

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

**Направление подготовки/специальность: 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника**

**Наименование образовательной программы: Аэрокосмические технологии в теплоэнергетике и теплотехнике**

**Уровень образования: высшее образование - магистратура**

**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Тепломассообмен и теплозащита элементов теплоэнергетических  
установок**

**Москва  
2023**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

|  |                                                    |                                |
|--|----------------------------------------------------|--------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                                |
|  | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                                |
|  | Владелец                                           | Соколов В.П.                   |
|  | Идентификатор                                      | R928a03a7-SokolovVPet-4d1c67c3 |

В.П. Соколов

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

|  |                                                    |                                  |
|--|----------------------------------------------------|----------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                                  |
|  | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                                  |
|  | Владелец                                           | Шевченко И.В.                    |
|  | Идентификатор                                      | R0722806b-ShevchenkoIgv-73cb47c3 |

И.В.  
Шевченко

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-2 Способен выполнять разработку теплотехнических решений для аэрокосмической техники

ИД-1 Разрабатывает теплотехнические решения для обеспечения функционирования экипажа и оборудования

и включает:

для текущего контроля успеваемости:

Форма реализации: Письменная работа

1. Методы интенсификации теплообмена при конвекции, кипении и конденсации. Методы расчета. (Контрольная работа)
2. Методы охлаждения и системы тепловой защиты основных узлов и деталей энергетических установок. (Контрольная работа)
3. Моделирование процессов тепло-массообмена. (Контрольная работа)
4. Процессы теплопроводности в газах и твердых телах (Контрольная работа)

## БРС дисциплины

3 семестр

| Раздел дисциплины                                                                     | Веса контрольных мероприятий, % |      |      |      |      |
|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|------|------|------|------|
|                                                                                       | Индекс КМ:                      | КМ-1 | КМ-2 | КМ-3 | КМ-4 |
|                                                                                       | Срок КМ:                        | 4    | 8    | 12   | 16   |
| Предмет и задачи курса. Основные понятия и определения процессов теплообмена.         |                                 |      |      |      |      |
| Предмет и задачи курса. Основные понятия и определения процессов теплообмена.         | +                               |      |      |      |      |
| Механизм теплопроводности в газах, жидкостях и твердых телах: металлах, диэлектриках. |                                 |      |      |      |      |
| Механизм теплопроводности в газах, жидкостях и твердых телах: металлах, диэлектриках. | +                               |      |      |      |      |
| Конвективный теплообмен. Основные положения теории пограничного слоя.                 |                                 |      |      |      |      |
| Конвективный теплообмен. Основные положения теории пограничного слоя.                 |                                 |      | +    |      |      |
| Тепло- и массообмен. Основные понятия.                                                |                                 |      |      |      |      |
| Тепло- и массообмен. Основные понятия.                                                |                                 |      | +    |      |      |
| Теплоотдача при кипении. Теплообмен при конденсации.                                  |                                 |      |      |      |      |

|                                                                   |    |    |    |    |
|-------------------------------------------------------------------|----|----|----|----|
| Теплоотдача при кипении. Теплообмен при конденсации.              |    |    | +  |    |
| Методы интенсификации теплообмена.                                |    |    |    |    |
| Методы интенсификации теплообмена.                                |    |    | +  |    |
| Методы охлаждения деталей турбокомпрессора.                       |    |    |    |    |
| Методы охлаждения деталей турбокомпрессора.                       |    |    | +  | +  |
| Системы о тепловой защиты перспективных энергетических установок. |    |    |    |    |
| Системы о тепловой защиты перспективных энергетических установок. |    |    |    | +  |
| 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-1ПК-2 Разрабатывает теплотехнические решения для обеспечения функционирования экипажа и оборудования | <p>Знать:</p> <p>Методов и средств тепловой защиты теплоэнергетических установок.</p> <p>Назначение, области применения и методы тепловой защиты.</p> <p>Методы физического и математического моделирования процессов термо - газодинамики и тепло - массообмена.</p> <p>Методы тепловой защиты при различных принципах отвода теплоты.</p> <p>Уметь:</p> <p>Выполнять инженерные расчеты температурных полей и выбора теплозащитных материалов.</p> <p>Использовать физические и математические модели для анализа тепловые</p> | <p>Процессы теплопроводности в газах и твердых телах (Контрольная работа)</p> <p>Моделирование процессов тепло-массообмена. (Контрольная работа)</p> <p>Методы интенсификации теплообмена при конвекции, кипении и конденсации. Методы расчета. (Контрольная работа)</p> <p>Методы охлаждения и системы тепловой защиты основных узлов и деталей энергетических установок. (Контрольная работа)</p> |

|  |  |                                                                                                                                                                                                                                                 |  |
|--|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
|  |  | <p>процессы.</p> <p>Использовать математический аппарат и программные средства для определения тепловых нагрузок.</p> <p>Проводить выбор эффективных способов тепловой защиты и методов охлаждения элементов теплоэнергетических установок.</p> |  |
|--|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|

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

### **КМ-1. Процессы теплопроводности в газах и твердых телах**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Контрольная работа проводится в установленные сроки во время практических занятий в течение 60 минут. Каждый студент письменно отвечает на вопросы индивидуального задания.

#### **Краткое содержание задания:**

В задание контрольной работы входят два вопроса на проверку полученных знаний и умений по пройденным разделам дисциплины: математические модели для проектирования систем охлаждения и тепловой защиты.

#### **Контрольные вопросы/задания:**

|                                                                         |                                                                                               |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Знать: Методов и средств тепловой защиты теплоэнергетических установок. | 1. Моделирование процесса конвективного теплообмена.<br>2. Построение критериальных уравнений |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|

#### **Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*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*

*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*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

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

*Оценка: 2*

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

### **КМ-2. Моделирование процессов тепло-массообмена.**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Контрольная работа проводится в установленные сроки во время практических занятий в течение 60 минут. Каждый студент письменно отвечает на вопросы индивидуального задания.

#### **Краткое содержание задания:**

В задание контрольной работы входят два вопроса на проверку полученных знаний и умений по пройденным разделам дисциплины: расчёт процессов гидродинамики и теплообмена.

**Контрольные вопросы/задания:**

|                                                                                       |                                                                                 |
|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Знать: Методы тепловой защиты при различных принципах отвода теплоты.                 | 1. Принципы построения эквивалентной гидравлической сети.                       |
| Знать: Назначение, области применения и методы тепловой защиты.                       | 1. Виды гидравлических потерь.<br>2. Типы местных гидравлических сопротивлений. |
| Уметь: Использовать физические и математические модели для анализа тепловые процессы. | 1. Алгоритм расчета гидравлических потерь в гладком цилиндрическом канале.      |

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*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*

*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*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

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

*Оценка: 2*

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

**КМ-3. Методы интенсификации теплообмена при конвекции, кипении и конденсации. Методы расчета.**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Контрольная работа проводится в установленные сроки во время практических занятий в течение 60 минут. Каждый студент письменно отвечает на вопросы индивидуального задания.

**Краткое содержание задания:**

В задание контрольной работы входят два вопроса на проверку полученных знаний и умений по пройденным разделам дисциплины: программные средства и пакеты для расчета температурного состояния деталей

**Контрольные вопросы/задания:**

|                                                                       |                                                                                                           |
|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Уметь: Использовать математический аппарат и программные средства для | 1. Формирования исходных данных в пакете ANSYS для расчета стационарного температурного поля при кипении. |
|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|                                                                                                                           |                                                                                                                        |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| определения тепловых нагрузок.                                                                                            |                                                                                                                        |
| Уметь: Проводить выбор эффективных способов тепловой защиты и методов охлаждения элементов теплоэнергетических установок. | 1.Формирования исходных данных в пакете ANSYS для расчета стационарного температурного поля при контактом теплообмене. |

#### Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

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

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

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

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

Оценка: 2

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

#### КМ-4. Методы охлаждения и системы тепловой защиты основных узлов и деталей энергетических установок.

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Контрольная работа проводится в установленные сроки во время практических занятий в течение 60 минут. Каждый студент письменно отвечает на вопросы индивидуального задания.

#### Краткое содержание задания:

В задание контрольной работы входят два вопроса на проверку полученных знаний и умений по пройденным разделам дисциплины: тепловая защита деталей теплоэнергетического оборудования

#### Контрольные вопросы/задания:

|                                                                                                                 |                                                                                                                                                                          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Знать: Методы физического и математического моделирования процессов термо - газодинамики и тепло - массообмена. | 1.Снижения температуры детали применением термобарьерных покрытий.<br>2.Тепловая защита жаровых труб камеры сгорания ГТУ.                                                |
| Уметь: Выполнять инженерные расчеты температурных полей и выбора теплозащитных материалов.                      | 1.Выбор схемы охлаждения рабочей лопатки турбины при температуре газа 1700К.<br><br>2.Снижение расхода охладителя путем интенсификации теплоотдачи в каналах охлаждения. |

#### Описание шкалы оценивания:

*Оценка: 5*

*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*

*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*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

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

*Оценка: 2*

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

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

## 3 семестр

**Форма промежуточной аттестации:** Экзамен

### Пример билета

Билет №7

1. Методы моделирования течения среды в каналах охлаждения.
2. Система тепловой защиты жаровой трубы камеры сгорания ГТУ.
3. Задача. Определить величину расхода  $G_m$  для обеспечения газодинамического подобия при продувке канала в модельных условиях. Рассчитать коэффициент для натуральных и модельных условий. Натурные условия: расход воздуха  $G_n = 0,25$  кг/с, канал прямоугольного сечения  $10 \times 40$  мм, температура воздуха  $400^\circ\text{C}$ . Модельные условия: площадь канала уменьшена в 4 раза, температура воздуха  $100^\circ\text{C}$ . Зависимость для динамической вязкости  $\mu = f(T)^{0,64}$ .

### Процедура проведения

Экзамен проводится в установленное расписанием экзаменационной сессии время и месте. Экзамен проводится преподавателем (преподавателями), ведущим дисциплину. На письменную подготовку ответа на вопросы экзаменационного билета студенту отводится не менее 45 минут. Последующее устное обсуждение подготовленных ответов в течение не более 10 минут.

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

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-1<sub>ПК-2</sub> Разрабатывает теплотехнические решения для обеспечения функционирования экипажа и оборудования

### Вопросы, задания

1. Математическая формулировка задач теплопроводности.
2. Дифференциальное уравнение теплопроводности.
3. Методы исследования тепловых процессов.
4. Теплопроводность через однослойные и многослойные плоские и цилиндрические стенки.
5. Численные методы моделирования температурных полей.
6. Система дифференциальных уравнений конвективного теплообмена.
7. Системы охлаждения деталей газовых турбин
8. Принципы построения гидравлических сетей и расчеты потерь давления.
9. Охлаждение подшипников.
10. Модель для расчета температурного состояния стенки при наличии защитного покрытия.
11. Решение задач конвективного теплообмена в пакете ANSYS.

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Движение, при котором скорость и давление изменяются не только от координат пространства, но и от времени называется

Ответы:

- а) ламинарным;
- б) стационарным;
- в) неустановившимся;
- г) турбулентным.

Верный ответ: в) неустановившимся

2. Установившееся движение газа характеризуется уравнениями

Ответы:

- а)  $v = f(x, y, z, t); P = \varphi(x, y, z)$
- б)  $v = f(x, y, z, t); P = \varphi(x, y, z, t)$
- в)  $v = f(x, y, z); P = \varphi(x, y, z, t)$
- г)  $v = f(x, y, z); P = \varphi(x, y, z)$

Верный ответ: г)  $v = f(x, y, z); P = \varphi(x, y, z)$

3. Что является источником потерь энергии движущегося газа?

Ответы:

- а) плотность;
- б) вязкость;
- в) расход;
- г) изменение направления движения.

Верный ответ: б) вязкость

4. При каком режиме движения жидкости в трубопроводе наблюдается пульсация скоростей и давлений в трубопроводе?

Ответы:

- а) при ламинарном;
- б) при скоростном;
- в) при турбулентном;
- г) при отсутствии движения жидкости.

Верный ответ: в) при турбулентном

5. Физический смысл критерия Рейнольдса

Ответы:

- а) величина, пропорциональная отношению сил давления к силам инерции.
- б) величина, пропорциональная отношению сил вязкости к силам инерции
- в) величина, пропорциональная отношению сил инерции к силам тяжести

Верный ответ: а) величина, пропорциональная отношению сил давления к силам инерции.

6. С увеличением скорости потока отношение  $P/P^*$

Ответы:

- а) уменьшается
- б) увеличивается
- в) остается постоянным

Верный ответ: б) увеличивается

7. Какие виды моделей существуют:

Ответы:

- а) Абстрактные, математические и нематематические
- б) Физические и абстрактные
- в) Математические и нематематические
- г) Математические и физические

Верный ответ: г) Математические и физические

8. На чем основывается метод моделирования:

Ответы:

- а) На принципе аналогии

- б) На принципе соответствия
- в) На принципе подобия
- г) На принципе реальности

Верный ответ: в) На принципе подобия

9. Дифференциальное уравнение используемое для численного расчета температурных полей

Ответы:

- а) Фурье-Кирхгоффа
- б) Ньютона
- в) Рейнольдса
- г) Нуссельта

Верный ответ: а) Фурье-Кирхгоффа

## **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

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа не выполнена или выполнена преимущественно неправильно

## **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» на основании семестровой и экзаменационной составляющих.