабочего тела. Внутренний относительный к.п.д.
8. Турбинная ступень. Конструктивная схема осевой ступени турбомашин. Принцип работы турбинной ступени.
9. Принцип работы турбинной ступени. Турбинные решетки (основные элементы конструкции). Классификация решеток турбин.
10. Тепловой процесс в турбинной ступени. Активный и реактивный принципы работы ступени.
11. Процесс преобразования энергии в турбинной ступени. Треугольники скоростей.
12. Выражение для мощности ступени через скорости с помощью уравнения сохранения энергии.
13. Изображение процесса расширения рабочего тела в ступени в $i-s$ - диаграмме.
14. Многоступенчатые турбины. Ступени давления и ступени скорости многоступенчатой турбины.
15. Классификация потерь в ступенях турбомашин.

16. Конденсационная установка. Понятия предельного и экономического вакуума.
17. Относительный лопаточный к.п.д. осевой ступени турбины. Оптимальное соотношение скоростей.
18. Основные преимущества многоступенчатой турбины. Чем определяются предельные размеры последних ступеней?
19. Принципиальные схемы паротурбинных установок. Конденсационные турбины.
20. Компоновка многоступенчатой паровой турбины. Типы турбин и их классификация.
21. Ступени скорости и ступени давления.
22. Цикл Ренкина и обобщенный цикл Карно с регенеративным подогревом.
23. Особенности теплового процесса в области влажного пара. Течение влажного пара в турбинных решетках.
24. Дополнительные потери в турбомашине с течением влажного пара. Способы уменьшения влаги в проточной части.
25. Простейшая схема регулирования (непосредственное регулирование).
26. Простейшая схема регулирования (схема непрямого регулирования).
27. Необходимость регулирования и управления. Задачи регулирования паровой турбины.
28. Характеристики системы регулирования.
29. Особенности регулирования турбин атомных электростанций. Статическая характеристика регулирования.
30. Назначение и состав САРЗ
31. Требования ПТЭ, предъявляемые к системам регулирования.
32. Конструкции рабочих лопаток.
33. Конструкции турбин АЭС и их особенности.
34. Элементы паротурбинной установки: конденсационные устройства, насосы, сепараторы-промперегреватели.
35. Конструкции решеток рабочих колес и диафрагм.
36. Корпуса ЦВД и ЦНД. Кольцевые уплотнения.
37. Валоповоротное устройство. Назначение и принцип работы.
38. Подшипники турбины. Маслохозяйство.
39. Конструкция роторов цилиндров турбины.
40. Бандаж лопаточного аппарата. Назначение и конструкция.