

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

КАФЕДРА ФИЗИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к практическим занятиям  
по курсу

**"ОБОРУДОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКИХ ЦЕХОВ"**

Направление подготовки 22.04.01 - "Материаловедение и технологии материалов"

Магистерская программа "Металловедение и термическая обработка металлов"

УТВЕРЖДЕНЫ  
на заседании кафедры  
"Физическое материаловедение"  
31.08.2018 г., протокол № 1

Зав. кафедрой Н.Т. Егоров

Донецк: ДОННТУ, 2018

УДК669.01.7+621.785

Горбатенко В.П. Методические указания к практическим занятиям по курсу "Оборудование термических цехов». - Донецк: ДОННТУ, 2018. – 16 с.

Методические указания содержат данные относительно цели, методики и порядка выполнения практических работ по курсу "Оборудование термических цехов". Предназначены для студентов, обучающихся по направлению подготовки 22.04.01 "Материаловедение и технологии материалов" (магистерская программа «Металловедение и термическая обработка металлов»).

Рецензент: В.Н. Крымов, доц.

Отв. за выпуск: Н.Т. Егоров, к.т.н., зав. каф.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Общие сведения	4
Практическая работа №1 Выбор наиболее рационального типа нагревательных элементов электрических термических печей	5
Практическая работа №2 Особенности конструкции печей периодического действия.	12
Практическая работа №3 Особенности конструкции печей-ванн различного типа.	12
Практическая работа №4 Особенности конструкции печей непрерывного действия	13
Практическая работа №5 Агрегаты для термической и химико-термической обработки изделий.	14
Практическая работа №6 Планирование размещения термического оборудования в термическом подразделении	15
Рекомендованная литература	16

## ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Обеспечение необходимых рабочих параметров оборудования является важным фактором его эффективного использования в технологическом процессе термической обработки изделий и, соответственно, обеспечения высоких показателей качества продукции. Улучшение эффективности использования металлических материалов и изделий из них невозможно без расширения использования их термической (как объемной, так и локальной), химико-термической и других обработок с целью направленного влияния на структуру и комплекс свойств материала.

Реализация эффективных технологических процессов термической обработки изделий требует рационального использования имеющегося оборудования термических подразделений, повышения технико-экономических показателей его эксплуатации, усовершенствования конструкции оборудования и технологических параметров обработки изделий. Поэтому дисциплина "Оборудование термических цехов" является важной составной частью качественной подготовки специалистов-металловедов. Квалифицированный специалист по направлению подготовки 22.04.01 - "Материаловедение и технологии материалов", обучающийся по магистерской программе «Материаловедение и термическая обработка металлов», должен хорошо знать принципиальную конструкцию и условия эффективного использования разного оборудования подразделений, где осуществляется термическая обработка материалов и изделий разного назначения, уметь рассчитать отдельные элементы такого оборудования.

Основной целью выполнения практических работ по дисциплине "Оборудование термических цехов" является закрепление теоретических знаний относительно конструктивных особенностей печей и установок для термической обработки и приобретения навыков и умений в расчетах параметров такого оборудования.

При изучении соответствующего раздела курса по теме конкретного практического занятия следует уделить особое внимание изучению схем и чертежей соответствующего оборудования, приведенных в рекомендованной учебной литературе, а также в демонстрационных материалах, которые размещаются в лаборатории термической обработки и других аудиториях кафедры «Физическое материаловедение».

По результатам практического занятия по каждой теме студент составляет отчет, который содержит такие сведения:

- 1) тема практического занятия;
- 2) особенности конструкции основных типов того оборудования, которое является темой практического занятия, с приведением типичных примеров соответствующих схем и чертежей (допускаются ксерокопии соответствующих чертежей) такого оборудования с необходимыми пояснениями относительно его конструктивных особенностей; такие сведения студент приводит из рекомендованной учебной литературы при подготовке к занятию;
- 3) принципы расчета электрических нагревателей (практическая работа №1) или расчета необходимых площадей и расстояний для размещения необходимого оборудования цеха или отделения (практическая работа №6);
- 4) дополнительные сведения относительно конструктивных особенностей соответствующего термического оборудования, которые были получены при изучении конкретных чертежей оборудования непосредственно во время практического занятия.

Отчет по результатам каждого практического занятия подписывается преподавателем по его завершению.

## ВЫБОР НАИБОЛЕЕ РАЦИОНАЛЬНОГО ТИПА НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТЕРМИЧЕСКИХ ПЕЧЕЙ

Цель работы: проверить навыки в расчетах параметров проволочных и ленточных нагревательных элементов термических печей и их размещении в печах выработать опыт в выборе наиболее рационального типа нагревателя для конкретной печи и материала для его изготовления.

### 1.1 Методика выполнения работы

В промышленных электрических термических печах периодического и непрерывного действия с рабочей температурой до 1200...1300 °С применяют проволочные и ленточные металлические нагревательные элементы. Их изготавливают чаще всего из жаростойких сплавов на основе никеля – типа нихром (например, X20Н80) и ферронихром (например, X15Н60), а также легированных хромоалюминиевых сталей (X13Ю5, X17Ю4, X25Ю5, X27Ю5 и др. Выбор материала для нагревателей определяется прежде всего рабочей температурой печи, а тип и геометрические размеры нагревательных элементов – прежде всего мощностью печи. Некоторые рекомендации по выбору материалов металлических нагревателей приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Примеры использования нагревателей разных типов и материалов для их изготовления в зависимости от рабочей температуры

Рабочая температура Печи, °С	Размеры нагревателя, мм		Материал нагревателя
	Лента (ширина и толщина)	Проволока (диаметр)	
До 300	8×1	1	X13Ю5, X17Ю5
300...600	10×1	2	X13Ю5, X17Ю5
600...800	15×1,5	3...4	X13Ю5, X17Ю5
800...1000	20×2	4...5	X15Н60, X20Н80, X23Ю5
1000...1100	25×2	6...7	X20Н80, X25Ю5
1100...1200	25×3	7...8	X25Ю5, X27Ю5Т, X23Ю5, X20Н80

#### *Проволочные металлические нагреватели.*

Расчет проволочных металлических нагревателей сводится к определению геометрических параметров проволоки - диаметра  $d$ , мм, общей длины  $l$ , м, а также общей массы  $G$ , кг. Как правило, промышленные термические печи являются трехфазными, поэтому расчет параметров проволоки выполняется для одной фазы, мощность которой ( $N_1$ ) составляет 1/3 от общей мощности печи ( $N$ ):  $N_1 = N/3$ . Соответственно диаметр проволоки ( $d$ ) будет одинаков для всех фаз, а общая длина нагревателя  $l = 3 \cdot l_1$  и  $G = 3 \cdot G_1$ , где  $l_1$  – длина нагревателя в одной фазе, а  $G_1$  – его масса в одной фазе.

Диаметр проволоки  $d$ , мм, может быть определен по уравнению (1.1):

$$d = 34,3 \sqrt[3]{\frac{N_1^2 \cdot \rho}{U_\phi^2 \cdot \nu}}, \quad (1.1)$$

Длина проволоки в нагревателе приходящаяся на 1 фазу,  $l_1$ , м:

$$l_1 = 0,786 \cdot \frac{R_\phi \cdot d^2}{\rho} = 0,786 \frac{(U_\phi \cdot d)^2}{N_1 \cdot \rho} \cdot 10^{-3}, \quad (1.2)$$

- масса нагревателя на одну фазу  $G_1$ , кг

$$G_1 = 0.786 \cdot d^2 \cdot l_1 \cdot \gamma, \quad (1.3)$$

где:  $N_1$  – мощность одной фазы, кВт; для 3-фазной печи  $N_1 = N/3$ , где  $N$  – общая мощность печи;

$\rho$  – удельное электросопротивление материала нагревателя, Ом·мм<sup>2</sup>/м;

$U_\phi$  – фазовое напряжение, В;

$\nu$  – удельная поверхностная нагрузка нагревателя, Вт/см<sup>2</sup>;

$\gamma$  – плотность материала нагревателя, кг/м<sup>3</sup>;

$R_\phi$  – электрическое сопротивление нагревателя в одной фазе, Ом, которое рассчитывается по формуле:

$$R_\phi = \frac{U_\phi^2}{N_1 \cdot 10^3} \quad (1.4)$$

Следует учитывать, что общая длина провода в нагревателе печи  $l$  составляет:  $l=3l_1$ , а его общая масса  $G$ , соответственно:  $G=3G_1$ .

Диаметр проволочного нагревателя не может превышать 8 мм.

Проверкой правильности выполненных расчетов является определение расчетной удельной поверхностной нагрузки  $\nu_{\text{расч.}}$  (Вт/см<sup>2</sup>) определяемой как отношение мощности печи  $N$  (Вт) к площади поверхности нагревательного элемента  $S$  (см<sup>2</sup>):

$$\nu_{\text{расч.}} = N/S = N/\pi d \cdot l, \quad \text{Вт/см}^2 \quad (1.5)$$

где диаметр проволоки  $d$  и длина нагревательного элемента  $l$  подставляются в см, а мощность печи  $N$  в Вт.

Расчет можно выполнять и по отношению к нагревателю в одной фазе:

$$\nu_{\text{расч.}} = N_1/S_1 = N_1/\pi d \cdot l_1 \quad (1.6)$$

Расчетная удельная поверхностная нагрузка должна быть меньше допустимой (табличной), т.е.  $\nu_p \leq \nu$ , но эта разница не должна быть значительной.

Следующим этапом выполнения работы является размещение нагревателя в печи конкретного типоразмера (в соответствии с выданным заданием).

Чаще всего все проволочные нагревательные элементы формируют в виде цилиндрической спирали диаметром  $D$ , мм, с шагом спирали  $h$ , мм, которые определяют по формулам:

$$D = K_c \cdot d; \quad h = K_n \cdot d, \quad (1.7)$$

где  $d$  – диаметр проволоки, мм;  $K_c$  – коэффициент сердечника, который можно принимать равным 8...11 для печей с рабочей температурой  $T_r$  до 750 °С, 6...8 - при  $T_r=750...950$  °С и 5...6 при  $T_r>950$  °С;  $K_n$  - коэффициент плотности навивки спирали, который принимают равным 2...4 и больше.

Длина витка спирали  $l_B$  будет составлять:  $l_B=\pi D$ , мм. Длину выводов нагревателей можно определить, как:  $l_{\text{выв.}} = b + 100$ , мм, где  $b$  – толщина стенки печи. Для упрощения расчетов для небольших камерных печей можно принять  $b=230$  мм, тогда  $l_{\text{выв.}}=330$  мм.

Количество витков в спирали для одной фазы  $n_1$  и общее количество витков  $n$  определяют как:

$$n_1 = \frac{l_1}{l_B}, \quad n = 3n_1 = 3 \frac{l_1}{l_B} = \frac{l}{l_B}, \quad (1.8)$$

Длина спирали в одной фазе  $L_1$  и общая длина спирали в печи  $L$ :

$$L_1 = h \cdot n_1; \quad L = 3L_1 = h \cdot n, \text{ мм} \quad (1.9)$$

Длину спирали можно регулировать путем изменения шага спирали  $h$  за счет увеличения коэффициента  $K_n$ .

При выполнении практической работы следует ориентироваться преимущественно на размещение нагревателей каждой фазы на одной из рабочих поверхностей печи - на 2 боковых стенках и своде печи. При необходимости нагреватели могут размещаться на поде и торцевой стенке печи.

Спираль размещают равномерно вдоль соответствующей рабочей поверхности печи горизонтально или в форме зигзагу. Для проволоки диаметром 6...8 мм, если изготовление спирали является нецелесообразным, нагреватели могут изготавливаться в виде зигзагов непосредственно из проволоки.

#### *Ленточные металлические нагревательные элементы.*

Ленточные металлические нагревательные элементы используют после прокатки в виде ленты и полосы. Примеры размеров поперечного сечения ленты для нагревателей – 1x8, 1x10, 2x10, 1,5x15..., 3x25, 3x40 мм.

При расчетах ленточных нагревателей определяют:

$a$  – толщина ленты, мм;  
 $b$  – ширина ленты, мм;  $b = m \cdot a$ , где  $m$  – отношение ширины ленты ( $b$ ) к ее толщине ( $a$ ), которое принимается в пределах 8...12, чаще всего – равным 10;

$l$  – общая длина ленты, м;  $l = 3 \cdot l_1$ , где  $l_1$  – длина ленты в одной фазе 3-фазной печи;

$G$  – общая масса ленты, кг;  $G = 3 \cdot G_1$ , где  $G_1$  – масса ленты в одной фазе.

Толщина ленты ( $a$ ) определяется в соответствии с формулой (1.8):

$$a = \sqrt[3]{\frac{10^5 \cdot \rho \cdot N_1^2}{2m(m+1) \cdot U_\phi^2 \cdot \nu}} \quad (1.10)$$

где:  $\rho$  – удельное электросопротивление материала нагревателя, Ом·мм<sup>2</sup>/м;

$N_1$  – мощность одной фазы, кВт;  $N_1 = N/3$ , где  $N$  – общая мощность печи;

$U_\phi$  – фазовое напряжение, В;

$\nu$  – удельная поверхностная нагрузка, Вт/см<sup>2</sup>

Значения толщины ленты обычно выбирают из ряда: 0,5; 0,8; 1; 1,5; 2; 2,5; 3 (наиболее близкое к расчетному значению).

Учитывая закругленность краев ленты, площадь поперечного сечения,  $q$ , мм<sup>2</sup>, будет:

$$q = 0,97 \cdot m \cdot a^2 \quad (1.11)$$

Длина элемента сопротивления в одной фазе, м:

$$l_1 = R_\phi \cdot q / \rho, \quad (1.12)$$

где  $R_\phi$  – сопротивление одной фазы, Ом

Учитывая, что  $R_\phi = U_\phi^2 / (N_1 \cdot 10^3)$ , получим

$$l_1 = \frac{U_\phi^2 \cdot q}{\rho \cdot N_1 \cdot 10^3}, \quad (1.13)$$

Для 3-фазной печи длина ленточного нагревателя,  $l$ , м, составляет:  $l = 3 \cdot l_1$ .

Масса всего нагревателя,  $G$ , кг, будет равна:

$$G = \gamma \cdot q \cdot l / 10^3, \quad (1.14)$$

где  $\gamma$  – плотность материала нагревателя, г/см<sup>3</sup>.

Поверхность излучения зигзагообразных нагревателей,  $S$ , см<sup>2</sup>:

$$S = 1,94 \cdot a \cdot (1+m) \cdot l \cdot 10, \quad (1.15)$$

Поверхность излучения зигзагообразных нагревателей одной фазы,  $S_1$ , см<sup>2</sup>:

$$S_1 = 1,94 \cdot a \cdot (1+m) \cdot l_1 \cdot 10, \quad (1.16)$$

В этих формулах толщину ленты,  $a$ , подставляют в мм, а длину нагревателя,  $l$  ( $l_1$ ), - в м. Расчетная удельная поверхностная нагрузка на нагревательные элементы,  $v_{\text{расч.}}$ , Вт/см<sup>2</sup>:

$$v_{\text{расч.}} = \frac{N \cdot 10^3}{S}, \quad \text{или} \quad v_{\text{расч.}} = \frac{N_1 \cdot 10^3}{S_1}, \quad (1.17)$$

Она должна быть не более, чем допустимая ( $v_{\text{расч.}} \leq v_{\text{доп.}}$ ).

Нагреватель должен быть рационально расположен в конкретной печи с учетом необходимости обеспечения равномерности нагрева металла. Преимущество следует отдавать размещению нагревателей на боковых стенках и своде печи (по одной фазе на каждую сторону). При необходимости, в особенности в случае печей большого размера и в случае большой длины нагревателя, он может размещаться и на поде и торцевой стенке печи.

Ленточные нагревательные элементы формируют в виде зигзагов разных типов, схемы которых приведены на рисунке 1.1 (вариант 1 - рис. 1.1, а; вариант 2 - рис. 1.1, б).

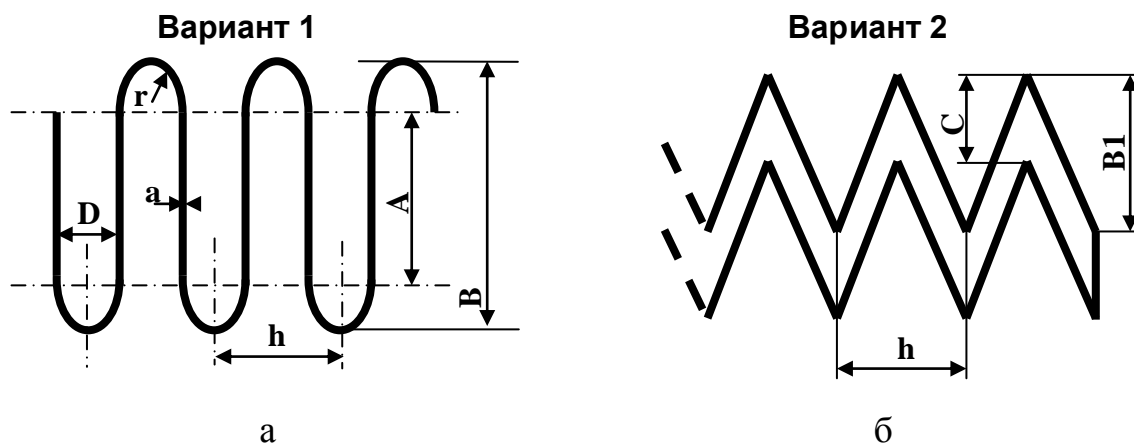


Рисунок 1.1 - Схемы формирования зигзагов

Следует отметить, что формирование нагревателей в виде зигзагов может осуществляться и в случае использования проволоки (проволочные нагреватели).

Исходя из определенных параметров ленты нагревателя выполняют расчеты параметров зигзагов. Чаще всего предпочтение следует отдавать варианту 2

Вариант 1 (рис. 1.1, а)

Расстояние  $D$  внутри зигзагов принимают в интервале 10...60 мм, чаще всего – 15...25 мм, но не меньше, чем ширина ленты. Высоту зигзагов ( $B$ ) выбирают в интервале 150...500 мм в случае вертикального размещения на стенках печи и 100...200 мм при горизонтальном размещении на своде и поде печи. При больших размерах печи ленточные нагреватели размещают в 2 – 3 ряда.

Длина одного зигзага, мм:



$$l_{\text{зиг.}}=2 \cdot (\pi \cdot r + A), \quad (1.18)$$

где:  $A$  – высота зигзага между центрами закрепления ленты, мм,  $A = b - 2r$ ,  
 $r$  – радиус закругления ленты, мм; обычно  $r = D/2$ .

Количество зигзагов на 1 фазу (без учета длины выводов):

$$n = \frac{l_1 \cdot 10^3}{l_{\text{зиг.}}}, \quad (1.19)$$

Общая длина нагревателя, сформированного в форме зигзага (в расчете на 1 фазу):

$$L_1 = n \cdot h, \text{ мм}, \quad (1.20)$$

где  $h$  – шаг зигзага, мм:  $h = 2 \cdot (D+a)$ .

#### Вариант 2 (рис. 1.1, б)

Высоту зигзага  $B_1$  обычно выбирают в пределах 100...250 мм, шаг зигзага  $h$  – в пределах 20...100 мм, но не меньшим, чем ширина ленты. Зигзаги в параллельных рядах могут размещаться без перекрытия, когда расстояние между выступами зигзага ( $C$ ) будет не меньшей, чем  $B_1$ , либо с перекрытием, если  $C \leq B_1$ , но обычно не меньшая, чем ширина ленты.

Длина одного зигзага ( $l_{\text{зиг}}$ ) в этом случае может определяться, как:

$$l_{\text{зиг}} = 2 \sqrt{B_1^2 + (h_1 / 2)^2}, \text{ мм} \quad (1.21)$$

Дальнейшие расчеты параметров нагревателя выполняются в соответствии с формулами 1.16, 1.17.

Необходимое количество рядов зигзагов,  $K$  (которое может принимать только целые значения) определяют, как:

$$K = L_1 / X, \quad (1.22)$$

где  $X$  – тот параметр рабочего пространства печи (длина, высота или ширина рабочего пространства), вдоль которого будет размещена "лента" зигзага.

Изменяющимися параметрами (вариантными) для обеспечения наиболее рационального размещения нагревателя в печи и равномерности нагрева являются  $B$  ( $B_1$ ),  $h$  ( $h_1$ ), и расстояние между рядами зигзага.

Справочные данные для выбора исходных данных о характеристиках материала нагревателя в зависимости от рабочей температуры печи приведены в таблицах 1.2 и 1.3.

Таблица 1.2 – Расчетное удельное электросопротивление  $\rho$  и плотность  $\gamma$  сплавов при заданной рабочей температуре

Марка сплава	Температура, °C	$\rho$ , Ом·мм <sup>2</sup> /м	$\gamma$ , г/см <sup>3</sup>
X13Ю5	850	1,25 – 1,35	7,4
X17Ю5	850	1,15 – 1,25	7,0 – 7,2
X15Н60	1000	1,10 – 1,20	8,4
X20Н80	1150	1,10 – 1,20	8,4
X25Ю5	1200	1,25 – 1,45	7,0 – 7,2
X23Ю5	1200	1,40	7,27
X27Ю5	1300	1,40	7,19

Примечание. \*1 Ом·мм<sup>2</sup>/м = 10<sup>-6</sup> Ом·м

Таблица 1.3 – Допустимые удельные поверхностные нагрузки  $v$  для некоторых сплавов в зависимости от температуры

Рабочая температура, °С	$v$ , Вт/см <sup>2</sup> , для сплавов			
	X20H80	X15Ю5	X23Ю5Т	X27Ю5
600	2,6 – 3,2	2,6 – 3,2	-	-
700	2,0 – 2,6	2,0 – 2,6	3,0 – 3,7	-
800	1,6 – 2,0	1,6 – 2,0	2,6 – 3,2	-
900	1,1 – 1,5	1,1 – 1,5	2,1 – 2,6	-
1000	0,8 – 1,0	0,8 – 1,0	1,6 – 2,0	3,0
1100	0,5 – 0,7	0,5 – 0,7	1,2 – 1,5	2,2
1200	-	-	0,8 – 1,0	1,6

## 1.2 Порядок выполнения работы

1.2.1. Получение задания в форме типа печи и ее индекса и определение исходных данных для выполнения работы.

Варианты заданий для камерных печей с неподвижным подом приведены в таблице 1.4.

Таблица 1.4 - Варианты задач для расчета проволочных нагревательных элементов

Индекс камерной печи с неподвижным подом	Максимальная рабочая температура, °С	Паспортная мощность печи, N, кВт
СНО/СНЗ-4.8.2,5/10	1000	25
СНО/СНЗ-6.12.4/10	1000	55
СНО/СНЗ-8.16.5/10	1000	75
СНЗ-4.8.2,5/11	1100	19
СНЗ-6.12.4/11	1100	52
СНЗ-8.16.5/11	1100	71
СНЗ-11.22.7/11	1100	140
СНО/СНЗ-3.6,5.2,5/9,5	950	15
СНО/СНЗ-4,5.9,5.4,5/9,5	950	30
СНО/СНЗ-6.12.5/9,5	950	45
СНО/СНЗ-7,5.15.5,5/9,5	950	60
СНО/СНЗ-9.18.6/9,5	950	75

Примечания: 1. Все печи являются 3-фазными.

2. Рабочее напряжение  $U_{\phi}$  может составлять 220 или 380 В, а в некоторых случаях - 127 В.

С учетом максимальной рабочей температуры печи студент выбирает материалы для изготовления нагревательных элементов (табл. 1.1) и характеристики этих материалов – удельное электросопротивление,  $\rho$  (табл. 1.2) и допустимую удельную поверхностную нагрузку,  $v$  (табл. 1.3). При этом расчеты выполняются для двух марок материала, пригодных для изготовления нагревателей в заданных температурных условиях эксплуатации. Исходные данные заносятся в таблицу 1.5.

Таблица 1.5 – Исходные данные для расчета электрических нагревательных элементов для печи \_\_\_\_\_ (указывается тип печи из полученного задания)

Мощность печи, N, кВт	Рабочая температура, T, °С	Марка сплава	$U_{\phi}$ , В	$\rho$ , Ом·мм <sup>2</sup> /м	$v$ , Вт/см <sup>2</sup>

### 1.2.2. Расчет проволочного нагревательного элемента.

Результаты расчета заносятся в таблицу 1.6.

Таблица 1.6 – Результаты расчета проволочного нагревательного элемента для печи

(указывается тип печи из полученного задания)

Марка сплава	d, мм	$l_1$ , м	$l$ , м	$G_1$ , кг	$G$ , кг	$v_{расч.}$ , Вт/см <sup>2</sup>

### 1.2.3. Расчет ленточного нагревательного элемента.

Результаты расчета заносятся в таблицу 1.7.

Таблица 1.7 – Результаты расчета ленточного нагревательного элемента для печи

(указывается тип печи из полученного задания)

Марка сплава	a, мм	b, мм	m	$l_1$ , м	$l$ , м	$G_1$ , кг	$G$ , кг	$v_{расч.}$ , Вт/см <sup>2</sup>

### 1.2.4. Сравнительный анализ полученных результатов расчета.

При анализе и выборе рационального варианта типа и материала нагревательного элемента для заданной печи учитываются прежде всего: а) масса нагревателя, б) возможная стоимость нагревателя, в) соответствие расчетного и допустимого показателей удельной поверхностной нагрузки, г) возможность обеспечения более равномерного нагрева, д) условия размещения нагревателей в печи.

### 1.2.5. Составление отчета.

## 1.3 Содержание и структура отчета

1. Название работы и краткие сведения о типах нагревателей, которые применяются в термических печах.

2. Конкретная цель работы.

3. Методика выполнения работы.

4. Результаты работы в форме расчетов, описания данных, рисунков, таблиц.

5. Выводы.

## 1.4 Контрольные вопросы

1. В каких типах термических печей применяются проволочные нагреватели?

2. В каких типах термических печей применяются проволочные нагреватели?

3. Из каких материалов изготавливают нагреватели?

4. Перечислить требования, которым должны удовлетворять материалы нагревателей.

5. Какие факторы определяют параметры нагревателей?

6. Что такое удельная поверхностная нагрузка? От чего она зависит и как определяется?

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №2

### ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ ПЕЧЕЙ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

Цель работы: изучить особенности конструкции электрических и топливных печей периодического действия.

#### 2.1 Методика выполнения работы

При подготовке к практической работе студенты должны изучить соответствующий раздел в основной рекомендованной литературе, подготовить краткое описание особенностей конструкции электрических и топливных печей периодического действия с приведением графических примеров таких конструкций в виде схемы или чертежа каждого типа печей (допускается использование ксерокопий чертежей).

На практических занятиях по данной теме рассматриваются основные конструктивные особенности, назначение, преимущества и недостатки печей периодического действия разных типов: камерных с неподвижным подом, двухкамерных, камерных с выдвижным подом, шахтных (вертикальных), печей с подъемным подом (элеваторных), колпаковых печей.

Используя схемы и чертежи конкретных типов печей, студенты в режиме дискуссии с преподавателем и между собой разбирают особенности конструкции соответствующих типов печей.

#### 2.2 Порядок выполнения работы

1. Изучение плакатов со схемами и чертежами соответствующих типов печей периодического действия.
2. Обсуждение особенностей конструкции печей различного типа.
3. Оформление отчета.

#### 2.3 Содержание и структура отчета

1. Тема практической работы.
2. Конкретная цель работы.
3. Краткие сведения об особенностях конструкции печей периодического действия с приведением схем и чертежей таких печей.
4. Выводы.

#### 2.4 Контрольные вопросы

1. Указать принципиальные отличия в конструкции камерных печей с неподвижным и выдвижным подом.
2. Указать принципиальные отличия в способах загрузки изделий для камерных печей с неподвижным и выдвижным подом.
3. Как загружают изделия в шахтные печи?
4. Назначение стенов и колпака в колпаковых печах.
5. Основная особенность конструкции элеваторных печей.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №3

### ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ ПЕЧЕЙ-ВАНН РАЗЛИЧНОГО ТИПА

Цель работы: изучить особенности конструкции печей-ванн различного типа.

### 3.1 Методика выполнения работы

При подготовке к практической работе студенты должны изучить соответствующий раздел в основной рекомендованной литературе, подготовить краткое описание особенностей конструкции печей-ванн различного типа: с внешним и внутренним обогревом, индукционных, электродных, печей-ванн с кипящим слоем с приведением графических примеров таких конструкций в виде схемы или чертежа каждого типа печей-ванн (допускается использование ксерокопий чертежей и схем).

На практических занятиях по данной теме рассматриваются основные конструктивные особенности, назначение, преимущества и недостатки печей-ванн, способы их запуска.

Используя схемы и чертежи конкретных типов печей-ванн, студенты в режиме дискуссии с преподавателем и между собой разбирают особенности конструкции соответствующих типов печей.

### 3.2 Порядок выполнения работы

1. Изучение плакатов со схемами и чертежами соответствующих типов печей-ванн.
2. Обсуждение особенностей конструкции печей-ванн различного типа.
3. Оформление отчета.

### 2.3 Содержание и структура отчета

1. Тема практической работы.
2. Конкретная цель работы.
3. Краткие сведения об особенностях конструкции печей-ванн различного типа с приведением схем и чертежей таких печей-ванн.
4. Выводы.

### 2.4 Контрольные вопросы

1. Почему тигли в печах-ваннах с внешним обогревом имеют меньшую стойкость в сравнении с таковыми в печах-ваннах с внутренним обогревом?
2. Почему печи-ванны с внешним обогревом имеют меньший к.п.д. в сравнении с печами-ваннами с внутренним обогревом?
3. Какова роль электродов в электродных печах-ваннах?
4. Охарактеризовать принцип нагрева рабочей среды в электродных печах-ваннах.
5. Что такое «кипящий слой» в печах-ваннах и какова его роль в ускорении нагрева изделий?

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №4 ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ ПЕЧЕЙ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

Цель работы: изучить особенности конструкции печей непрерывного действия различных типов.

### 4.1 Методика выполнения работы

При подготовке к практической работе студенты должны изучить соответствующий раздел в основной рекомендованной литературе, подготовить краткое описание особенностей конструкции различных типов печей непрерывного действия с приведением графических примеров таких конструкций в виде схемы или чертежа каждого типа печей (допускается использование ксерокопий чертежей).

На практических занятиях по данной теме, разделенных на 3 занятия, рассматриваются основные конструктивные особенности, назначение, преимущества и недостатки печей непрерывного действия разных типов: конвейерных (с горизонтальным, вертикальным, подвесным конвейерами), толкательных, рольганговых, с пульсирующим подом, барабанных, карусельных, протяжных.

Используя схемы и чертежи конкретных типов печей, студенты в режиме дискуссии с преподавателем и между собой разбирают особенности конструкции соответствующих типов печей и способы загрузки, перемещения и выгрузки изделий в них.

#### 4.2 Порядок выполнения работы

1. Изучение плакатов со схемами и чертежами соответствующих типов печей непрерывного действия.
2. Обсуждение особенностей конструкции печей различного типа.
3. Оформление отчета.

#### 4.3 Содержание и структура отчета

1. Тема практической работы.
2. Конкретная цель работы.
3. Краткие сведения об особенностях конструкции печей непрерывного действия различных типов с приведением схем и чертежей таких печей.
4. Выводы.

#### 4.4 Контрольные вопросы

1. Указать принципиальные отличия в конструкции конвейерных печей с горизонтальным и подвесным конвейерами.
2. От каких факторов зависит выбор типа конвейерной ленты в конвейерных печах с горизонтальным конвейером?
3. Что и чем «толкают» в толкательных печах?
4. Что собой представляет «под» в рольганговых печах?
5. Исходя из какой основной особенности перемещения изделий ряд конструкций печей получил название «карусельные»?
6. Какие изделия можно обрабатывать в протяжных печах?
7. По какой причине изделия с острыми кромками и резьбой в барабанных печах обрабатывать нельзя, а в печах с пульсирующим подом можно?

### **ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №5 АГРЕГАТЫ ДЛЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ И ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ИЗДЕЛИЙ**

Цель работы: изучить особенности формирования, состав, специфику применения агрегатов для термической обработки.

#### 5.1 Методика выполнения работы

При подготовке к практической работе студенты должны изучить соответствующий раздел, касающийся конструкции агрегатов и поточных линий для термической обработки, в основной рекомендованной литературе, подготовить краткое описание особенностей конструкции различных типов агрегатов периодического и непрерывного действия с приведением графических примеров такого оборудования в виде схемы или чертежа (допускается использование ксерокопий чертежей).

На практических занятиях по данной теме, разделенных на 2 занятия, рассматриваются основные конструктивные особенности, назначение, преимущества и недостатки агрегатов для термической обработки разных типов: закаочно-отпускных агрегатов с одностипным (конвейерные, толкательные, барабанные, рольганговые) и разнотипным оборудованием, агрегатов с печами периодического действия, агрегатов для газовой цементации и нитроцементации преимущественно с толкательными печами.

Используя схемы и чертежи конкретных типов печей, студенты в режиме дискуссии с преподавателем и между собой разбирают особенности конструкции соответствующих типов агрегатов и способы загрузки, перемещения и выгрузки изделий в них.

## 5.2 Порядок выполнения работы

1. Изучение плакатов со схемами и чертежами соответствующих типов агрегатов для термической обработки.

2. Обсуждение особенностей конструкции агрегатов различного типа.

3. Оформление отчета.

## 5.3 Содержание и структура отчета

1. Тема практической работы.

2. Конкретная цель работы.

3. Краткие сведения об особенностях конструкции агрегатов периодического и непрерывного действия различных типов с приведением схем и чертежей таких печей.

4. Выводы.

## 5.4 Контрольные вопросы

1. Указать основные преимущества использования агрегатов для термической обработки.

2. От каких факторов зависит выбор типа агрегата для термической обработки?

3. Какова основная цель использования тамбуров для загрузки и выгрузки поддонов с изделиями в толкательных печах, входящих в состав агрегатов для ХТО?

4. В чем отличия в составе агрегатов для ХТО, предназначенных для обработки изделий из наследственно-мелкозернистых и наследственно-крупнозернистых сталей?

5. Какие изделия можно обрабатывать в агрегатах с барабанными печами?

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №6 ПЛАНИРОВАНИЕ РАЗМЕЩЕНИЯ ТЕРМИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ В ТЕРМИЧЕСКОМ ПОДРАЗДЕЛЕНИИ

Цель работы: изучить особенности формирования, состав, специфику применения агрегатов для термической обработки.

### 6.1 Методика выполнения работы

При подготовке к практической работе студенты должны изучить соответствующий раздел, касающийся принципов планировки размещения оборудования в термическом подразделении, в основной рекомендованной литературе, подготовить краткое описание рекомендаций по размещению оборудования.

В ходе подготовки к данному практическому занятию в отчете должна быть отражена следующая информация: общие принципы планировки термических подразделений; производственные площади, их определение по укрупненным показателям, принципы определения ширины и длины пролетов.

## 6.2 Порядок выполнения работы

1. Получение индивидуального задания у преподавателя. Задание включает: тип термического подразделения, перечень основного оборудования (его тип, количество единиц) термического цеха (отделения, участка), виды операций термической обработки, реализуемые в термическом подразделении.
2. Распределение основного оборудования термического подразделения по видам термической обработки.
3. Выбор необходимого основного (закалочные баки и др.) и дополнительного и вспомогательного оборудования (подъемно-транспортное оборудование, оборудование для правки и очистки изделий, оборудование для приготовления контролируемых атмосфер и др.) для выполнения соответствующих технологических операций.
4. Определение габаритных размеров указанного оборудования с использованием учебной и справочной литературы.
5. Определение норм площади цеха, приходящейся на каждый вид основного оборудования и расчет общей площади цеха по укрупненным показателям.
6. Определение необходимой ширины пролета и количества пролетов (в случае, если термический цех планируется двух- или трехпролетным) и длины цеха с учетом шага колонн.
7. Разработка схемы размещения оборудования в термическом подразделении.
8. Оформление отчета.

## 6.3 Содержание и структура отчета

1. Тема практической работы.
2. Конкретная цель работы.
3. Краткие сведения о принципах размещения оборудования в термическом подразделении.
4. Выполненная в масштабе схема размещения оборудования в термическом подразделении.
5. Выводы.

## РЕКОМЕНДОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Большаков, Вл. И. Оборудование термических цехов, технологии термической и комбинированной обработки металлопродукции / Вл.И. Большаков, И.Е. Долженков, А.В. Зайцев. – Днепропетровск: РИА Днепр – VAL, 2010. – 619 с. (Часть 1. Оборудование термических цехов, с. 19 – 151).
2. Соколов К.Н. Оборудование термических цехов. – Киев; Донецк: Вища шк., 1984. – 328 с.
3. Долженков И.Е., Большаков В.И., Долженков В.И. Оборудование термических цехов / Учебник для высших технических учебных заведений.- Днепропетровск: ПГАСА, 2004.-320 с.
4. Электротермическое оборудование: Справочник/ Под общ. ред. А.П.Альтгаузена. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергия, 1980. – 410 с.
5. Свенчанский А.Д. Электрические печи сопротивления. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергия, 1975. – Ч.1. – 382 с.
6. Фомин Н.И., Затуловский Л.М. Электрические печи и установки индукционного нагрева. – М.: Металлургия, 1979. – 247 с.
7. Николаев Е.Н. Термическая обработка металлов и оборудование термических цехов. – М.: Высш.шк., 1980. – 192 с.
8. Термическая обработка в машиностроении: Справочник/ Под ред. Ю.М.Лахтина и А.Г.Рахштада. – М.: Машиностроение, 1980. – 783 с.