

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

Многопрофильный колледж

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
ДЛЯ ЛАБОРАТОРНЫХ И ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ  
УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**ОП.03 ТЕПЛОТЕХНИКА**

**для обучающихся специальности  
22.02.09 Metallurgy черных металлов**

## СОДЕРЖАНИЕ

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| 1 ВВЕДЕНИЕ .....              | 3  |
| 2 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ..... | 4  |
| Практические занятия .....    | 4  |
| Практическое занятие №1 ..... | 4  |
| Практическое занятие №2 ..... | 6  |
| Практическое занятие №3 ..... | 7  |
| Практическое занятие №4 ..... | 8  |
| Практическое занятие №5 ..... | 9  |
| Практическое занятие №6 ..... | 10 |
| Практическое занятие №7 ..... | 11 |
| Практическое занятие №8 ..... | 12 |
| Лабораторные занятия .....    | 13 |
| Лабораторное занятие №1 ..... | 13 |
| Лабораторное занятие №2 ..... | 14 |
| Лабораторное занятие №3 ..... | 15 |
| Лабораторное занятие №4 ..... | 16 |
| Лабораторное занятие №5 ..... | 17 |

## 1 ВВЕДЕНИЕ

Важную часть теоретической и профессиональной практической подготовки обучающихся составляют практические и лабораторные занятия.

Состав и содержание практических и лабораторных занятий направлены на реализацию Федерального государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования.

Ведущей дидактической целью практических занятий является формирование профессиональных практических умений (умений выполнять определенные действия, операции, необходимые в последующем в профессиональной деятельности).

Ведущей дидактической целью лабораторных занятий является экспериментальное подтверждение и проверка существенных теоретических положений (законов, зависимостей).

В соответствии с рабочей программой учебной дисциплины «Теплотехника» предусмотрено проведение практических и лабораторных занятий.

В результате их выполнения, обучающийся должен уметь:

Уд 1. выполнять технические и технологические расчеты процесса производства агломерата и чугуна;

Уд 2. рассчитывать нормативный запас металлошихты, ферросплавов, легирующих, добавочных и заправочных материалов для выполнения производственной программы;

Содержание практических и лабораторных занятий ориентировано на подготовку обучающихся к освоению профессионального (-ых) модуля (-лей) программы подготовки специалистов среднего звена по специальности и овладению **профессиональными компетенциями**:

ПК 1.2. Выполнять расчеты параметров технологического процесса, работы оборудования, характеристик исходного сырья и продукции при производстве агломерата и чугуна.

ПК 2.2. Выполнять расчеты параметров технологического процесса, работы оборудования, характеристик исходного сырья и продукции при производстве ферросплавов и стали.

**А также формированию общих компетенций:**

ОК 01. Выбирать способы решения задач профессиональной деятельности применительно к различным контекстам.

Практические и лабораторные занятия проводятся в рамках соответствующей темы, после освоения дидактических единиц, которые обеспечивают наличие знаний, необходимых для ее выполнения.

### **Критерии оценки практических занятий:**

Оценка «отлично» выставляется, если выполнены все задания, студент четко и без ошибок ответил на все контрольные вопросы (если предусмотрены).

Оценка «хорошо» выставляется, если выполнены все задания; студент ответил на все контрольные вопросы с замечаниями (если предусмотрены).

Оценка «удовлетворительно» выставляется, если выполнены все работы с замечаниями; студент ответил на все контрольные вопросы с замечаниями (если предусмотрены).

Оценка «неудовлетворительно» выставляется, если не выполнено или выполнено, но неправильно задания; студент ответил на контрольные вопросы с ошибками или не ответил на контрольные вопросы (если предусмотрены).

## 2 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

### Практические занятия

#### Тема 1.2 Устройства для сжигания топлива

#### Практическое занятие №1

#### Расчет горения топлива

**Цель:** формирование умений анализировать состав топлива и определять его химические свойства, проводить расчеты для определения объема и массы топлива, необходимого для обеспечения требуемого уровня энергии, анализировать результаты расчетов и делать выводы о наиболее эффективных способах использования топлива для конкретных целей.

**Выполнив работу, вы будете уметь:**

Уд 1. выполнять технические и технологические расчеты процесса производства агломерата и чугуна;

Уд 2. рассчитывать нормативный запас металлошихты, ферросплавов, легирующих, добавочных и заправочных материалов для выполнения производственной программы.

**Материальное обеспечение:**

не требуется.

**Задание:**

выполнить расчет горения топлива по индивидуальным данным.

| №<br>варианта | CH <sub>4</sub> ,<br>% | C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> , % | C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> , % | C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> , % | CO <sub>2</sub> , % | W, г/м <sup>3</sup> | n    |
|---------------|------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|---------------------|---------------------|------|
| 1             | 91                     | 1,2                               | 2,0                               | 1,0                                | 0,8                 | 14,5                | 1,2  |
| 2             | 94                     | 2,5                               | 1,8                               | 0,7                                | 0,4                 | 15                  | 1,1  |
| 3             | 97                     | 1,1                               | 0,9                               | 0,6                                | 0,2                 | 13                  | 1,05 |
| 4             | 94,4                   | 1,4                               | 1,4                               | -                                  | -                   | 12                  | 1,05 |
| 5             | 87,7                   | 1,4                               | 2,2                               | 1,5                                | 1,3                 | 16                  | 1,05 |
| 6             | 91,8                   | 2,2                               | 0,4                               | 0,6                                | -                   | 12                  | 1,1  |
| 7             | 83,4                   | 2,5                               | 0,8                               | 1,5                                | 1,8                 | 10                  | 1,15 |
| 8             | 79,9                   | 1,5                               | 1,7                               | 2,1                                | 2,9                 | 14                  | 1,1  |
| 9             | 94,1                   | 1,5                               | -                                 | 3,0                                | -                   | 10                  | 1,15 |
| 10            | 80                     | 2,1                               | 3,0                               | 4,0                                | 5,0                 | 20                  | 1,05 |
| 11            | 91,1                   | 1,0                               | 1,0                               | 1,0                                | 1,0                 | 18                  | 1,2  |
| 12            | 93,6                   | 2,6                               | -                                 | -                                  | 2,3                 | 16                  | 1,1  |
| 13            | 85,5                   | 4,2                               | 3,7                               | 2,8                                | 2,0                 | 14                  | 1,05 |

**Порядок выполнения работы:**

1. Пересчет сухого газа на влажный

$$X^B = X^{сух} \frac{100}{100 + 0,1242W}$$

2. Определение расхода кислорода на горение при  $n=1,0$

$$V = 0,01(0,5(CO + H_2 + 3H_2S) + \Sigma(m + \frac{n}{4})C_mH_n);$$

3. Определение расхода воздуха на горение при  $n=1,1$

$$V_B = n(1+k)V_O$$

4. Определение состава продуктов горения

$$V_{CO} = 0,01(CO_2 + SO_2 + CO + H_2S + \Sigma m C_m H_n);$$

$$V_{CO} = 0,01(CO_2 + CH_4 + m C_2 H_6 + m C_3 H_8 + m C_4 H_{10})$$

$$V_{H_2O} = 0,01(H_2O + H_2 + H_2S + 0,5 \Sigma n C_m H_n);$$

$$V_{H_2O} = 0,01(H_2O + 0,5(n CH_4 + n C_2 H_6 + n C_3 H_8 + n C_4 H_{10}));$$

5. Расчет общего количества продуктов сгорания

$$V_n = V_{CO_2} + V_{H_2O} + V_{H_2} + V_{O_2}$$

6. Определение процентного состава продуктов сгорания (пересчет на 100%).

7. Определение плотности продуктов сгорания. Теплота сгорания газа

$$Q^P = 358CH_4 + 636C_2H_6 + 913C_3H_8 + 1185C_4H_{10}$$

8. Определение калориметрической температуры.

При горении природного газа в обычном воздухе энтальпия продуктов сгорания определяется:

$$I = \frac{Q_p}{V_n}$$

Для определения калориметрической температуры природного газа зададим сначала  $t_k = 2000$  градусов.

Определение действительной температуры в печи

$$t_d = t_k \times \eta$$

**Форма представления результата:** выполненные расчеты.

## Тема 1.2 Устройства для сжигания топлива

### Практическое занятие №2 Определение состава рабочего топлива

**Цель:** формирование умений интерпретировать полученные данные и определять процентное содержание различных компонентов в топливе, работать с химическими соединениями и различными типами топлива, сравнивать различные типы топлива и рекомендовать оптимальный вариант для конкретного использования.

**Выполнив работу, вы будете уметь:**

Уд 1. выполнять технические и технологические расчеты процесса производства агломерата и чугуна;

Уд 2. рассчитывать нормативный запас металлошихты, ферросплавов, легирующих, добавочных и заправочных материалов для выполнения производственной программы.

**Материальное обеспечение:**

не требуется.

**Задание:**

рассчитать состав рабочего топлива.

**Порядок выполнения работы:**

Определение объёмной доли водяных паров во влажном газе

Общее количество водяных паров, приходящееся на 1 м<sup>3</sup> сухого газа, в объёмных долях (при нормальных условиях 1 моль газа = 22,4 л):

$$\text{H}_2\text{O}^p = \frac{d}{18} \cdot \frac{22,4}{1000} \text{ м}^3 \text{ пара на } 1 \text{ м}^3 \text{ сухого газа}$$

Упрощённо: так как  $22,4/18 \approx 1,244$ , то

$$\text{H}_2\text{O}^p = 1,244 \cdot 10^{-3} \cdot d \text{ (м}^3/\text{м}^3 \text{ сухого газа)}.$$

Чтобы получить объёмную долю водяного пара в смеси, находим общий объём влажного газа на 1 м<sup>3</sup> сухого:

$$V_{\text{вл}} = 1 + 1,244 \cdot 10^{-3} \cdot d \text{ (м}^3\text{)}.$$

Тогда объёмная доля каждого компонента в рабочем (влажном) газе:

$$\text{H}_2\text{O}^p = \frac{1,244 \cdot 10^{-3} \cdot d}{1 + 1,244 \cdot 10^{-3} \cdot d},$$
$$X^p = \frac{X^c}{1 + 1,244 \cdot 10^{-3} \cdot d},$$

где  $X^c$  – объёмная доля компонента в сухом газе (в долях единицы).

$$K = \frac{1}{1 + 0,001244 \cdot d}.$$

Тогда:

$$X^p = X^c \cdot K, \text{H}_2\text{O}^p = 1 - K.$$

(сумма долей всех компонентов сухого газа, умноженных на  $K$ , плюс  $\text{H}_2\text{O}^p = 1 - K$  даёт в сумме 1).

Важно:  $X^c$  и  $X^p$  – в долях единицы. Если исходные данные в процентах, то сначала перевести в доли (разделить на 100), а после пересчёта – обратно в проценты.

**Форма представления результата:** выполненные расчеты.

### Тема 3.1 Теплопроводность и теплообмен

#### Практическое занятие №3

#### Расчет теплового потока распределения температур в стенках металлургического агрегата

**Цель:** формирование умений анализировать и интерпретировать данные о тепловом потоке и температурном распределении в стенках агрегата, навыки принятия решений на основе полученных результатов расчета.

**Выполнив работу, вы будете уметь:**

Уд 1. выполнять технические и технологические расчеты процесса производства агломерата и чугуна;

Уд 2. рассчитывать нормативный запас металлошихты, ферросплавов, легирующих, добавочных и заправочных материалов для выполнения производственной программы.

**Материальное обеспечение:** не требуется.

**Задание:** определить потери тепла через стенку печи при стационарном тепловом режиме, если температура внутренней поверхности кладки  $t_{\text{кл}} = 1300^\circ\text{C}$ , температура окружающей среды  $t_{\text{ок}} = 0^\circ\text{C}$ . Толщина шамотной кладки  $\delta_{\text{ш}} = 0,46$  м, толщина изоляционной кладки из диатомитового кирпича  $\delta_{\text{д}} = 0,115$  м и толщина изоляции из вермикулитовых плит  $\delta_{\text{в}} = 0,05$  м. Определить температуры на границах слоёв. Теплопроводность:  $\lambda_{\text{ш}} = 0,88 + 0,00023t$ ;  $\lambda_{\text{д}} = 0,163 + 0,00023t$ ;  $\lambda_{\text{в}} = 0,081 + 0,00023t$  Вт/(м·К).

**Порядок выполнения работы:**

Температура на границах в первом приближении:

$$t_{\text{ш-д}} = t_{\text{нар}} + (t_{\text{кл}} - t_{\text{нар}}) \frac{\delta_{\text{д}} + \delta_{\text{в}}}{\delta_{\text{ш}} + \delta_{\text{д}} + \delta_{\text{в}}}$$
$$t_{\text{д-в}} = t_{\text{нар}} + (t_{\text{кл}} - t_{\text{нар}}) \frac{\delta_{\text{в}}}{\delta_{\text{ш}} + \delta_{\text{д}} + \delta_{\text{в}}}$$

Средняя температура слоя:

$$t_i^{\text{cp}} = \frac{t_{i-1} + t_i}{2}$$

Коэффициент теплопроводности (линейная зависимость):

$$\lambda = \lambda_0 + b \cdot t_{\text{cp}}$$

Плотность теплового потока:

$$q = \frac{t_{\text{кл}} - t_{\text{ок}}}{\sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}}, \text{ Вт/м}^2$$

где  $\alpha_2 = 10 + 0,06t_{\text{нар}}$  – коэффициент теплоотдачи конвекцией, Вт/(м²·К).

Уточнение температур:

$$t'_i = t_{\text{кл}} - q \cdot \sum_{j=1}^i \frac{\delta_j}{\lambda_j}$$

**Форма представления результата:** выполненные расчеты.

### Тема 3.1 Теплопроводность и теплообмен

#### Практическое занятие №4 Расчет коэффициента теплопроводности металла

**Цель:** формирование умений проводить расчеты с использованием формулы для расчета коэффициента теплопроводности металла.

**Выполнив работу, вы будете уметь:**

Уд 1. выполнять технические и технологические расчеты процесса производства агломерата и чугуна;

Уд 2. рассчитывать нормативный запас металлошихты, ферросплавов, легирующих, добавочных и заправочных материалов для выполнения производственной программы.

**Материальное обеспечение:** не требуется.

**Задание:**

Рассчитать коэффициент теплопроводности заданной марки стали при указанной температуре.

**Порядок выполнения работы:**

Для сталей часто используется линейная зависимость:

$$\lambda(t) = \lambda_0 + b \cdot t, \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$$

где  $\lambda_0$  – коэффициент теплопроводности при  $0^\circ\text{C}$ ,  $b$  – температурный коэффициент.

Пример для углеродистой стали при  $20^\circ\text{C}$ :

$$\lambda = 54 - 0,05 \cdot 20 = 53 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$$

Для более точных расчётов используются полиномиальные зависимости:

$$\lambda(t) = a + bt + ct^2 + \frac{d}{t}$$

**Форма представления результата:** выполненные расчеты.



## Тема 4.1 Основы рациональной технологии нагрева металла. Дефекты нагрева металла

### Практическое занятие №5

#### Расчет времени нагрева металла в металлургическом агрегате

**Цель:** формирование умений работы с техническими данными и формулами для расчета времени нагрева металла в зависимости от его температуры, массы и характеристик печи.

**Выполнив работу, вы будете уметь:**

Уд 1. выполнять технические и технологические расчеты процесса производства агломерата и чугуна;

Уд 2. рассчитывать нормативный запас металлошихты, ферросплавов, легирующих, добавочных и заправочных материалов для выполнения производственной программы.

**Материальное обеспечение:** не требуется.

**Задание:**

Рассчитать полное время нагрева металла в трёхзонной методической печи по индивидуальным данным (из таблицы вариантов).

**Порядок выполнения работы:**

1. Расчётная толщина (при двухстороннем нагреве):

$$S = \mu \cdot \delta, \text{ м}$$

2. Температурный критерий:

$$\Theta = \frac{t_{\Gamma} - t_{\text{пов}}}{t_{\Gamma} - t_{\text{нач}}}$$

3. Критерий Био:

$$Bi = \frac{\alpha \cdot S}{\lambda}$$

4. Критерий Фурье (по номограмме):

$$Fo = f(\Theta, Bi)$$

5. Время нагрева:

$$\tau = Fo \cdot \frac{S^2}{a}, \text{ с}$$

6. Полное время:

$$\tau_{\text{полн}} = \tau_{\text{мет}} + \tau_{\text{св}} + \tau_{\text{том}}$$

**Форма представления результата:** выполненные расчеты.

## Тема 4.1 Основы рациональной технологии нагрева металла. Дефекты нагрева металла

### Практическое занятие №6

#### Расчет продолжительности нагрева жидкого полупродукта при постоянной температуре

**Цель:** формирование умений работы с термодинамическими уравнениями и формулами для расчета теплопередачи при нагревании жидкости.

**Выполнив работу, вы будете уметь:**

Уд 1. выполнять технические и технологические расчеты процесса производства агломерата и чугуна;

Уд 2. рассчитывать нормативный запас металлошихты, ферросплавов, легирующих, добавочных и заправочных материалов для выполнения производственной программы.

**Материальное обеспечение:** не требуется.

**Задание:**

Определить время нагрева сляба размером  $1800 \times 240 \times 4000$  мм из высокоуглеродистой стали при двухстороннем нагреве от  $20^\circ\text{C}$  до  $500^\circ\text{C}$  в печи с температурой  $1000^\circ\text{C}$  и коэффициентом теплоотдачи  $\alpha = 50 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$ .

**Порядок выполнения работы:**

1. Расчётная толщина:

$$S = 0,5 \cdot 0,240 = 0,12 \text{ м}$$

2. Температурный критерий:

$$\Theta = \frac{1000 - 500}{1000 - 20} = 0,51$$

3. Критерий Био (коэффициент теплопроводности стали  $\lambda \approx 40 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{K})$ ):

$$Bi = \frac{50 \cdot 0,12}{40} = 0,15$$

4. По номограммам:  $Fo_{\text{пов}} = 4,2$ ;  $Fo_{\text{центр}} = 4,8$ .

5. Коэффициент температуропроводности  $a = 9,44 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ :

$$\tau_{\text{пов}} = 4,2 \cdot \frac{0,12^2}{9,44 \cdot 10^{-6}} = 1,78 \text{ ч}$$

$$\tau_{\text{центр}} = 4,8 \cdot \frac{0,12^2}{9,44 \cdot 10^{-6}} = 2,04 \text{ ч}$$

**Форма представления результата:** выполненные расчеты.

## Тема 5.1 Огнеупорные, теплоизоляционные материалы, применяемые при сооружении металлургических агрегатов

### Практическое занятие №7 Расчет статей теплового баланса

**Цель:** формирование умений проектировать и рассчитывать параметры теплообменника, такие как площадь поверхности, коэффициент теплоотдачи, потоки тепла.

**Выполнив работу, вы будете уметь:**

Уд 1. выполнять технические и технологические расчеты процесса производства агломерата и чугуна;

Уд 2. рассчитывать нормативный запас металлошихты, ферросплавов, легирующих, добавочных и заправочных материалов для выполнения производственной программы.

**Материальное обеспечение:** не требуется.

**Задание:**

Рассчитать приходные статьи баланса камерной печи. Определить часовой расход топлива  $B$  ( $\text{м}^3/\text{ч}$ ).

**Порядок выполнения работы:**

1. Тепло, получаемое при сжигании топлива:

$$Q_{\text{топл}} = 0,278 \cdot B \cdot Q_{\text{н}}^{\text{p}}, \text{ Вт}$$

где  $B$  – часовой расход топлива,  $\text{м}^3/\text{ч}$  (искомая величина);  $Q_{\text{н}}^{\text{p}}$  – низшая теплота сгорания топлива,  $\text{кДж}/\text{м}^3$ .

2. Тепло, вносимое прогретым воздухом:

$$Q_{\text{возд}} = 0,278 \cdot B \cdot L_{\text{д}} \cdot C_{\text{в}} \cdot t_{\text{в}}, \text{ Вт}$$

где  $L_{\text{д}}$  – действительный расход воздуха,  $\text{м}^3/\text{м}^3$ ;  $C_{\text{в}}$  – теплоёмкость воздуха,  $\text{кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$ ;  $t_{\text{в}}$  – температура подогрева воздуха,  $^{\circ}\text{C}$ .

3. Тепло экзотермических реакций (окисление металла):

$$Q_{\text{экз}} = 0,278 \cdot 5652 \cdot (P_{\text{м}} + P_{\text{тар}}) \cdot a, \text{ Вт}$$

где 5652 – тепловой эффект окисления 1 кг железа,  $\text{кДж}/\text{кг}$ ;  $P_{\text{м}}$ ,  $P_{\text{тар}}$  – производительность по металлу и таре,  $\text{кг}/\text{ч}$ ;  $a$  – угар металла (0,01–0,05).

4. Общая приходная часть:

$$Q_{\text{прих}} = Q_{\text{топл}} + Q_{\text{возд}} + Q_{\text{экз}}$$

**Форма представления результата:** выполненные расчеты.

## Тема 6.1 Устройства для утилизации тепла в печах

### Практическое занятие №8

#### Расчет теплообменника

**Цель:** формирование умений проводить анализ тепловых процессов в системах и оборудовании, расчета расхода, передачи и потерь тепла в технических устройствах.

**Выполнив работу, вы будете уметь:**

Уд 1. выполнять технические и технологические расчеты процесса производства агломерата и чугуна;

Уд 2. рассчитывать нормативный запас металлошихты, ферросплавов, легирующих, добавочных и заправочных материалов для выполнения производственной программы.

**Материальное обеспечение:** не требуется.

**Задание:**

Определить КПД теплообменника, степень утилизации тепла дымовых газов и процент экономии топлива (по индивидуальным данным).

**Порядок выполнения работы:**

1. Степень утилизации тепла дымовых газов:

$$R = \frac{I_{\text{в}}}{I_{\text{д}}}$$

2. КПД теплообменника:

$$\eta = R \cdot 100\%$$

3. Экономия топлива (в %):

$$\Sigma = R \cdot \frac{I_{\text{д}}/I'_{\text{о}}}{1 - I_{\text{д}}/I'_{\text{о}} \cdot (1 - R)} \cdot 100\%$$

где  $I_{\text{д}}$  – энтальпия дымовых газов, покидающих печь, кДж/м<sup>3</sup>;  $I'_{\text{о}}$  – энтальпия дымовых газов при температуре горения, кДж/м<sup>3</sup>.

4. Пример (из исходных данных):

При  $t_{\text{г}} = 2100^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{\text{в}} = 1200^{\circ}\text{C}$  по таблицам энтальпий:

$$R = \frac{1200}{2100} \approx 0,57$$
$$\eta = 57\%$$

**Форма представления результата:** выполненные расчеты.

## Лабораторные занятия

### Тема 2.1 Статика и динамика газов

#### Лабораторное занятие №1

#### Изучение воздухонагревателей доменной печи

**Цель:** формирование умений правильно и эффективно работать с пультом управления механизмами и системами линии загрузки, умение управлять различными механизмами и устройствами на линии загрузки.

**Выполнив работу, вы будете уметь:**

Уд 1. выполнять технические и технологические расчеты процесса производства агломерата и чугуна;

Уд 2. рассчитывать нормативный запас металлошихты, ферросплавов, легирующих, добавочных и заправочных материалов для выполнения производственной программы.

**Материальное обеспечение:**

Виртуальный учебный комплекс «Тренажер-имитатор технологии эксплуатации доменной печи», персональные компьютеры.

**Задание:**

- 1 изучить конструкцию воздухонагревателя;
- 2 определить основные параметры движения газа (скорость, потери напора);
- 3 выполнить расчёт режима работы насадки.

**Порядок выполнения работы:**

- 1 Запустить тренажёр-имитатор SIKE, выбрать режим «Обучение».
- 2 Изучить теоретическую часть по работе воздухонагревателя в тренажере-имитаторе SIKE и оформить в тетрадь.
- 3 Изучить конструкцию воздухонагревателя доменной печи №2.
- 4 Пройти тестирование по конструкции воздухонагревателя доменной печи №2.
- 5 По контрольно-измерительным приборам на пульте управления рассчитать число Рейнольдса для газового потока в насадке.
- 6 Сделать вывод о режиме движения газа.

Исходные данные берутся по показателям КИП работы доменной печи в тренажере-имитаторе SIKE.

1. Определение скорости движения газа в насадке:

$$\omega = \frac{V}{F}, \text{ м/с}$$

где V – объемный расход газа, F – площадь живого сечения насадки.

2. Число Рейнольдса:

$$Re = \frac{\omega \times d}{\nu}$$

**Форма представления результата:** демонстрация экрана.

## Тема 2.1 Статика и динамика газов

### Лабораторное занятие №2

#### Изучение теплового потока и распределение температур в стенках доменной печи

**Цель:** формирование умений анализировать и интерпретировать данные о тепловом потоке и температурном распределении в стенках агрегата.

**Выполнив работу, вы будете уметь:**

Уд 1. выполнять технические и технологические расчеты процесса производства агломерата и чугуна;

Уд 2. рассчитывать нормативный запас металлошихты, ферросплавов, легирующих, добавочных и заправочных материалов для выполнения производственной программы.

**Материальное обеспечение:**

Виртуальный учебный комплекс «Тренажер-имитатор технологии эксплуатации доменной печи», персональные компьютеры.

**Задание:**

- 1 зафиксировать температуру на поверхности футеровки на тренажере;
- 2 рассчитать тепловой поток и построить распределение температур по толщине стенки;
- 3 провести выплавку чугуна на тренажере при различных режимах работы.

**Порядок выполнения работы:**

- 1 Запустить тренажёр SIKE в режиме мониторинга параметров доменной печи.
- 2 Зарисовать схему многослойной стенки.
- 3 Снять показания температур (с экранов тренажёра).
- 4 Рассчитать плотность теплового потока.
- 5 Построить график  $t = f(\delta)$ .
- 6 На тренажёре изменить режим работы печи и наблюдать изменение температур.

**Ход работы:**

Определение скорости движения газа в насадке:

$$q = \frac{t_1 - t_2}{R}, \text{ м/с}$$

где R – сопротивление стенки.

**Форма представления результата:** демонстрация экрана.

### Тема 3.1 Теплопроводность и теплообмен

#### Лабораторное занятие №3

#### Определение приведенного коэффициента излучения в системе «газ-кладка-металл»

**Цель:** формирование умений работы с тепловыми излучениями: при изучении коэффициента излучения необходимо уметь анализировать и оценивать тепловое излучение, его влияние на систему, а также возможные способы его управления.

**Выполнив работу, вы будете уметь:**

Уд 1. выполнять технические и технологические расчеты процесса производства агломерата и чугуна;

Уд 2. рассчитывать нормативный запас металлошихты, ферросплавов, легирующих, добавочных и заправочных материалов для выполнения производственной программы.

**Материальное обеспечение:**

Виртуальный учебный комплекс «Тренажер-имитатор технологии эксплуатации доменной печи», персональные компьютеры.

**Задание:**

Вычислить приведённый коэффициент излучения  $C_{Г.К.М}$  для заданных параметров печи; смоделировать на тренажёре процесс нагрева металла излучением.

**Порядок выполнения работы:**

- 1 Определить геометрические параметры рабочего пространства.
- 2 Рассчитать эффективную толщину газового слоя.

Эффективная толщина газового слоя:

$$S_{эф} = \frac{3,5V_T}{F_{кл} + F_{мет}}, \text{ м}$$

- 3 Найти степень черноты газа  $\varepsilon_{Г}$ .
- 4 Вычислить приведённый коэффициент излучения.

Приведённый коэффициент излучения:

$$C_{Г.К.М} = \frac{5,77 \cdot \varepsilon_{М} \cdot \varepsilon_{Г}}{\varepsilon_{Г} + \varphi_{КМ}(1 - \varepsilon_{Г})}, \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К}^4)$$

Угловой коэффициент:

$$\varphi_{КМ} = \frac{F_{М}}{F_{К} + F_{М}}$$

5 На тренажёре SIKE выполнить сценарий нагрева металла, наблюдая влияние излучения.

**Форма представления результата:** демонстрация экрана, выполненные расчеты.

## Тема 4.1 Основы рациональной технологии нагрева металла. Дефекты нагрева металла

### Лабораторное занятие №4 Определение режимов нагрева жидких полупродуктов

**Цель:** формирование умений Знание основ теплообмена: применять принципы теплообмена для эффективного нагрева жидких полупродуктов.

**Выполнив работу, вы будете уметь:**

Уд 1. выполнять технические и технологические расчеты процесса производства агломерата и чугуна;

Уд 2. рассчитывать нормативный запас металлошихты, ферросплавов, легирующих, добавочных и заправочных материалов для выполнения производственной программы.

**Материальное обеспечение:**

Виртуальный учебный комплекс «Тренажер-имитатор технологии эксплуатации кислородного конвертера», персональные компьютеры.

**Задание:**

Определить оптимальный режим нагрева жидкого полупродукта от заданной начальной до конечной температуры; на тренажёре провести плавку стали в конвертере.

**Порядок выполнения работы:**

- 1 Запустить тренажёр SIKE «Тренажер-имитатор технологии эксплуатации кислородного конвертера», персональные компьютеры».
- 2 Выбрать марку стали и задать параметры плавки.
- 3 Построить график нагрева в тренажёре.
- 4 Рассчитать скорость нагрева.

Скорость нагрева:

$$v = \frac{t_{\text{кон}} - t_{\text{нач}}}{\tau}, \text{ } ^\circ\text{C/мин}$$

Для жидкой стали допустимая скорость нагрева ограничена интенсивностью газовыделения и риском перегрева.

- 5 Выполнить технологический процесс в режиме «Обучения» по сценарию

В режиме «Выбор параметров плавки» задать марку стали (Ст3сп, 20пс, 08ю, 10кп, 09Г2С).

В режиме «Ведение технологического процесса» выполнить операции:

- завалка лома;
- заливка жидкого чугуна;
- продувка кислородом;
- выпуск стали.

Наблюдать на 3D-модели процессы в конвертере.

По окончании проанализировать паспорт плавки с фиксацией всех действий.

- 6 Проанализировать паспорт плавки.
- 7 Сделать вывод о режиме.

**Форма представления результата:** демонстрация экрана, выполненные расчеты.



## **Тема 5.1 Огнеупорные, теплоизоляционные материалы, применяемые при сооружении металлургических агрегатов**

### **Лабораторное занятие №5 Изучение футеровки кислородного конвертера**

**Цель:** формирований умений технических особенностей конвертера: изучение конструкции, функций и принципов работы конвертера, обслуживания и ремонта: понимание процессов обслуживания, замены футеровки, проведения ремонтных работ.

**Выполнив работу, вы будете уметь:**

Уд 1. выполнять технические и технологические расчеты процесса производства агломерата и чугуна;

Уд 2. рассчитывать нормативный запас металлошихты, ферросплавов, легирующих, добавочных и заправочных материалов для выполнения производственной программы.

**Материальное обеспечение:**

Виртуальный учебный комплекс «Тренажер-имитатор технологии эксплуатации кислородного конвертера», персональные компьютеры.

**Задание:**

Определить тип футеровки по заданному варианту, оценить её термостойкость, изучить устройство конвертера в 3D-формате.

**Порядок выполнения работы:**

1 Запустить онлайн-тренажёр SIKE «Устройство кислородного конвертера с верхней продувкой».

2 В режиме «Обучения» изучить каждую деталь конструкции: футеровку, фурму, систему газоочистки.

3 Определить зоны конвертера, подверженные наибольшему износу.

4 В режиме «Тестирования» пройти интерактивную проверку (идентификация элементов на 3D-модели).

5 Записать свойства материалов.

6 Сделать вывод о причинах износа футеровки.

**Форма представления результата:** демонстрация экрана.

**Критерии оценки:**

Оценка «отлично» выставляется, если выполнено тестирование на «5».

Оценка «хорошо» выставляется, если выполнено тестирование на «4».

Оценка «удовлетворительно» выставляется, если выполнено тестирование на «3».

Оценка «неудовлетворительно» выставляется, если выполнено тестирование на «2».