



Рабочая программа дисциплины «Металлургическая теплотехника» разработана в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 22.03.02 «Металлургия».

Основным документом для разработки рабочей программы является рабочий учебный план по направлению 22.03.02 «Металлургия», профилю 22.03.02.1 «Технология литейных процессов».

Учебные и методические материалы по учебной дисциплине размещены в электронной информационно-образовательной среде университета.

**Разработчик:**

А.В. Сивенков, к.т.н., доцент

**Рецензент:**

В.В. Цуканов д.т.н., начальник лаборатории "Металлургических технологий производства сталей для судостроения" НИЦ "Курчатовский институт"-ЦНИИ КМ "Прометей"

Рабочая программа рассмотрена на заседании кафедры «Машиностроения и металлургии» «06» сентября 2017 года, протокол №1

## СОДЕРЖАНИЕ

1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ.....	4
2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ .....	5
3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ В ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦАХ .....	6
4. СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ .....	7
5. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ .....	10
5.1. Темы контрольных работ .....	10
5.2. Темы курсовых работ (проектов) .....	11
5.3. Перечень методических рекомендаций .....	11
5.4. Перечень вопросов для подготовки к экзамену .....	11
6. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ.....	16
7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....	16
8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО–ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ "ИНТЕРНЕТ", НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....	17
9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ .....	17
10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ.....	18
11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ .....	20
12. БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СИСТЕМА .....	20
Приложение .....	22

# 1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

1.1. Целью освоения дисциплины «Металлургическая теплотехника» является:

- ознакомление студента с современными металлургическими, нагревательными, термическими и другими специальными печами;
- подготовка будущего инженера к постановке задач и рациональному управлению тепловыми процессами в сложных производственных условиях с учётом многочисленных технических и экономических факторов.

1.2. Изучение дисциплины «Металлургическая теплотехника» способствует решению следующих задач профессиональной деятельности:

- изучить тепловые процессы при производстве и обработке металлов и применение закономерностей технической термодинамики, механики жидкостей и газов, тепло- и массообмена для их анализа и расчёта;
- топливо и его сжигание;
- огнеупорные и теплоизоляционные материалы;
- способы и устройства для использования вторичных энергоресурсов;
- экологические аспекты сжигания топлива и утилизации вторичных энергоресурсов;
- конструкции печей, используемых в основных переделах чёрной и цветной металлургии.

1.3. Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций

## *обще профессиональные (ОПК)*

<i>Код компетенции</i>	<i>Наименование и (или) описание компетенции</i>
<b>ОПК-1</b>	Готовность использовать фундаментальные общеинженерные знания
<b>ОПК-4</b>	Готовность сочетать теорию и практику для решения инженерных задач

## *профессиональные (ПК)*

<i>Код компетенции</i>	<i>Наименование и (или) описание компетенции</i>
<b>ПК-4</b>	Готовность использовать основные понятия, законы и модели термодинамики, химической кинетики, переноса тепла и массы
<b>ПК-10</b>	Способность осуществлять и корректировать технологические процессы в металлургии и материалообработке

1.4. В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

**Знать:** классификацию и общую характеристику металлургических печей; основные принципы теплогенерации в металлургических печах; методы проектирования и изготовления модельной оснастки; элементы механики печных газов; основы теории подобия и моделирования; принципы теплообмена в металлургических печах; динамику нагрева и превращений в металлах; устройство и принцип действия металлургических печей; материалы для сооружения металлургических печей.

**Уметь:** применять полученные теоретические знания для практического решения задач производства; разрабатывать физико-химические модели объектов и процессов металлургии и литейного производства.

**Владеть:** полученными теоретическими знаниями для практического решения задач производства; разрабатывать физико-химические модели объектов и процессов металлургии и литейного производства.

## **2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ**

Дисциплина «Металлургическая теплотехника» относится к базовой части блока Б.1

Дисциплина основывается на знаниях, полученных в предшествующих дисциплинах при освоении курсов «Физика», «Химия», «Математика», «Информатика», «Физическая химия», «Основы производства и обработки металлов».

Дисциплина является предшествующей для изучения специальных дисциплин.

Приобретённые знания будут непосредственно использованы студентами при изучении последующих дисциплин, прохождении производственной практики, написании выпускных квалификационных работ.

### 3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ В ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦАХ

№ п/п	Наименование модуля и темы учебной дисциплины	Трудоёмкость по учебному плану (час/з.е.)	Виды занятий				Виды контроля		
			Лекции	Практическое занятие	Лабораторное занятие	Самостоятельная работа	Контрольная работа	Курсовая работа (проект)	Экзамен
1	<b>Модуль 1. Классификация и общая характеристика металлургических печей</b>	<b>18</b>	<b>1</b>			<b>17</b>			
2	<b>Модуль 2. Теплогенерация в металлургических печах</b>	<b>18</b>	<b>1</b>			<b>17</b>			
3	<b>Модуль 3. Элементы механики печных газов</b>	<b>18</b>	<b>1</b>			<b>17</b>			
4	<b>Модуль 4. Основы теории подобия и моделирования</b>	<b>18</b>	<b>1</b>	<b>2</b>		<b>15</b>			
5	<b>Модуль 5. Теплообмен в металлургических печах</b>	<b>18</b>	<b>1</b>			<b>17</b>			
6	<b>Модуль 6. Динамика нагрева и превращений в металлах</b>	<b>18</b>	<b>1</b>	<b>2</b>		<b>15</b>			
7	<b>Модуль 7. Устройство и принцип действия металлургических печей</b>	<b>18</b>	<b>1</b>			<b>17</b>			
8	Тема 7.1. Технологические и конструктивные характеристики металлургических печей	5	1			4			
9	Тема 7.2. Сушила в литейном производстве	3				3			
10	Тема 7.3. Регенерация теплоты отходящих продуктов сгорания топлива и защита окружающей среды	5				5			
11	<b>Модуль 8. Материалы для сооружения металлургических печей</b>	<b>18</b>	<b>1</b>		<b>2</b>	<b>15</b>			
<b>Итого</b>		<b>144/4</b>	<b>8</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>130</b>	<b>1</b>		<b>экз</b>

## 4. СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

### МОДУЛЬ 1. Классификация и общая характеристика металлургических печей (18 часов)

Высокотемпературные печи для выплавки металлов из руд; выплавки стали из металлошихты; вагранки; индукционные сталеплавильные печи и др.

Термические печи, предназначенные для термической обработки отливок.

Нагревательные печи для нагрева заготовок перед их горячей обработкой давлением.

Низкотемпературные печи – сушила для сушки кварцевого песка, глины и других материалов для изготовления литейных форм, а также – сушки готовых форм перед заливкой в них расплава.

Типы печей по способу генерации теплоты, необходимой для проведения технологических операций.

Типы печей по расположению пространства теплогенерации, в которой непосредственно выделяется теплота. Печи с выносной топкой. Печи в которых пространство теплогенерации совмещено с рабочим пространством печи: доменные печи, вагранки, индукционные печи, разновидности сушил токами высокой частоты.

По характеру работы печей во времени различают печи непрерывного действия, методические нагревательные печи, барабанные и конвейерные сушила.

#### *Виды учебных занятий:*

Лекция: Классификация и общая характеристика металлургических печей 1 час

### МОДУЛЬ 2. Теплогенерация в металлургических печах (18 часов)

Два способа получения теплоты, необходимой для осуществления технологических процессов в рабочем пространстве металлургических печей: за счет сжигания топлива; за счет электроэнергии.

Тепловые свойства элементов (компонентов) топлива, его теплотворная способность (высшая и низшая), принципы расчета процесса горения. Определение потребного для сжигания единицы топлива количества воздуха.

Коэффициент расхода воздуха (коэффициентом избытка воздуха). Выход и состав продуктов сгорания (теоретический и действительный, температура горения топлива). Три вида температур горения: калориметрическую; теоретическую; действительную. Выбор оптимального значения коэффициента расхода воздуха в практике установления рациональных тепловых режимов печей. Наивысшая температура горения топлива.

Зависимость электротеплогенерации от расположение электродов в рабочем пространстве печей. Различные схемно–конструктивные решения.

Индукционные, каналные и тигельные литейные печи. Технологиче-

ские особенности этих печей. Магнитное сопротивление между витками индуктора.

Глубина проникновения вихревых токов в металл, в зависимости от частоты электропитания.

***Виды учебных занятий:***

Лекция: Теплогенерация в металлургических печах 1 час

**МОДУЛЬ 3. Элементы механики печных газов  
(18 часов)**

Оптимальное проектирование и эксплуатация металлургических печей требует знания основ статики и динамики газов.

Основные газовые законы, уравнение Менделеева – Клапейрона. Расчет плотности газовой смеси в зависимости от её давления и температуры. Динамическая и кинематическая вязкости. Ламинарное и турбулентное течение потоков.

Законы сохранения массы и энергии в неразрывном потоке жидкости или газа в металлургической теплотехнике. Уравнение неразрывности течения и уравнение Бернулли. Расчет даже простейшей схемы движения печных газов.

***Виды учебных занятий:***

Лекция: Элементы механики печных газов 1 час

**МОДУЛЬ 4. Основы теории подобия и моделирования  
(18 часов)**

Принципы физического моделирования печей и их элементов с целью экспериментального изучения особенностей движения в них газовых потоков. Исследование на моделях, изготовленных из прозрачного материала.

Требование физического подобия. Константы, инварианты и критерии подобия.

***Виды учебных занятий:***

Лекция: Основы теории подобия и моделирования 1 час

Практическое занятие: Принципы физического моделирования печей и их элементов 2 часа

**МОДУЛЬ 5. Теплообмен в металлургических печах (18 часов)**

Передача теплоты: конвекцией, излучением, теплопроводностью. Законы теплопередачи, математически характеризующие эти способы.

Плавление металлов. Особенности инерционного и регулярного этапов плавления металлического тела, признаки регулярного режима и различие в поведении в процессе нагрева и плавления тонких и массивных тел. Количественное описание динамики плавления уравнением М.А. Глинкова.

Физическая сущность явлений, на которых базируются конвекция, излучения и теплопроводность в области литейного и смежных производств

Главным способом внешнего теплопровода в металлургических печах является передача теплоты излучением, в чем можно убедиться, сравнивая

тепловые потоки, формируемые на основании законов Ньютона и Стефана – Больцмана.

**Виды учебных занятий:**

Лекция: Теплообмен в металлургических печах 1 час

**МОДУЛЬ 6. Динамика нагрева и превращений в металлах  
(14 часов)**

Технологические параметры процесса нагрева при термической обработке отливок. Конечная температура нагрева и разность температур нагреваемого тела; скоростью нагрева изделия.

Автоматические программные регуляторы температурного режима: аналоговые, цифровые.

Нежелательные явления, возникающие в поверхностном слое металла при нагреве в условиях окислительной печной атмосферы при высоких температурах. Окисление железа и других элементов стали, обезуглероживание, перегрев и пережог металла. Внутренние механические напряжения, определяемые перепадом температур по сечению нагреваемого тела, и свойствами материала. Предупреждение брака отливок.

**Виды учебных занятий:**

Лекция: Динамика нагрева и превращений в металлах 1 час

Практическое занятие: Технологические параметры процесса нагрева (при термической обработке отливок) 2 часа

**МОДУЛЬ 7. Устройство и принцип действия металлургических печей (18 часов)**

**Тема 7.1. Технологические и конструктивные характеристики металлургических печей (5 часов)**

Печи в литейном производстве: высокотемпературные, среднетемпературные, низкотемпературные. Область применения высокотемпературных печей. Электродуговые печи для выплавки стали и сплавы на основе железа с высоким содержанием легирующих элементов. Индукционные печи для плавки чугуна, стали, цветных металлов и сплавов. Вагранки для плавки чугуна. Емкость плавильных печей. Особенности индукционной плавки

Среднетемпературные плавильные печи для плавки цветных металлов и сплавов: электродуговые печи косвенного нагрева; индукционные печи; пламенные печи и печи типа электросопротивления.

Низкотемпературные печи литейных цехов: сушилка для сушки сыпучих формовочных материалов, готовых форм.

**Виды учебных занятий:**

Лекция: Устройство и принцип действия металлургических печей 1 час

**Тема 7.2. Сушилка в литейном производстве (3 часа)**

Скорость сушки: скорость движения продуктов сгорания относительно сушимых изделий; разность парциальных давлений водяных паров и поверхности материала и в окружающей среде. Теоретический анализ процесса сушки.

### **Тема 7.3. Регенерация теплоты отходящих продуктов сгорания топлива и защита окружающей среды (5 часов)**

Регенераторы мартеновских, двухванных сталеплавильных печей и печей устаревших конструкций. Рекуператоры современных печи: прямоточные и противоточные.

Расчет рекуператора на основе уравнений теплового баланса и теплопередачи.

#### ***Виды учебных занятий:***

Лекция: Устройство и принцип действия металлургических печей 1 час

### **МОДУЛЬ 8. Материалы для сооружения металлургических печей (18 часов)**

Материалы для строительства и ремонте металлургических печей: огнеупорные, теплоизоляционные, красный строительный кирпич. Основные их физические и рабочие свойства

Применение огнеупорных бетонов и масс при сооружении и ремонте металлургических печей.

#### ***Виды учебных занятий:***

Лекция: Материалы для сооружения металлургических печей 1 час

Лабораторное занятие: Определение коэффициента теплоотдачи от горизонтальных труб различных диаметров, изготовленных из одинаковых материалов 2 часа

## **5. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

### **5.1. Темы контрольных работ**

Модуль дисциплины	Наименование тем
Модуль 1. Классификация и общая характеристика металлургических печей	Классификация плавильных печей, назначение, конструкция и используемые источники тепловой энергии. Классификация термических печей, назначение, конструкция и используемые источники тепловой энергии. Методические печи их конструктивные особенности, назначение, основные параметры при нагреве. Виды теплопереноса.
Модуль 5. Теплообмен в металлургических печах	
Модуль 7. Устройство и принцип действия металлургических печей	

## 5.2. Темы курсовых работ (проектов)

Выполнение курсовой работы (проекта) учебным планом не предусмотрено.

## 5.3. Перечень методических рекомендаций

№ п/п	Наименование
1	Методические рекомендации по подготовке к лабораторным работам.
2	Методические рекомендации по выполнению контрольной работы(реферата).

## 5.4. Перечень вопросов для подготовки к экзамену

1. Назовите источники теплоты для нагрева материалов и изделий в промышленных печах.
2. Приведите примеры промышленных печей непрерывного и периодического действия.
3. Чем отличается камерная нагревательная печь от методической?
4. Какие механизмы применяются для загрузки материалов или заготовок в промышленной печи?
5. Каково основное различие между плавильными, нагревательными и теоретическими печами?
6. Какие конкретно химические элементы или их соединения являются источниками теплоты при сжигании топлива?
7. Назовите балластные компоненты топлива.
8. Какой химический элемент при своем полном сгорании выделяет наибольшее количество теплоты в расчете на 1 кг или на 1 м<sup>3</sup>?
9. Является ли сера горючей составляющей частью топлива?
10. Какие углеводороды входят в состав природного газа?
11. Почему низкая теплота сгорания топлива (его теплотворная способность) отличается от высшей?
12. Если теплотворную способность топлива определяют экспериментально, то непосредственным (после окончания опыта) результатом является высшая или низшая теплотворная способность топлива?
13. Какие факторы учитывают при расчете теплотворной способности топлива?
14. Назовите источники теплоты для нагрева материалов и изделий в металлургических печах.
15. Чем отличается камерная нагревательная печь от методической?
16. Какие механизмы применяются для загрузки материалов или заготовок промышленной печи?
17. Каково основное различие между плавильными, нагревательными и термическими печами?
18. Какие конкретно химические элементы или их соединения являются источниками теплоты при сжигании топлива?
19. Назовите балластные компоненты топлива.
20. Какой химический элемент при своем полном сгорании выделяет

наибольшее количество теплоты в расчете на 1 кг или на 1 м<sup>3</sup>?

21. Является ли сера горючей составляющей частью топлива?
22. Какие углеводороды входят в состав природного газа?
23. Почему низкая теплота сгорания топлива (его теплотворная способность) отличается от высшей?
24. Если теплотворную способность топлива определяют экспериментально, то непосредственным (после окончания опыта) результатом является высшая или низшая теплотворная способность топлива?
25. Какие факторы учитывают при расчете теплотворной способности топлива?
26. Чем обусловлено различие теоретически необходимого и действительно вводимого количества воздуха на единицу топлива?
27. Что называют коэффициентом расхода воздуха, и в каких пределах его поддерживают?
28. В каких печах и с какой целью коэффициент расхода воздуха поддерживают меньшим единицы?
29. Какие факторы входят в формулу для расчета теоретической температуры горения топлива?
30. Как сказывается на теоретической температуре горения топлива предварительный подогрев воздуха и чем это объяснимо?
31. Как влияет коэффициент расхода воздуха на температуру горения?
32. Как изменится теоретическая температура горения топлива при обогащении воздуха кислородом?
33. Чем отличается калориметрическая температура горения топлива от теоретической?
34. Как приближенно определяют действительную температуру горения топлива?
35. Перечислите стадии процесса горения топлива и назовите самую продолжительную из них.
36. В чем заключается сущность цепного механизма реакций горения топлива?
37. Как устроена и работает беспламенная горелка для сжигания газообразного топлива?
38. В чем различие в смысле терминов «факел» и «пламя»?
39. Чем различается принцип действия газовых горелок типа «труба в трубе» инжекционных?
40. Какие из этих горелок удобнее для сжигания топлива в атмосфере подогретого воздуха?
41. Как устроены форсунки высокого давления?
42. Для чего в наиболее мощных форсунках высокого давления применяют сопло Лавалья?
43. Как режим форсунки влияет на «светимость» (то есть лучеиспускательную способность) факела жидкого топлива?
44. Каковы способы теплогенерации за счет электроэнергии?
45. Для каких целей применяются электродуговые печи косвенного на

грева?

46. Опишите принцип действия стержневых (канальных) индукционных плавильных печей.

47. Как зависит глубина проникновения вихревых токов в металл от частоты питания индуктора?

48. Почему индукционные плавильные печи с малыми размерами тигля требуют источников электропитания повышенной и высокой частоты?

49. Как осуществляются электротеплогенерация в печах типа электросопротивления?

50. Приведите уравнение состояния газа и охарактеризуйте входящие в него физические величины.

51. Как определяют объёмный состав и плотность газовой смеси?

52. Приведите формулу закона вязкостного трения Ньютона.

53. Какова связь между коэффициентами динамической и кинематической вязкости?

54. Что происходит с потоком газа или жидкости при увеличении критерия Рейнольдса с 1500 до 3000?

55. Каково различие профиля эпюры скоростей в поперечном сечении ламинарного и турбулентного потоков?

56. Приведите уравнение неразрывности (сплошности) течения при изменении плотности текущей среды.

57. Приведите уравнение Бернулли в общем виде и охарактеризуйте входящие в него величины.

58. Какой вид энергии каждого  $m^3$  вещества в потоке выражает динамический напор в уравнении Бернулли?

59. Зависят ли коэффициенты местного сопротивления от критерия Рейнольдса?

60. Как определяют потери напора на трение?

61. В чем заключается правило Лукашевича и Грум-Гржимайло?

62. С помощью каких устройств и как именно приводят в движение газовые потоки в металлургических печах?

63. Что называют кратностью увлечения свободной струи?

64. Как осуществляют физическое моделирование?

65. Приведите теоремы теории подобия. Которая из них непосредственно отражает правила моделирования?

66. Чем отличается приближенное моделирование, и какие свойства потоков этому благоприятствуют?

67. Назовите источники теплоты для нагрева материалов и изделий в промышленных печах.

68. Приведите примеры промышленных печей непрерывного и периодического действия.

69. Чем отличается камерная нагревательная печь от методической?

70. Какие механизмы применяются для загрузки материалов или заготовок в промышленной печи?

71. Каково основное различие между плавильными, нагревательными

и термическими печами?

72. Какие конкретно химические элементы или их соединения являются источниками теплоты при сжигании топлива?

73. Назовите балластные компоненты топлива.

74. Какой химический элемент при своем полном сгорании выделяет наибольшее количество теплоты в расчете на 1 кг или на 1 м<sup>3</sup>?

75. Является ли сера горючей составляющей частью топлива?

76. Какие углеводороды входят в состав природного газа?

77. Почему низшая теплота сгорания топлива (его теплотворная способность) отличается от высшей?

78. Если теплотворную способность топлива определяют экспериментально, то непосредственным (после окончания опыта) результатом является высшая или низшая теплотворная способность топлива?

79. Какие факторы учитывают при расчете теплотворной способности топлива?

80. Чем обусловлено различие теоретически необходимого и действительно вводимого количеств воздуха на единицу топлива?

81. Что называют коэффициентом расхода воздуха, и в каких пределах его поддерживают?

82. В каких печах и с какой целью коэффициент расхода воздуха поддерживают меньшим единицы?

83. Какие факторы входят в формулу для расчета теоретической температуры горения топлива?

84. Как сказывается на теоретической температуре горения топлива предварительный подогрев воздуха, и чем это объяснимо?

85. Как влияет коэффициент расхода воздуха на температуру горения?

86. Как изменится теоретическая температура горения топлива при обогащении воздуха кислородом?

87. Чем отличается калориметрическая температура горения топлива от теоретической?

88. Как приближенно определяют действительную температуру горения топлива?

89. Перечислите стадии процесса горения топлива и назовите самую продолжительную из них.

90. Как устроена и работает беспламенная горелка для сжигания газообразного топлива?

91. В чем различие в смысле терминов «факел» и «пламя».

92. Чем различается принцип действия газовых горелок типа «труба в трубе» и инжекционных?

93. Какие из горелок удобнее для сжигания топлива в атмосфере подогретого воздуха?

94. Каковы способы теплогенерации за счет электроэнергии?

95. Как осуществляются электротеплогенерация в печах типа электросопротивления?

96. Как зависит глубина проникновения вихревых токов в металл от

частоты питания индуктора?

97. Какой способ передачи теплоты нагреваемым материалам или изделиям в печах типа электросопротивления является преобладающим?

98. Какие материалы используются для изготовления электронагревателей?

99. В чём заключается сущность индукционного нагрева?

100. Почему при нагреве стали выше  $768\text{ }^{\circ}\text{C}$  в индукционных печах необходимо повышать частоту электропитания индуктора,

101. Что подразумевают под конвекцией как одним из способов теплопередачи?

102. Приведите формулу закона конвективной теплопередачи, открытого Ньютоном.

103. Какова размерность коэффициента теплоотдачи конвекцией?

104. Почему до сих пор значение коэффициента теплоотдачи конвекцией определяют опытным путём?

105. Приведите пример критериального уравнения, обобщающего результаты исследования конвекции на физических моделях печей и других объектов?

106. Чем отличается вынужденная конвекция от свободной?

107. Приведите математические выражения поглощательной, отражательной и пропускательной способности тела.

108. Каковы свойства абсолютно чёрного тела?

109. Приведите формулировку закона Кирхгофа.

110. Что выражает закон Планка?

111. Может ли закон Стефана и Больцмана рассматриваться как следствие закона Планка?

112. Что подразумевается под степенью черноты тела и от каких факторов она зависит?

113. Что выражает закон Ламберта?

114. Как изменяется плотность лучистого потока от точечного источника излучения по мере удаления от него?

115. Как определяют степень черноты продуктов сгорания топлива, содержащих  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ ?

116. Что представляет собой угловой коэффициент?

117. В чём выражается принцип взаимности при использовании угловых коэффициентов?

118. Какова физическая сущность явления теплопроводности в различных телах?

119. Приведите математическое описание процесса теплопереноса через плоскую однослойную стенку.

120. Как выражаются внешние и внутренние тепловые сопротивления?

121. Напишите уравнение Фурье в частных производных.

122. Какова размерность коэффициента температуропроводности и что он характеризует?

123. Если коэффициент теплопроводности материала тела увеличить

вдвое, то как изменится скорость нагрева этого тела при прочих одинаковых условиях?

124. Что выражают краевые условия при расчётах нагрева и охлаждения тел?

125. Чем отличаются граничные условия от начальных?

126. В чём различие между инерционным и регулярным режимами нагрева?

127. Что выражает критерий плавления?

128. Какие по знаку внутренние механические напряжения испытывает металлическое тело при нагревании?

129. Какие нежелательные явления могут произойти со сталью при её нагреве?

130. Каковы меры борьбы с окислением и обезуглероживанием стали при её нагреве в печах?

131. Можно ли исправить пережог стали её термической обработкой?

132. Охарактеризуйте критерии Био и Фурье, используемые при расчётах нагрева металла?

133. Опишите схему устройства камерной термической печи.

134. Как конкретно влияет установка рекуператора на технико-экономические показатели тепловой работы печи?

135. Какие методы и приборы используются для недопущения выбросов СО в рабочую зону и окружающую среду?

136. Чем отличаются рабочие свойства огнеупорных материалов от физических свойств?

137. Охарактеризуйте такое свойство материалов, как огнеупорность, и приведите её значения.

138. Что называют термической устойчивостью и каковы её значения для известных Вам материалов.

## **6. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине по решению кафедры оформлен отдельным приложением к рабочей программе.

## **7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **а) основная литература:**

1. Бянкин И.Г. Металлургическая теплотехника [Электронный ресурс] : курс лекций / И.Г. Бянкин. — Электрон. текстовые данные. — Липецк: Липецкий государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2014. — 70 с. — 978-5-88247-695-2. —

Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/55637.html>

2. Гдалев, А.В. Теплотехника [Электронный учебник]: учебное пособие / Гдалев А.В., 2012, Научная книга. Режим доступа: <http://iprbookshop.ru/6350>.
3. Кудинов, В.А. Теплотехника [Электронный учебник]: учебное пособие / Кудинов В. А., 2012, Высшая школа, Абрис. - 423 с. . Режим доступа: <http://iprbookshop.ru/1323>.
4. Кудинов, В.А. Теплопроводность и термоупругость в многослойных конструкциях [Электронный учебник]: учебное пособие / Кудинов В. А

**б) дополнительная литература:**

1. Васильев, А.В. Теплотехника [Электронный учебник]: учебное пособие / Васильев А. В., 2013, Волгоградский институт бизнеса, Вузовское образование. - 208 с. Режим доступа: <http://iprbookshop.ru/11352>.

**Программное обеспечение**

1. ППП MS Office-2010
2. Тестовый редактор Блокнот
3. Браузеры IE, Google, Chrome, Opera и др.

## **8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ "ИНТЕРНЕТ", НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

1. Электронная информационно-образовательная среда АНО ВО "СЗТУ" (ЭИОС СЗТУ) [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://edu.nwotu.ru/>.
2. Электронная библиотека АНО ВО "СЗТУ" [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://lib.nwotu.ru:8087/jirbis2/>.
3. Электронно-библиотечная система IPRbooks [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/>.
4. Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам" [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://window.edu.ru/>
5. Информационная системы доступа к электронным каталогам библиотек сферы образования и науки (ИС ЭКБСОН)[Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.vlibrary.ru/>.
6. Справочная правовая система «Консультант Плюс»,
7. Справочная правовая система «Гарант».

## **9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

Изучение дисциплины «Металлургическая теплотехника» имеет свои особенности, которые обусловлены её местом в подготовке бакалавра. Выполняя важную образовательную функцию, связанную с формированием

культуры мышления у студентов, «Металлургическая теплотехника» выступает в качестве основы приобретения способностей к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения. На основе изучения данной дисциплины у обучаемых формируются нравственно-патриотическое сознание, вырабатывается гражданская позиция.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, практические занятия, лабораторную работу, самостоятельную работу студента, консультации.

На завершающем этапе изучения дисциплины необходимо, воспользовавшись предложенными вопросами для подготовки к зачету, размещенными в электронной информационной образовательной среде (ЭИОС), проверить качество усвоения учебного материала.

В случае затруднения в ответах на поставленные вопросы рекомендуется повторить учебный материал.

После изучения тем дисциплины следует приступить к выполнению контрольной работы.

В завершении изучения учебной дисциплины студент обязан пройти промежуточную аттестацию. Вид промежуточной аттестации определяется рабочим учебным планом. Форма проведения промежуточной аттестации – компьютерное тестирование с использованием автоматизированной системы тестирования знаний студентов в ЭИОС.

К промежуточной аттестации допускаются студенты, выполнившие требования рабочего учебного плана, выполнившие контрольную работу и набравшие достаточное количество баллов за учебную работу в соответствии с балльно-рейтинговой системой.

## **10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВА- ТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

При осуществлении образовательного процесса по дисциплине используются следующие информационные технологии:

### **10.1. Internet – технологии:**

(WWW(англ. World Wide Web – Всемирная Паутина) – технология работы в сети с гипертекстами;

FTP (англ. File Transfer Protocol – протокол передачи файлов) – технология передачи по сети файлов произвольного формата;

IRC (англ. Internet Relay Chat – поочередный разговор в сети, чат) – технология ведения переговоров в реальном масштабе времени, дающая возможность разговаривать с другими людьми по сети в режиме прямого диалога;

ICQ (англ. I seek you – я ищу тебя, можно записать тремя указанными буквами) – технология ведения переговоров один на один в синхронном режиме.

### **10.2. Дистанционное обучение с использованием ЭИОС на плат-**

**форме Moodle.**

- Технология мультимедиа в режиме диалога.
- Технология неконтактного информационного взаимодействия (виртуальные кабинеты, лаборатории).
- Гипертекстовая технология (электронные учебники, справочники, словари, энциклопедии).

## 11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ

1. Виртуальные аналоги специализированных кабинетов и лабораторий.
2. Библиотека.
3. Справочно-правовая система Консультант Плюс.
4. Электронная информационно-образовательная среда университета.
5. Локальная сеть с выходом в Интернет.

## 12. БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СИСТЕМА

Формирование оценки текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины осуществляется с использованием балльно-рейтинговой оценки работы студента.

<b>Вид учебной работы, за которую ставятся баллы</b>	<b>Баллы</b>
Участие в online занятиях, прослушивание видеолекций	0 - 5
Контрольный тест по модулям 1-8	0 – 20
Лабораторная работа	0 - 15
<b>КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА</b>	<b>0 - 30</b>
<b>ИТОГОВЫЙ КОНТРОЛЬНЫЙ ТЕСТ</b>	<b>0 - 30</b>
<b>ВСЕГО</b>	<b>0 - 100</b>

<b>БОНУСЫ (баллы, которые могут быть добавлены до 100)</b>	<b>Баллы</b>
- за активность	0 - 10
- за участие в олимпиаде	0 - 50
- за участие в НИРС	0 - 50
- за оформление заявок на полезные методы (рац. предложения)	0 - 50

### **Балльная шкала оценки**

<b>Оценка (экзамен)</b>	<b>Баллы</b>
Отлично	<b>86 – 100</b>
Хорошо	<b>69 – 85</b>
Удовлетворительно	<b>51 – 68</b>
Неудовлетворительно	<b>менее 51</b>

### Оценка по контрольной работе

<b>Оценка</b>	<b>Количество баллов</b>
отлично	27-30
хорошо	23-26
удовлетворительно	18-22
неудовлетворительно	менее 18

## ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

### 1. Перечень формируемых компетенций

#### *общепрофессиональные (ОПК)*

Код компетенции	Наименование и (или) описание компетенции
ОПК-1	Готовность использовать фундаментальные общеинженерные знания
ОПК-4	Готовность сочетать теорию и практику для решения инженерных задач

#### *профессиональные (ПК)*

Код компетенции	Наименование и (или) описание компетенции
ПК-4	Готовность использовать основные понятия, законы и модели термодинамики, химической кинетики, переноса тепла и массы
ПК-10	Способность осуществлять и корректировать технологические процессы в металлургии и материалообработке

### 2. Паспорт фонда оценочных средств

№ п/п	Контролируемые модули (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции (или ее части)	Наименование оценочного средства
1	Модуль 1. Классификация и общая характеристика металлургических печей	ОПК-1, ОПК-4, ПК-4, ПК-10	Контрольный тест 1
2	Модуль 2. Теплогенерация в металлургических печах	ОПК-1, ОПК-4, ПК-4, ПК-10	Контрольный тест 2
3	Модуль 3. Элементы механики печных газов	ОПК-1, ОПК-4, ПК-4, ПК-10	Контрольный тест 3
4	Модуль 4. Основы теории подобия и моделирования	ОПК-1, ОПК-4, ПК-4, ПК-10	Контрольный тест 4 Практическое занятие 1
5	Модуль 5. Теплообмен в металлургических печах	ОПК-1, ОПК-4, ПК-4, ПК-10	Контрольный тест 5
6	Модуль 6. Динамика нагрева и превращений в металлах	ОПК-1, ОПК-4, ПК-4, ПК-10	Контрольный тест 6 Практическое занятие 2
7	Модуль 7. Устройство и принцип действия металлургических печей	ОПК-1, ОПК-4, ПК-4, ПК-10	Контрольный тест 7
8	Модуль 8. Материалы для сооружения металлургических печей	ОПК-1, ОПК-4, ПК-4, ПК-10	Контрольный тест 8 Практическое занятие 3
9	Модули 1 - 8	ОПК-1, ОПК-4, ПК-4, ПК-10	Итоговый контрольный тест. Лабораторная работа Контрольная работа

### 3. Показатели и критерии оценивания компетенций по этапам формирования, описание шкал оценивания

Этапы освоения компетенции	Показатели достижения заданного уровня освоения компетенций	Критерии оценивания результатов обучения				
		1	2	3	4	5
Первый этап	Знать: классификацию и общую характеристику металлургических печей; основные принципы теплогенерации в металлургических печах; методы проектирования и изготовления модельной оснастки; элементы механики печных газов; основы теории подобия и моделирования; принципы теплообмена в металлургических печах; динамику нагрева и превращений в металлах; устройство и принцип действия металлургических печей; материалы для сооружения металлургических печей. (ОПК-1, ОПК-4, ПК-4, ПК-10)	Не знает	Знает основы классификации и общую характеристику металлургических печей, но не знаком с основными принципами теплогенерации в металлургических печах.	Способен определить основные принципы теплогенерации в металлургических печах, но допускает ошибки в методы проектирования и изготовления модельной оснастки.	Знает основы основы проектирования и изготовления модельной оснастки, но допускает ошибки в элементах механики печных газов.	Знает основные принципы теплогенерации в металлургических печах; методы проектирования и изготовления оснастки; основы теории подобия и моделирования; принципы теплообмена в металлургических печах; динамику нагрева и превращений в металлах; устройство и принцип действия металлургических печей.
Второй этап	Уметь: применять полученные теоретические знания для практического решения задач производства; разрабатывать физико-химические модели объектов и процессов металлургии и литейного производства. (ОПК-1, ОПК-4, ПК-4, ПК-10)	Не умеет	Ошибается при оценке физико-химические модели объектов и процессов металлургии и литейного производства.	Владеет полученными теоретическими знаниями для практического решения задач производства, но ошибается в выборе физико-химической модели объектов и процессов металлургии и литейного производства.	Правильно ориентируется в физико-химических моделях объектов и процессов металлургии и литейного производства, но допускает ошибки в применении полученных теоретических знаний для практического решения задач производства.	Правильно применять полученные теоретические знания для практического решения задач производства; разрабатывать физико-химические модели объектов и процессов металлургии и литейного производства.
Третий этап	Владеть: полученными теоретическими знаниями для практического решения задач производства; разрабатывать физико-химические модели объектов и процессов металлургии и литейного производства. (ОПК-1, ОПК-4, ПК-4, ПК-10)	Не владеет	Частично способен оценить модели объектов и процессов литейного производства, допускает ошибки при выборе способа практического решения задач производства.	Владеет методологией выбора физико-химические модели объектов и процессов металлургии и литейного производства, но допускает ошибки при оценке модели.	Владеет полученными теоретическими знаниями для практического решения задач производства, но допускает ошибки при практическом решении задач производства.	Владеет полученными теоретическими знаниями для практического решения задач производства; разрабатывать физико-химические модели объектов и процессов металлургии и литейного производства.

#### 4. Шкалы оценивания (балльно-рейтинговая система)

Участие в online занятиях, прослушивание видеолекций	0 - 5
Контрольный тест по модулям 1-8	0 – 20
Лабораторная работа	0 - 15
<b>КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА</b>	<b>0 - 30</b>
<b>ИТОГОВЫЙ КОНТРОЛЬНЫЙ ТЕСТ</b>	<b>0 - 30</b>
<b>ВСЕГО</b>	<b>0 - 100</b>

#### Балльная шкала оценки

Оценка (экзамен)	Баллы
Отлично	<b>86 – 100</b>
Хорошо	<b>69 – 85</b>
Удовлетворительно	<b>51 – 68</b>
Неудовлетворительно	<b>менее 51</b>

**5. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций при изучении учебной дисциплины в процессе освоения образовательной программы**

##### 5.1. Типовой вариант задания на контрольную работу(реферат)

Классификация плавильных печей, назначение, конструкция и используемые источники тепловой энергии.

##### 5.2. Типовой вариант задания на лабораторную работу

Определение коэффициента теплоотдачи от горизонтальных труб различных диаметров, изготовленных из одинаковых материалов.

#### **Лабораторная установка**

Схема экспериментальной установки изображена на рис. 3.3. Исследуемые тела представляют собой трубы, выполненные из одинакового материала и имеющие различные диаметры  $d_1 = 18$  мм и  $d_2 = 20$  мм.

Длина труб  $L=460$  мм, расположение – горизонтально. Внутри трубок размещены электронагреватели из нихромовой проволоки, служащие источником тепла. Тепловой выделяемое электронагревателем, передается через поверхность трубы в окружающую среду.

Полная теплоотдача  $Q$  с поверхности трубы определяется по расходу электроэнергии. Потребляемая мощность электроэнергии регулируется реле-регулятором и измеряется амперметром и вольтметром.

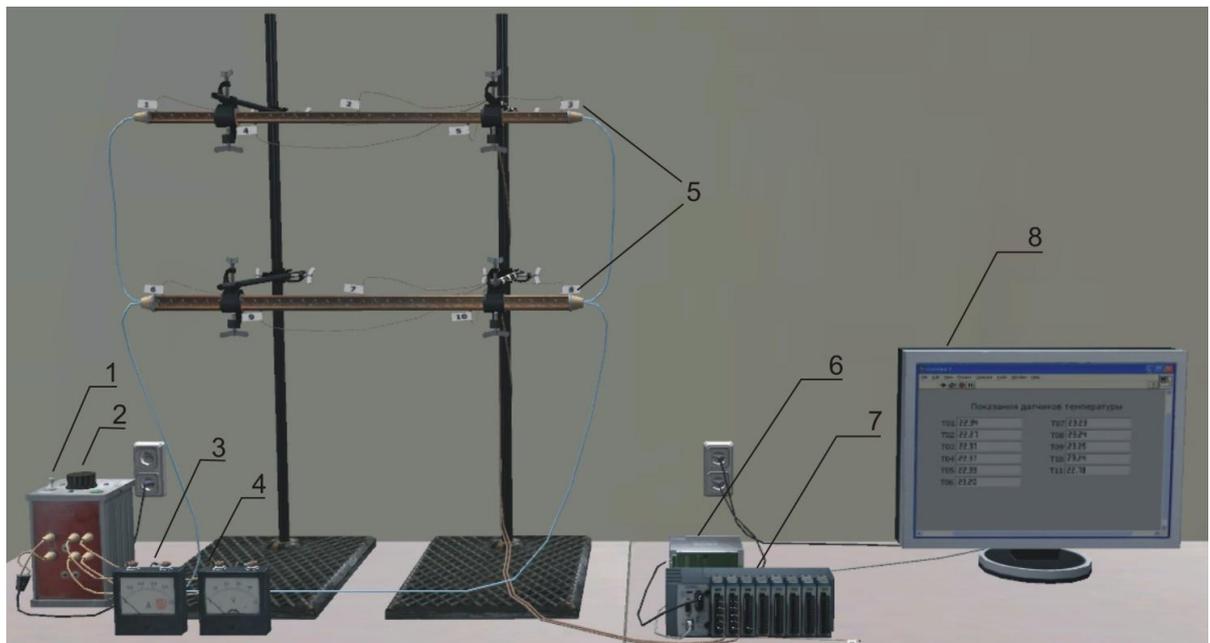


Рис. 3.3. Схема экспериментальной установки

- 1 – тумблер включения/выключения реостата; 2 – реле-регулятор; 3 – амперметр;  
 4 – вольтметр; 5 – испытательные элементы установки с термопарами; 6 – блок питания;  
 7 – контроллер CompactRIO + модули МІО 9481; 8 – промышленный монитор

Для измерения температуры поверхности в стенках каждой из трубок заложено по 5 медь-константовых термопар (№№ 1-5 - первая труба и №№ 6-10 - вторая труба). Термопары поочередно подключаются к измерительному прибору (контроллеру).

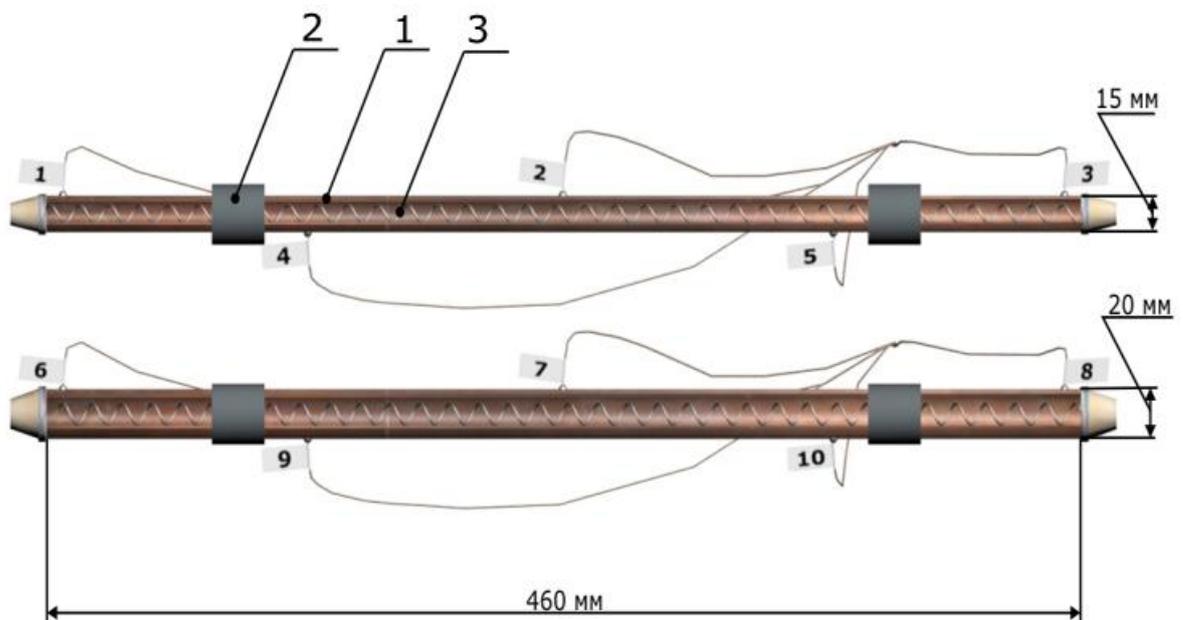


Рис. 3.4. Экспериментальный элемент:

- 1 – медная труба; 2 – изоляция; 3 – нагревательный элемент

### **Порядок проведения работы**

1. Перед проведением лабораторных работ студенты обязаны ознакомиться с правилами по технике безопасности и строго соблюдать их.
2. Перед проведением лабораторной работы необходимо ознакомиться с ее содержанием, повторить или изучить теоретический материал данного раздела.
3. В черновую тетрадь заносятся: схема установки, таблицы для записи наблюдений, расчетные уравнения, технические данные измерительных приборов.
4. Необходимые измерения производятся при установившемся тепловом режиме (не менее 30-40 секунд после включения установки) и записываются в соответствующие графы журнала наблюдений.
5. При выходе приборов из строя или при обнаружении неисправности немедленно сообщить об этом лаборанту или преподавателю.
6. После проведения измерений производится черновая обработка результатов опыта, которые предоставляются преподавателю на подпись.
7. Отчет о лабораторной работе составляется к следующему занятию.
8. Студенты, не предоставившие отчеты, к следующей лабораторной работе не допускаются.

### **5.3. Типовой тест промежуточной аттестации**

1. Жаростойкость - это
  - а) способность металла сопротивляться коррозионному воздействию газов при высоких температурах;
  - в) способность материала при воздействии высоких температур сохранять высокие механические свойства;
  - с) способность металлов при воздействии высоких температур сопротивляться газовой коррозии и сохранять при этом высокие механические свойства;
  - д) высокая температура плавления металла.

### **6. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций**

- 6.1 Итоговый контрольный тест доступен студенту только во время тестирования, согласно расписания занятий или в установленное деканатом время.
- 6.2. Студент информируется о результатах текущей успеваемости.
- 6.3 Студент получает информацию о текущей успеваемости, начислении бонусных баллов и допуске к процедуре итогового тестирования от преподавателя или в ЭИОС.
- 6.4. Производится идентификация личности студента.
- 6.5. Студентам, допущенным к промежуточной аттестации, открывается итоговый контрольный тест.
- 6.6. Тест закрывается студентом лично по завершении тестирования или автоматически по истечении времени тестирования.