

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

**Направление подготовки/специальность: 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика**

**Наименование образовательной программы: Термоядерные реакторы и плазменные установки**

**Уровень образования: высшее образование - бакалавриат**

**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Криогенные и сверхпроводящие системы**

**Москва  
2023**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Комов А.Т.
	Идентификатор	R66e07e55-KomovAT-7eacf4ed

(подпись)

А.Т. Комов

(расшифровка  
подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Дедов А.В.
	Идентификатор	R72c90f41-DedovAV-d71cc7f4

(подпись)

А.В. Дедов

(расшифровка  
подписи)

Заведующий  
выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Дедов А.В.
	Идентификатор	R72c90f41-DedovAV-d71cc7f4

(подпись)

А.В. Дедов

(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-4 Способен к проектированию узлов экспериментальных и промышленных ядерных и плазменных установок

ИД-2 Владеет основами методики расчета и проектирования криогенных и сверхпроводящих систем термоядерных экспериментальных установок и реакторов

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

Форма реализации: Билеты (письменный опрос)

1. Параметры и особенности системы криовакуумной откачки термоядерных экспериментальных установок и реакторов (ЭТУ и ТЯР). Основы криогенной техники. Методы получения низких температур. Методика расчета показателей КГУ (Контрольная работа)

2. Структура и состав системы криогенного обеспечения ИТЭР (Контрольная работа)

3. Структура и состав СМС ТЯР, СКО больших токамаков (Контрольная работа)

4. Физическое обоснование явления сверхпроводимости. Технология производства сверхпроводящих кабелей. Расчет времени захолаживания катушек СМС, расхода криогена (Контрольная работа)

## БРС дисциплины

8 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %				
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
	Срок КМ:	4	4	8	8
Криовакуумные системы (КВС) экспериментальных термоядерных установок (ЭТУ) и реакторов					
Криовакуумные системы (КВС) экспериментальных термоядерных установок (ЭТУ) и реакторов	+				
Основы криогенной техники					
Основы криогенной техники	+				
Основные процессы получения низких температур					
Основные процессы получения низких температур	+	+			
Общие принципы построения схем криогенных установок					

Общие принципы построения схем криогенных установок		+		
Методика расчета и оптимизации параметров рабочего тела в криогенных установках				
Методика расчета и оптимизации параметров рабочего тела в криогенных установках		+	+	
Сверхпроводящие магнитные системы экспериментальных термоядерных установок				
Сверхпроводящие магнитные системы экспериментальных термоядерных установок			+	+
Системы криогенного обеспечения больших токамаков и реакторов: характеристика систем, режимы работы				
Системы криогенного обеспечения больших токамаков и реакторов: характеристика систем, режимы работы			+	+
Вес КМ:	20	30	30	20

\$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-4	ИД-2ПК-4 Владеет основами методики расчета и проектирования криогенных и сверхпроводящих систем термоядерных экспериментальных установок и реакторов	<p>Знать:</p> <p>структуру и состав криовакуумных систем термоядерных экспериментальных установок и реактора</p> <p>методы расчета основных показателей криогенных гелиевых установок</p> <p>структуру и состав криогенных и сверхпроводящих систем термоядерных экспериментальных установок и реактора</p> <p>структуру, состав и технологию изготовления криогенных сверхпроводящих кабелей</p> <p>Уметь:</p> <p>разработать принципиальную схему и выполнять расчет параметров криовакуумной системы</p>	<p>Параметры и особенности системы криовакуумной откачки термоядерных экспериментальных установок и реакторов (ЭТУ и ТЯР). Основы криогенной техники. Методы получения низких температур. Методика расчета показателей КГУ (Контрольная работа)</p> <p>Физическое обоснование явления сверхпроводимости. Технология производства сверхпроводящих кабелей. Расчет времени захлаживания катушек СМС, расхода криогена (Контрольная работа)</p> <p>Структура и состав СМС ТЯР, СКО больших токамаков (Контрольная работа)</p> <p>Структура и состав системы криогенного обеспечения ИТЭР (Контрольная работа)</p>

		термоядерных установок выполнять расчет термодинамических параметров криогенных гелиевых установок выполнять теплотехнические расчеты конструкций криогенных и сверхпроводящих систем термоядерного реактора	
--	--	---	--

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

**КМ-1. Параметры и особенности системы криовакуумной откачки термоядерных экспериментальных установок и реакторов (ЭТУ и ТЯР). Основы криогенной техники. Методы получения низких температур. Методика расчета показателей КГУ**

**Формы реализации:** Билеты (письменный опрос)

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** КМ проводится в виде письменного ответа на вопросы

**Краткое содержание задания:**

Студентам предлагается ответить на вопросы письменного опроса

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: структуру и состав криовакуумных систем термоядерных экспериментальных установок и реактора	1. Структура криовакуумных систем больших токамаков и реакторов
Уметь: разработать принципиальную схему и выполнять расчет параметров криовакуумной системы термоядерных установок	1. Выполнить теплотехнический расчет параметров криовакуумной системы термоядерной установки 1

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 75*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

**КМ-2. Физическое обоснование явления сверхпроводимости. Технология производства сверхпроводящих кабелей. Расчет времени захолаживания катушек СМС, расхода криогена**

**Формы реализации:** Билеты (письменный опрос)

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС: 30**

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** КМ проводится в виде письменного ответа на вопросы

**Краткое содержание задания:**

Студентам предлагается ответить на вопросы письменного опроса

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: методы расчета основных показателей криогенных гелиевых установок	1. Основные понятия. Термины, определения. Классификация криогенных систем: рефрижераторы, ожижители, разделительные установки
Уметь: выполнять расчет термодинамических параметров криогенных гелиевых установок	1. Выполнить расчет криогенной гелиевой установки 1

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 75*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

### **КМ-3. Структура и состав СМС ТЯР, СКО больших токамаков**

**Формы реализации:** Билеты (письменный опрос)

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС: 30**

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** КМ проводится в виде письменного ответа на вопросы

**Краткое содержание задания:**

Студентам предлагается ответить на вопросы письменного опроса

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: структуру, состав и технологию изготовления криогенных сверхпроводящих кабелей	1. Режимы работы сверхпроводящих систем термоядерных установок и реакторов
Уметь: выполнять теплотехнические расчеты конструкций криогенных и сверхпроводящих систем термоядерного реактора	1. Выполнить теплотехнический расчет криогенной и сверхпроводящей систем термоядерного реактора 1

**Описание шкалы оценивания:**



Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 90

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 75

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

#### **КМ-4. Структура и состав системы криогенного обеспечения ИТЭР**

**Формы реализации:** Билеты (письменный опрос)

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** КМ проводится в виде письменного ответа на вопросы

**Краткое содержание задания:**

Студентам предлагается ответить на вопросы письменного опроса

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: структуру и состав криогенных и сверхпроводящих систем термоядерных экспериментальных установок и реактора	1. Системы криогенного обеспечения термоядерного реактора, характеристика систем, режимы работы
---	---

**Описание шкалы оценивания:**

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 90

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 75

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

8 семестр

Форма промежуточной аттестации: Экзамен

Пример билета

1. Вакуумные системы термоядерных реакторов и установок. Структура, компоновка, технология подготовки
2. Основные процессы для получения низких температур
3. Оценить толщину криоосадка на пластинах первой ступени КВН ИТЭР перед регенерацией. Исходные данные: продолжительность рабочего периода первой ступени-22 часа, поток смеси газов на входе в КВН-, доля примеси-3%, площадь поверхности криопанелей 1-й ступени- $S=1\text{м}^2$ , плотность криоосадка Принять эффективную молярную массу примеси

Процедура проведения

Экзамен проводится в устной форме по билетам согласно программе экзамена

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

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-2<sub>ПК-4</sub> Владеет основами методики расчета и проектирования криогенных и сверхпроводящих систем термоядерных экспериментальных установок и реакторов

Вопросы, задания

- 1.1. Вакуумные системы термоядерных реакторов и установок. Структура, компоновка, технология подготовки
2. Основные процессы для получения низких температур
3. Оценить толщину криоосадка на пластинах первой ступени КВН ИТЭР перед регенерацией. Исходные данные: продолжительность рабочего периода первой ступени-22 часа, поток смеси газов на входе в КВН-, доля примеси-3%, площадь поверхности криопанелей 1-й ступени- $S=1\text{м}^2$ , плотность криоосадка Принять эффективную молярную массу примеси
- 2.1. Высоковакуумная технология: конструктивные материалы, разборные и неразборные соединения
2. Основы методики расчета криогенной гелиевой установки
3. Рассчитать удельную холодопроизводительность КГУ. Исходные данные: расход гелия 1г/с, давление прямого потока  $a=0.05$
- 3.1. Методика выбора и согласования высоковакуумных и форвакуумных насосов. Графическая проверка возможности совместной работы
2. Термомеханические методы получения холода
3. Рассчитать поток  $\text{O}_2$ , диффундирующий из воздуха через отверстие в стенке большой камеры, наполненной  $\text{N}_2$ . Площадь отверстия  $S = 4 \text{ мм}^2$ , толщина стенки = 1 см, давление и температура в камере  $p = 1,02 \cdot 10^5 \text{ Па}$  и  $T = 298\text{K}$ , соответственно
- 4.1. Особенности явления переноса в разреженных газах. Вязкость
2. Температура инверсии. Кривая инверсии
3. Рассчитать расход теплоносителя в криогенном насосе–разделителе смеси. Исходные данные:  $=2 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с}$  – расход аргона, внутренний диаметр канала  $m$ , а длина  $l_k=10,0\text{м}$ ;  $=20,0 \text{ K}$  – температура теплоносителя (гелия) на входе при

давлении  $p=10$  бар; средняя температура поверхности теплообменника (криопанели)  $=35$  К. Принять значение коэффициента теплоотдачи  $=300$  Вт/(м<sup>2</sup>К). Справочные данные: теплота кристаллизации аргона, удельная теплоемкость гелия

5.1. Методы измерения общих давлений. Схема типового ионного источника

2. Методика расчета удельной холодопроизводительности криогенной гелиевой установки

3. Рассчитать время охлаждения кожуха СМС в диапазоне температур 80-20К.

Исходные данные: длина сверхпроводящей шины  $l=1500$  м, диаметр канала для прокачки теплоносителя  $d_k=4$  мм, масса кожуха катушки СМС кг, осредненный температурный напор на стенке, давление гелия  $p_{He}=2 \cdot 10^6$  Па, теплоотдача принимается Вт/(м<sup>2</sup> К), материал кожуха-нержавеющая сталь 1Х18Н10Т. Принять удельную теплоемкость,  $a=0.01$

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Совершается ли работа над внешними телами при адиабатическом дросселировании?

Ответы:

Да Нет Иногда

Верный ответ: Нет

2. Знак работы в обратном цикле Карно?

Ответы:

$>0$   $<0$   $=0$

Верный ответ:  $<0$

3. Механизм откачки аргона в крио-разделительном насосе ИТЭРа?

Ответы:

Кипение Испарение Конденсация Сорбция

Верный ответ: Конденсация

4. Механизм откачки гелия в КВН ИТЭРа?

Ответы:

Криосорбция Сорбция Адсорбция Криозахват

Верный ответ: Криозахват

5. Температура первой ступени КВН ИТЭР?

Ответы:

Тос  $T > T_{ос}$   $T=90$ К  $T=4$ К

Верный ответ:  $T=90$ К

6. Какой режим криовакуумного насоса в ИТЭРе?

Ответы:

Непрерывный Режим откачки - режим регенерации Стационарный Нестационарный

Верный ответ: Режим откачки - режим регенерации

7. Где происходит внешнее охлаждение?

Ответы:

В дросселе В детандере В теплообменнике компрессора

Верный ответ: В теплообменнике компрессора

8. В детандере совершается

Ответы:

Работа над внешними телами Внешний теплообмен Работа не совершается

Верный ответ: Работа над внешними телами

9. Внутреннее охлаждение происходит в

Ответы:

детандере компрессоре в регенеративном теплообменнике в холодном теплообменнике

Верный ответ: детандере

**10. Знак дифференциального дроссель-эффекта**

Ответы:

$<0 >0 +0$

Верный ответ:  $>0$

**11. Возможно ли твердое состояние у гелия?**

Ответы:

Да Нет Иногда

Верный ответ: Да

**12. Сверхпроводник это?**

Ответы:

Идеальный проводник Идеальный диэлектрик Ферромагнетик Парамагнетик

Верный ответ: Идеальный диэлектрик

**13. При каких температурах возможна сверхпроводимость?**

Ответы:

$T > T_{ос}$   $T < T_{кр}$

Верный ответ:  $T < T_{кр}$

**14. Гелий-3 можно ожить?**

Ответы:

Нет Да Можно при низких давлениях

Верный ответ: Нет

**15. Гелий имеет тройную точку?**

Ответы:

Имеет, две Нет Да

Верный ответ: Нет

**16. Тепловая машина с замкнутым циклом направлена**

Ответы:

Против часовой стрелки По часовой стрелке Комбинированный

Верный ответ: По часовой стрелке

**17. Какое направление у холодильной машины?**

Ответы:

По часовой стрелке Против часовой стрелки Комбинированный

Верный ответ: Против часовой стрелки

**18. Какие системы должна включать в себя криогенная установка с замкнутым циклом, кроме устройства для внутреннего охлаждения?**

Ответы:

Детандер Дроссель Компрессор+ холодный теплообменник Холодный теплообменник

Верный ответ: Компрессор+ холодный теплообменник

**19. Тепловой поток самопроизвольно передается от тела 1 к телу 2**

Ответы:

$T_1 > T_2$   $T_1 = T_2$   $T_1 < T_2$

Верный ответ:  $T_1 > T_2$

**20. Холодопроизводительность какого процесса выше?**

Ответы:

Дросселирование Детандирование Одинаковое

Верный ответ: Детандирование

**II. Описание шкалы оценивания**

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 90

*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:* 75

*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:* 60

*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***

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