

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

**Направление подготовки/специальность: 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника**

**Наименование образовательной программы: Теплоэнергетика и теплотехника**

**Уровень образования: высшее образование - бакалавриат**

**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Нагнетатели и тепловые двигатели**

**Москва  
2024**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Федюхин А.В.
	Идентификатор	Rc1c8a01a-FediukhinAV-59cb47d9

А.В.  
Федюхин

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Рогалев А.Н.
	Идентификатор	Rb956ba44-RogalevAN-6233a28b

А.Н.  
Рогалев

Заведующий  
выпускающей кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Рогалев А.Н.
	Идентификатор	Rb956ba44-RogalevAN-6233a28b

А.Н.  
Рогалев

## 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 теплоэнергетики и теплотехники

ИД-3 Знает устройство, принцип работы и принимает обоснованные технические решения при разработке схем и/или конструкций энергетического оборудования

2. РПК-1 Способен определять энергоэффективность теплотехнического оборудования в сфере профессиональной деятельности

ИД-2 Определяет показатели энергоэффективности теплотехнического оборудования

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

Форма реализации: Письменная работа

1. Изучение технических характеристик насосного оборудования (Контрольная работа)
2. Расчет параметров и характеристик тепловых двигателей (Контрольная работа)
3. Расчет режимов работы вентиляторов и компрессоров (Контрольная работа)

Форма реализации: Устная форма

1. Защита лабораторных работ по теме "Насосы, вентиляторы, эжекторы" (Интервью)

## БРС дисциплины

### 7 семестр

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

- КМ-1 Изучение технических характеристик насосного оборудования (Контрольная работа)  
КМ-2 Расчет режимов работы вентиляторов и компрессоров (Контрольная работа)  
КМ-3 Расчет параметров и характеристик тепловых двигателей (Контрольная работа)  
КМ-4 Защита лабораторных работ по теме "Насосы, вентиляторы, эжекторы" (Интервью)

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %				
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
	Срок КМ:	4	8	10	14
Тепловые двигатели					

Тепловые схемы и термодинамические циклы паротурбинных установок (ПТУ).			+	
Основные типы паровых турбин.			+	
Спецификации для выбора энергетических и приводных ПТУ.			+	
Тепловые схемы и термодинамические циклы газотурбинных (ГТУ). и парогазовых установок (ПГУ).			+	
Основные типы газовых турбин.	+	+		
Подбор энергетических и приводных ГТУ.	+	+		
Тепловые схемы и термодинамические циклы газо-поршневых установок (ГПУ). Спецификации для выбора ГПУ.	+	+		
Нагнетатели				
Основные типы промышленных турбокомпрессоров (ПТК).	+	+		
Уравнение Эйлера для турбомашин.				+
Спецификации для выбора ПТК. Способы регулирования ПТК.				+
Центробежные насосы.				+
Характеристики центробежных насосов.				+
Тягодутьевые машины (ТДМ).				+
Регулируемые приводы центробежных нагнетателей: гидромфты и ЧРП.				+
Вес КМ:	25	25	25	25

## 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-3ПК-1 Знает устройство, принцип работы и принимает обоснованные технические решения при разработке схем и/или конструкций энергетического оборудования	Знать: Основные источники научно-технической информации по нагнетателям и тепловым двигателям. Характеристики основных типов нагнетателей и тепловых двигателей.	КМ-3 Расчет параметров и характеристик тепловых двигателей (Контрольная работа) КМ-4 Защита лабораторных работ по теме "Насосы, вентиляторы, эжекторы" (Интервью)
РПК-1	ИД-2РПК-1 Определяет показатели энергоэффективности теплотехнического оборудования	Знать: Особенности эксплуатации нагнетателей и тепловых двигателей.	КМ-1 Изучение технических характеристик насосного оборудования (Контрольная работа) КМ-2 Расчет режимов работы вентиляторов и компрессоров (Контрольная работа)

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

### КМ-1. Изучение технических характеристик насосного оборудования

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Контрольная работа, содержащая две задачи.

#### Краткое содержание задания:

Требуемая производительность насоса  $Q = 80$  м<sup>3</sup>/ч, он перекачивает жидкость плотностью  $\rho = 1,2$  г/см<sup>3</sup>. Полный напор при этом составляет  $H = 55$  м, КПД насоса  $\eta = 61\%$ . Насос присоединяется к электродвигателю через муфту. Какой мощности электродвигатель необходимо установить?

Определить мощность электродвигателя для привода питательного насоса для котельной с максимальной паропроизводительностью  $D_{max} = 8,34$  кг/с, если известны давление в барабане котла  $P_b = 2,4$  МПа, температура перекачиваемой воды  $t_{n.в.} = 100$  оС, сопротивление всасывающего и нагнетательного трубопроводов  $\Delta H_c = 0,2$  МПа, коэффициент запаса по паропроизводительности котельной  $\beta_1 = 1,2$ , коэффициент запаса по напору  $\beta_2 = 1,1$  и КПД питательного насоса  $\eta = 0,8$ .

#### Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Знать: Особенности эксплуатации нагнетателей и тепловых двигателей.	<ol style="list-style-type: none"><li>1.1. Чем определяется положение рабочей точки на характеристике нагнетателя?</li><li>2. Какие преимущества и недостатки имеет способ регулирования дросселирование на всасывании?</li><li>3. Когда применяется параллельное включение нагнетателей? Каковы условия выбора нагнетателя при их параллельном включении?</li><li>4. В каких случаях применяется последовательное включение нагнетателей?</li><li>5. Перечислите преимущества и недостатки регулирования изменением частоты вращения.</li><li>6. Какие ограничения имеет способ регулирования изменением частоты вращения?</li></ol>

#### Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 90

Описание характеристики выполнения знания: Студент знает теоретические основы работы насосов. Для решения задач выбрана корректная методика расчета, отсутствуют ошибки при построении характеристик и получении количественных показателей.

Оценка: 4 («хорошо»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

*Описание характеристики выполнения знания:* Студент знает теоретические основы работы насосов. Для решения задач выбрана корректная методика расчета, имеется не более 2 ошибок при построении характеристик и получении количественных показателей.

*Оценка:* 3 («удовлетворительно»)

*Нижний порог выполнения задания в процентах:* 50

*Описание характеристики выполнения знания:* Для решения задач выбрана корректная методика расчета, но имеется 3 и более ошибок в построении характеристик и получении количественных показателей.

*Оценка:* 2 («неудовлетворительно»)

*Описание характеристики выполнения знания:* Задачи не решены или решены с использованием некорректной методикой расчета.

## **КМ-2. Расчет режимов работы вентиляторов и компрессоров**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Контрольная работа, содержащая две задачи.

### **Краткое содержание задания:**

Определить температуру на нагнетании и потребляемую мощность воздушного центробежного компрессора без промежуточного охлаждения производительностью по условиям всасывания  $Q = 5500$  м<sup>3</sup>/мин при  $P_1 = 0,1$  МПа,  $t_1 = 15^\circ\text{C}$ ,  $P_2 = 0,8$  МПа, показатель политропы  $k = 1,4$ , адиабатический КПД  $\eta_{\text{адиаб}} = 0,65$ , теплоемкость  $C_p = 1$  кДж/(кг·К), газовая постоянная для воздуха  $R = 287$  Дж/(кг·К).

Определить удельную работу ступеней 2-ух ступенчатого воздушного компрессора с промежуточным охлаждением. Температура на всасе ступени низкого давления  $T_{вс1} = 278$  К, ступени высокого давления  $T_{вс2} = 303$  К. Степень повышения давления компрессора  $\epsilon = 20$ , показатель политропы  $k = 1,4$ , КПД каждой ступени  $\eta = 0,85$ , газовая постоянная для воздуха  $R = 287$  Дж/(кг·К). Как изменится работа при отсутствии промежуточного охлаждения?

### **Контрольные вопросы/задания:**

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Знать: Особенности эксплуатации нагнетателей и тепловых двигателей.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.1. Назовите основные расчетные параметры ступени центробежного компрессора.</li> <li>2. В чем преимущества и недостатки осевого компрессора по сравнению с центробежным?</li> <li>3. Чем ограничено отношение давлений в ступенях турбокомпрессора?</li> <li>4. Назовите виды профилей рабочих колес нагнетателей.</li> <li>5. В каких установках применяется осевой компрессор?</li> <li>6. Изобразите зависимость КПД компрессора от расхода и объясните характер хода этой кривой.</li> <li>7. Перечислите виды КПД, используемых для характеристики турбокомпрессора.</li> </ol>

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
	8. Какие устройства используются для повышения КПД осевого вентилятора? 9. В чем назначения промышленных вентиляторов? 10. В чем отличия осевых и центробежных вентиляторов?

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5 («отлично»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания:* Студент знает теоретические основы работы вентиляторов и компрессоров. Для решения задач выбрана корректная методика расчета, отсутствуют ошибки при построении характеристик и получении количественных показателей.

*Оценка: 4 («хорошо»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:* Студент знает теоретические основы работы вентиляторов и компрессоров. Для решения задач выбрана корректная методика расчета, имеется не более 2 ошибок при построении характеристик и получении количественных показателей.

*Оценка: 3 («удовлетворительно»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:* Для решения задач выбрана корректная методика расчета, но имеется 3 и более ошибок в построении характеристик и получении количественных показателей.

*Оценка: 2 («неудовлетворительно»)*

*Описание характеристики выполнения знания:* Задачи не решены или решены с использованием некорректной методикой расчета.

**КМ-3. Расчет параметров и характеристик тепловых двигателей**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Контрольная работа, содержащая две задачи.

**Краткое содержание задания:**

Построить треугольники скоростей и определить потери кинетической энергии пара в активной турбинной ступени и КПД ступени при следующих параметрах:  $P_0 = 2$  МПа,  $P_1 = 0,5$  МПа,  $\alpha_1 = 25^\circ$ ,  $D = 0,5$  м,  $n = 50$  с<sup>-1</sup>,  $\varphi = 0,9$ ,  $\psi = 0,8$ ,  $C_0 = 0$  м/с,  $t_0 = 270^\circ\text{C}$ ,  $\rho = 0$ ,  $\beta_1 = \beta_2$ ,  $\omega_1 = \omega_2$ .

Определить степень реактивности и КПД ступени, если давление и температура пара перед ступенью  $P_0 = 1,2$  МПа,  $t_0 = 210$  оС, давление пара за соплом  $P_1 = 0,4$  МПа, а за ступенью  $P_2 = 0,2$  МПа. Окружная скорость  $u = 130$  м/с. Углы лопаток  $\alpha_1 = 25^\circ$ ,  $\beta_2 = 20^\circ$ ,  $\varphi = 0,9$ ,  $\psi = 0,8$ ,  $C_0 = 20$  м/с.

**Контрольные вопросы/задания:**

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Знать: Характеристики основных типов нагнетателей и тепловых двигателей.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.1. Какие существуют типы паровых турбин в зависимости от характера теплового процесса?</li> <li>2. Перечислите основные характеристики паровых турбин.</li> <li>3. Как выглядит в <math>T,s</math> – диаграмме идеальный цикл Ренкина для паротурбинной установки?</li> <li>4. Назовите основные особенности тепловых схем ТЭЦ с турбоустановками типа К и Т.</li> <li>5. Как влияет температура и давление пара на входе в турбину на термический КПД агрегата?</li> <li>6. Для чего применяется технология с промежуточным перегревом пара?</li> <li>7. В чем особенности регенеративного паротурбинного цикла?</li> <li>8. Перечислите основные способы парораспределения и объясните их влияние на тепловой процесс турбины.</li> </ol>

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5 («отлично»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания:* Студент знает теоретические основы работы тепловых двигателей. Для решения задач выбрана корректная методика расчета, отсутствуют ошибки при построении характеристик и получении количественных показателей.

*Оценка: 4 («хорошо»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:* Студент знает теоретические основы работы нагнетателей и тепловых двигателей. Для решения задач выбрана корректная методика расчета, имеется не более 2 ошибок при построении характеристик и получении количественных показателей.

*Оценка: 3 («удовлетворительно»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:* Для решения задач выбрана корректная методика расчета, но имеется 3 и более ошибок в построении характеристик и получении количественных показателей.

*Оценка: 2 («неудовлетворительно»)*

*Описание характеристики выполнения знания:* Задачи не решены или решены с использованием некорректной методикой расчета.

**КМ-4. Защита лабораторных работ по теме "Насосы, вентиляторы, эжекторы"**

**Формы реализации:** Устная форма

**Тип контрольного мероприятия:** Интервью

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Защита лабораторных работ.

**Краткое содержание задания:**

1. Состав и назначение элементов лабораторной установки. Принцип действия установки.

2. Назначение и принцип действия контрольно-измерительных приборов, используемых в лабораторной установке.
3. Принцип действия водяного дифманометра. Измерение давления и расхода воздуха с помощью дифманометра.
4. Порядок выполнения лабораторной работы. Порядок снятия показаний контрольно-измерительных приборов.
5. Порядок выполнения лабораторной работы. Построение экспериментальных характеристик нагнетателей.
6. Измерение мощности и определение КПД нагнетателей.
7. Параллельное соединение насосов. Построение характеристик. Особенности включения/отключения насосов при совместной работе.
8. Последовательное соединение насосов. Построение характеристик. Особенности включения/отключения насосов при совместной работе.
9. Параллельное соединение вентиляторов. Построение характеристик. Особенности включения/отключения вентиляторов при совместной работе.
10. Последовательное соединение вентиляторов. Построение характеристик. Особенности включения/отключения вентиляторов при совместной работе.
11. Классификация вентиляторного оборудования.
12. Способы регулирования насосов.
13. Способы регулирования вентиляторов.
14. Как изменятся показания расхода воды в гидросистеме лабораторной установки, если расходомер переставить с исходной позиции в позицию 2 (указывается преподавателем на стенде или на схеме установки)?
15. Как будет выглядеть график зависимости  $H=f(Q)$ , если манометр, установленный перед напорной задвижкой, перенести с этой позиции непосредственно за напорную задвижку?
16. Понятие кавитации. Кавитационный запас насоса.
17. Понятие кавитации. Меры, предпринимаемые для недопущения явления кавитации в насосном оборудовании.
18. Принцип действия водоструйного эжектора.
19. Построение экспериментальных характеристик водоструйного эжектора.
20. Назначение демпфера в лабораторной насосной установке.
21. Где будет располагаться на графике рабочая точка насоса, работающего в номинальном режиме и выливающего воду непосредственно из нагнетательного патрубка на рельеф?
22. Почему запрещается запускать насос при закрытой задвижке на всасе?
23. Почему рекомендуется запускать насос при закрытой задвижке на нагнетании?
24. Энергетический баланс нагнетателя. КПД нагнетателя.
25. Частотное регулирование насосов. Построение характеристик при частотном регулировании. Зависимость основных параметров насоса (напор, расход, мощность) от частоты вращения рабочего колеса.

### Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Знать: Основные источники научно-технической информации по нагнетателям и тепловым двигателям.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.1. Основы гидро-аэродинамики нагнетателей. Уравнение Бернулли для неразрывного потока.</li> <li>2. Рабочие параметры нагнетателей. Напор, развиваемый нагнетателем.</li> <li>3. Основные типы нагнетателей и</li> </ol>

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
	<p>принцип их действия.</p> <p>4. Идеальный и реальный процессы сжатия газа в <math>h-S</math> диаграмме.</p> <p>5. Одно и двух ступенчатые процессы сжатия газа в <math>T-S</math> и <math>p-V</math> диаграммах.</p> <p>6. Конструкция ступени центробежного нагнетателя.</p> <p>7. Треугольники скоростей на входе и выходе рабочего колеса центробежного нагнетателя.</p> <p>8. Теорема Эйлера об изменении количества движения в рабочем колесе центробежного нагнетателя.</p> <p>9. Зависимость развиваемого напора от формы лопаток рабочего колеса центробежного нагнетателя.</p> <p>10. Конструкция и принцип действия центробежного насоса.</p> <p>11. Полное давление, развиваемое центробежным вентилятором.</p> <p>12. Напор и давление, развиваемое центробежным насосом.</p> <p>13. Мощность привода насоса.</p> <p>14. Аэродинамическая схема центробежного вентилятора.</p> <p>15. Коэффициент полезного действия центробежного вентилятора.</p> <p>16. Рабочая характеристика центробежного насоса.</p> <p>17. Минимальный напор на всасе центробежного насоса.</p> <p>18. Способы регулирования центробежных нагнетателей.</p> <p>19. Зависимость параметров центробежных нагнетателей от скорости их вращения.</p> <p>20. Устройство и принцип действия гидромуфты.</p> <p>21. Величина скольжения в гидромуфте. Зависимость КПД гидромуфты от величины скольжения.</p> <p>22. Способ регулирования давления на нагнетании насоса с помощью гидромуфты.</p> <p>23. Мощность и момент гидромуфты.</p> <p>24. Конструкция рабочего колеса центробежного компрессора.</p> <p>25. Работа идеального компрессора</p>

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
	<p>на сжатие.</p> <p>26. Конструкция осевого компрессора.</p> <p>27. Работа реального компрессора на сжатие.</p> <p>28. Конструкция винтового компрессора.</p> <p>29. Работа одно и двух ступенчатого сжатия газа в компрессоре.</p> <p>30. Совмещённая характеристика центробежного компрессора и сети.</p> <p>31. Пересчет характеристики турбокомпрессора на другую температуру всасывания при <math>n=\text{const}</math>.</p> <p>32. Пересчет характеристики турбокомпрессора на другую частоту вращения при <math>\text{твк}=\text{const}</math>.</p> <p>33. Регулирование компрессора дросселированием.</p>

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5 («отлично»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания:* Студент знает теоретические основы работы нагнетателей и тепловых двигателей, может описать зависимости основных характеристик агрегатов. При ответе допускается не более одной неточности (ошибок).

*Оценка: 4 («хорошо»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:* Студент знает теоретические основы работы нагнетателей и тепловых двигателей, может описать зависимости основных характеристик агрегатов. При ответе допускается не более двух неточности (ошибок).

*Оценка: 3 («удовлетворительно»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:* Студент знает теоретические основы работы нагнетателей и тепловых двигателей, может описать зависимости основных характеристик агрегатов. При ответе допускается не более трех неточности (ошибок).

*Оценка: 2 («неудовлетворительно»)*

*Описание характеристики выполнения знания:* Студент не владеет теоретическими основами работы нагнетателей и тепловых двигателей, не может перечислить основные характеристики агрегатов.

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

7 семестр

**Форма промежуточной аттестации:** Экзамен

**Пример билета**

Регулирование компрессора дросселированием.

Схема ГТУ с силовой турбиной.

Определить потребляемую мощность привода питательного насоса котла паропроизводительностью 250 т/ч, если давление в барабане  $P_b = 12$  МПа, суммарное сопротивление всасывающего и нагнетательного трубопроводов  $\Sigma P = 0,2$  МПа, давление в деаэраторе  $P_d = 0,1$  МПа, коэффициент запаса по мощности  $k = 1,1$ , КПД  $\eta = 70$  %, геометрическая отметка деаэратора  $Z_1 = 12$  м, геометрическая отметка барабана котла  $Z_2 = 50$  м.

**Процедура проведения**

Устный опрос после подготовки продолжительностью 30-45 минут.

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

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-3ПК-1 Знает устройство, принцип работы и принимает обоснованные технические решения при разработке схем и/или конструкций энергетического оборудования

**Вопросы, задания**

- 1.1. Основы гидро-аэродинамики нагнетателей. Уравнение Бернулли для неразрывного потока.
2. Рабочие параметры нагнетателей. Напор, развиваемый нагнетателем.
3. Основные типы нагнетателей и принцип их действия.
4. Идеальный и реальный процессы сжатия газа в  $h$ - $S$  диаграмме.
5. Одно и двух ступенчатые процессы сжатия газа в  $T$ - $S$  и  $p$ - $V$  диаграммах.
6. Изотермический процесс сжатия газа. Изотермический КПД компрессора.
7. Конструкция ступени центробежного нагнетателя.
8. Треугольники скоростей на входе и выходе рабочего колеса центробежного нагнетателя.
9. Теорема Эйлера об изменении количества движения в рабочем колесе центробежного нагнетателя.
10. Зависимость развиваемого напора от формы лопаток рабочего колеса центробежного нагнетателя.
11. Конструкция и принцип действия центробежного насоса.
12. Полное давление, развиваемое центробежным вентилятором.
13. Напор и давление, развиваемое центробежным насосом.
14. Мощность привода насоса.
15. Аэродинамическая схема центробежного вентилятора.
16. Коэффициент полезного действия центробежного вентилятора.
17. Рабочая характеристика центробежного насоса.
18. Минимальный напор на всасе центробежного насоса.

19. Способы регулирования центробежных нагнетателей.
20. Зависимость параметров центробежных нагнетателей от скорости их вращения.
21. Устройство и принцип действия гидромуфты.
22. Величина скольжения в гидромуфте. Зависимость КПД гидромуфты от величины скольжения.
23. Способ регулирования давления на нагнетании насоса с помощью гидромуфты.
24. Мощность и момент гидромуфты.
25. Конструкция рабочего колеса центробежного компрессора.
26. Работа идеального компрессора на сжатие.
27. Конструкция осевого компрессора.
28. Работа реального компрессора на сжатие.
29. Конструкция винтового компрессора.
30. Работа одно и двух ступенчатого сжатия газа в компрессоре.
31. Совмещённая характеристика центробежного компрессора и сети.
32. Пересчет характеристики турбокомпрессора на другую температуру всасывания при  $n = \text{const}$ .
33. Пересчет характеристики турбокомпрессора на другую частоту вращения при  $n = \text{const}$ .
34. Регулирование компрессора дросселированием.
35. Треугольники скоростей газа в рабочем колесе центробежного компрессора.
36. Регулирование компрессора поворотными лопатками на входе в рабочее колесо.

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

1. Сравните удельную работу, полученную в осевой и радиальной турбине  
 Ответы:  
 Устный опрос  
 Верный ответ: Необходимо показать формульно и графически различия в конструкции и процессе.
2. Какие показатели нагнетателя зависят от природы сжимаемого газа ( $R$  и  $k$ )?  
 Ответы:  
 Устный опрос  
 Верный ответ: Удельная работа сжатия.
3. Какое влияние на показатели нагнетателя оказывают число лопаток рабочего колеса?  
 Ответы:  
 Устный опрос  
 Верный ответ: Число лопаток влияет на расчетный расход рабочего колеса.
4. Сравните эпюры скоростей в межлопаточных каналах турбины: в сопловом и в рабочем колесе.  
 Ответы:  
 Устный опрос  
 Верный ответ: Необходимо построение эпюр и их анализ.
5. Как различаются потребляемые мощности турбокомпрессора при различных температурах всасывания?  
 Ответы:  
 Устный опрос  
 Верный ответ: Как и для любого нагнетателя более благоприятным является режим с низкой температурой всасывания.
6. Поясните разницу в пересчете характеристик турбокомпрессора и насоса.  
 Ответы:  
 Устный опрос  
 Верный ответ: У компрессора более критичная зависимость характеристик от температуры рабочего тела.

7. Как выбирается число промежуточных охлаждений компрессора?

Ответы:

Устный опрос

Верный ответ: На основании технико-экономической оценки и баланса - "энергозатраты на сжатие / энергозатраты на промежуточное охлаждение"

8. Чем определяются максимальные отношения давлений в ступенях компрессоров разного типа?

Ответы:

Устный опрос

Верный ответ: Конструкций и типом рабочей ступени.

**2. Компетенция/Индикатор:** ИД-2<sub>РПК-1</sub> Определяет показатели энергоэффективности теплотехнического оборудования

### Вопросы, задания

- 1.1. Тепловая схема ГТУ с утилизацией тепла.
2. Термодинамический цикл и параметры ГТУ.
3. Энергетический баланс ГТУ.
4. Зависимость КПД ГТУ от степени повышения давления.
5. Конструкция одно и двухвальных ГТУ.
6. Определение расхода газа на ГТУ.
7. Газодинамическая характеристика осевого компрессора ГТУ.
8. Определение расхода уходящих газов от ГТУ.
9. Газодинамическая характеристика турбины ГТУ.
10. Уравнение характеристики турбины ГТУ.
11. Удельная работа и мощность ГТУ.
12. Режимные характеристики турбины ГТУ.
13. Схема ГТУ с силовой турбиной.
14. Алгоритм запуска ГТУ.
- 2.1. Идеальный цикл ПТУ (цикл Ренкина).
2. Схема ступени паровой турбины и кинематика потока пара в ней.
3. Тепловая схема паротурбинной установки (ПТУ).
4. Конструкция паровой турбины.
5. Внутренний абсолютный КПД цикла ПТУ.
6. Определение расхода топлива на выработку электроэнергии в конденсационном цикле.
7. Идеальный теплофикационный цикл ПТУ.
8. Определение расхода топлива на выработку электроэнергии в теплофикационном цикле.
9. Энергетические характеристики паротурбинных агрегатов.
10. Удельная комбинированная выработка электроэнергии на ТЭЦ.
11. Тепловая схема и основы конструкции газо-поршневых установок (ГПУ).
12. Термодинамические циклы газо-поршневых установок (ГПУ).
13. Тепловой баланс когенерационной газо-поршневой установки (ГПУ).
14. Сравнение газо-поршневой установки (ГПУ) и газотурбинной установки (ГТУ).

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Как влияет форма лопаток нагнетателя на его основные показатели?

Ответы:

Устный опрос

Верный ответ: Согласно закону Эйлера форма лопаток влияет на развиваемое рабочим колесом давление.

2. Какие факторы определяют максимальную работу нагнетателя и теплового двигателя?

Ответы:

Устный опрос

Верный ответ: Расход, давление, теплофизические свойства перекачиваемой среды

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

*Оценка: 5 («отлично»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания:* Студент знает теоретические основы работы нагнетателей и тепловых двигателей. Для решения задач выбрана корректная методика расчета, отсутствуют ошибки при построении характеристик и получении количественных показателей.

*Оценка: 4 («хорошо»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:* Студент знает теоретические основы работы нагнетателей и тепловых двигателей. Для решения задач выбрана корректная методика расчета, имеется не более 2 ошибок при построении характеристик и получении количественных показателей.

*Оценка: 3 («удовлетворительно»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:* Для решения задач выбрана корректная методика расчета, но имеется 3 и более ошибок в построении характеристик и получении количественных показателей.

*Оценка: 2 («неудовлетворительно»)*

*Описание характеристики выполнения знания:* Задачи не решены или решены с использованием некорректной методикой расчета.

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

Оценка определяется по совокупности результатов текущего контроля успеваемости в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ».