

**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  
Теплофизические процессы в низкотемпературных системах**

**Москва  
2024**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

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

Ю.Ю.  
Пузина

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

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

А.П.  
Крюков

Заведующий  
выпускающей кафедрой

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

Ю.Ю.  
Пузина

## 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 анализировать и моделировать физические процессы в элементах энергетического оборудования

ИД-5 Знает методы определения параметров работы элементов энергетического оборудования и способен провести их оценку

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. "Теплофизические процессы в современном криогенном оборудовании" (Реферат)
2. «Гидравлическое сопротивление двухфазных потоков» (Контрольная работа)
3. «Переходные процессы в трубопроводах» (Контрольная работа)

Форма реализации: Проверка задания

1. Типовой расчет "Хранение, заправка и выдача криогенной жидкости" (Решение задач)

## БРС дисциплины

### 2 семестр

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

КМ-1 «Гидравлическое сопротивление двухфазных потоков» (Контрольная работа)

КМ-2 «Переходные процессы в трубопроводах» (Контрольная работа)

КМ-3 Типовой расчет "Хранение, заправка и выдача криогенной жидкости" (Решение задач)

КМ-4 "Теплофизические процессы в современном криогенном оборудовании" (Реферат)

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %				
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
	Срок КМ:	6	9	12	16

Физико-математические модели нестационарных теплогидравлических процессов в обогреваемых каналах				
Физико-математические модели нестационарных теплогидравлических процессов в обогреваемых каналах			+	+
Теплофизические процессы в криогенных трубопроводах				
Теплофизические процессы в криогенных трубопроводах			+	+
Регазификация криогенных жидкостей				
Регазификация криогенных жидкостей	+	+	+	
Переходные процессы в криогенных трубопроводах				
Переходные процессы в криогенных трубопроводах	+	+	+	
Теплофизические процессы в криогенных резервуарах				
Теплофизические процессы в криогенных резервуарах			+	+
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-5 <sub>ПК-1</sub> Знает методы определения параметров работы элементов энергетического оборудования и способен провести их оценку	Знать: Аналитические и экспериментальные подходы к определению характерных параметров теплофизических процессов, возникающих при работе с жидкими криогенными продуктами. Основные положения низкотемпературной термодинамики, гидродинамики, теплообмена, необходимых для расчета технологических операций с криогенными жидкостями	КМ-3 Типовой расчет "Хранение, заправка и выдача криогенной жидкости" (Решение задач) КМ-4 "Теплофизические процессы в современном криогенном оборудовании" (Реферат)
ПК-3	ИД-2 <sub>ПК-3</sub> Знает основные направления развития и современные тенденции при расчете и анализе эффективности низкотемпературных установках	Уметь: Самостоятельно разбираться в существующих методиках расчета процессов в криогенных емкостях и применять их для решения	КМ-1 «Гидравлическое сопротивление двухфазных потоков» (Контрольная работа) КМ-2 «Переходные процессы в трубопроводах» (Контрольная работа) КМ-3 Типовой расчет "Хранение, заправка и выдача криогенной жидкости" (Решение задач)

		поставленной задачи. Анализировать теплогидравлические процессы в элементах низкотемпературного оборудования и применять соответствующие методики расчета	
--	--	--	--

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

### КМ-1. «Гидравлическое сопротивление двухфазных потоков»

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Работа выполняется по вариантам на практическом занятии. В задании одна задача. Время на проведение 90 минут.

#### Краткое содержание задания:

Индивидуальное задание на расчет гидравлическое сопротивление двухфазных потоков.

#### Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Уметь: Самостоятельно разбираться в существующих методиках расчета процессов в криогенных емкостях и применять их для решения поставленной задачи. Анализировать теплогидравлические процессы в элементах низкотемпературного оборудования и применять соответствующие методики расчета	1. По обогреваемому каналу ( $D \times d \times L = 6 \times 1 \times 40000$ мм, $Q = 200$ Вт) движется поток кислорода с расходом 3 г/сек. Определить перепад давлений по длине канала, если температура жидкости на входе равна 90К. Давление по длине канала считать постоянным и равным 0,3 МПа. 2. По обогреваемому каналу ( $D \times d \times L = 10 \times 1 \times 50000$ мм) движется поток аргона с расходом 5 г/сек. Определить перепад давлений по длине канала, если паросодержание на входе равно минус 0,08, а на выходе 0,6. Давление по длине канала считать постоянным и равным 0,2 МПа. 3. По обогреваемому каналу ( $D \times d \times L = 8 \times 1 \times 50000$ мм, $Q = 500$ Вт) движется поток метана с расходом 4 г/сек. Определить перепад давлений по длине канала, если паросодержание на входе равно минус 0,08. Давление по длине канала считать постоянным и равным 0,3 МПа, теплофизические свойства определять при температуре насыщения.

#### Описание шкалы оценивания:

*Оценка: 5 («отлично»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

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

*Оценка: 4 («хорошо»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

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

Оценка: 3 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

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

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

## КМ-2. «Переходные процессы в трубопроводах»

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Работа выполняется по индивидуальным вариантам на практическом занятии. В задании 2 задачи. Время на проведении 90 минут.

### Краткое содержание задания:

Индивидуальное задание на расчет захолаживания и заполнения трубопроводов криогенной жидкостью, расчет вторичного гидроудара

### Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Уметь: Самостоятельно разбираться в существующих методиках расчета процессов в криогенных емкостях и применять их для решения поставленной задачи. Анализировать теплогидравлические процессы в элементах низкотемпературного оборудования и применять соответствующие методики расчета	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Оценить длительность захолаживания и заполнения трубопровода жидким водородом при следующих условиях: диаметр трубопровода 30 мм, толщина стенки 2 мм, длина 60 м, материал сталь X18H10T, давление на входе 0,3 МПа, на выходе 0,1 МПа (теплопритоком извне пренебречь, коэффициент трения принять постоянным). Определить средний расход газа на выходе в процессе заполнения.</li><li>2. Оценить величину вторичного гидроудара в импульсной трубке манометра в схеме трубопровода для жидкого кислорода при мгновенном закрытии клапана V2. L1=60м, d1=0.04м, P1=0.3МПа, P2=0.1МПа, d2=0.01м, L2=2м, lf=0.02, коэффициент <math>\zeta=4</math></li></ol> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Оценить длительность захолаживания канала газообразным азотом с расходом 5г/с при следующих условиях: наружный диаметр канала 10 мм, диаметр внутреннего канала 8 мм, длина канала 250 м, начальная температура стенки 300К, температура газа на входе 100К. Материал канала - медь (теплопритоком извне</li></ol>

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
	<p>пренебречь, коэффициент трения принять постоянным).</p> <p>2. Определить величину гидроудара при открытии клапана V1. <math>\zeta_1=3+2.5*\text{тоткр}/\tau</math>, L3=2 м, тоткр =2 с</p>

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5 («отлично»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

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

*Оценка: 4 («хорошо»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

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

*Оценка: 3 («удовлетворительно»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

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

*Оценка: 2 («неудовлетворительно»)*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено*

**КМ-3. Типовой расчет "Хранение, заправка и выдача криогенной жидкости"**

**Формы реализации:** Проверка задания

**Тип контрольного мероприятия:** Решение задач

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Выполняется индивидуальная проверка выполненного расчетного задания и ответы на вопросы.

**Краткое содержание задания:**

Индивидуальное задание на расчет по теме "Хранение, заправка и выдача криогенной жидкости"

**Контрольные вопросы/задания:**

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Знать: Аналитические и экспериментальные подходы к определению характерных параметров теплофизических процессов, возникающих при работе с жидкими криогенными продуктами. Основные положения низкотемпературной термодинамики, гидродинамики, теплообмена, необходимых для расчета технологических операций с криогенными жидкостями	<p>1.Хранение с открытым и закрытым дренажем</p> <p>2.Выдача криогенных жидкостей из резервуаров</p> <p>3.Схемы заправки емкостного оборудования криогенной жидкостью</p>
Уметь: Самостоятельно разбираться в	1.Из резервуара А за минимально

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
<p>существующих методиках расчета процессов в криогенных емкостях и применять их для решения поставленной задачи. Анализировать теплогидравлические процессы в элементах низкотемпературного оборудования и применять соответствующие методики расчета</p>	<p>возможное время необходимо заправить <math>V_{аб}</math> м<sup>3</sup> жидкого кислорода в резервуар В.  При проведении расчетов необходимо:  Описать последовательность технологических операций (регламент режима заправки);  Определить длительность заправки;  Определить количество газа на вытеснение жидкости из резервуара А (минимальное, максимальное, действительное)  Определить потери криоагента при заправке, включая потери на захлаживание трубопровода и резервуара В, потери при сливе жидкости из трубопровода, а также количество газа на вытеснение жидкости из резервуара А.  Оценить величину гидроудара при открытии и закрытии клапанов в начале и конце заправки, предложить меры по снижению гидроудара.</p>

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5 («отлично»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

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

*Оценка: 4 («хорошо»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

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

*Оценка: 3 («удовлетворительно»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

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

*Оценка: 2 («неудовлетворительно»)*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

**КМ-4. "Теплофизические процессы в современном криогенном оборудовании"**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Реферат

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Представление письменной работы, ответы на вопросы.

**Краткое содержание задания:**

Подготовка индивидуальной работы на одну из предложенных преподавателем тем

**Контрольные вопросы/задания:**

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
<p>Знать: Аналитические и экспериментальные подходы к определению характерных параметров теплофизических процессов, возникающих при работе с жидкими криогенными продуктами. Основные положения низкотемпературной термодинамики, гидродинамики, теплообмена, необходимых для расчета технологических операций с криогенными жидкостями</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Схема, теплофизические процессы и экологическое влияние в крупных криогенных проектах</li> <li>2.Применение сжиженного водорода в качестве альтернативы традиционным энергоносителям</li> <li>3.Применение метана в качестве топлива для электростанций</li> <li>4.Системы охлаждения радиоэлектронной аппаратуры</li> <li>5.Методы охлаждения криогенных жидкостей</li> <li>6.Особенности захлаживания гелиевых криогенных систем</li> <li>7.Расчет теплопотоков через изоляцию</li> </ol>

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5 («отлично»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

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

*Оценка: 4 («хорошо»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

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

*Оценка: 3 («удовлетворительно»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

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

*Оценка: 2 («неудовлетворительно»)*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

## 2 семестр

**Форма промежуточной аттестации:** Экзамен

### Пример билета

1. Захлаживание короткого канала криогенной жидкостью.
2. Кристаллизация диоксида углерода при хранении и регазификации криогенных жидкостей.
3. Определить оптимальную скорость потока жидкого азота в канале ( $D*d*L=7*1*20000$  мм,  $Q=314$  Вт), если коэффициент гидравлического сопротивления равен 0.01

### Процедура проведения

Слепой выбор билета, время на ответ, ответ.

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

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-5<sub>ПК-1</sub> Знает методы определения параметров работы элементов энергетического оборудования и способен провести их оценку

### Вопросы, задания

- 1.1. Захлаживание короткого канала криогенной жидкостью.
  2. Кристаллизация диоксида углерода при хранении и регазификации криогенных жидкостей.
  3. Определить оптимальную скорость потока жидкого азота в канале ( $D*d*L=7*1*20000$  мм,  $Q=314$  Вт), если коэффициент гидравлического сопротивления равен 0.01
- 2.1. Бездренажное хранение.
  2. Виды опасностей при работе с криогенными жидкостями.
  3. Определите мгновенную скорость жидкого азота в тупиковом отводе разрушенного манометра после мгновенного закрытия клапана в основном трубопроводе, если его предельно допустимое давление составляет 16 МПа.

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Виды теплоизоляции в криогенных системах

Ответы:

Перечисление видов изоляции

Верный ответ: Газонаполненная Высоковакуумная Вакуумно-порошковая Экранно-вакуумная

2. Меры борьбы со вторичным гидроударом в криогенных трубопроводах

Ответы:

Перечисление

Верный ответ: Установка местных сопротивлений в начале отвода Увеличение диаметра отвода Размещение клапана на удалении Потокоуправляемость клапанов

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

### **Вопросы, задания**

- 1.1. Гидроудар в криогенных системах при заполнении тупиковых отводов (вторичный гидроудар).
2. Виды теплоизоляции. Материалы.
3. Теплоизолированный баллон заполняется воздухом от компрессора с температурой 77С до максимального давления 200 бар. Определите максимальную температуру баллона.

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

1. На вход в обогреваемый канал ( $D \cdot d \cdot L = 6 \cdot 1 \cdot 20000$  мм,  $Q = 200$  Вт) поступает поток насыщенного азота с расходом 4 г/с. Определить паросодержание на выходе. Теплота фазового перехода  $r = 200$  кДж/кг

Ответы:

Решение задачи

Верный ответ: 0.25

2. Методы охлаждения криогенных жидкостей

Ответы:

Перечисление

Верный ответ: Вакуумирование Барботажа Внешний холодильный цикл Строний криоагент

### **II. Описание шкалы оценивания**

*Оценка: 5 («отлично»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 80*

*Описание характеристики выполнения знания: Задача решена правильно. Даны полные ответы на вопросы в билетах. Даны полные ответы на дополнительные вопросы.*

*Оценка: 4 («хорошо»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 65*

*Описание характеристики выполнения знания: Задача решена правильно. Даны полные ответы на вопросы в билетах. Даны неполные ответы на дополнительные вопросы.*

*Оценка: 3 («удовлетворительно»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания: Задача решена правильно. Даны неполные ответы на вопросы в билетах.*

*Оценка: 2 («неудовлетворительно»)*

*Описание характеристики выполнения знания: Задача решена неправильно. Даны неполные или неправильные ответы на вопросы в билетах.*

### **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.