

**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	Знать: структуру и состав криовакуумных систем термоядерных экспериментальных установок и реактора методы расчета основных показателей криогенных гелиевых установок структуру и состав криогенных и сверхпроводящих систем термоядерных экспериментальных установок и реактора структуру, состав и технологию изготовления криогенных сверхпроводящих кабелей Уметь: разработать принципиальную схему и выполнять расчет параметров криовакуумной системы	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) Физическое обоснование явления сверхпроводимости. Технология производства сверхпроводящих кабелей. Расчет времени захлаживания катушек СМС, расхода криогена (Контрольная работа) Структура и состав СМС ТЯР, СКО больших токамаков (Контрольная работа) Структура и состав системы криогенного обеспечения ИТЭР (Контрольная работа)

		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  $O_2$ , диффундирующий из воздуха через отверстие в стенке большой камеры, наполненной  $N_2$ . 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 1X18H10T. 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.