

**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: Энергообеспечение предприятий. Высокотемпературные процессы и установки**

**Уровень образования: высшее образование - магистратура**

**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Специальные вопросы тепло массообмена в реакторах ВТУ**

**Москва  
2024**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Строгонов К.В.
	Идентификатор	Rad748820-StrogonovKV-3f34a28f

К.В.  
Строгонов

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Писарев Д.С.
	Идентификатор	Radb74374-PisarevDS-0915d1cb

Д.С.  
Писарев

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-3 Способен к разработке мероприятий по энерго- и ресурсосбережению систем энергообеспечения и использования топлива для промышленных и коммунальных предприятий

ИД-1 Демонстрирует знание нормативов по энерго- и ресурсосбережению систем энергообеспечения и использования топлива для промышленных и коммунальных предприятий

ИД-2 Разрабатывает мероприятия по энерго- и ресурсосбережению систем энергообеспечения и использования топлива для промышленных и коммунальных предприятий

2. ПК-4 Способен к обеспечению экологической безопасности систем энергообеспечения и использования топлива для промышленных и коммунальных предприятий

ИД-1 Демонстрирует знание нормативов по обеспечению экологической безопасности систем энергообеспечения и использования топлива для промышленных и коммунальных предприятий

ИД-2 Разрабатывает экозащитные мероприятия систем энергообеспечения и использования топлива для промышленных и коммунальных предприятий

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

Форма реализации: Письменная работа

1. Высокопроизводительные реакторы (Контрольная работа)
2. Конвективный теплообмен в ВТУ (Контрольная работа)
3. Лучистый теплообмен в ВТУ (Контрольная работа)
4. Теплопроводность и фазовый переход (Контрольная работа)

### БРС дисциплины

2 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %				
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
	Срок КМ:	4	8	12	16
Лучистый теплообмен в ВТУ					
Особенности лучистого теплообмена в высокотемпературных реакторах	+			+	
Уравнение баланса тепловой энергии элементарного объема излучающего газа				+	

Конвективный теплообмен в ВТУ				
Тепломассообмен в реакторах скоростной обработки измельченных материалов		+	+	
Движение и передача теплоты к частицам в закрученном потоке газов				+
Теплообмен при грануляции расплавов				
Грануляция расплавов в воде и других жидких средах			+	+
Высокопроизводительные реакторы				
Теоретические и экспериментальные исследование различных тепло - и массообменных процессов в скоростных реакторах ВТУ			+	
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-3	ИД-1 <sub>ПК-3</sub> Демонстрирует знание нормативов по энерго- и ресурсосбережению систем энергообеспечения и использования топлива для промышленных и коммунальных предприятий	Знать: справочники наилучших доступных технологий Уметь: осуществлять подбор наилучших технологий	Теплопроводность и фазовый переход (Контрольная работа) Высокопроизводительные реакторы (Контрольная работа)
ПК-3	ИД-2 <sub>ПК-3</sub> Разрабатывает мероприятия по энерго- и ресурсосбережению систем энергообеспечения и использования топлива для промышленных и коммунальных предприятий	Знать: терминологию в области энергосбережения и границы эффективности мероприятий по энергосбережению в конкретных экономических условиях производства Уметь: давать оценку эффективности использования теплотехнических принципов в действующих	Лучистый теплообмен в ВТУ (Контрольная работа) Высокопроизводительные реакторы (Контрольная работа)
ПК-4	ИД-1 <sub>ПК-4</sub> Демонстрирует	Знать:	Теплопроводность и фазовый переход (Контрольная работа)

	<p>знание нормативов по обеспечению экологической безопасности систем энергообеспечения и использования топлива для промышленных и коммунальных предприятий</p>	<p>теплотехнические принципы и источники литературы, описывающие методики оценок</p> <p>Уметь: определять потенциал энергосбережения в теплотехнологии и экономически эффективные границы реализации энергосберегающих мероприятий в конкретных ценовых условиях</p>	<p>Высокопроизводительные реакторы (Контрольная работа)</p>
ПК-4	<p>ИД-2<sub>ПК-4</sub> Разрабатывает экозащитные мероприятия систем энергообеспечения и использования топлива для промышленных и коммунальных предприятий</p>	<p>Знать: последовательность действий по оптимизации теплообмена в высокотемпературных реакторах</p> <p>Уметь: выполнять расчёты по теплообмену</p>	<p>Конвективный теплообмен в ВТУ (Контрольная работа) Теплопроводность и фазовый переход (Контрольная работа)</p>

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

### КМ-1. Лучистый теплообмен в ВТУ

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** По вариантам выдаются контрольные вопросы. На подготовку и заполнение ответов студентам выделяется 25 минут

#### Краткое содержание задания:

Специальные вопросы теплообмена в реакторах ВТУ  
(Тесты для 4-ой контрольной недели)

Вариант 1    Группа \_\_\_\_\_ Фамилия, И.О. \_\_\_\_\_

1. Проиллюстрируйте лучистый теплообмен методом эффективных тепловых потоков
2. Проиллюстрируйте изменение теплового потока по длине и сечению реактора с лучистым теплообменом.
3. Запишите формулу устанавливающую связь между плотностью потока собственного излучения и его температурой
4. Запишите определение термина ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ ПРИНЦИП (МЕТОД)
5. Дайте определение и приведите примеры теплотехнического принципа излучающего ваналя

#### Контрольные вопросы/задания:

Уметь:            давать            оценку эффективности использования теплотехнических принципов в действующих	1.Предложите (подберите) технологию, наилучшую с точки зрения минимального окисления металла при нагреве перед прокаткой
--	--

#### Описание шкалы оценивания:

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 85*

*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

Оценка: 2

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

## КМ-2. Конвективный теплообмен в ВТУ

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС: 25**

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** По вариантам выдаются контрольные вопросы. На подготовку и заполнение ответов студентам выделяется 25 минут

**Краткое содержание задания:**

Специальные вопросы теплообмена в реакторах ВТУ  
(Тесты для 8-ой контрольной недели)

Вариант 1 → Группа \_\_\_\_\_ «Фамилия, И.О.» \_\_\_\_\_

1. Дайте определение термину конвективный теплообмен

2. Запишите формулу для расчета теплового потока при конвективном теплообмене

3. Запишите определение плотного фильтруемого слоя, приведите примеры соответствующих реакторов

4. Запишите определение пересыпающегося слоя, приведите примеры соответствующих реакторов

**Контрольные вопросы/задания:**

Уметь: выполнять расчёты по теплообмену	1. Предложите наиболее оптимальную технологию термической обработки сыпучих материалов
---	--

**Описание шкалы оценивания:**

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 85

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

Оценка: 2

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

### КМ-3. Теплопроводность и фазовый переход

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** По вариантам выдаются контрольные вопросы. На подготовку и заполнение ответов студентам выделяется 25 минут

#### Краткое содержание задания:

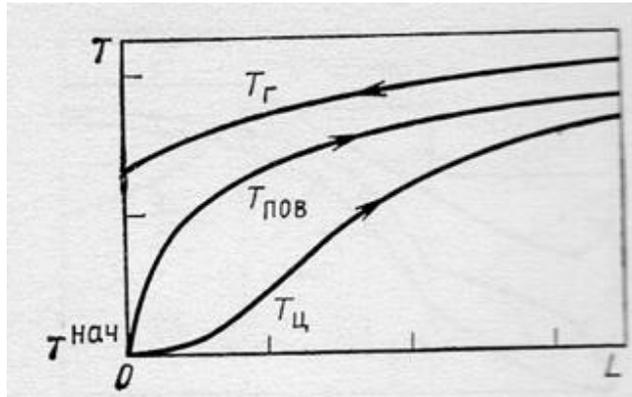
- Специальные вопросы тепломассообмена в реакторах ВТУ  
(Тесты для 12-ой контрольной недели)
- Вариант 1    Группа \_\_\_\_\_ Фамилия, И.О. \_\_\_\_\_
1. Запишите определение теплопроводности
  2. Запишите безразмерный критерий, характеризующий процесс теплопроводности
  3. Нарисуйте графики одноступенчатого нагрева тел в камере непрерывного действия
  4. Запишите как соотносится длительность при одностороннем, двухстороннем и многостороннем нагреве квадратных заготовок

#### Контрольные вопросы/задания:

Знать:                    теплотехнические  
принципы            и            источники  
литературы,        описывающие  
методики оценок

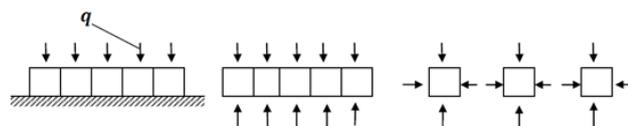
1. Нарисуйте графики одноступенчатого нагрева тел в камере непрерывного действия

Ответ:



2. Запишите как соотносится время нагрева при одностороннем, двухстороннем и многостороннем нагреве квадратных заготовок

Ответ:



Если длительность одностороннего нагрева плотно лежащих тел квадратного сечения обозначить через  $t_1$ , то при переходе к двухстороннему нагреву этих

	тел длительность нагрева сократиться вдвое ( $t_2=t_1/2$ ), а при раздельном размещении тел и однородном нагреве каждого из тел в четыре раза ( $t_3=t_1/4$ )
Знать: последовательность действий по оптимизации теплообмена в высокотемпературных реакторах	1. Запишите определение теплопроводности Ответ: <b>Теплопроводность</b> – молекулярный перенос тепла в телах (или между ними), обусловленный переменной температурой в рассматриваемом пространстве
Уметь: осуществлять подбор наилучших технологий	1. Выполните расчёт теплового потока теплопроводностью

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 85*

*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*

*Оценка: 2*

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

**КМ-4. Высокопроизводительные реакторы**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** По вариантам выдаются контрольные вопросы. На подготовку и заполнение ответов студентам выделяется 25 минут

**Краткое содержание задания:**

Специальные вопросы тепломассообмена в реакторах ВТУ

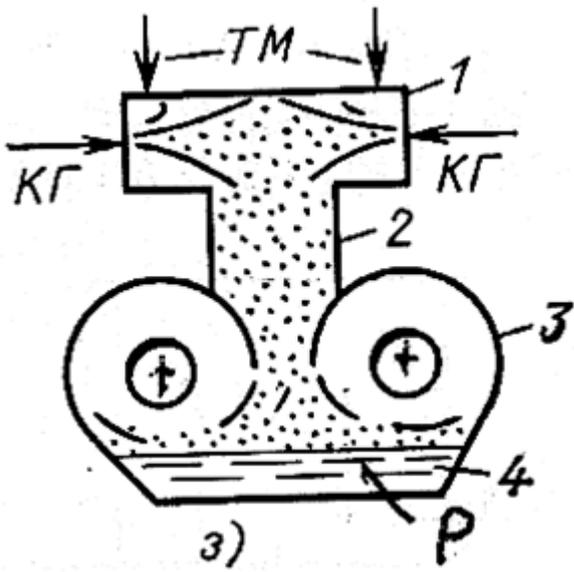
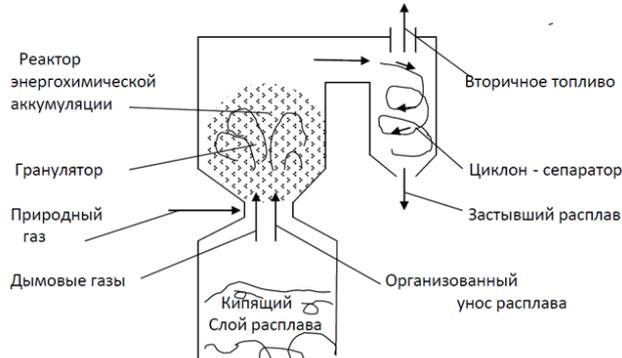
(Тесты для 16-ой контрольной недели)

Вариант 1. Группа \_\_\_\_\_ Фамилия, И.О. \_\_\_\_\_

1. Проиллюстрируйте конструкцию ПВПК
2. Изобразите установку по использованию теплоты шлаков на энергетическую аккумуляцию
3. Перечислите варианты плавильных камер с погруженным в расплав факелом
4. Запишите и расшифруйте формулу объёмной производительности реактора

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Знать: справочники наилучших доступных технологий</p>	<p>1. Перечислите варианты плавильных камер с погруженным в расплав факелом</p> <p>Ответ:</p> <p>Верхняя подача газа – наиболее энергоёмкий вариант, так как газовой струе требуется сообщить значительную энергию, чтобы она внедрилась в расплав. Однако, получил широкое распространение в плавильных печах периодического действия. Боковая подача газа требует чуть меньших затрат для подачи в расплав. Нижняя (донная) подача газа наиболее энергоэкономичная и эффективная, может быть выполнена в т.ч. рассредоточенной</p> <p>2. Запишите и расшифруйте формулу объёмной производительности реактора</p> <p>Ответ:</p> $p_v = \frac{P}{V} = \frac{G_M}{\tau_{cp} V} = \frac{V_{zm}(1-m)p_M}{\tau_{cp}(V_{zm} + V_{sv})}$ <p>Здесь <math>G_M</math> – масса обрабатываемого слоя материала, одновременно находящаяся в реакторе, кг; <math>\tau_{cp}</math> – среднее время пребывания обрабатываемого слоя материала в реакторе, с; <math>V_{zm}</math> – часть объёма занятая слоем материала, м<sup>3</sup>; <math>V_{sv}</math> – свободная часть объёма <math>V</math>, свободная от обрабатываемого слоя материала, м<sup>3</sup>; <math>m</math> – порозность слоя материала в объёме <math>V_{zm}</math>; <math>p_M</math> – плотность обрабатываемого материала, кг/м<sup>3</sup>.</p>
<p>Знать: терминологию в области энергосбережения и границы эффективности мероприятий по энергосбережению в конкретных экономических условиях производства</p>	<p>1. Проиллюстрируйте конструкцию ПВПК</p> <p>Ответ:</p>

	 <p>1 – горелочное устройство; 2 – прямоточный канал; 3 – вихревая зона; 4 – ванна с расплавом; ТМ – технологический материал; Г – газы; ОГ – отходящие газы; ГП – готовый продукт; Ц – циклонный сепаратор; КГ – компоненты горения; Р – расплав; ТП – технологический продукт</p> <p>2. Изобразите установку по использованию теплоты шлаков на энергохимическую аккумуляцию</p> <p>Ответ:</p>  <p>1. Осуществите подбор наиболее производительной технологии для плавления стали</p>
<p>Уметь: определять потенциал энергосбережения в теплотехнологии и экономически эффективные границы реализации энергосберегающих мероприятий в конкретных ценовых условиях</p>	

**Описание шкалы оценивания:**

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 85

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

*Оценка:* 2

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



непосредственно обеспечивающая реализацию данного теплотехнологического процесса и работающая в едином технологическом ритме

Верный ответ: Теплотехнологическая установка - Совокупность теплотехнологического реактора и эксплуатационно связанного с ним технологического, теплотехнического, энергетического, транспортного, приемно-распределительного и другого оборудования, непосредственно обеспечивающая реализацию данного теплотехнологического процесса и работающая в едином технологическом ритме

2. Дайте определение и приведите примеры теплотехнического принципа Лучисто-конвективного факела

Ответы:

Лучисто-конвективного факела (тепловая обработка тел газовым теплоносителем в условиях существенного вклада как лучистого, так и конвективного теплообмена)

Пример: методические печи

Верный ответ: Лучисто-конвективного факела (тепловая обработка тел газовым теплоносителем в условиях существенного вклада как лучистого, так и конвективного теплообмена) Пример: методические печи

3. Перечислите варианты плавильных камер с погруженным в расплав факелом

Ответы:

Верхняя подача газа – наиболее энергоёмкий вариант, так как газовой струе требуется сообщить значительную энергию, чтобы она внедрилась в расплав. Однако, получил широкое распространение в плавильных печах периодического действия.

Боковая подача газа требует чуть меньших затрат для подачи в расплав.

Нижняя (донная) подача газа наиболее энергоэкономичная и эффективная, может быть выполнена в т.ч. рассредоточенной

Верный ответ: Верхняя подача газа – наиболее энергоёмкий вариант, так как газовой струе требуется сообщить значительную энергию, чтобы она внедрилась в расплав.

Однако, получил широкое распространение в плавильных печах периодического действия. Боковая подача газа требует чуть меньших затрат для подачи в расплав.

Нижняя (донная) подача газа наиболее энергоэкономичная и эффективная, может быть выполнена в т.ч. рассредоточенной

**2. Компетенция/Индикатор:** ИД-2<sub>ПК-3</sub> Разрабатывает мероприятия по энерго- и ресурсосбережению систем энергообеспечения и использования топлива для промышленных и коммунальных предприятий

### Вопросы, задания

1. Теплообмен к твердым и жидким частицам в кипящем слое расплава
2. Модель грануляции капли расплава
3. Аэродинамическое сопротивление прямоточно-вихревых камер

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Запишите безразмерный критерий, характеризующий процесс теплопроводности

Ответы:

Число Био ( $Bi$ ) – безразмерный комплекс, характеризующий процесс теплопроводности, процесс теплообмена между телом и окружающей средой

Верный ответ: Число Био ( $Bi$ ) – безразмерный комплекс, характеризующий процесс теплопроводности, процесс теплообмена между телом и окружающей средой

2. Дайте определение термину конвективный теплообмен

Ответы:

Это процесс переноса теплоты между поверхностью твердого тела и жидкой средой

Верный ответ: Это процесс переноса теплоты между поверхностью твердого тела и жидкой средой

3. Как рассчитать объёмную производительность реактора

Ответы:

Производительность реактора разделить на полезный реактора

Верный ответ: Производительность реактора разделить на объём реактора

**3. Компетенция/Индикатор:** ИД-1ПК-4 Демонстрирует знание нормативов по обеспечению экологической безопасности систем энергообеспечения и использования топлива для промышленных и коммунальных предприятий

#### Вопросы, задания

1. Методы решения задач лучистого теплообмена и их анализ применительно к высокотемпературным реакторам

2. Перемешивание расплавов в реакторах с кипящим слоем расплава

#### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Запишите определение плотного фильтруемого слоя, приведите примеры соответствующих реакторов

Ответы:

Принцип плотного фильтруемого слоя (тепловая обработка свободной засыпки дробленых материалов, мелких изделий и других тел, продуваемых газовым теплоносителем).

Например: доменные печи, шахтные печи цветной металлургии, вагранки, шахтные обжиговые печи и пр

Верный ответ: Принцип плотного фильтруемого слоя (тепловая обработка свободной засыпки дробленых материалов, мелких изделий и других тел, продуваемых газовым теплоносителем). Например: доменные печи, шахтные печи цветной металлургии, вагранки, шахтные обжиговые печи и пр

2. Запишите формулу для расчёта теплового потока при конвективном теплообмене

Ответы:

Интенсивность конвективного теплообмена характеризуется коэффициентом теплоотдачи  $\alpha$ , который определяется по формуле Ньютона—Рихмана

$$Q = \alpha (t_c - t_{ж}) F. \quad (2-1)$$

Согласно этому закону тепловой поток  $Q$  пропорционален поверхности теплообмена  $F$  и разности температур стенки и жидкости ( $t_c - t_{ж}$ ).

Верный ответ: Тепловой поток пропорционален поверхности теплообмена и разности температур стенки и жидкости, и коэффициенту теплоотдачи.

**4. Компетенция/Индикатор:** ИД-2ПК-4 Разрабатывает экозащитные мероприятия систем энергообеспечения и использования топлива для промышленных и коммунальных предприятий

#### Вопросы, задания

1. Перемешивание расплавов при барботировании горелочными устройствами

2. Метод эффективных тепловых потоков при решении задач лучистого теплообмена

#### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Запишите как соотносится время нагрева при одностороннем, двухстороннем и многостороннем нагреве квадратных заготовок

Ответы:

Если длительность одностороннего нагрева плотно лежащих тел квадратного сечения обозначить через  $t_1$ , то при переходе к двухстороннему нагреву этих тел длительность нагрева сократится вдвое ( $t_2 = t_1/2$ ), а при раздельном размещении тел и однородном нагреве каждого из тел в четыре раза ( $t_3 = t_1/4$ )

Верный ответ: Если длительность одностороннего нагрева плотно лежащих тел квадратного сечения обозначить через  $t_1$ , то при переходе к двустороннему нагреву этих тел длительность нагрева сократится вдвое ( $t_2=t_1/2$ ), а при раздельном размещении тел и однородном нагреве каждого из тел в четыре раза ( $t_3=t_1/4$ )

2. Запишите определение теплопроводности

Ответы:

Теплопроводность – молекулярный перенос тепла в телах (или между ними), обусловленный переменностью температуры в рассматриваемом пространстве

Верный ответ: Теплопроводность – молекулярный перенос тепла в телах (или между ними), обусловленный переменностью температуры в рассматриваемом пространстве

## ***II. Описание шкалы оценивания***

*Оценка: зачтено*

*Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена верно или с несущественными недостатками*

*Оценка: не зачтено*

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

## ***III. Правила выставления итоговой оценки по курсу***