

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



УТВЕРЖДАЮ  
Директор  
С.А. Махновский  
«23» марта 2017 г.

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ  
ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ  
ОП.06 ТЕПЛОТЕХНИКА**  
программы подготовки специалистов среднего звена  
по специальности СПО  
22.02.05 Обработка металлов давлением

Магнитогорск, 2017

## **ОДОБРЕНО**

Предметно-цикловой комиссией  
Обработки металлов давлением  
Председатель: О.В. Шелковникова  
Протокол №7 от 14 марта 2017 г.

Методической комиссией  
Протокол №4 от 23 марта 2017 г.

## **Разработчик**

О.А. Миронова,  
преподаватель МпК ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»

Методические указания разработаны на основе рабочей программы учебной дисциплины «Теплотехника».

## СОДЕРЖАНИЕ

1 Введение	4
2 Методические указания	6
Практическая работа 1	6
Практическая работа 2	10
Практическая работа 3	14
Практическая работа 4	17
Практическая работа 5	18
Практическая работа 6	19
Практическая работа 7	25

# 1 ВВЕДЕНИЕ

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

Состав и содержание практических 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) или учебных практических умений необходимых в последующей учебной деятельности.

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

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

В результате их выполнения, обучающийся должен:

**уметь:**

- производить расчеты процессов горения и теплообмена в металлургических печах

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

ПК 1.1 Планировать производство и организацию технологического процесса в цехе обработки металлов давлением.

ПК 1.2 Планировать грузопотоки продукции по участкам цеха.

ПК1.3 Координировать производственную деятельность участков цеха с использованием программного обеспечения коммуникационных средств.

ПК 1.4 Организовать работу коллектива исполнителей.

ПК1.5. Использовать программное обеспечение по учету и складированию выпускаемой продукции .

ПК 1.6 Рассчитывать и анализировать показатели эффективности работы участка, цеха.

ПК 1.7 оформлять техническую документацию на выпускаемую продукцию.

ПК 1.8 Составлять рекламации на получаемые исходные материалы.

ПК 2.1 Выбирать соответствующее оборудование, оснастку и средства механизации для ведения технологического процесса;

ПК2.2 Проверять исправность и оформлять техническую документацию на технологическое оборудование;

ПК 2.3 Производить настройку и профилактику технологического оборудования;

ПК 2.4 Выбирать производственные мощности и топливно-энергетические ресурсы для ведения технологического процесса;

ПК2.5 Эксплуатировать технологическое оборудование в плановом и аварийном режимах;

ПК 2.6 Производить расчеты энергосиловых параметров оборудования;

ПК 3.1 Проверять правильность назначения технологического режима обработки металлов давлением.

ПК 3.2 Осуществлять технологические процессы в плановом и аварийном режимах.

ПК 3.3 Выбирать виды термической обработки для улучшения свойств и качества выпускаемой продукции.

ПК 3.4 Рассчитывать показатели и коэффициенты деформации обработки металлов давлением.

ПК 3.5 Рассчитывать калибровку рабочего инструмента и формоизменение выпускаемой продукции.

ПК 3.6 Производить смену сортамента выпускаемой продукции.

ПК 3.7 Осуществлять технологический процесс в плановом режиме, в том числе используя программное обеспечение, компьютерные и телекоммуникационные средства.

ПК 3.8 Оформлять техническую документацию технологического процесса.

ПК 3.9 Применять типовые методики расчета параметров обработки металлов давлением

ПК 4.1 Выбирать методы контроля, аппаратуру и приборы для контроля качества продукции.

ПК4.2 Регистрировать и анализировать показатели автоматической системы управления технологическим процессом.

ПК 4.3 Оценивать качество выпускаемой продукции.

ПК 4.4 Предупреждать появление, обнаруживать и устранять возможные дефекты выпускаемой продукции.

ПК 4.5 Оформлять техническую документацию при отделке и контроле выпускаемой продукции.

ПК 5.1 Организовывать и проводить мероприятия по защите работников от негативного воздействия производственной среды.

ПК 5.2 Проводить анализ травмоопасных и вредных факторов на участках цехов обработки металлов давлением.

ПК 5.3 Создавать условия для безопасной работы.

ПК 5.4 Оценивать последствия технологических чрезвычайных ситуаций и стихийных явлений на безопасность работающих.

ПК 5.5 Оказывать первую медицинскую помощь пострадавшим

А также формированию **общих компетенций**:

ОК 1 Понимать сущность и социальную значимость своей будущей профессии, проявлять к ней устойчивый интерес.

ОК 2 Организовывать собственную деятельность, выбирать типовые методы и способы выполнения профессиональных задач, оценивать их эффективность и качество.

ОК 3 Принимать решения в стандартных и нестандартных ситуациях и нести за них ответственность.

ОК 4 Осуществлять поиск и использование информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональных задач, профессионального и личностного развития.

ОК 5 Использовать информационно-коммуникационные технологии в профессиональной деятельности.

ОК 6 Работать в коллективе и команде, эффективно общаться с коллегами, руководством, потребителями.

ОК 7 Брать на себя ответственность за работу членов команды (подчиненных), результат выполнения заданий.

ОК 8 Самостоятельно определять задачи профессионального и личностного развития, заниматься самообразованием, осознанно планировать повышение квалификации.

ОК 9 Ориентироваться в условиях частой смены технологий в профессиональной деятельности.

Выполнение обучающихся практических работ по учебной дисциплине «Теплотехника» направлено на:

- обобщение, систематизацию, углубление, закрепление, развитие и детализацию полученных теоретических знаний по конкретным темам учебной дисциплины;

- формирование умений применять полученные знания на практике, реализацию единства интеллектуальной и практической деятельности;

- формирование и развитие умений: наблюдать, сравнивать, сопоставлять, анализировать, делать выводы и обобщения, самостоятельно вести исследования, пользоваться различными приемами измерений, оформлять результаты в виде таблиц, схем, графиков;

- приобретение навыков работы с различными приборами, аппаратурой, установками и другими техническими средствами для проведения опытов;

- развитие интеллектуальных умений у будущих специалистов: аналитических, проектировочных, конструктивных и др.;

- выработку при решении поставленных задач профессионально значимых качеств, таких как самостоятельность, ответственность, точность, творческая инициатива.

Практические занятия проводятся после соответствующей темы, которая обеспечивает наличие знаний, необходимых для ее выполнения.

## 2 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

### Тема 1.2. Теория горения различных видов топлива в печах

#### Практическая работа № 1

#### Расчет горения топлива

**Цель:** с помощью теоретических расчетов по формулам определить необходимое количество воздуха для горения, количество продуктов сгорания и calorиметрическую температуру.

**Выполнив работу, Вы будете:**

уметь:

- пересчитывать сухой газ на влажный;
- определять необходимое количество воздуха для горения;
- определять количество продуктов сгорания;
- рассчитывать calorиметрическую и действительную температуру

**Материальное обеспечение:** методические указания

**Задание:**

№ варианта	CH <sub>4</sub> , %	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
14	91,6	1,6	2,0	1,6	0,6	12	1,15
15	80	2,5	3,5	4,5	5,5	14	1,05
16	91,2	0,8	0,9	1,6	2,4	16	1,1

17	93	1,1	2,1	3,1	-	18	1,05
18	85,5	4,5	2,5	1,5	3,0	20	1,1
19	82,7	-	5,0	3,0	4,0	10	1,15
20	90	2,2	3,3	1,6	-	12	1,15
21	97	0,5	0,5	0,3	0,5	14	1,1
22	87,8	1,7	1,8	2,9	4,1	16	1,05
23	74,8	4,5	3,3	-	3,2	18	1,15
24	77,6	2,4	4,4	1,1	1,1	20	1,1
25	83,3	-	3,9	3,2	-	10	1,2
26	89,7	4,5	-	2,2	2,2	12	1,15
27	92,2	0,9	0,7	1,1	0,8	14	1,2
28	93,3	1,4	-	-	1,4	16	1,15
29	88,8	3,1	1,1	1,1	1,1	18	1,05
30	95,5	-	1,5	1,5	-	20	1,1
31	92,2	2,2	-	1,2	1,2	10	1,2
32	95,7	2,1	1,03	0,47	0,2	15,55	1,1
33	96	2	1,0	0,3	0,3	16	1,15
34	93,2	0,7	0,6	0,6	1,9	15,3	1,05
35	92	0,9	1,0	1,1	0,3	15,5	1,05

### Порядок выполнения работы:

Изучить методические указания к данной практической работе.

1. Пересчитать сухой газ на влажный
2. Определить расход кислорода на горение
3. Определить расход воздуха, необходимого для горения
4. Определить состав продуктов сгорания
  5. Рассчитать количество продуктов сгорания по методике, приведенной в разработке.
  6. Определить процентный состав продуктов сгорания.
  7. Определить плотность продуктов сгорания
  8. Рассчитать колориметрическую и действительную температуру

Расчеты выполнить по методике, приведенной в разработке.

### Ход работы:

1. Пересчет сухого газа на влажный

$$x^{\text{вл.}} = x^{\text{сух.}} \cdot \frac{100}{100 + 0,1242W};$$

$$x^{\text{вл.}} = x^{\text{сух.}} \cdot \frac{100}{100 + 0,1242 \cdot 15,55};$$

$$x^{\text{вл.}} = x^{\text{сух.}} \cdot 0,98.$$



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

$$V_{O_2} = 0,01(0,5(CO+H_2+3H_2S)+\Sigma(m+\frac{n}{4})C_mH_n);$$

$$V_{O_2} = 0,01[(m+\frac{n}{4})CH_4 + (m+\frac{n}{4})C_2H_6 + (m+\frac{n}{4})C_3H_8 + (m+\frac{n}{4})C_4H_{10}];$$

$$V_{O_2} = 0,01[(1+\frac{4}{4})94 + (2+\frac{6}{4})2 + (3+\frac{8}{4})1 + (4+\frac{10}{4})0,4];$$

$$V_{O_2} = 2,026 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

3. Расход воздуха на горение при  $n=1,1$ .

$$V_B = n(1+k)V_{O_2};$$

$$V_B = 1,1(1+3,76) \cdot 2,026;$$

$$V_B = 10,61 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

4. Состав продуктов сгорания.

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

$$V_{CO_2} = 0,01(CO_2+CH_4+mC_2H_6+mC_3H_8+mC_4H_{10});$$

$$V_{CO_2} = 0,01(0,2+94+2 \cdot 2+3 \cdot 1+4 \cdot 0,4);$$

$$V_{CO_2} = 1,028 \text{ м}^3/\text{м}^3;$$

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

$$V_{H_2O} = 0,01(H_2O+0,5(nCH_4+nC_2H_6+nC_3H_8+nC_4H_{10}));$$

$$V_{H_2O} = 0,01(1,9+0,5(4 \cdot 94+6 \cdot 2+8 \cdot 1+10 \cdot 0,4));$$

$$V_{H_2O} = 2,019 \text{ м}^3/\text{м}^3;$$

$$V_{N_2} = 0,01N_2 + nk V_{O_2};$$

$$V_{N_2} = 0,01 \cdot 0,5 + 1,1 \cdot 3,76 \cdot 2,026;$$

$$V_{N_2} = 8,385 \text{ м}^3/\text{м}^3;$$

$$V'_{O_2} = (n-1) V_{O_2};$$

$$V'_{O_2} = (1,1-1) \cdot 2,026;$$

$$V'_{O_2} = 0,203 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

5. Определение общего количества продуктов сгорания (дыма).

$$V_{n.c.} = V_{RO_2} + V_{H_2O} + V_{N_2} + V'_{O_2};$$

$$V_{n.c.} = V_{CO_2} + V_{H_2O} + V_{N_2} + V'_{O_2};$$

$$V_{n.c.} = 1,028 + 2,019 + 8,385 + 0,203;$$

$$V_{n.c.} = 11,635 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

6. Определение процентного состава продуктов сгорания.

$$CO_2 = \frac{V_{CO_2}}{V_{n.c.}} \cdot 100\%;$$

$$N_2 = \frac{V_{N_2}}{V_{n.c.}} \cdot 100\%;$$

$$CO_2 = \frac{1,028}{11,635} \cdot 100\%;$$

$$N_2 = \frac{8,385}{11,635} \cdot 100\%;$$

$$CO_2 = 8,83\%;$$

$$N_2 = 72,07\%;$$

$$H_2O = \frac{V_{H_2O}}{V_{n.c.}} \cdot 100\%;$$

$$H_2O = 17,35\%.$$

$$O_2 = \frac{V'_{O_2}}{V_{n.c.}} \cdot 100\%.$$

$$O_2 = 1,75\%.$$

7. Определение плотности продуктов сгорания.

$$\rho_{п.с.} = \frac{44CO_2 + 28N_2 + 18H_2O + 32O_2}{22,4 \cdot 100};$$

где 44;28;18;32 – молекулярная масса;

22,4 – 1 моль;

$$\rho_{п.с.} = \frac{44 \cdot 8,83 + 28 \cdot 72,07 + 18 \cdot 17,35 + 32 \cdot 1,075}{22,4 \cdot 100};$$

$$\rho_{п.с.} = 1,24 \text{ кг/м}^3.$$

8. Теплота сгорания газа составит.

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

$$Q_H^P = 358 \cdot 94 + 636 \cdot 2 + 913 \cdot 1 + 1185 \cdot 0,4;$$

$$Q_H^P = 36327 \text{ кДж/м}^3.$$

9. Определение calorimetric temperature.

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

$$i_0 = \frac{Q_H^P}{V_{n.c.}};$$

$$i_0 = \frac{36327}{11,635};$$

$$i_0 = 3122,22 \text{ кДж/м}^3.$$

9.2. Для определения calorimetric temperature природного газа зададимся сначала  $t'_k = 2000^\circ\text{C}$  и определим при этой calorimetric temperature энтальпию.

$$i_{2000^\circ} = \frac{i_{CO_2}^{2000^\circ} \cdot V_{CO_2} + i_{H_2O}^{2000^\circ} \cdot V_{H_2O} + i_{N_2}^{2000^\circ} \cdot V_{N_2} + i_{O_2}^{2000^\circ} \cdot V_{O_2}}{V_{n.c.}};$$

$$i_{2000^\circ} = 3249,41 \text{ кДж/м}^3,$$

т.к.  $i_{2000^\circ} > i_0$ , принимаем температуру  $t''_k = 1900^\circ\text{C}$  и рассчитаем энтальпию при этой температуре

$$i_{1900^\circ} = 3119,88 \text{ кДж/м}^3,$$

т.к.  $i_{1900^\circ} < i_0$  определим  $t_k$

$$t_k = t''_k + \frac{i_0 + i''_k}{i''_k - i'_k};$$

$$t_k = 1900 + \frac{3122,22 + 3119,88}{3249,41 - 3119,88};$$

$$t_k = 1949^0 \text{ C.}$$

10. Определение действительной температуры в печи.

$$t_d = \eta \cdot t_k,$$

где  $\eta = 0,65 \div 0,80$  – коэффициент, зависящий от конструкции печи.

$$t_d = 0,70 \cdot 1949;$$

$$t_d = 1364,3^0 \text{ C.}$$

**Форма представления результата:**

Расчеты выполнить и оформить на формате А4 по ГОСТам.

**Критерии оценки:** правильность выполнения расчета

**Тема 2.2 Динамика газов**  
**Практическая работа №2**  
**Расчет высоты дымовой трубы**

**Цель работы:** научиться применять закон Бернулли при расчетах истечения газа через отверстия и насадки; определять сопротивление дымового тракта; определять разрежение у основания дымовой трубы и высоту дымовой трубы.

**Выполнив работу, Вы будете:**

уметь:

- применять закон Бернулли в теплотехнических расчетах;
- определять сопротивление дымового тракта;
- определять высоту дымовой трубы

**Материальное обеспечение:**

Раздаточный материал.

**Задание:**

Рассчитать высоту дымовой трубы

**Порядок выполнения работы:**

1. Повторить теоретический материал.
2. Рассчитать сопротивление дымового тракта у основания дымовой трубы.
3. Рассчитать высоту дымовой трубы

**Ход работы:**

Истечение газов через отверстия и насадки наблюдается при работе горелок, форсунок, при выбивании газа через отверстия в стенах печи и в других случаях.

Количество истекающей из рассматриваемого отверстия среды ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) можно определить по формуле:  $V = \omega_2 f_2$ , где  $f_2$ —сечение струи,  $\text{м}^2$ ,  $\omega_2$ —скорость истечения газа.

Количество истечения газа через насадки, учитывая, что насадка – это короткий патрубок, присоединённый к отверстию в тонкой стенке, длина последнего обычно составляет 3 – 4 его диаметра, можно определить по формулам:

Для насадки с открытыми кромками:

$$V = 0,85 F_3 \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho}},$$

где  $F_3$ -площадь выходного сечения;

$P_1, P_2$ - соответственно давление в сосуде и давление среды;  
 $\rho$  -плотность газа.

Для насадки с закруглёнными кромками:

$$V = F_3 \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho}}$$

Данные для расчета:

1. Температура

№ вар.	$t_1, ^\circ\text{C}$	$t_2, ^\circ\text{C}$	$t_3, ^\circ\text{C}$	$t_4, ^\circ\text{C}$	$t_5, ^\circ\text{C}$	$t_6, ^\circ\text{C}$	$t_{1-2}, ^\circ\text{C}$	$t_{2-3}, ^\circ\text{C}$	$t_{3-4}, ^\circ\text{C}$	$t_{4-5}, ^\circ\text{C}$	$t_{5-6}, ^\circ\text{C}$
1	770	680	380	340	320	300	700	560	360	330	310
2	790	690	390	350	350	330	740	540	380	360	340
3	810	770	600	500	400	305	790	610	550	450	320
4	720	650	490	370	360	310	680	510	400	365	320
5	910	810	550	480	590	300	870	700	420	350	310
6	850	740	400	370	310	280	800	500	350	320	300
7	860	750	390	320	290	270	790	400	340	300	280
8	800	710	390	310	290	230	760	370	340	300	250
9	830	740	400	330	300	260	780	410	350	310	270
10	730	670	390	350	340	320	740	400	360	350	330
11	800	690	410	310	270	240	710	340	300	280	260
12	870	800	600	550	540	530	830	590	560	530	520
13	1200	1100	850	720	660	310	1000	910	730	690	350
14	845	738	297	270	250	230	790	390	290	260	240
15	1350	1200	800	650	470	290	1250	970	700	500	300
16	1110	990	710	600	470	290	1000	860	660	500	280
17	810	690	400	300	280	250	700	450	350	290	270
18	790	670	370	340	310	300	750	550	350	330	310
19	800	710	400	340	300	280	760	500	370	310	290
20	820	730	390	330	300	250	770	400	350	310	280
21	1280	1120	720	610	570	300	1200	750	650	600	350
22	700	600	400	350	350	320	650	500	380	360	330
23	850	750	450	300	300	280	800	500	390	370	310
24	700	650	400	370	370	340	750	530	380	360	350
25	900	800	500	470	470	450	850	670	520	500	400
26	810	710	410	370	370	350	760	560	400	380	360
27	900	810	400	370	320	290	870	420	390	340	200
28	650	600	300	280	240	170	630	330	290	260	200
29	600	570	310	280	210	180	590	330	300	240	200
30	870	790	600	500	400	290	800	650	510	410	300
31	830	700	410	350	330	300	780	430	330	320	305
32	640	600	290	260	210	170	620	300	250	220	180
33	890	700	400	350	310	280	750	500	370	320	300
34	990	830	500	400	370	300	880	600	400	350	250
35	1000	900	700	600	400	280	910	650	360	280	210

## 2. Длина участков и начальная скорость движения газа

№ варианта	$l_{1-2},$ м	$l_{2-3},$ м	$l_{3-4},$ м	$l_{4-5},$ м	$l_{5-6},$ м	V, м/с
1	4	4	6	3	10	4,5
2	7	6	8	5	12	4,1
3	5	4	6	3	9	4,6
4	3	2	3	1	7	4,5
5	6	5	4	3	12	4,4
6	5	6	5	3	11	4
7	4	5	6	4	12	4,4
8	6	5	4	3	9	4,6
9	5	5	4	4	11	4,4
10	6	5	6	3	11	4,1
11	7	6	6	5	12	4,3
12	7	6	7	5	11	4,5
13	8	6	8	4	12	4,3
14	3,5	4,2	5,2	4	13	4,4
15	7	6	7	5	14	4,5
16	7,5	6	6,8	5	14	5,5
17	7	6	6	5	13	4,2
18	8	6	4	4	11	4,2
19	6	5	3	4	10	4,3
20	5	5	4	3	12	4,6
21	7	5	7	4	12	4,0
22	4	3	4	2	8	5,0
23	7	6	7	5	12	4,5
24	5	4	5	3	10	4,0
25	6	5	6	4	10	5,0
26	6	5	6	4	11	5,5
27	6	5	4	3	11	4,6
28	5	4	2	1	7	3,0
29	4	4	3	2	7	4,4
30	7	7	6	4	13	3,0
31	7	6	5	5	11	5,1
32	5	5	4	3	8	2,9
33	6	5	3	2	10	4,3
34	9,5	9	7	8	12	3,0
35	8	8	6	6	10	4,3

## 3. Поперечные размеры дымовых каналов

№ варианта	1-2, мм	3-4, мм	4-5, мм	5-6, мм
1	1,3x1,9	1,1x1,6	1,1x1,6	1,1x1,6
2	1,3x1,9	1,1x1,6	1,1x1,6	1,1x1,6
3	1,3x1,9	1,1x1,6	1,1x1,6	1,1x1,6
4	1,3x1,9	1,1x1,6	1,1x1,6	1,1x1,6

5	1,4x2,0	1,2x1,7	1,2x1,7	1,2x1,7
6	1,3x1,9	1,1x1,6	1,1x1,6	1,1x1,6
7	1,2x1,8	1,0x1,5	1,0x1,5	1,0x1,5
8	1,5x2,3	1,4x2,0	1,4x2,0	1,4x2,0
9	1,4x2,0	1,3x1,7	1,3x1,7	1,3x1,7
10	1,2x1,8	1,1x1,6	1,1x1,6	1,1x1,6
11	1,3x2,0	1,2x1,6	1,2x1,6	1,2x1,6
12	1,3x1,9	1,0x1,5	1,0x1,5	1,0x1,5
13	1,4x1,3	1,3x1,1	1,3x1,1	1,3x1,1
14	1,3x1,2	1,1x1,6	1,1x1,6	1,1x1,6
15	1,4x1,9	1,3x1,8	1,3x1,8	1,3x1,8
16	1,5x1,5	1,2x1,4	1,2x1,2	1,2x1,2
17	1,4x2,0	1,2x1,7	1,2x1,7	1,2x1,7
18	1,3x1,9	1,1x1,6	1,1x1,6	1,1x1,6
19	1,4x2,1	1,2x1,7	1,2x1,7	1,2x1,7
20	1,4x2,0	1,2x1,7	1,2x1,7	1,2x1,7
21	1,3x1,25	1,1x0,9	1,1x0,9	1,1x0,9
22	1,2x1,8	1,0x1,5	1,0x1,5	1,0x1,5
23	1,2x1,8	1,0x1,5	1,0x1,5	1,0x1,5
24	1,2x1,8	1,0x1,5	1,0x1,5	1,0x1,5
25	1,2x1,8	1,0x1,5	1,0x1,5	1,0x1,5
26	1,3x1,9	1,1x1,6	1,1x1,6	1,1x1,6
27	1,4x2,0	1,2x1,7	1,2x1,7	1,2x1,7
28	1,1x1,7	0,5x1,0	0,5x1,0	0,5x1,0
29	1,1x1,7	0,5x1,0	0,5x1,0	0,5x1,0
30	1,4x2,0	1,2x1,7	1,2x1,7	1,2x1,7
31	1,4x2,0	1,2x1,7	1,2x1,7	1,2x1,7
32	1,1x1,7	0,5x1,0	0,5x1,0	0,5x1,0
33	1,2x1,8	1,0x1,5	1,0x1,5	1,0x1,5
34	1,4x2,0	1,2x1,7	1,2x1,7	1,2x1,7
35	1,4x2,0	1,2x1,7	1,2x1,7	1,2x1,7

Определение плотности.

$$\rho_t = \rho_0 \frac{1}{(1 + \alpha t)},$$

где  $\alpha = 1/273$ , град<sup>-1</sup> – коэффициент объемного расширения.

Определение местного сопротивления

$$h_M = \xi \frac{\rho_0 w_0^2}{2} (1 + \alpha t),$$

где  $w_{01}=2,04$ м/с;  $w_{02}=2,04$ м/с;  $w_{03}=2,94$ м/с;  $w_{04}=2,94$ м/с;  $w_{05}=2,94$ м/с;  $w_{06}=2,94$ м/с.

Определение сопротивления трению.

$$h_T = \lambda \frac{l w_0^2}{d_s 2} \rho_0 (1 + \alpha t),$$

где  $\lambda=0,04$  для металлической трубы,  $\lambda=0,05$  для кирпичной трубы.

Определение геометрического напора

$$h_r = gH(\rho_0 - \rho_t),$$

где  $g=9,81 \text{ м/с}^2$ ;  $H=1$ .

Определение общих потерь напора

$$h_{AB} = \Sigma h_{\Pi} - \Sigma h_{\Gamma};$$

$$h_{AB} = (h_{\Gamma} + h_M) - h_r.$$

$$h_r = gH(\rho_0 - \rho_t),$$

где  $g=9,81 \text{ м/с}^2$ ;  $H=1$ .

Определить общие потери у основания дымовой трубы

$$h_{AB} = \Sigma h_{\Pi} - \Sigma h_{\Gamma}$$

Сделать вывод с указанием величины разрежения у основания дымовой трубы и общих потерь при движении продуктов сгорания по дымовому тракту.

Изучить методические указания к данной работе.

Определить действительное разрежение у основания дымовой трубы.

Принимаем, что труба с 25% запасом прочности, т.е. действительное разрежение должно быть на 20%--40% больше потерь давления при движении дыма.

$$h_{B, \text{расч.}} = h_{AB} \cdot 1,25;$$

Рассчитать падение температуры в трубе

$$\Delta T = 1,3H$$

Рассчитать диаметр устья трубы

$$d_B = \sqrt{\frac{V_0 \cdot 4}{w_{OB} \cdot \pi}}$$

Рассчитать высоту дымовой трубы по методике, приведенной в данном пособии

$$H = \frac{h_{B, \text{расч.}} + \frac{\rho_0 w_{OB}^2}{2} (1 + \alpha t_B)}{(\rho_a - \rho_{4-5})g - 0,5 \frac{\xi}{d_B} \left[ \frac{\rho_0 w_{OB}^2}{2} (1 + \alpha t_B) + \frac{\rho_0 w_{OB}^2}{2} (1 + \alpha t_B) \right]}$$

Сделать вывод с указанием высоты дымовой трубы и ее запас прочности.

### **Форма представления результата:**

Расчеты выполнить и оформить на формате А4 по ГОСТам

**Критерии оценки:** правильность выполненного расчета

## **Тема 3.1 Теплопроводность**

### **Практическая работа №3**

#### **Расчет теплового потока и распределение температур в стенках печи**

**Цель работы:** с помощью теоретических расчетов по формулам определить количество переданного тепла через стенку печи

**Выполнив работу, Вы будете:**

уметь:

- применять для расчетов законы теплопередачи

### Материальное обеспечение:

Методические указания для расчета количества тепла, переданного через многослойную стенку

### Задание:

Рассчитать тепловой поток, переданный через многослойную стенку

### Порядок выполнения работы:

1. Изучить методические указания к данной практической работе.
2. Решить задачи теплопроводности при стационарном состоянии
3. Расчеты выполнить по методике, приведенной в разработке.

### Ход работы:

Определить потери тепла через стенку печи при стационарном тепловом режиме, если температура внутренней поверхности кладки  $t_{кл.} = t_{п.} = 1300$  °С, температура окружающей среды  $t_{ок.} = 0$  °С. Толщина шамотной кладки  $\delta_{ш.} = 0,46$  м, толщина изоляционной кладки из диатомитового кирпича  $\delta_{д.} = 0,115$  м и толщина изоляции из вермикулитовых плит  $\delta_{в.} = 0,05$  м. Определить температуры на границах слоев. Температура наружной поверхности кладки  $t_{нар.} = 100$  °С

Теплопроводность шамотного кирпича  $\lambda_{ш.} = 0,88 + 0,00023t$  Вт/(м К); диатомитового кирпича  $\lambda_{д.} = 0,163 + 0,00023t$  Вт/(м К); вермикулитовых плит  $\lambda_{в.} = 0,081 + 0,00023t$  Вт/(м К).

1. Принимаем в первом приближении распределение температур по толщине кладки линейным. Найдем температуры на границах раздела слоев.

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

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

2. Средняя температура слоя шамота

$$t_{ш}^{cp} = \frac{t_{кл.} + t_{ш-д}}{2};$$

3. Коэффициент теплопроводности шамота

$$\lambda_{ш} = 0,88 + 0,00023 \cdot 858,4 = 1,077 \text{ (Вт/(м} \cdot \text{К))}$$

4. Средняя температура слоя диатомита

$$t_{д}^{cp} = \frac{t_{ш-д} + t_{д-в}}{2};$$

5. Коэффициент теплопроводности диатомита

$$\lambda_{д} = 0,163 + 0,00023 \cdot 306,4 = 0,29 \text{ (Вт/(м} \cdot \text{К))}$$

6. Средняя температура слоя вермикулита

$$t_{в}^{cp} = \frac{t_{д-в} + t_{нар.}}{2};$$

7. Коэффициент теплопроводности вермикулита

$$\lambda_{в} = 0,081 + 0,00023 \cdot 148 = 0,115 \text{ (Вт/(м} \cdot \text{К))}$$

8. Плотность теплового потока через трехслойную стенку



$$q = \frac{t_{КЛ.} - t_{OK}}{\sum_{i=1}^3 \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}},$$

где  $\alpha_2$  - коэффициент теплоотдачи конвекцией от наружной поверхности футеровки в окружающую среду

$$\alpha_2 = 10 + 0.06t_{HAP};$$

$$\alpha_2 = 10 + 0,06 \cdot 100 = 16 \text{ (Вт/м}^2 \cdot \text{К)}$$

тогда

$$q = \frac{1300 - 0}{\frac{0,46}{1,077} + \frac{0,115}{0,29} + \frac{0,05}{0,115} + \frac{1}{16}} = 984,8 \text{ (Вт/м}^2)$$

9. Найдем уточненные значения температур на границах раздела слоев футеровки

$$t'_{Ш-Д} = t_{КЛ.} - q \frac{\delta_{Ш}}{\lambda_{Ш}};$$

$$t'_{Ш-Д} = 1300 - 984,8 \frac{0,46}{1,077} = 875,3 (^{\circ}C)$$

$$t'_{Д-В} = t_{КЛ.} - q \left( \frac{\delta_{Ш}}{\lambda_{Ш}} + \frac{\delta_{Д}}{\lambda_{Д}} \right);$$

$$t'_{Д-В} = 1300 - 984,8 \left( \frac{0,46}{1,077} + \frac{0,115}{0,29} \right) = 484,1 (^{\circ}C)$$

$$t'_{HAP} = t_{OK} + \frac{q}{\alpha_2};$$

$$t'_{HAP} = 0 + \frac{984,8}{16} = 61,7 (^{\circ}C)$$

10. Определяем уточненные значения средних температур слоев и коэффициентов теплопроводности

$$\text{при } t_{Ш}^{cp'} = \frac{t_{КЛ.} + t'_{Ш-Д}}{2};$$

$$t_{Ш}^{cp'} = \frac{1300 + 875,3}{2} = 1087,6 (^{\circ}C)$$

$$\lambda'_{Ш} = 0,88 + 0,00023 \cdot 1087,6 = 1,13 \text{ (Вт/м} \cdot \text{К)}$$

$$\text{при } t_{Д}^{cp'} = \frac{t'_{Ш-Д} + t'_{Д-В}}{2};$$

$$t_{Д}^{cp'} = \frac{875,3 + 484,1}{2} = 679,7 (^{\circ}C)$$

$$\lambda'_{Д} = 0,163 + 0,00023 \cdot 679,7 = 0,45 \text{ (Вт/м} \cdot \text{К)}$$

$$\text{при } t_{В}^{cp'} = \frac{t'_{Д-В} + t'_{HAP}}{2};$$

$$t_B^{cp'} = \frac{484,1 + 61,7}{2} 272,9 (^{\circ}C)$$

$$\lambda_B' = 0,081 + 0,00023 \cdot 272,9 = 0,144 (Bm / m \cdot K)$$

$$\alpha_2' = 10 + 0,06 t_{НАР}'$$

$$\alpha_2' = 10 + 0,06 \cdot 61,7 = 13,7 (Bm / m^2 \cdot K)$$

11. Найдем уточненное значение плотности потока тепла через стенку

$$q' = \frac{t_{КЛ} - t_{ОК}}{\sum_{i=1}^3 \frac{\delta_i}{\lambda_i'} + \frac{1}{\alpha_2'}}$$

$$q' = \frac{1300 - 0}{\frac{0,46}{1,13} + \frac{0,115}{0,45} + \frac{0,05}{0,144} + \frac{1}{13,7}} = 1214,9 (Bm / m^2)$$

Вывод: распределение температур по толщине стенки будет:

$$t_{КЛ} = 1300^{\circ}C; t_{Ш-Д} = 875,3^{\circ}C; t_{Д-В} = 484,1^{\circ}C; t_{НАР} = 61,7^{\circ}C.$$

### **Форма представления результата:**

Расчеты выполнить в тетради для практических работ.

**Критерии оценки:** правильность выполненного расчета

## **Тема 3.2 Теплообмен**

### **Практическая работа №4**

#### **Расчет коэффициента теплопроводности металла**

**Цель работы:** с помощью теоретических расчетов по формулам определить коэффициент теплоотдачи

### **Выполнив работу, Вы будете:**

уметь:

- определять коэффициент теплоотдачи при сложном теплообмене

### **Материальное обеспечение:**

Раздаточный материал

### **Задание:**

1. Определить количество переданного тепла в печи с конвективным теплообменом при нагреве заготовки размерами 0,1x0,2x0,9м с температуры  $t_{нач.} = 25^{\circ}C$  до температуры  $t_{кон.} = 1300^{\circ}C$  за 12мин. Температура кладки печи  $t_{нар.} = 80^{\circ}C$  (Задачу решать по закону Ньютона.)

2. Определить количество переданного тепла в печи с конвективным теплообменом при нагреве заготовки размерами 0,2x0,3x1,2м с температуры  $t_{нач.} = 0^{\circ}C$  до температуры  $t_{кон.} = 1250^{\circ}C$  за 7мин. Температура кладки печи  $t_{нар.} = 120^{\circ}C$ . (Задачу решать по закону Ньютона.)

### **Порядок выполнения работы:**

1. Повторение теоретического материала
2. Решение задач

### **Ход работы:**

1. Средний по длине методической зоны коэффициент теплоотдачи излучением определяется:

$$\alpha_{\text{изл.}} = \frac{C_0 \xi_{\text{пр}} \sqrt{\left[ \left( \frac{T_z}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_M^{\text{нач.}}}{100} \right)^4 \right] \left[ \left( \frac{T_z}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_M^{\text{кон.}}}{100} \right)^4 \right]}}{\sqrt{(T_z - T_M^{\text{нач.}})(T_z - T_M^{\text{кон.}})}}, \frac{Вт}{(м^2 \cdot К)}$$

2.  $\alpha_2$  - коэффициент теплоотдачи конвекцией от наружной поверхности футеровки в окружающую среду

$$\alpha_2 = 10 + 0.06t_{\text{нар}} ;$$

3. Коэффициент теплоотдачи в данном случае будет суммарным  $\alpha_{\Sigma} = \alpha_k + \alpha_{\text{изл.}}$ .

### **Форма представления результата:**

Расчеты выполнить в тетради для практических работ.

**Критерии оценки:** правильность выполненного расчета

## **Тема 4.1 Дефекты нагрева металла**

### **Практическая работа №5**

#### **Определение режимов нагрева тонких и массивных тел**

**Цель работы:** научиться определять режимы нагрева тонких и массивных тел

**Выполнив работу, Вы будете:**

уметь:

- определять тепловую массивность тел

**Материальное обеспечение:**

Раздаточный материал

**Задание:**

Решение задач

**Порядок выполнения работы:**

1. Повторение теоретического материала.
2. Решение задач для тонких тел
3. Решение задач для массивных тел

**Ход работы:**

1. Физический смысл и роль критерия Би становятся ясными, если его значение записать в таком виде:

$$Bi = \frac{\alpha s}{\lambda} = \frac{s/\lambda}{1/\alpha}.$$

2. Большую роль играет критерий БиО. С теплотехнической точки зрения весь металл подразделяется на «тонкий» и «массивный». Если критерий  $Bi > 0,25$ , тело «массивное», если  $Bi < 0,25$  – тело «тонкое».

3. Методы расчета «тонкого» и «массивного» металла различны, поэтому в первую очередь необходимо определить значение критерия БиО. Наиболее простым методом расчета времени нагрева металла является графо-аналитический метод с применением номограмм Будрина.

Задачи:

1. Определить температурный критерий поверхности пластины толщиной 150 мм, если известно, что критерий БиО равен 6, коэффициент температуропроводности равен  $5,56 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ , время нагрева 1 час.

2. Определить температурный критерий центра цилиндра, если известно, что  $Fo=8, Vi=0,7; Fo=12, Vi=0,14.$

Определить температурный критерий поверхности пластины, если известно, что  $Fo=8, Vi=0,2; Fo=6, Vi=0,3.$

3. Определить критерий Био для поверхности пластины, если известно, что температурный критерий поверхности равен 0,1, а критерий Фурье

4. Рассчитать время нагрева массивного тела, если известно:  
температура газа  $1125^{\circ}C$ ; начальная температура металла  $20^{\circ}C$ ; толщина металла  $0,066м$ ;  
 $\lambda=40,8 \text{ Вт/(м К)}$ ;  $\alpha_{изл}=122,3 \text{ Вт/(м}^2 \text{ К)}$ ; конечная температура металла  $450^{\circ}C$

Определение температурного критерия  $\theta$  и критерия  $Bi$

$$\Theta = \frac{t_z - t_{кон}}{t_z - t_{нач.}}; \quad Bi = \frac{\alpha_{изл} \cdot S}{\lambda};$$

$$\Theta = \frac{1125 - 450}{1125 - 20}; \quad Bi = \frac{122,3 \cdot 0,066}{40,8};$$

$$\Theta = 0,61.$$

$$Bi = 0,198.$$

где  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности,  $\text{Вт/(м К)}$

Так же находится коэффициент температуропроводности  $a = 8,05 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}.$

По номограммам в находится критерий Фурье  $Fo=2,5$

Время нагрева массивного тела определяется:

$$\tau_M = Fo \frac{S^2}{a};$$
$$\tau_M = 2,5 \frac{0,066^2}{8,05 \cdot 10^{-6}};$$
$$\tau_M = 3822,4 \text{ с (1,1 ч)}$$

### **Форма представления результата:**

Расчеты выполнить в тетради для практических работ.

**Критерии оценки:** правильность выполненного расчета

## **Тема 4.2 Основы рациональной технологии нагрева металла**

### **Практическая работа № 6**

#### **Расчет времени нагрева металла в металлургической печи**

**Цель работы:** с помощью теоретических расчетов по формулам научиться определять время нагрева металла в методической зоне нагревательной печи.

**Выполнив работу, Вы будете:**

уметь:

- рассчитывать время нагрева металла по технологическим зонам в методической печи

### **Материальное обеспечение:**

Методическая разработка по выполнению расчета времени нагрева металла в методической печи, справочная литература, номограммы для определения степени черноты газов, номограммы Д.В. Будрина для расчета времени нагрева пластины

**Задание:**

Данные для расчетов:

№ варианта	P, т	$\delta$ , мм	b, мм	l, мм	$t_{\text{кон. Ме.}}^{\circ}\text{C}^0$	$t_{\text{окр. ср.}}^{\circ}\text{C}^0$	Материал металла
1	72	210	1400	10500	1250	30	Ст 35
2	83	250	250	11000	1200	20	08 кп
3	80	230	1450	11500	1200	0	Ст 0
4	85	240	1350	10000	1150	10	Ст 45
5	73	220	220	10500	1200	10	Ст 55
6	75	190	1150	9000	1100	0	Ст 1
7	75	195	1150	9500	1150	15	Ст 15
8	85	300	1500	11000	1300	25	Ст 45
9	82	210	210	10500	1250	30	Ст 5
10	70	185	1100	9000	1150	10	08 пс(ж)
11	77	240	1400	12000	1300	20	08 Ю
12	90	255	1500	12000	1300	15	Ст 20
13	87	245	1450	11500	1250	10	Ст 3
14	85	230	230	10000	1200	0	09 Г 2С
15	67	180	1000	8500	1150	10	08 кп
16	82	220	220	9500	1250	15	20 ХНА
17	72	200	200	9000	1200	20	Ст 0
18	85	195	1100	10000	1250	30	Ст 2
19	75	240	1000	9500	1250	15	Ст 65
20	73	240	240	10500	1200	25	Ст 70
21	87	250	1250	5600	1250	0	Ст 65 Г
22	83	250	1300	7000	1250	5	18 ЮА
23	86	250	1580	8500	1200	10	08 пс(ж)
24	70	250	1080	7600	1250	10	Ст 2
25	80	250	1500	7500	1250	15	Ст 45
26	90	250	1850	8800	1350	5	Ст 50
27	75	250	1350	9000	1200	20	Ст 20
28	73	250	250	10000	1200	25	09 Г 2 С
29	83	250	1380	5700	1250	30	08 кп
30	85	250	1800	6500	1300	35	Ст 15
31	72	230	1080	8000	1250	0	Ст 65
32	82	200	200	8500	1300	15	Ст 70
33	87	240	240	9500	1250	5	Ст 0
34	86	250	1500	7000	1200	40	18 ЮА
35	90	195	1000	10500	1350	50	20 ХНА

**Порядок выполнения работы:**

Изучить методические указания к данной работе.

1. Определить ориентировочные размеры методической печи
2. Рассчитать степень развития кладки методической печи
3. Определить эффективную длину луча в методической печи

4. Определить время нагрева металла в методической печи используя номограммы Д.В. Будрина

$$\tau_M = Fo \frac{S^2}{a}$$

**Ход работы:**

Температура уходящих из печи дымовых газов принимаем равной  $t_{yx}=1050$  °С; температура в печи в томильной зоне на 50 °С выше температуры нагрева металла, т.е.  $t_k+50$  °, значит  $1150+50=1200$  °С. В методической зоне и при переходе из нее в сварочную зону температура в центре металла должна быть порядка 400 – 500 °С.

Разность температур между поверхностью и серединой заготовки для методической зоны

$$\Delta t = t_{пов.} - t_{ц} = (700 \div 800)S,$$

где  $S = \mu \delta$  – расчетная толщина изделия,

$\mu = 0,55$  – коэффициент несимметричности нагрева, определяется по таблице

$$S = 0,55 \cdot 0,12;$$

$$S = 0,066 \text{ м},$$

тогда

$$\Delta t = 700 \cdot 0,066;$$

$$\Delta t = 46,2$$

$$t_{пов.} = \Delta t + t_{ц};$$

$$t_{пов.} = 46,2 + 400;$$

$$t_{пов.} = 446,2 \text{ } ^\circ\text{C} \approx 450 \text{ } ^\circ\text{C},$$

следовательно, температура поверхности сляба в конце методической зоны равна 450 °С

Ориентировочные размеры печи

При однорядном расположении заготовок ширина печи будет:

$$B = l + 2a;$$

$$B = 2,0 + 2 \cdot 0,2;$$

$$B = 2,4 \text{ м},$$

где  $a = 0,2$  м – зазор между слябами и стенками печи.

В соответствии с рекомендациями [3] высоту печи принимаем равной:

в томильной зоне  $H_T = 1,5$  м;

в сварочной зоне  $H_{св.} = 2,6$  м;

в методической зоне  $H_M = 2,2$  м.

Степень развития кладки (на 1 м длины печи) для:

методической зоны  $\omega_M = (2H_M + B)/l$ ;

$$\omega_M = (2 \cdot 2,2 + 2,4)/2;$$

$$\omega_M = 3,4;$$

сварочной зоне:  $\omega_{св.} = (2H_{св.} + B)/l$ ;

$$\omega_{св.} = (2 \cdot 2,6 + 2,4)/2;$$

$$\omega_{св.} = 3,8$$

томильной зоне:  $\omega_T = (2H_T + B)/l$ ;

$$\omega_T = (2 \cdot 1,5 + 2,4)/2;$$

$$\omega_T = 2,7.$$

Определение эффективной длины луча.

$$S_{эф.} = 3,6 \frac{V}{F} \text{ - формула А.С.Невского}$$

$$S_{эф.} = 3,6 \frac{B \cdot H}{2B + 2H};$$

$$\text{методическая зона: } S_{\text{эф.}}^M = 3,6 \frac{2,4 \cdot 2,2}{2 \cdot 2,4 + 2 \cdot 2,2};$$

$$S_{\text{эф.}}^M = 0,57 \text{ м};$$

$$\text{сварочная зона: } S_{\text{эф.}}^{св.} = 3,6 \frac{2,4 \cdot 2,6}{2 \cdot 2,4 + 2 \cdot 2,2};$$

$$S_{\text{эф.}}^{св.} = 0,62 \text{ м};$$

$$\text{томильная зона: } S_{\text{эф.}}^m = 3,6 \frac{2,4 \cdot 1,5}{2 \cdot 2,4 + 2 \cdot 1,5};$$

$$S_{\text{эф.}}^m = 0,46 \text{ м}$$

Определение времени нагрева в методической зоне

Степень черноты дымовых газов  $\xi_z^M$  при средней температуре  $t_r = 0,5(1200^0 + 1050^0) = 1125^0\text{C}$

Парциальное давление  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ :

$$p_{\text{CO}_2} = 98,1 \cdot 0,088;$$

$$p_{\text{CO}_2} = 8,66 \text{ кПа};$$

$$p_{\text{H}_2\text{O}} = 98,1 \cdot 0,174;$$

$$p_{\text{H}_2\text{O}} = 17,07 \text{ кПа},$$

где - 98,1-абсолютное давление смеси;

0,088 и 0,174 соответственно берется из расчета горения топлива при определении процентного состава продуктов сгорания ( $\text{CO}_2 8,83\%$ ;  $\text{H}_2\text{O} 17,35\%$ ) и делится на 100%.

Определяем  $p_{\text{CO}_2} \cdot S_{\text{эф.}} = 8,66 \cdot 0,57 = 4,9 \text{ кПа} \cdot \text{м};$

$p_{\text{H}_2\text{O}} \cdot S_{\text{эф.}} = 17,07 \cdot 0,57 = 9,7 \text{ кПа} \cdot \text{м}.$

$$\xi_{\text{CO}_2} = 0,07, \xi_{\text{H}_2\text{O}} = 0,09, \beta = 1,09,$$

тогда  $\xi_z^M = \xi_{\text{CO}_2} + \beta \xi_{\text{H}_2\text{O}};$

$$\xi_z^M = 0,07 + 1,09 \cdot 0,09;$$

$$\xi_z^M = 0,168.$$

Определение приведенная степень черноты

$$\xi_{\text{пр}} = \xi_M \frac{\omega_M + 1 - \xi_z^M}{[\xi_{\text{ме}} + \xi_z^M (1 - \xi_{\text{ме}})] \frac{1 - \xi_z^M}{\xi_z^M} + \omega_M},$$

где  $\xi_{\text{ме}}$  – степень черноты металла  $\xi_{\text{ме}} = 0,8$

$$\xi_{\text{пр}} = 0,8 \frac{3,4 + 1 - 0,168}{[0,8 + 0,168(1 - 0,8)] \frac{1 - 0,168}{0,168} + 3,4};$$

$$\xi_{\text{пр.}} = 0,44.$$

Средний по длине методической зоны коэффициент теплоотдачи излучением определяется:

$$\alpha_{\text{изл.}} = \frac{C_0 \xi_{\text{пр}} \sqrt{\left[ \left( \frac{T_z}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_M^{\text{нач.}}}{100} \right)^4 \right] \left[ \left( \frac{T_z}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_M^{\text{кон.}}}{100} \right)^4 \right]}}{\sqrt{(T_z - T_M^{\text{нач.}})(T_z - T_M^{\text{кон.}})}}$$

где  $C_0=5,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$  - константа излучения черного тела.

Принимаем  $t_M^{\text{нач.}}=20^0\text{C}$ ;  $t_M^{\text{кон.}}=450^0\text{C}$  – считали в 1) пункте.

$$\alpha_{\text{изл.}}=122,3 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К}).$$

Определение температурного критерия  $\Theta$  и критерия  $Bi$

$$\Theta = \frac{t_z - t_{\text{мпов.}}^{\text{кон.}}}{t_z - t_M^{\text{нач.}}}; \quad Bi = \frac{\alpha_{\text{изл.}} \cdot S}{\lambda};$$

$$\Theta = \frac{1125 - 450}{1125 - 20}; \quad Bi = \frac{122,3 \cdot 0,066}{40,8};$$

$$\Theta = 0,61.$$

$$Bi = 0,198.$$

где  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности,  $\text{Вт}/(\text{м К})$

Так же находится коэффициент температуропроводности

$$a = 8,05 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}.$$

По номограммам находится критерий Фурье  $Fo=2,5$

Время нагрева металла в методической зоне печи определяется:

$$\tau_M = Fo \frac{S^2}{a};$$

$$\tau_M = 2,5 \frac{0,066^2}{8,05 \cdot 10^{-6}};$$

$$\tau_M = 3822,4 \text{ с (1,1 ч)}$$

Время нагрева металла в сварочной зоне.

Найдем степень черноты дымовых газов при  $t_r=1200^0\text{C}$

$$p_{\text{CO}_2} = 8,66 \text{ кПа}; \quad p_{\text{H}_2\text{O}} = 17,07 \text{ кПа};$$

$$p_{\text{CO}_2} S_{\text{эф.}} = 8,66 \cdot 0,62;$$

$$p_{\text{CO}_2} S_{\text{эф.}} = 5,4 \text{ кПа} \cdot \text{м};$$

$$p_{\text{H}_2\text{O}} S_{\text{эф.}} = 17,07 \cdot 0,62;$$

$$p_{\text{H}_2\text{O}} S_{\text{эф.}} = 10,6 \text{ кПа} \cdot \text{м}.$$

По номограммам находим

$$\xi_{\text{CO}_2} = 0,07; \quad \xi_{\text{H}_2\text{O}} = 0,09; \quad \beta = 1,08.$$

Из этого следует



$$\xi_2^{cs} = 0,07 + 1,08 \cdot 0,09$$

$$\xi_2^{cs} = 0,17$$

Принимаем температуру поверхности металла в конце сварочной зоны 950 °С

Приведенная степень черноты определяется по формуле

$$\xi_{np}^{cs} = 0,8 \frac{3,8 + 1 - 0,17}{[0,8 + 0,17(1 - 0,8)] \frac{1 - 0,17}{0,17} + 3,8}$$

$$\xi_{np}^{cs} = 0,59$$

По формуле 67,б [1] определим  $\alpha_{изл}^{cs}$

$$\alpha_{изл}^{cs} = 76,4 \text{ (Вт/(м}^2 \cdot \text{К))}$$

Находим среднюю по сечению температуру металла в начале сварочной зоны (в конце методической зоны)

$$t_{cs}^{cp.нач.} = t_{пов} - \frac{2}{3}(t_{пов} - t_{ц});$$

$$t_{cs}^{cp.нач.} = 450 - \frac{2}{3}(450 - 351);$$

$$t_{cs}^{cp.нач.} = 384 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Находим температурный критерий для поверхности заготовки

$$\Theta_{пов} = \frac{1200 - 950}{1200 - 384};$$

$$\Theta_{пов} = 0,31$$

Примем температуру в центре заготовки в конце зоны 800 °С, тогда средняя температура металла в сварочной зоне будет:

$$t_{cs}^{cp} = 0,25(t_{м}^{кон} + t_{ц}^{кон} + t_{пов}^{cs} + t_{ц}^{cs});$$

$$t_{cs}^{cp} = 0,25(450 + 384 + 950 + 800);$$

$$t_{cs}^{cp} = 646 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

находим:  $\lambda = 37,1 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ ;  $a = 6,39 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ , далее следует

$$Bi = \frac{76,4 \cdot 0,066}{37,1};$$

$$Bi = 0,14.$$

По номограмме находим критерий Fo

$$Fo = 8,1$$

Время нагрева в сварочной зоне

$$\tau_{св} = Fo \frac{S^2}{a};$$

$$\tau_{св} = 8,1 \frac{0,066^2}{6,39 \cdot 10^{-6}};$$

$$\tau_{св} = 7236,0 \text{ с (2,01 час.)}$$

Время нагрева в томильной зоне.

Перепад температур по толщине в начале томильной зоны

$$\Delta t_{нач.} = 1200 - 914,4;$$

$$\Delta t_{нач.} = 285,6 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Допустимый перепад температур в конце нагрева  $\Delta t_{\text{кон.}}=50 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Степень выравнивания температур

$$\delta_{\text{выр.}} = \frac{\Delta t_{\text{кон.}}}{\Delta t_{\text{нач.}}};$$

$$\delta_{\text{выр.}} = \frac{50}{285,6};$$

$$\delta_{\text{выр.}} = 0,18$$

При коэффициенте несимметричности нагрева, равном  $\mu=0,55$  критерий Fo для томильной зоны согласно номограмме равен  $Fo=2,5$

При средне температуре металла в томильной зоне

$$t_T^{cp.} = 0,25(t_r + t_{Ц}^{cb} + t_M^{ног.св} + t_M^{кон});$$

$$t_T^{cp.} = 0,25(1200 + 914,4 + 950 + 1200);$$

$$t_T^{cp.} = 1066,1 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

$$\lambda = 28,5 \text{ Вт/(М}\cdot\text{К)}; a = 83 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}.$$

Время томления

$$\tau_T = Fo \frac{S^2}{a};$$

$$\tau_T = 2,5 \frac{0,066^2}{83 \cdot 10^{-6}};$$

$$\tau_T = 1964,25 \text{ с (0,55 ч)}.$$

Полное время пребывания металла в печи равно

$$\tau = \tau_M + \tau_{cb} + \tau_T;$$

$$\tau = 3822,4 + 7236,0 + 1964,25;$$

$$\tau = 13022,65 \text{ с (3,6 ч)}.$$

Вывод: время нагрева металла в трехзонной методической печи садкой 74 т составляет 13022,65с или 3,6 часа.

**Форма представления результата:**

Расчеты выполнить и оформить на формате А4 по ГОСТам.

**Критерии оценки:** правильность выполненного расчета

## Тема 6.1 Теплотехнические основы утилизации тепла отходящих дымовых газов.

### Устройства для утилизации тепла в печах

#### Практическая работа №7

#### Расчет теплообменника

**Цель работы:** научиться применять расчетные соотношения теплообменников

**Выполнив работу, Вы будете:**

уметь:

- применять расчетные соотношения теплообменников

**Материальное обеспечение:**

Методическая разработка по выполнению расчета регенератора,

**Задание:**

1. Определить КПД теплообменника плавильной печи, если состав дымового газа: 13,3%CO<sub>2</sub>; 9,87%Н<sub>2</sub>О; 1,81%О<sub>2</sub>; 75,02%N<sub>2</sub> и его температура  $t_r = 2100^{\circ}\text{C}$ . Температура подогрева воздуха  $t_b = 1200^{\circ}\text{C}$ .

2. Определить степень утилизации тепла дымового газа составом 14%CO<sub>2</sub>; 9,91%Н<sub>2</sub>О; 1,73%О<sub>2</sub>; 74,36%N<sub>2</sub>, выходящего из печи с температурой  $t_r = 2000^{\circ}\text{C}$ . Температура подогрева воздуха  $t_b = 1300^{\circ}\text{C}$ .

3. Определить процент экономии топлива плавильной печи, если температура горения топлива 1900<sup>0</sup>С, температура дыма 1800<sup>0</sup>С, состав дымовых газов: 13%CO<sub>2</sub>; 9,1%Н<sub>2</sub>О; 2%О<sub>2</sub>; 75,9%N<sub>2</sub>, температура подогрева воздуха  $t_b = 1200^{\circ}\text{C}$ .

4. Определить процент экономии топлива плавильной печи, если температура горения топлива 1800<sup>0</sup>С, температура дыма 1700<sup>0</sup>С, состав дымовых газов 14,4%CO<sub>2</sub>; 9,5%Н<sub>2</sub>О; 1,7%О<sub>2</sub>; 74,4%N<sub>2</sub>, температура подогрева воздуха  $t_b = 1100^{\circ}\text{C}$ .

№ варианта	Садка печи, т	Теплов. нагрузка, $Q_{\max}$ , $10^8$ кДж/ч	Темп-ра дыма, входящего в регенератор $t_{\delta}^n, ^{\circ}\text{C}$	Темп-ра подогрева воздуха, $t_{\delta}^k, ^{\circ}\text{C}$	Начальная темп-ра воздуха, $t_{\delta}^n, ^{\circ}\text{C}$	Скорость воздуха в регенераторе, $w_b$ м/с
1	400	2	1400	750	0	0,6
2	600	3	1700	850	0	0,7
3	300	2	1450	700	0	0,6
4	200	3	1500	800	0	0,6
5	200	2	1450	780	0	0,7
6	900	3	1650	900	10	0,7
7	850	3	1700	900	10	0,6
8	400	2	1400	800	5	0,6
9	300	2	1600	800	0	0,7
10	600	3	1600	650	5	0,6
11	400	3	1550	800	10	0,7
12	900	4	1800	900	10	0,8
13	300	2	1500	600	5	0,5
14	200	2	1400	600	0	0,5
15	600	3	1750	700	0	0,7
16	300	2	1600	750	5	0,7
17	900	2	1500	850	0	0,6
18	200	3	1200	500	0	0,5
19	300	2	1100	510	0	0,5
20	400	2	800	200	5	0,4
21	600	3	1300	400	10	0,5
22	400	2	1200	400	0	0,5
23	900	3	1600	850	10	0,7
24	600	3	1500	800	5	0,6
25	900	5	1350	900	0	0,7
26	600	4	1250	850	10	0,6
27	600	3	1200	700	0	0,6

28	400	3	1200	800	5	0,7
29	300	2	1300	700	5	0,6
30	400	3	1400	600	0	0,6
31	900	4	1700	870	10	0,8
32	200	2	1210	630	0	0,5
33	300	2	1330	740	5	0,6
34	600	3	1550	750	0	0,6
35	900	5	1800	900	10	0,8

Для всех вариантов: тип насадки "Сименс";  
топливо – природный газ.

**Порядок выполнения работы:**

1. Повторение теоретического материала.
2. Решение задач
3. Расчет размеров теплообменника

**Ход работы:**

Определение тепловой нагрузки теплообменника

Для нормальной работы печи надо обеспечить требуемую тепловую нагрузку, т.е.

ежечасную подачу определенного количества тепла в печь.

В это количество пепла входят:

- Химически связанное тепло топлива ( $Q_x$ ) – это тепло от сгорания топлива.
- Тепло подогретого газа и воздуха ( $Q_{\text{физ.}}$ ).

$$Q_{\Sigma} = Q_x + Q_{\text{физ.}} \text{ – общее (суммарное) тепло.}$$

Из уравнения ясно, что при  $Q_{\Sigma} = \text{const}$  увеличение  $Q_{\text{физ.}}$  Позволит уменьшить  $Q_x$ .

Иными словами, утилизация тепла отходящих дымовых газов позволяет экономить топливо.

Степень утилизации тепла дымовых газов определяется:

$$R = \frac{I_e}{I_o}$$

Надо помнить, что  $R < 1$ , т.е. утилизация не может быть 100%.

$I_b$  ( $i_b$ ) – теплосодержание (энтальпия) подогретого воздуха (берется по таблице)

$I_d$  ( $i_d$ ) – теплосодержание (энтальпия) отходящих дымовых газов.

КПД ( $\eta$ ) теплообменника:

$$\eta = \frac{I_e}{I_o} 100\%$$

Определить экономию топлива в %

$$\varepsilon = R \frac{I_d / I'_d}{1 - I_d / I'_d (1 - R)} 100\%$$

$I_d$  –теплосодержание (энтальпия) дымовых газов покидающих печь;

$I'_d$  - теплосодержание (энтальпия) дымовых газов при температуре горения.

Снижение расхода топлива при утилизации тепла отходящих дымовых газов является одним из путей снижения стоимости нагрева металла.

Определить объем решетки регенератора

$$V_{реи} = \frac{F_{реи}}{13}$$

Определить коэффициент стройности

$$K = \frac{H}{\sqrt{F_{сеч}}}$$

**Форма представления результата:**

Расчеты выполнить и оформить на формате А4 по ГОСТам.

**Критерии оценки:** правильность выполненного расчета