

Відповіді на теоретичні питання повинні бути ясними й по можливості короткими. Запропоновані формули повинні мати посилання на використовувану літературу та нумерацію. При необхідності відповідь слід пояснювати схемою, малюнком, розрахунковими формулами або графіками. Наприкінці контрольної роботи необхідно привести перелік використовуваної літератури.

Всі задачі, включені в контрольну роботу, дані в декількох варіантах, тому кожний студент повинен одержати шифр індивідуального завдання, що надається викладачем.

2. МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАВДАНЬ

При рішенні задач 1 і 2 необхідно по літературі, наведеної в програмі курсу, вивчити призначення, пристрій і принцип дії електричних печей опору непрямої дії. При тепловому розрахунку цих печей визначають потужність печі, сумарні теплові втрати, тепловий к.к.д. печі й питому витрату електроенергії.

Основними вихідними даними є температурний графік або задане значення температури, до якої необхідно нагріти виріб; умови нагрівання (окисне середовище, захисне тощо); характеристика матеріалу виробу та допоміжних пристроїв (c ; G).

При розрахунку можна використовувати наступну схему [1].

Довідкові дані питомої теплоємності матеріалу виробу c_m та допоміжних пристроїв $c_{доп}$ наведені в додатках (Таблиця Д.1).

Кількість теплоти $Q_{ц}$, що витрачається за цикл нагрівання визначається як:

$$Q_{ц} = Q_{корисн} + Q_{доп} + Q_{г} + \sum \Delta Q_{втр}, \quad (1)$$

де $Q_{корисн}$ – кількість теплоти, необхідне для нагрівання виробів до заданої температури, Дж;

$Q_{доп}$ – кількість теплоти, що витрачається на нагрівання допоміжних пристроїв (кошиків, піддонів, муфелів тощо), Дж;

Q_{Γ} – кількість теплоти, що витрачається на нагрівання газу, Дж;

$\Sigma \Delta Q_{\text{втр}}$ – сумарні теплові втрати за цикл, Дж.

Корисна кількість теплоти $Q_{\text{корисн}}$ визначається як:

$$Q_{\text{корисн}} = c_{\text{м}} \cdot G_{\text{м}} \cdot (t_{\text{м2}} - t_{\text{м1}}), \quad (2)$$

де $t_{\text{м1}}$, $t_{\text{м2}}$ – відповідно початкове й кінцеве значення температур матеріалу завантаження, °С;

$c_{\text{м}}$ – середня питома теплоємність матеріалу завантаження, Дж/кг°С;

$G_{\text{м}}$ – маса матеріалу, що завантажується, кг.

Аналогічно визначається кількість теплоти $Q_{\text{доп}}$, що витрачається на нагрівання допоміжних пристроїв:

$$Q_{\text{доп}} = c_{\text{доп}} \cdot G_{\text{доп}} \cdot (t_{\text{доп2}} - t_{\text{доп1}}), \quad (3)$$

де $t_{\text{доп1}}$, $t_{\text{доп2}}$ – відповідно початкове й кінцеве значення температур матеріалу допоміжних пристроїв, °С;

$c_{\text{доп}}$ – середня питома теплоємність матеріалу допоміжних пристроїв, Дж/кг°С;

$G_{\text{доп}}$ – маса матеріалу допоміжних пристроїв, кг.

Якщо нагрівання ведеться в захисній атмосфері, необхідно врахувати кількість теплоти, що витрачається на нагрівання газу Q_{Γ} :

$$Q_{\Gamma} = c_{\Gamma} \cdot G_{\Gamma} \cdot (t_{\Gamma2} - t_{\Gamma1}), \quad (4)$$

де $t_{\text{доп1}}$, $t_{\text{доп2}}$ – відповідно початкове й кінцеве значення температур газу, °С;

c_{Γ} – середня питома теплоємність газу, Дж/кг°С;

G_{Γ} – маса газу, що вводиться в піч за час одного циклу роботи печі, кг.

Значення теплоємності й щільності захисних газів наведені в додатках (Таблиця Д.2).

Для орієнтовного визначення витрати захисного газу в електропечі можна використовувати наступні рекомендації [2]:

$$v_{\Gamma} = G_{\text{м}} \cdot k, \quad (5)$$

де v_{Γ} – об'ємна витрата газу за 1 годину роботи печі, м³/год;

k – питома витрата газу на одиницю маси завантаження печі ($0,0125 \text{ м}^3/\text{кг}$ для садочних печей або $0,125 \text{ м}^3/\text{кг}$ для методичних печей);

При цьому витрата газу $G_{\text{Г}}$ за час нагрівання виробу $\tau_{\text{нагр}}$ складе:

$$G_{\text{Г}} = v_{\text{Г}} \cdot \gamma \cdot \tau_{\text{нагр}}, \quad (6)$$

де γ – щільність газу, $\text{кг}/\text{м}^3$.

У загальному випадку сумарні теплові втрати $\Sigma \Delta Q_{\text{втр}}$ в електричних печах опору визначаються за формулою:

$$\Sigma \Delta Q_{\text{втр}} = k_{\text{втр}} \Sigma q_i \cdot \tau_i + \Delta Q_{\text{випр}} \quad (7)$$

де $k_{\text{втр}} = 1,2$ – коефіцієнт неврахованих теплових втрат;

$\Sigma q_i \cdot \tau_i$ – теплові втрати через стінки печі для різних циклів нагрівання (нагрівання, нагрівання з витримкою, нагрівання з витримкою й охолодженням);

$\Delta Q_{\text{випр}}$ – втрати випромінюванням у період завантаження-вивантаження.

Потрібна (середня) потужність печі $P_{\text{спож}}$, Вт, визначається по витраті теплоти в період нагрівання за формулою, Вт:

$$P_{\text{спож}} = Q_{\text{нагр}} / \tau_{\text{нагр}} \quad (8)$$

де

$$Q_{\text{нагр}} = Q_{\text{повн.нагр}} + Q_{\text{доп.нагр}} + \Sigma \Delta Q_{\text{втр. нагр}}, \text{ Дж} \quad (9)$$

або

$$Q_{\text{нагр}} = Q_{\text{ц}} - \Sigma \Delta Q_{\text{втр. з.-н.}}, \text{ Дж} \quad (10)$$

де $\Sigma \Delta Q_{\text{втр з-в}}$ – втрати в період завантаження-вивантаження виробу.

Усталена потужність печі $P_{\text{уст}}$, пов'язана зі споживаною потужністю наступним співвідношенням:

$$P_{\text{уст}} = k_{\text{м}} \cdot P_{\text{спож}}, \text{ Вт}, \quad (11)$$

де $k_{\text{втр}} = 1,25$ – коефіцієнт запасу потужності, що враховує

- можливість зниження номінального значення напруги живильної мережі;
- старіння матеріалу нагрівальних елементів із часом;

– можливість форсованого режиму розігріву печі з холодного стану.

Тепловий к.к.д. печі визначається як відношення корисної теплоти $Q_{\text{кор}}$ до повної теплоти $Q_{\text{ц}}$, що витрачається за цикл:

$$\eta_{\text{T}} = Q_{\text{повн}} / Q_{\text{ц}}, \quad (12)$$

а питома витрата $\omega_{\text{пит}}$ електроенергії рахується за формулою, кВт·ч/кг

$$\omega_{\text{пит}} = Q_{\text{ц}} / G_{\text{м}}. \quad (13)$$

Примітки.

1. У випадку прийняти "нагрівання без витримки" для циклу $Q_{\text{нагр}} = Q_{\text{ц}}$, якщо в умові задачі не задані втрати печі при завантаженні-вивантаженні.

2. Якщо в задачі задані сумарні теплові втрати за цикл нагрівання $\Sigma \Delta Q_{\text{втр}}$ (або $\Sigma \Delta P_{\text{втр}}$), треба самостійно (при необхідності) прийняти відсоток втрат на різних періодах циклу.

При тепловому розрахунку методичних електричних печей опору (задача 3) варто звернути увагу на додаткові вихідні дані, окрім розглянутих вище, – це задана продуктивність печі g та питома завантаження виробів на 1 м довжини печі B , кг/м, що дозволяє визначити довжину печі $L_{\text{п}} = g \cdot \tau / B$, спланувати кількість теплових зон печі. У варіантах задачі 3 довжина печі не визначається (число теплових зон відомо), тому в умовах задачі значення питомого завантаження відсутні. Тепловий розрахунок методичної печі ведеться для одної зони печі.

Споживана $P_{\text{спож}}$ й корисна $P_{\text{корисн}}$ потужності для кожної теплової зони печі однакові та визначаються як:

$$P_{\text{спож}} = P_{\text{кор}} + P_{\text{доп}} + k_{\text{с}} (\Sigma \Delta P_{\text{спож}} + \Delta P_{\text{випр}}), \text{ Вт} \quad (14)$$

$$P_{\text{корисн}} = c_{\text{м}} \cdot g_{\text{м}} \cdot (t_{\text{м2}} - t_{\text{м1}}) / 3600, \quad (15)$$

де $g_{\text{м}}$ – задана продуктивність печі або зони при нагріванні даного матеріалу, кг/ч

Усталена $P_{\text{доп}}$, що витрачається на нагрівання допоміжних пристроїв визначаються як:

$$P_{\text{доп}} = [c_{\text{доп}} \cdot g_{\text{доп}} \cdot (t_{\text{доп2}} - t_{\text{доп1}}) + c_{\text{г}} \cdot g_{\text{г}} \cdot (t_{\text{г2}} - t_{\text{г1}})] / 3600, \quad (16)$$

де $g_{\text{доп}}$ – маса допоміжних пристроїв (піддони, конвеєрні стрічки тощо), що проходять через піч разом із завантаженням за 1 годину; кг/год;

$g_{\text{г}}$ – годинна витрата газу; кг/год.

Усталена потужність $P_{\text{уст}}$ печі (зони), дорівнює:

$$P_{\text{уст}} = k_{\text{м}} \cdot P_{\text{спож}}, \quad (17)$$

де $k_{\text{м}}=1,25$ – коефіцієнт запасу потужності.

Тепловий к.к.д. печі визначаємо визначається як відношення корисної $P_{\text{корисн}}$ потужності до споживаної $P_{\text{спож}}$:

$$\eta_{\text{т}} = P_{\text{корисн}} / P_{\text{спож}} \quad (18)$$

Питома витрата $\omega_{\text{пит}}$ електроенергії печі визначається як відношення споживаної $P_{\text{спож}}$ потужності до задані продуктивності g печі:

$$\omega_{\text{пит}} = P_{\text{спож}} / g. \quad (19)$$

Примітки:

1. Для кожної зони потужність визначається відповідно до кривих температурного графіка, що ставляться до даної зони (нагрівання-витримка).
2. Потужність теплових втрат – так само.
3. Для кожної зони вводиться свій коефіцієнт запасу потужності.

Електричний розрахунок печей опору (задачі 4, 5) пов'язаний з:

а) визначенням розмірів (перетин й довжини) нагрівальних елементів, які б забезпечили необхідну потужність печі;

б) перевіркою можливості розміщення нагрівачів усередині печі (конструювання нагрівальних елементів).

Варто звернути увагу на основні допущення, прийняті при розрахунку:

– не враховуються втрати потужності в нагрівальних елементах;

– нагрівальний елемент має форму суцільного тонкого аркуша, що повністю охоплює заготівлю. Це допущення на першому етапі дозволяє прирівняти площу нагрівального елемента до площі заготівлі.

З урахуванням прийнятих допущень нагрівальний елемент є ідеальним. Рівняння променистого теплообміну між ідеальним нагрівальним елементом і поверхнею виробу, що нагрівається, визначаються як:

$$P = c_{12} \cdot [(T_H / 100)^4 - (T_{\text{вир}} / 100)^4] \cdot F_H, \quad (20)$$

де P – потужність печі, Вт;

F_H – площа поверхні нагрівального елемента, м^2 ;

T_H , $T_{\text{вир}}$ – температура нагрівального елемента й виробу в К, ($T = t + 273$);

c_{12} – наведена випромінювальна здатність нагрівального елемента й виробу стосовно випромінювальної здатності абсолютно чорного тіла.

Наведену випромінювальну здатність c_{12} , визначаються за формулою:

$$c_{12} = c_s / (\epsilon_{\text{не}}^{-1} + \epsilon_{\text{вир}}^{-1}), \quad (21)$$

де $c_s = 5,7$ – випромінювальна здатність абсолютно чорного тіла, $\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$;

$\epsilon_{\text{не}}$ та $\epsilon_{\text{вир}}$ – коефіцієнти теплового випромінювання нагрівального елемента й виробу (довідкові дані).

З рівняння променистого теплообміну можна визначити температуру T_H нагрівального елемента:

$$T_H = 100 \cdot [(P \cdot c_{12}^{-1} \cdot F_H^{-1}) + (T_{\text{вир}} / 100)^4]^{1/4}, \quad (23)$$

та питому поверхневу потужність $\omega_{\text{ід}}$ ідеального нагрівального елемента:

$$\omega_{\text{ід}} = P / F_H = c_{12} \cdot [(T_H / 100)^4 - (T_{\text{вир}} / 100)^4]. \quad (24)$$

Тому що поверхня нагрівального елемента не має форму суцільного тонкого аркуша, що повністю охоплює заготівлю, та втрати потужності не дорівнюють нулю, то питома поверхнева потужність $\omega_{\text{доп}}$ реального нагрівального елемента визначають за формулою, ($\text{Вт} / \text{см}^2$):

$$\omega_{\text{доп}} = \alpha_{\text{сф}} \cdot \omega_{\text{ід}}, \quad (25)$$

де $\alpha_{\text{эф}}$ – коефіцієнт ефективності випромінювання, що залежить від розмірів нагрівального елемента, його розміщення в печі, матеріалу виробу, що нагрівається, та інших факторів ($\alpha_{\text{эф}} = 0,3 \div 0,8$ приймаємо по довідковим таблицям або графікам; див. табл. Д.5).

Розміри нагрівального елемента визначають за формулами:

$$P_{\text{н}} = \omega_{\text{доп}} \cdot F_{\text{н}}, \quad (26)$$

та

$$P_{\text{н}} = U_{\text{ф}}^2 / R_{\text{н}} = U_{\text{ф}}^2 \cdot s / (\rho_{\text{г}} \cdot L_{\text{н}}), \quad (27)$$

де $\omega_{\text{доп}}$ – допустима питома поверхнева потужність реального нагрівального елемента обраної конструкції, Вт/м²;

$U_{\text{ф}}$ – фазна напруга, В;

$R_{\text{н}}$ – опір однієї фази нагрівального елемента, Ом;

$L_{\text{н}}$ – довжина нагрівача (дроту або стрічки) на фазу, м;

s – перетин нагрівального елемента, м²;

$\rho_{\text{г}}$ – питомий електричний опір матеріалу нагрівального елемента при робочій температурі, Ом · м.

Питомий електричний опір $\rho_{\text{г}}$ матеріалу визначають за формулою:

$$\rho_{\text{г}} = \rho_{20} \cdot (1 + \alpha \Delta t), \quad (28)$$

де ρ_{20} – питомий опір нагрівального елемента при $t = 20^{\circ}\text{C}$;

α – температурний коефіцієнт опору, 1/ $^{\circ}\text{C}$ (див. таблицю Д.4);

Δt – різниця температур, $^{\circ}\text{C}$.

Значення $\rho_{\text{г}}$ для різних температур можна визначити по таблиці Д.8.

Площа поверхні нагрівального елемента обчислюється як:

$$F_{\text{н}} = \Pi \cdot L_{\text{н}}, \quad (28)$$

де Π – периметр нагрівача.

Довжину $L_{\text{н}}$ нагрівального елемента визначають за формулами

$$L_{\text{н}} = P_{\text{н}} / (\omega_{\text{доп}} \cdot \Pi), \quad (28)$$

та

$$L_H = U_{\phi}^2 \cdot s / (\rho_{\Gamma} \cdot P_H). \quad (29)$$

Отже для нагрівального елемента зі стрічки або стрижнів прямокутної форми маємо:

$$\Pi \cdot s = P_H^2 \cdot \rho_{\Gamma} / (U_{\phi}^2 \cdot \omega_{\text{доп}}). \quad (30)$$

Для нагрівача зі стрічки або стрижнів прямокутної форми зі сторонами a та b визначаємо що:

$$b / a = m; s = a \cdot b = a^2 \cdot m; \quad \Pi = 2 \cdot (a + b) = 2 a \cdot (m + 1); \Pi \cdot s = 2 a^3 \cdot m \cdot (m + 1).$$

Для нагрівального елемента зі стрічки або стрижнів прямокутної форми зазвичай приймають $m = 10$. К такому випадку визначимо товщину стрічки a, m :

$$a = \{ P_H^2 \cdot \rho_{\Gamma} / [2 \cdot m (m + 1) U_{\phi}^2 \cdot \omega_{\text{доп}}] \}^{1/3}. \quad (31)$$

Для нагрівального елемента круглого перетину використаємо формули $\Pi = \pi \cdot d$ та $s = \pi \cdot d^2 / 4$ й отримаємо формулу діаметру дроту d, m :

$$d = [4 P_H^2 \cdot \rho_{\Gamma} / (\pi^2 \cdot U_{\phi}^2 \cdot \omega_{\text{доп}})]^{1/3}. \quad (32)$$

Отримані розрахункові значення $d_{\text{розр}}$ або $a_{\text{розр}}$ округляємо до найближчого більшого стандартного значення. Варто звернути увагу, що при $t \geq 700$ °C не рекомендується приймати $d < 5$ мм і $a < 1,5$ мм. Після коректування розмірів визначити фактичну довжину й масу нагрівального елемента:

$$L_{\text{факт}} = U_{\phi}^2 \cdot S_{\text{факт}} / (\rho_{\Gamma} \cdot P_H), \quad (33)$$

та

$$G_{\text{факт}} = \gamma \cdot S_{\text{факт}} \cdot L_{\text{факт}}, \quad (34)$$

де γ – щільність матеріалу нагрівального елемента.

Після визначення основних розрахункових розмірів нагрівача переходять до його конструювання й розміщення в робочому просторі зони (печі). Способи розміщення нагрівального елемента викладені в [3], с. 165-169. Розміри нагрівальних елементів рекомендується вибирати по наступних співвідношеннях:

а) для дротових спіральних нагрівачів ([1], Рис.2.18,а) з діаметром дроту 5-9 мм доцільно прийняти крок спіралі $h \geq 2d$. Діаметр спіралі D вибирають із умови механічної міцності спіралі, що забезпечує збереження її форми в процесі роботи; залежно від матеріалу дроту приймають $D = 5 d$. Довжина спіралі на фазу $l_{\text{сп}}$, м, дорівнює

$$l_{\text{сп}} = n \cdot h = L_{\text{факт}} \cdot h / (\pi \cdot D), \quad (35)$$

де n – число витків спіралі на фазу;

б) для дротових зигзагоподібних нагрівачів ("гармошок") із дроту діаметром $d = 6 \div 15$ мм. ([1], Рис.2.18,б) висоту зигзага приймають у межах $A = 200 \div 400$ мм, а крок хвилі $h \geq 5 d$;

в) для стрічкових зигзагоподібних нагрівачів ([1], Рис.2.18,в) відповідно рекомендується: $A=150 \div 400$ мм (рідше 600мм) – при розміщенні на стіні; $A = 150 \div 250$ мм при розміщенні на поду або зводі; $h \geq 2b$.

Довжина зигзагоподібного (дротового й стрічкового) нагрівача дорівнює:

$$L_{\text{зиг}} = n \cdot h = L_{\text{факт}} \cdot h / (2A), \quad (36)$$

де n – число хвиль в "гармошці".

Нагрівальні елементи можуть розташовуватися в один ряд (одна фаза – один ряд) або в кілька паралельних рядів (одна фаза – n рядів). Це залежить від розмірів теплової зони, нагрівального елемента й можливості правильного розміщення останнього з метою забезпечення рівномірного нагрівання виробу. Як правило, дротові нагрівачі мають менший діаметр D і більшу довжину спіралі $l_{\text{сп}}$ у порівнянні з відповідними параметрами зигзагоподібного нагрівача ($A, l_{\text{зиг}}$), тому спіральні нагрівальні елементи частіше розташовують у кілька рядів на фазу, хоча таке розташування може використовуватися й для стрічкових нагрівачів.

Перевірку можливості розміщення нагрівального елемента залежно від умов розв'язуваної задачі виконати одним з розглянутих нижче способів.

1. Піч круглого перетину. Нагрівачі розташовані тільки на бічних стінках.

1.1 Нагрівачі виконані із дроту

Вихідні дані для конструювання: діаметр печі D_p , розрахункова довжина дроту на фазу L_ϕ , діаметр дроту d .

Перевірка розрахунку:

- а) за співвідношеннями, які рекомендуються намітити діаметр спіралі D ;
- б) намітити число рядів N по висоті зони на одну фазу й на піч у цілому (N'). Крок розміщення нагрівача по висоті s , тобто відстань між рядами нагрівача, прийняти в межах $s = 100$ мм;
- в) визначити довжину одного витка спіралі $l_{\text{вит.}} = \pi \cdot D$, число витків на фазу $n = L_\phi / l_{\text{вит.}}$ и число витків на один ряд $n' = n / N$;
- г) визначити крок спіралі $h_{\text{розр.}} = \pi \cdot D_p / n$;
- д) зрівняти отримане значення $h_{\text{розр.}}$ з тим яке рекомендується. Якщо $h_{\text{розр.}}$ перебуває в межах, що рекомендується, то нагрівальний елемент забезпечить необхідну температуру печі. У протилежному випадку необхідно внести корективи в розрахунок (змінити величину напруги живлення за допомогою перемикачів нагрівального елемента або змінити діаметр спіралі тощо) і повторити перевірку.

1.2 Стрічкові нагрівачі (аналогічно нагрівачам, що виконані з дроту).

2. Нагрівач (дротовий або стрічковий), що рівномірно розташовується на площі стіни $F_{\text{ст.}} = 1 \text{ м}^2$

2.1 Дротовий нагрівач із діаметром дроту d і довжиною L_ϕ .

Перевірити можливість розміщення на заданій поверхні стінки, задаючись попередньо діаметром спіралі D і кроком розміщення спіралі s , визначити сумарну довжину осі спіралі (для 3-х фаз), яку можна розмістити на стінці $1 \times 1 = 1 \text{ м}^2$:

$$L_{\text{ст}\Sigma} = 0,8 \cdot l^2 / s_{\text{ш}}, \text{ м.}$$

Розгорнута довжина одного витка спіралі $l_{\text{вит.}} = \pi \cdot D$ та сумарне число витків спіралей для всіх 3-х фаз $n = 3 L_{\phi} / l_{\text{вит.}}$ дозволяють визначити крок витка спіралі $h_{\text{розр.}} = l_{\text{сп.}\Sigma} / n$ й порівняти отримане значення з тим, що рекомендується.

2.2 Стрічковий нагрівач довжиною L_{ϕ} , перетином $(a \times b)$ мм.

При перевірці можливості розміщення стрічкового нагрівача на заданій поверхні стінки приймають крок розташування суміжних смуг стрічкового нагрівача $s_{\text{ш}} \approx 20$ мм, а сумарну довжину стрічки $L'_{\phi\Sigma}$ (для 3-х фаз), розташовувану на 1 м^2 стінки визначають по формулі:

$$L'_{\phi\Sigma} = 0,8 \cdot l^2 / s_{\text{ш}}, \text{ м.}$$

Потрібно розміщувати нагрівач $L_{\phi\Sigma} = 3L_{\phi}$, тому із зіставленням результатів $L'_{\phi\Sigma}$ і $L_{\phi\Sigma}$ роблять висновок про можливість розміщення нагрівача на заданій поверхні. Якщо нагрівача не розміщається необхідно змінити крок розташування суміжних смуг s або виконати перерахунок нагрівача як зазначено в п.1д.

Розрахунок нагрівача доцільно виконувати в наступному порядку:

1. По максимальній температурі нагрівання виробу вибрати матеріал нагрівача, з огляду на, те що гранично припустима температура цього матеріалу повинна бути дорівнювати:

$$T_{\text{н}} = T_{\text{вир}} + (50 \div 200). \quad (37)$$

2. За графіком (Рис.Д.1), залежно від температури виробу й температури нагрівача, визначити $\omega_{\text{ід}}$.
3. Для прийнятої (або заданої) конструкції нагрівача по Таблиці Д.5 визначити коефіцієнт $\alpha_{\text{сф}}$ та розрахувати питому поверхневу потужність реального нагрівача (формула 25).
4. Визначити розміри нагрівача, використовуючи наведені формули. При цьому варто звернути особливу увагу на розмірність величин, що входять у ці формули, оскільки помилки з розмірностями часто є причиною невірною визначення розмірів нагрівача.

Значення напруги приймати з урахуванням способу з'єднання нагрівачів (у зірку або трикутник). Із зазначених формул видно, що зі зниженням напруги на гілці однієї фази збільшуються розрахункові розміри перетину (тому для збільшення терміну служби нагрівачів доцільно обирати знижену напругу), при цьому одночасно зменшується розрахункова довжина, що полегшує розміщення нагрівачів у печі.

5. Перевірити чи розміщається даний нагрівач у печі.

3. ЗАВДАННЯ НА ПРАКТИЧНІ РОБОТИ

Задача 1. В електричній печі опору нагріваються вироби до температури t , °С. Маса завантаження виробу становить G_m , т; маса сталевих допоміжних пристроїв – $G_{доп.}$, т; час нагрівання $\tau_{нагр.}$, г; теплові втрати через стінки печі $\Delta Q_{нагр.}$ та теплові втрати випромінюванням $\Delta Q_{випр.}$ задані у відсотках від $Q_{корис.}$. Нагрівання виробів виробляється в окисному середовищі (ОС) або захищеному – (ЗС). Вихідні дані для розрахунку наведені в таблиці 1.

Потрібно визначити:

1. Кількість електроенергії (кВт·год), необхідної для нагрівання завантаження у двох випадках:
 - а) нагрівання відбувається від початкової температури цеху $t_{поч.} = 20$ °С;
 - б) завантаження було попередньо нагріто до температури $t_{попер.}$, °С.
2. Середню потужність ($P_{ср} = P_{спож}$), яка необхідна для нагрівання завантаження без попереднього прогріву.
3. Час нагрівання у випадку попереднього підігріву завантаження за умови, що середня потужність, споживана піччю, лишилася колишньою, тобто відповідній нагріванню завантаження без підігріву.
4. Економію енергії, отриману завдяки попередньому підігріву завантаження.