

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

Направление подготовки/специальность: 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика

Наименование образовательной программы: Физика и техника низких температур

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Оценочные материалы
по дисциплине
Нагнетательные и расширительные машины**

**Москва
2023**

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Сидоров А.А.
	Идентификатор	Ref8fb216-SidorovAAn-18e2ddb8

(подпись)

А.А. Сидоров

(расшифровка
подписи)

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной
программы

(должность, ученая степень, ученое
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Крюков А.П.
	Идентификатор	R9b81f956-KryukovAP-8dacf4ed

(подпись)

А.П. Крюков

(расшифровка
подписи)

Заведующий
выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Пузина Ю.Ю.
	Идентификатор	Re86e9a56-Puzina-4d2acad1

(подпись)

Ю.Ю.

Пузина

(расшифровка
подписи)

ОБЩАЯ ЧАСТЬ

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

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

Формируемые у обучающегося компетенции:

1. ПК-2 Способен проводить расчетно-теоретические и экспериментальные исследования теплогидравлических процессов в конструкциях низкотемпературных установках

ИД-1 Владеет основными методами и подходами, применяемыми при анализе работы низкотемпературных систем

2. ПК-3 Готов самостоятельно определять направление и характер проводимых исследований, учитывать современные тенденции развития низкотемпературной техники

ИД-2 Знает основные направления развития и современные тенденции при расчете и анализе эффективности низкотемпературных установках

и включает:

для текущего контроля успеваемости:

Форма реализации: Письменная работа

1. Газодинамический расчёт ступени турбодетандера (Контрольная работа)

2. Подбор компрессорного оборудования на основании требований по эффективности и техническим параметрам (Контрольная работа)

Форма реализации: Устная форма

1. Классификация, принцип действия и место в низкотемпературной технике нагнетателей и расширителей (Коллоквиум)

2. Основные конструктивные элементы нагнетателей и расширителей, методы расчета проточной части (Коллоквиум)

БРС дисциплины

3 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %				
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
	Срок КМ:	8	12	14	16
Турбодетандеры					
Турбодетандеры		+	+	+	
Турбокомпрессоры					
Турбокомпрессоры			+	+	
Крионасосы					

Крионасосы		+		
Поршневые компрессоры				
Поршневые компрессоры		+		
Винтовые компрессоры				
Винтовые компрессоры		+		
Спиральные компрессоры				
Спиральные компрессоры		+		
Эффективность компрессорного агрегата				
Эффективность компрессорного агрегата	+			
Технические требования на компрессоры				
Технические требования на компрессоры				+
Вес КМ:	25	25	25	25

\$Общая часть/Для промежуточной аттестации\$

СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

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

Индекс компетенции	Индикатор	Запланированные результаты обучения по дисциплине	Контрольная точка
ПК-2	ИД-1 _{ПК-2} Владеет основными методами и подходами, применяемыми при анализе работы низкотемпературных систем	Знать: устройство и принципы работы современных машин в установках получения низких температур; Уметь: составлять технические требования на машинное оборудование, делать анализ энергетической эффективности работы машин.	Газодинамический расчёт ступени турбодетандера (Контрольная работа) Подбор компрессорного оборудования на основании требований по эффективности и техническим параметрам (Контрольная работа)
ПК-3	ИД-2 _{ПК-3} Знает основные направления развития и современные тенденции при расчете и анализе эффективности низкотемпературных установках	Знать: основные методики расчета проточных частей машин, количественные характеристики, используемые при подборе оборудования Уметь: проводить расчёты проточной части машин, составлять технические требования на машинное	Классификация, принцип действия и место в низкотемпературной технике нагнетателей и расширителей (Коллоквиум) Основные конструктивные элементы нагнетателей и расширителей, методы расчета проточной части (Коллоквиум)

		оборудование;	
--	--	---------------	--

II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

КМ-1. Классификация, принцип действия и место в низкотемпературной технике нагнетателей и расширителей

Формы реализации: Устная форма

Тип контрольного мероприятия: Коллоквиум

Вес контрольного мероприятия в БРС: 25

Процедура проведения контрольного мероприятия: Вопрос, время на подготовку, ответ

Краткое содержание задания:

Определить конечную температуру T_k процесса расширения воздуха в ступени турбодетандера при сл. параметрах:

начальная температура	$T_n = 140 \text{ К}$,
начальное давление	$P_n = 0,6 \text{ МПа}$,
конечное давление	$P_k = 0,15 \text{ МПа}$,
изоэнтروпийный КПД	$\eta_s = 0,85$.

Контрольные вопросы/задания:

Знать: основные методики расчета проточных частей машин, количественные характеристики, используемые при подборе оборудования	1.Турбодетандеры Понятие. Устройство. Энергетические уравнения ступени. Направляющий аппарат. Рабочее колесо. КПД. Регулирование холодопроизводительности. Характеристики детандера. Моделирование. Испытания. Парожидкостные турбодетандеры. Подшипники. Системы детандерных агрегатов. Детандер-компрессоры. Детандер-генераторы. 2.Турбокомпрессоры Ступень турбокомпрессора. Энергетические уравнения ступени компрессора. КПД. Рабочее колесо. Неподвижные элементы. Характеристики компрессорной ступени. Помпаж. Расчёт компрессорной ступени. Компрессорный агрегат. Регулирование. Одноосные многоступенчатые компрессоры. Многовальные компрессоры. Компандеры.
---	---

Описание шкалы оценивания:

Оценка: зачтено

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "зачтено" выставляется если задание выполнено правильно или с незначительными недочетами

Оценка: не зачтено

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "не зачтено" выставляется если задание не выполнено в отведенный срок или результат не соответствует заданию

КМ-2. Газодинамический расчёт ступени турбодетандера

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 25

Процедура проведения контрольного мероприятия: Слепой выбор варианта, время на подготовку, ответ

Краткое содержание задания:

Определить изоэнтروпийный КПД η_s процесса расширения воздуха в ступени турбодетандера при сл. параметрах:

начальная температура	$T_H = 140 \text{ К}$,
начальное давление	$P_H = 0,6 \text{ МПа}$,
конечное давление	$P_K = 0,15 \text{ МПа}$,
конечная температура	$T_K = 100 \text{ К}$.

Контрольные вопросы/задания:

Знать: устройство и принципы работы современных машин в установках получения низких температур;	1. <i>Крионасосы</i> Конструктивные отличия крионасоса от обычного. Кавитация внутренняя и внешняя. Правила проектирования трубопроводов обвязки. Обоснование правил. 2. <i>Поршневые компрессоры</i> Ступень компрессора. Энергетические уравнения ступени. КПД. Характеристики компрессорной ступени. Многоступенчатое сжатие. Регулирование.
---	---

Описание шкалы оценивания:

Оценка: зачтено

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "зачтено" выставляется если задание выполнено правильно или с незначительными недочетами

Оценка: не зачтено

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "не зачтено" выставляется если задание не выполнено в отведенный срок или результат не соответствует заданию

КМ-3. Основные конструктивные элементы нагнетателей и расширителей, методы расчета проточной части

Формы реализации: Устная форма

Тип контрольного мероприятия: Коллоквиум

Вес контрольного мероприятия в БРС: 25

Процедура проведения контрольного мероприятия: Вопрос, время на подготовку, ответ

Краткое содержание задания:

Определить конечную температуру T_K процесса сжатия воздуха в ступени центробежного компрессора при сл. параметрах:

начальная температура	$T_H = 300 \text{ К}$,
начальное давление	$P_H = 0,1 \text{ МПа}$,
конечное давление	$P_K = 0,17 \text{ МПа}$,
изоэнтروпийный КПД	$\eta_s = 0,8$.

Контрольные вопросы/задания:

Уметь: проводить расчёты проточной части машин, составлять технические требования на машинное	1. Определить изотермический КПД η_t процесса сжатия метана в ступени поршневого компрессора при сл. параметрах: начальная температура $T_H = 300 \text{ К}$,
---	--

оборудование;	начальное давление	$P_H = 1 \text{ МПа,}$
	конечное давление	$P_K = 3 \text{ МПа,}$
	конечная температура	$T_K = 394 \text{ К.}$
	2.Определить конечную температуру T_K процесса сжатия метана в ступени поршневого компрессора при сл. параметрах:	
	начальная температура	$T_H = 300 \text{ К,}$
	начальное давление	$P_H = 1 \text{ МПа,}$
	конечное давление	$P_K = 3 \text{ МПа,}$
	изотермический КПД	$\eta_t = 0,8.$
	3.Определить изотермический КПД η_t процесса сжатия воздуха в ступени поршневого компрессора при сл. параметрах:	
	начальная температура	$T_H = 300 \text{ К,}$
	начальное давление	$P_H = 0,1 \text{ МПа,}$
	конечное давление	$P_K = 0,4 \text{ МПа,}$
	конечная температура	$T_K = 448 \text{ К.}$
	4.Определить конечную температуру T_K процесса сжатия воздуха в ступени поршневого компрессора при сл. параметрах:	
	начальная температура	$T_H = 300 \text{ К,}$
	начальное давление	$P_H = 0,1 \text{ МПа,}$
	конечное давление	$P_K = 0,4 \text{ МПа,}$
	изотермический КПД	$\eta_t = 0,8.$
	5.Определить изоэнтальпийный КПД η_s процесса сжатия метана в ступени центробежного компрессора при сл. параметрах:	
	начальная температура	$T_H = 300 \text{ К,}$
	начальное давление	$P_H = 1 \text{ МПа,}$
	конечное давление	$P_K = 1,7 \text{ МПа,}$
	конечная температура	$T_K = 337 \text{ К.}$

Описание шкалы оценивания:

Оценка: зачтено

Описание характеристики выполнения задания: Оценка "зачтено" выставляется если задание выполнено правильно или с незначительными недочетами

Оценка: не зачтено

Описание характеристики выполнения задания: Оценка "не зачтено" выставляется если задание не выполнено в отведенный срок или результат не соответствует заданию

КМ-4. Подбор компрессорного оборудования на основании требований по эффективности и техническим параметрам

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 25

Процедура проведения контрольного мероприятия: Вопрос, время на подготовку, ответ

Краткое содержание задания:

Определить изоэнтальпийный КПД η_s процесса расширения метана в ступени турбодетандера при сл. параметрах:

начальная температура
начальное давление
конечное давление
конечная температура

$T_H = 264 \text{ K}$,
 $P_H = 13 \text{ МПа}$,
 $P_K = 7 \text{ МПа}$,
 $T_K = 228 \text{ K}$.

Контрольные вопросы/задания:

Уметь: составлять технические требования на машинное оборудование, делать анализ энергетической эффективности работы машин.	1.Требования экологии: шум, выброс масла, потребление воды. 2.Отличие эффективности компрессорного агрегата от КПД ступени. Сравнение турбо и поршневого компрессоров по фактическим затратам энергии [кВт·час/кг]. Влияние на эффективность внешних условий (параметров). 3.<i>Спиральные компрессоры</i> Описание. Принцип действия. Устройство. Характеристики. Области применения. 4.<i>Винтовые компрессоры</i> Описание. Принцип действия. Устройство. Маслозаполненные и безмасляные. Характеристики. Области применения 5.<i>Поршневые компрессоры</i> Ступень компрессора. Энергетические уравнения ступени. КПД. Характеристики компрессорной ступени. Многоступенчатое сжатие. Регулирование.
--	---

Описание шкалы оценивания:

Оценка: зачтено

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "зачтено" выставляется если задание выполнено правильно или с незначительными недочетами

Оценка: не зачтено

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "не зачтено" выставляется если задание не выполнено в отведенный срок или результат не соответствует заданию

СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

3 семестр

Форма промежуточной аттестации: Зачет с оценкой

Пример билета

1. Турбодетандер. Понятие. Устройство ступени турбодетандера.
2. Отличие криогенного насоса от обычного. Правила выполнения криогенных насосных трубопроводов.

Процедура проведения

Слепой выбор задания, время на подготовку ответа, ответ

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

1. Компетенция/Индикатор: ИД-1ПК-2 Владеет основными методами и подходами, применяемыми при анализе работы низкотемпературных систем

Вопросы, задания

- 1.1. Турбодетандер: Назначение, устройство, контрольные сечения элементов ступени.
2. Криогенные насосы. Области применения.
- 2.1. Уравнение сохранения энергии для ступени турбодетандера.
2. Устройство компрессорных агрегатов. Характеристики компрессорной ступени и агрегата. Эффективность компрессора.
- 3.1. Уравнение Эйлера для ступени турбодетандера.
2. Спиральный компрессор. Энергетические уравнения ступени компрессора. Цикл работы ступени. T-s диаграмма. Коэффициенты полезного действия.
- 4.1. Турбодетандер. Уравнения сохранения энергии для входного устройства, направляющего аппарата, рабочего колеса, выходного устройства.
2. Спиральный компрессор. Устройство ступени. Работа.
- 5.1. Турбодетандер. Потери энергии в каналах проточной части. Их классификация и причины возникновения.
2. Винтовой компрессор. Характеристики компрессорной ступени и агрегата. Эффективность компрессора.

Материалы для проверки остаточных знаний

1. Определить конечную температуру T_k процесса расширения воздуха в ступени турбодетандера при сл. параметрах:

начальная температура	$T_n = 140 \text{ K}$,
начальное давление	$P_n = 0,6 \text{ МПа}$,
конечное давление	$P_k = 0,15 \text{ МПа}$,
изэнтропийный КПД	$\eta_s = 0,85$.

Ответы:

Устный ответ

Верный ответ: 100 K

2. Определить изэнтропийный КПД η_s процесса расширения воздуха в ступени турбодетандера при сл. параметрах:

начальная температура	$T_n = 140 \text{ K}$,
-----------------------	-------------------------

начальное давление	$P_H = 0,6 \text{ МПа,}$
конечное давление	$P_K = 0,15 \text{ МПа,}$
конечная температура	$T_K = 100 \text{ К.}$

Ответы:

Устный ответ

Верный ответ: 0,85

3. Определить начальную температуру T_H процесса расширения воздуха в ступени турбодетандера при сл. параметрах:

начальное давление	$P_H = 0,6 \text{ МПа,}$
конечное давление	$P_K = 0,15 \text{ МПа,}$
конечная температура	$T_K = 100 \text{ К,}$
изоэнтروпийный КПД	$\eta_s = 0,85.$

Ответы:

Устный ответ

Верный ответ: 140 К

4. Определить конечную температуру T_K процесса расширения гелия в ступени турбодетандера при сл. параметрах:

начальная температура	$T_H = 80 \text{ К,}$
начальное давление	$P_H = 2,4 \text{ МПа,}$
конечное давление	$P_K = 0,8 \text{ МПа,}$
изоэнтропийный КПД	$\eta_s = 0,75.$

Ответы:

Устный ответ

Верный ответ: 59 К

5. Определить изоэнтропийный КПД η_s процесса расширения гелия в ступени турбодетандера при сл. параметрах:

начальная температура	$T_H = 80 \text{ К,}$
начальное давление	$P_H = 2,4 \text{ МПа,}$
конечное давление	$P_K = 0,8 \text{ МПа,}$
конечная температура	$T_K = 59 \text{ К.}$

Ответы:

Устный ответ

Верный ответ: 0,75

2. Компетенция/Индикатор: ИД-2_{ПК-3} Знает основные направления развития и современные тенденции при расчете и анализе эффективности низкотемпературных установках

Вопросы, задания

- 1.1. Турбодетандер. Понятие. Устройство ступени турбодетандера.
2. Отличие криогенного насоса от обычного. Правила выполнения криогенных насосных трубопроводов.
- 2.1. Турбодетандер. Основные конструктивные параметры (ОКП).
2. Винтовой компрессор. Устройство компрессорных агрегатов: со смазкой, "сухие". Элементы компрессорного агрегата.
- 3.1. Турбодетандер. Рабочий процесс ступени на диаграмме в координатах энтальпия-энтропия.
2. Винтовой компрессор. Коэффициенты полезного действия ступени.
- 4.1. Турбодетандер. Направляющий аппарат. Виды НА. Элементы направляющего аппарата.
2. Винтовой компрессор. Цикл работы ступени. T-s диаграмма.

- 5.1. Турбодетандер. Направляющий аппарат. Понятие критического режима течения. Влияние режима течения на геометрию сопла. Сопло с косым срезом. Расход газа через сопло.
2. Винтовой компрессор. Энергетические уравнения ступени компрессора.

Материалы для проверки остаточных знаний

1. Определить начальное давление P_n процесса расширения воздуха в ступени турбодетандера при сл. параметрах:

начальная температура	$T_n = 140 \text{ K}$,
конечное давление	$P_k = 0,15 \text{ МПа}$,
конечная температура	$T_k = 100 \text{ K}$,
изоэнтропийный КПД	$\eta_s = 0,85$.

Ответы:

Устный ответ

Верный ответ: 0,6 МПа

2. Определить конечную температуру T_k процесса расширения метана в ступени турбодетандера при сл. параметрах:

начальная температура	$T_n = 264 \text{ K}$,
начальное давление	$P_n = 13 \text{ МПа}$,
конечное давление	$P_k = 7 \text{ МПа}$,
изоэнтропийный КПД	$\eta_s = 0,85$.

Ответы:

Устный ответ

Верный ответ: 228 K

3. Определить изоэнтропийный КПД η_s процесса расширения метана в ступени турбодетандера при сл. параметрах:

начальная температура	$T_n = 264 \text{ K}$,
начальное давление	$P_n = 13 \text{ МПа}$,
конечное давление	$P_k = 7 \text{ МПа}$,
конечная температура	$T_k = 228 \text{ K}$.

Ответы:

Устный ответ

Верный ответ: 0,85

4. Определить начальную температуру T_n процесса расширения метана в ступени турбодетандера при сл. параметрах:

начальное давление	$P_n = 13 \text{ МПа}$,
конечное давление	$P_k = 7 \text{ МПа}$,
конечная температура	$T_k = 228 \text{ K}$,
изоэнтропийный КПД	$\eta_s = 0,85$.

Ответы:

Устный ответ

Верный ответ: 264 K

5. Определить начальное давление P_n процесса расширения метана в ступени турбодетандера при сл. параметрах:

начальная температура	$T_n = 264 \text{ K}$,
конечное давление	$P_k = 7 \text{ МПа}$,
конечная температура	$T_k = 228 \text{ K}$,
изоэнтропийный КПД	$\eta_s = 0,85$.

Ответы:

Устный ответ

Верный ответ: 13 МПа

II. Описание шкалы оценивания

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена в рамках "продвинутого" уровня. Ответы даны верно, четко сформулированные особенности практических решений

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена в рамках "базового" уровня. Большинство ответов даны верно. В части материала есть незначительные недостатки

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена в рамках "порогового" уровня. Основная часть задания выполнена верно. на вопросы углубленного уровня

III. Правила выставления итоговой оценки по курсу