Міністерство освіти і науки України
Запорізька державна інженерна академія

А.Г. Лохматов
Л.Ю. Осипова

СПОЖИВАЧІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Методичні вказівки до виконання практичних занять та самостійних робіт

для студентів ЗДІА спеціальності
"Енергетичний менеджмент"
всіх форм навчання

Запоріжжя
2014

Міністерство освіти і науки України
Запорізька державна інженерна академія

СПОЖИВАЧІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Методичні вказівки до виконання
практичних занять та самостійних робіт

для студентів ЗДІА спеціальності
"Енергетичний менеджмент"
всіх форм навчання

Рекомендовано до видання
на засіданні кафедри ЕЕМ
протокол № 13 від 11.02.2014 р.

Запоріжжя
2014

Споживачі електричної енергії. Методичні вказівки до виконання практичних занять та самостійних робіт для студентів ЗДІА спеціальності "Енергетичний менеджмент" усіх форм навчання / Укл.: А.Г. Лохматов, Л.Ю. Осипова – Запоріжжя, 2014. – 30 с.

Методичні вказівки до виконання практичних занять та самостійних робіт для студентів спеціальності "Енергетичний менеджмент" містять методичні вказівки до виконання практичних робіт, завдання на практичні та самостійні роботи, додатки та рекомендовану літературу.

Укладачі: А.Г. Лохматов, доцент, к.т.н.,

Л.Ю. Осипова, ст.викладач

Відповідальний за випуск :

завідувач кафедри "Електротехніки та енергетичного менеджменту"

Ю.Г. Качан – д.т.н., професор

ВСТУП

Споживання електричної енергії здійснюється в електричних технологічних установках (ЕТУ). Поняття "електротехнологія" об'єднує велику групу технологічних процесів, заснованих на використанні енергії електричного струму, електричного або магнітного поля, що підводиться безпосередньо до технологічного об'єкта та перетворюється в ньому в інший вид енергії. Електротехнологічні процеси, які застосовуються в металургії, хімії, машинобудуванні й інших галузях, відрізняються значною розмаїтістю. Специфічне устаткування електротехнологічних установок органічно пов'язане з технологічним процесом і може правильно створюватися й експлуатуватися тільки при розумінні основ технології виробництва.

Вивчення курсу "Споживачі електричної енергії" пов’язано з наступними видами занять:

– оглядовими лекціями по основних розділах курсу;

– самостійним вивченням студентами розділів курсу по літературі, що рекомендується, відповідно до програми дисципліни;

– виконанням практичних завдань.

Курс "Споживачі електричної енергії" не ставить своїм завданням підготовку фахівців в області розробки промислових електротехнологічних установок. Проте опанування цього курсу вимагає від інженерів-електриків відпрацювання уміння аналізувати енергетичні процеси в цих пристроях, здібності формулювати вимоги до електропостачання різноманітних установок, а, головне, вміти обрахувати питому витрату електроенергії на потреби електротехнології та необхідну потужність ЕТУ тощо.

Вирішення задач сприяє кращому засвоєнню матеріалу, що вивчається, й закріпленню навичок обрахунку кількості енергії, що споживають ЕТУ.

1. ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

Перед виконанням практичних робіт студент повинен ознайомитися з методичними вказівками по їх виконанню, вимоги яких є обов'язковими. Контрольні роботи виконуються після вивчення теоретичного матеріалу, викладеного в літературі, що рекомендується, та відповідей на питання для самоперевірки. При виникненні труднощів, що виникли при вирішенні завдань, студент може звернутися за консультацією до викладачів кафедри, що викладають цей курс.

Контрольна робота виконується як окремий документ, на обкладинці якого повинні бути зазначені: прізвище, ім'я, по батькові студента, найменування дисципліни та контрольної роботи, факультету, групи та номер варіанту, що вирішується студентом, особистий підпис й дата її виконання. На наступних сторінках належить наводити завдання на контрольну роботу.

Розрахунки, формули й пояснювальний текст, слід писати чітко й розбірливо, схеми й графіки виконувати олівцем, використовуючи креслярські інструменти. Умовні графічні позначення елементів схем креслити відповідно до вимог ЗСТУ ЄСКД. Складні графіки рекомендується оформляти на міліметровому папері в масштабі, зручному для визначення параметрів, що розмічаються на осях координат. Необхідно дотримуватися встановлених буквених позначень використовуваних електричних величин. При оформленні контрольної роботи рекомендується залишати на кожній сторінці праворуч поля шириною 3 см. за умови виконання вказаних вище вимог, дозволяється оформляти контрольні роботи за допомогою принтера.

При розрахунку будь-якого параметра задачі спочатку слід запропонувати розрахункову формулу, потім підставити в неї чисельні значення величин, виконати розрахунок та навести відповідь, яка повинна мати найменування отриманої величини.

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 $c_м$ та допоміжних пристроїв $c_{доп}$ наведені в додатках (Таблиця Д.1).

Кількість теплоти $Q_ц$, що витрачається за цикл нагрівання визначається як:

$$Q_ц = Q_{корисн} + Q_{доп} + Q_г + \Sigma\Delta Q_{втр}, \quad (1)$$

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;

$Q_г$ – кількість теплоти, що витрачається на нагрівання газу, Дж;

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

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

$$Q_{корисн} = c_м \cdot G_м \cdot (t_{м2} - t_{м1}), \quad (2)$$

де $t_{м1}$, $t_{м2}$ – відповідно початкове й кінцеве значення температур матеріалу завантаження, ^oC;

$c_м$ – середня питома теплоємність матеріалу завантаження, Дж/кг^oC;

$G_м$ – маса матеріалу, що завантажується, кг.

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

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

де $t_{доп1}$, $t_{доп2}$ – відповідно початкове й кінцеве значення температур матеріалу допоміжних пристроїв, ^oC;

$c_{доп}$ – середня питома теплоємність матеріалу допоміжних пристроїв, Дж/кг^oC;

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

Якщо нагрівання ведеться в захисній атмосфері, необхідно врахувати кількість теплоти, що витрачається на нагрівання газу $Q_г$:

$$Q_г = c_г \cdot G_г \cdot (t_{г2} - t_{г1}), \quad (4)$$

де $t_{доп1}$, $t_{доп2}$ – відповідно початкове й кінцеве значення температур газу, ^oC;

$c_г$ – середня питома теплоємність газу , Дж/кг^oC;

$G_г$ – 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]:

$$\upsilon_г = G_м \cdot k, \quad (5)$$

де $\upsilon_г$ – об'ємна витрата газу за 1 годину роботи печі, $м^3$/год;

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

При цьому витрата газу $G_г$ за час нагрівання виробу $\tau_{нагр.}$ складе:

$$G_г = \upsilon_г \cdot \gamma \cdot \tau_{нагр}, \quad (6)$$

де γ – щільність газу, кг/$м^3$.

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

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

де $k_{втр} = 1,2$ – 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);

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

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

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

де

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

або

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

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

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

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

де $k_{втр} = 1,25$ – 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 $Q_{кор}$ до повної теплоти $Q_ц$, що витрачається за цикл:

$$\eta_т = Q_{повн} / Q_ц , \quad (12)$$

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

$$\omega_{пит} = Q_ц / G_м. \quad (13)$$

Примітки.

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

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

<u>При тепловому розрахунку методичних електричних печей опору (задача 3)</u> варто звернути увагу на додаткові вихідні дані, окрім розглянутих вище, – це задана продуктивність печі g та питоме завантаження виробів на 1 м довжини печі B, кг/м, що дозволяє визначити довжину печі $L_п = g \cdot \tau / B$, 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 $P_{спож}$ й корисна $P_{корисн}$ потужності для кожної теплової зони печі однакові та визначаються як:

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

$$P_{корисн} = c_м \cdot g_м \cdot (t_{м2} – t_{м1}) / 3600, \quad (15)$$

де $g_м$ – задана продуктивність печі або зони при нагріванні даного матеріалу, кг/ч

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

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

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

$g_г$ – годинна витрата газу; кг/год.

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

$$P_{уст} = k_м \cdot P_{спож}, \quad (17)$$

де $k_м$=1,25 – коефіцієнт запасу потужності.

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

$$\eta_т = P_{корисн} / P_{спож} \quad (18)$$

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

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

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 (задачи 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:

$$P = c_{12} \cdot [(T_н /100)^4 – (T_{вир} /100)^4] \cdot F_н , \quad (20)$$

де P – потужність печі, Вт;

$F_н$ – площа поверхні нагрівального елементу, м^2;

$T_н$, $T_{вир}$ – температура нагрівального елементу й виробу в К, (T = t + 273);

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

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

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

де c_s =5,7 – випромінювальна здатність абсолютно чорного тіла, Вт / (м^2 · К^4) ;

$\varepsilon_{не}$ та $\varepsilon_{вир}$ – коефіцієнти теплового випромінювання нагрівального елементу й виробу (довідкові дані).

З рівняння променистого теплообміну можна визначити температуру $T_н$ нагрівального елементу:

$$T_н = 100 \cdot [(P \cdot c_{12}^{-1} \cdot F_н^{-1}) + (T_{вир} / 100)^4]^{¼} , \quad (23)$$

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

$$\omega_{ід} = P / F_н = c_{12} \cdot [(T_н /100)^4 – (T_{вир} /100)^4] . \quad (24)$$

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

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

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

Розміри нагрівального елементу визначають за формулами:

$$P_н = \omega_{доп} \cdot F_н , \quad (26)$$

та

$$P_н = U_ф^2 / R_н = U_ф^2 \cdot s / (\rho_г \cdot L_н), \quad (27)$$

де $\omega_{доп}$ – допустима питома поверхнева потужність реального нагрівального елементу обраної конструкції, Вт/м^2;

$U_ф$ – фазна напруга, В;

$R_н$ – опір однієї фази нагрівального елементу, Ом;

$L_н$ – довжина нагрівача (дроту або стрічки) на фазу, м;

s – перетин нагрівального елементу, м^2;

$\rho_г$ – питомий електричний опір матеріалу нагрівального елементу при робочій температурі, Ом · м.

Питомий електричний опір $\rho_г$ матеріалу визначають за формулою:

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

де ρ_{20} – питомий опір нагрівального елементу при t = 20°С ;

α – температурний коефіцієнт опору, 1/°С (див. таблицю Д.4);

Δ t – різниця температур, °С.

Значення $\rho_г$ для різних температур можна визначити по таблиці Д.8.

Площа поверхні нагрівального елементу обчислюється як:

$$F_н = П \cdot L_н , \quad (28)$$

де П – периметр нагрівача.

Довжину $L_н$ нагрівального елементу визначають за формулами

$$L_н = P_н / (\omega_{доп} \cdot П), \quad (28)$$

та

$$L_н = U_ф^2 \cdot s / (\rho_г \cdot P_н). \quad (29)$$

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

$$П \cdot s = P_н^2 \cdot \rho_г / (U_ф^2 \cdot \omega_{доп}). \quad (30)$$

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

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

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

$$a = \{ P_н^2 \cdot \rho_г / [2 \cdot m (m + 1) U_ф^2 \cdot \omega_{доп}]\}^{⅓} . \quad (31)$$

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

$$d = [4\, P_н^2 \cdot \rho_г / (\pi^2 \cdot U_ф^2 \cdot \omega_{доп})]^{⅓} . \quad (32)$$

Отримані розрахункові значення $d_{розр}$ або $a_{розр}$ 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 елементу:

$$L_{факт} = U_ф^2 \cdot s_{факт} / (\rho_г \cdot P_н), \quad (33)$$

та

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

де γ – щільність матеріалу нагрівального елементу.

Після визначення основних розрахункових розмірів нагрівача переходять до його конструювання й розміщення в робочому просторі зони (печі). Способи розміщення нагрівального елементу 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 спирали на фазу $l_{сп}$, м, дорівнює

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

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:

$$L_{зіг} = n \cdot h = L_{факт} \cdot h / (2A), \qquad (36)$$

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 елементу й можливості правильного розміщення останнього з метою забезпечення рівномірного нагрівання виробу. Як правило, дротові нагрівачі мають менший діаметр D і більшу довжину спіралі $l_{сп}$ у порівнянні з відповідними параметрами зигзагоподібного нагрівача (A, $l_{зигз.}$), тому спіральні нагрівальні елементи частіше розташовують у кілька рядів на фазу, хоча таке розташування може використовуватися й для стрічкових нагрівачів.

Перевірку можливості розміщення нагрівального елементу 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 $D_п$, розрахункова довжина дроту на фазу $L_ф$, 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 $l_{вит.} = \pi \cdot D$, число витків на фазу $n = L_ф / l_{вит}$ и число витків на один ряд $n' = n / N$;

г) визначити крок спіралі $h_{розр.} = \pi \cdot D_п/n$;

д) зрівняти отримане значення $h_{розр.}$ з тим яке рекомендується. Якщо $h_{розр.}$ перебуває в межах, що рекомендується, то нагрівальний елемент забезпечить необхідну температуру печі. У противному випадку необхідно внести корективи в розрахунок (змінити величину напруги живлення за допомогою перемикання нагрівального елементу 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 $F_{ст.} = 1м^2$

2.1 Дротовий нагрівач із діаметром дроту d і довжиною $L_ф$.

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 $1 \times 1 = 1$ м^2:

$$L_{сп\sum} = 0{,}8 \cdot l^2 / s_ш \text{ , м.}$$

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

2.2 Стрічковий нагрівач довжиною $L_ф$, перетином (a×b) мм.

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

$$L'_{ф\sum} = 0{,}8 \cdot l^2 / s_ш \text{ , м.}$$

Потрібно розміщувати нагрівач $L_{ф\sum} = 3L_ф$, тому із зіставленням результатів $L'_{ф\sum}$ і $L_{ф\sum}$ 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:

$$T_н = T_{вир} + (50 \div 200). \qquad (37)$$

2. За графіком (Рис.Д.1), залежно від температури виробу й температури нагрівача, визначити $\omega_{ід}$.
3. Для прийнятої (або заданої) конструкції нагрівача по Таблиці Д.5 визначити коефіцієнт $\alpha_{еф}$ 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 розмінностями часто є причиною невірного 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, ºС. Маса завантаження виробу становить $G_м$, 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 ºС;

б) завантаження було попередньо нагріто до температури $t_{попер.}$, ºС.

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.

Таблиця 1

№	матеріал виробу	$G_м$, т	$G_{доп}$, т	t_2, ºС	t_1, ºС	$\tau_{нагр.}$, год	вид середовища	$\Delta Q_{нагр.}$, %	$\Delta Q_{випр.}$, %
1	Алюміній	0,60	0,06	650	250	1,0	ОС	15	5
2	Латунь	0,85	0,08	650	300	1,5	ЗС	10	4
3	Мідь	0,90	0,12	820	350	2,0	ОС	12	3
4	Платина	0,55	0,07	900	400	2,5	ЗС	14	5
5	Залізо	1,20	0,15	750	400	3,0	ОС	8	5
6	Чавун	0,85	0,18	800	320	3,5	ОС	16	7
7	Алюміній	0,30	0,11	700	200	4,0	ЗС	13	5
8	Латунь	1,40	0,15	880	350	4,5	ОС	10	5
9	Мідь	1,55	0,20	760	300	5,0	ЗС	14	6
10	Платина	0,95	0,10	830	350	5,5	ЗС	12	5

Примітка. У варіантах 2,4,10 в якості захисного газу використовується дисоційований аміак, а у варіантах 7,9 – азот. Значення теплоємності та щільності газів наведені в додатку (Таблиця Д.2).

Завдання 2. В електричній печі опору нагрівають сталеві вироби в окисному середовищі (ОС) або захищеному – (ЗС); нагрівання виробів здійснюється від температури t_1 = 200 ºС до температури t_2,ºС; маса завантаження виробу становить $G_м$,т; час нагрівання $\tau_{нагр.}$, год, к.к.д. печі $\eta_п$ та інші дані наведені в таблиці 2.

Потрібно визначити:

– середню потужність печі, що забезпечує нагрівання завантаження до заданої температури;

– установлену потужність печі;

– сумарні теплові втрати печі;

– питомі витрати електроенергії;

– як зміниться к.к.д. печі, якщо сумарні теплові втрати печі знизити на 5%;

– чи зміниться при цьому питома витрата електроенергії.

Таблиця 2.

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$G_{м.}$, т	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9
$\tau_{нагр.}$год	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	2,8	3,6	4,2	4,6	5,0
t, ºС	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1050	950
вид середовища	ОС	ЗС	ЗС	ОС	ЗС	ЗС	ЗС	ОС	ОС	ОС
$\eta_п$	0,85	0,83	0,75	0,70	0,80	0,78	0,75	0,88	0,82	0,80

Примітка. Для варіантів 2,5,7 прийняти в якості газу азот; для варіантів 3,6 - коксовий газ (дивись додаток, Таблиця Д.2).

Задача 3. Тризонна електрична піч опору безперервної дії має продуктивність $q_м$, кг/год; маса сталевих допоміжних пристроїв, що проходять через піч разом із навантаженням за 1 годину, дорівнює $g_{доп.}$,кг/год; зміни температури нагрівання по зонах печі показані на графіку; сумарні теплові втрати (у відсотках від корисної потужності $\Delta P = n\% \cdot P_{корис.}$), коефіцієнти запасу потужності по теплових зонах та інші вихідні дані наведені в таблиці 3. Параметр А – коефіцієнт для графіка: $t = A \cdot t_0$, ºС.

Потрібно визначити:

– середню (споживану) та встановлену потужності кожної теплової зони й печі;

– тепловий к.к.д. печі;

– питомі витрати електроенергії при заданій продуктивності печі.

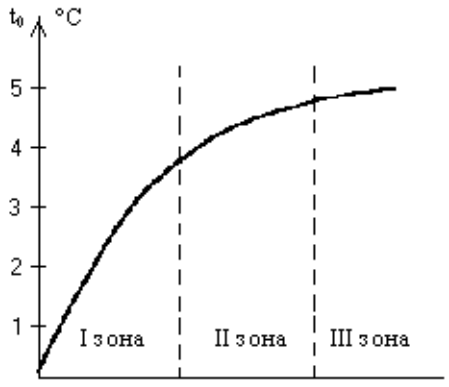

Рисунок 1 – Зміна температури нагрівання по зонах печі

Таблиця 3

№	матеріал виробу	$g_{м.}$, кг/год	$G_{доп.}$, кг/год	A	ΔP,%			$к_м$		
					I	II	III	I	II	III
1	Алюміній	700	65	140	12	7	4	1,45	1,20	1,05
2	Латунь	300	20	120	10	5	3	1,35	1,20	1,03
3	Мідь	700	100	150	13	8	5	1,45	1,15	1,03
4	Платина	150	25	160	18	5	3	1,25	1,10	1,03
5	Сталь	3400	400	200	10	6	4	1,40	1,15	1,05
6	Латунь	250	70	170	14	5	4	1,30	1,12	1,04
7	Алюміній	1000	90	165	15	5	3	1,42	1,15	1,04
8	Чавун	1920	180	150	12	6	4	1,35	1,20	1,05
9	Латунь	460	30	145	10	5	3	1,40	1,15	1,03
10	Сталь	1600	120	180	16	6	4	1,45	1,20	1,04

Задача 4. Шахтна циліндрична піч діаметром $D_{п.}$ призначена для нагрівання сталевих виробів до температури $t_{випр.}$, ºС; потужність трифазної печі дорівнює $P_{п.}$, кВт, а напруга живлення U, В; піч має висоту $H_{п.}$, м; нагрівачі розташовуються тільки на бічних стінках шахтної печі. Визначити розміри нагрівачів дротової (ДНЕ) або стрічкової (СНЕ) печі, що забезпечують необхідну потужність. Перевірити можливість розміщення нагрівачів на стінках печі.

Таблиця 4

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$P_{п.}$, кВт	80	40	60	60	30	75	100	80	38	40
U, В	220	220	220	220	220	380	380	380	380	380
$t_{випр.}$, ºС	800	720	850	780	700	900	850	750	900	800
НЕ	ДНЕ	СНЕ	СНЕ	СНЕ	СНЕ	ДНЕ	СНЕ	СНЕ	ДНЕ	СНЕ
$D_{п.}$, мм	750	800	650	650	700	850	1000	800	800	850
$H_{п.}$, мм	2200	1200	2500	2500	1300	2200	2400	2300	1100	1200

Задача 5. Визначити розміри нагрівачів дротової (ДНЕ) або стрічкової (СНЕ) трифазної однозонної печі. Потужність печі $P_{п.}$, кВт; температура нагрівання виробів у печі $t_{випр.}$, ºС; напруга живильної мережі U, В; нагрівачі

повинні бути розташовані рівномірно на сумарній площі стін $F_{ст.\sum}$. Матеріал виробу, що нагрівається, та інші дані приведені в таблиці 5.

Таблиця 5

№ варіанта	Матеріал виробу	$P_{п.}$, кВт	U, В	$t_{випр.}$, ºС	НЕ	$F_{ст.\sum}$
1	Сталь у ЗС	65	380	1050	ДНЕ	1,4
2	Сталь	60	380	1000	СНЕ	1,8
3	Алюміній	55	380	850	ДНЕ	1,6
4	Алюміній	50	380	800	СНЕ	1,6
5	Сталь у ЗС	45	380	950	СНЕ	1,5
6	Латунь	40	220	900	ДНЕ	1,2
7	Латунь	30	220	750	СНЕ	1,4
8	Мідь	35	220	700	ДНЕ	1,2
9	Мідь	25	220	800	СНЕ	1,2
10	Сталь	20	220	850	ДНЕ	1,0

4. ДОДАТКИ

Довідкові дані

Співвідношення фізичних одиниць

1 ккал = 4186 Дж	1 ккал = 1,16 · 10^{-3} кВт·ч
1 Дж = 2,78 · 10^{-7} кВт·ч	1 Вт · с = 1 Дж

Таблиця Д.1 - Питома теплоємність деяких металів при 20°С

Метал	ккал/(кг·°С)	Дж/(кг·°С)
Алюміній	0,210	879,0
Залізо	0,115	481,4
Латунь	0,099	414,4
Мідь	0,095	397,4
Платина	0,032	134,0
Сталь	0,110...0,160	460,5…670,0
Чавун	0,120	520,3

Таблиця Д.2 - Питома теплоємність та щільність захисних газів

Характеристика газу	Диссоційований аміак	Азот	Водень	Коксовий газ
$c_г$, Дж / (кг·°С)	2861	1112	1472	1098
γ, кг/м^3	0,771	1,250	0,090	1,048

Таблиця Д.3 - Температура, що рекомендується й максимально припустима температура нагрівальних елементів

Найменування матеріалу нагрівача	Температура, що рекомендується, °С		Макс. припустима температура, °С	
	Безперервний режим	Переривистий режим	Безперервний режим	Переривистий режим
Х20Н80 і Х20Н80Т	1050	1000	1150	1100
Х15Н60	950	900	10580	1000
Х25Н20, Х23Н18 (ЕИ-417)	850	800	1000	950
Х13Ю4 (фехраль)	750	650	900	800
ОХ23Ю5А (ЕИ-595)	1050	1000	1200	1150
ОХ27Ю5А (ЕИ-626)	1150	1100	1300	1250
Карборундові нагрівачі	1350	1300	1450	1400
НЕ з дисиліцида молібдену	1550	1500	1700	1650

Примітка. Дані таблиці ставляться до металевих НЕ з d = 4 мм або *а* = 2 мм. При збільшенні перетину нагрівачів (d ≥ 7-10 мм, *а* ≥ 3 мм) приведені в таблиці значення температур можуть бути збільшені на 50°С. При малих перетинах (d ≤ 1,0 мм, *а* ≤ 0,5 мм) ці значення повинні бути зменшені на 50°С.

Таблиця Д.4 Основні властивості матеріалів для нагрівальних елементів

Матеріал		Щільність, γ кг/дм^3	Питомий электр. опір при 20°С,ρ_{20} × 10-6 Ом·м	Температурн. коеф ел.опіру, (1/°С)× 10^{-3}	Температура плавлення, °С	Макс. робоча температура, °С
Сплави						
Ніхроми	Х20Н 80-Н	8,4	1,1	0,035	1400	1100
	Х20Н 80-Т3	8,2	1,27	0,022	1400	1100
	Х15Н 60-Н	7,9	1,1	0,1	1390	1000
Залізохромо-нікелеві сплави	Х25Н20С2	7,84	0,92	0,38	1420	900
	Х23Н18	7,8	0,9	0,4	1420	900
Ніхроми з алюмінієм	ХН70Ю	7,9	1,34	–	1400	1200
	Х15Н60Ю3А	7,9	1,21	–	1390	1200
Залізохромо-алюмінієві сплави	ОХ27Ю5А	7,2	1,42	0,022	1525	1300
	ОХ23Ю5А	7,27	1,35	0,05	1525	1200
	Х13Ю4 (фехраль)	7,3	1,26	0,15	1450	800
Чисті тугоплавкі метали						
Молібден		10,2	0,052	5,1	2625	1700[1] 2200[2]
Тантал		16,6	0,15	4,0	3000	2500 2800
Вольфрам		19,34	0,05	4,3	3400	2500 2800
Ніобій		8,5	0,17	4,0	2470	1700[1] 2200[2]
Неметалічні матеріали						
Карборунд		2,3	800-1900	змін.	–	1500
Графить		1,6	8-13	–"–	–	2300 2800
Вугілля		1,6	40-60	–"–	–	2300 2800
Дисиліцид молібдену		5,6	0,2-0,4	середн. 4,8	–	1700

[1] - у вакуумі, знаменник; [2] - у захисній атмосфері.

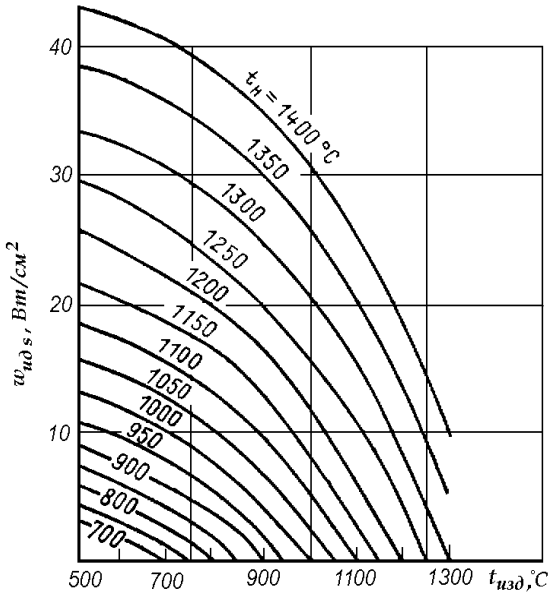

Рис.Д.1 - Криві питомої поверхневої потужності ідеального абсолютно чорного нагрівача

Таблиця Д.5 – Рекомендуються значення $\alpha_{еф}$ при нагріванні різних матеріалів

Тип нагрівача	Матеріал виробів, що нагріваються				
	Сталь	Мідь	Латунь	Сталь у захищ. атмосф.	Алюміній
1	2	3	4	5	6
Стрічковий зигзагоподібний нагрівач	0,46	0,47	0,48	0,51	0,54
Плоский стрічковий зигзагоподібний НЕ	0,75	0,76	0,77	0,79	0,81
Литий нагрівач	0,61	0,62	0,64	0,67	0,70
Дротові спіралі (відкриті й на трубках)	0,46	0,47	0,48	0,49	0,51
Стрічковий зигзаг в пазу	0,44	0,45	0,46	0,50	0,54
Дротова спіраль у пазу	0,31	0,32	0,33	0,34	0,36
Стрічковий зигзаг на кераміч. поличці	0,41	0,43	0,44	0,47	0,50
Дротова спіраль на керамічній поличці	0,39	0,40	0,41	0,44	0,47
Дротовий зигзаг	0,68	0,69	0,71	0,73	0,75

Таблиця Д.6 - Площа поперечного перетину, площа поверхні й вага 1 м стрічки з різних сплавів

Розмір стрічки, мм	Площа поперечного перетину, мм^2	Площа поверхні 1 м, см^2	Вага 1 м стрічки, г, для сплаву марки		
			Х15Н60, Х15Н60Ю3, Х20Н80, Х20Н80Т, Х20Н80Т3	Х23Н18 (Х25Н20), Х27Н70Ю3	ОХ23Ю5А ОХ27Ю5А
2,0х10	20	240	168	158	145
1,5х15	22,5	330	189	177,75	163
2,0х15	30	340	252	237	271
2,0х20	40	444	370	347	319
2,5х20	50	450	420	395	362
3,0х20	60	460	504	474	435
2,2х25	55	544	462	434	399
2,5х25	62,5	550	525	493,75	453
3,0х25	75	560	630	593	545
2,0х30	60	644	554	521	478
2,5х30	75	650	630	593	543
3,0х30	90	660	756	711	652
2,2х36	79	764	664	624	573
2,5х36	90	770	756	711	652,5
3,0х36	108	780	907	853	783
2,0х40	88	844	740	695	638
2,5х40	100	850	840	790	725
3,0х40	120	860	1020	947	870

Таблиця Д.7 - Площа поперечного перетину, площа поверхні й вага 1 м дроту з різних сплавів

Діаметр, мм^2	Площа поперечного перетину, мм^2	Площа поверхні 1 м, см^2	Вага 1 м дроту, г, для сплаву марки		
			Х15Н60, Х15Н60Ю3, Х20Н80, Х20Н80Т, Х20Н80Т3	Х23Н18 (Х25Н20), Х27Н70Ю3	ОХ23Ю5А ОХ27Ю5А
2,0	3,1416	62,80	26,7	24,8	22,8
2,2	3,8013	69,08	31,2	29,3	27,6
2,5	4,9087	78,50	41,2	38,8	35,6
2,8	6,1694	87,92	51,8	48,7	45,7
3,2	8,0425	100,53	67,7	63,6	59,7
3,6	10,1787	113,10	85,5	80,3	73,8
4,0	12,5600	125,60	105,5	99,1	91,1
4,5	15,8962	141,30	133,5	125,6	115,2
5,0	19,6250	157,00	164,8	145,0	141,3
5,5	24,6301	175,93	206,7	181,9	177,2
6,5	31,1724	197,92	261,6	246,0	225,7
7,0	38,4400	219,80	322,9	303,6	278,7
8,0	50,2400	251,20	422,0	396,9	364,6
9,0	63,3350	282,60	532,0	500,3	459,2
10,0	78,5000	314,00	659,4	620,1	569,1
11,0	94,9850	345,40	797,9	750,4	698,6
12,0	113,0400	376,80	949,5	893,0	819,6
13,0	132,7323	408,41	1114,1	1048,0	961,8
14,0	153,9380	839,82	1292,3	1215,4	1063,2
15,0	176,7142	471,24	1487,4	1395,2	1220,5
16,0	204,0618	502,65	1686,8	1587,3	1388,5
17,0	226,9799	534,07	1906,0	1791,9	1567,5
18,0	254,4687	565,49	2136,0	2008,9	1757,3
19,0	283,5285	596,91	2379,8	2238,1	1957,9
20,0	314,1590	628,32	2636,8	2478,8	2169,3

Таблиця П.8 - Основні характеристики матеріалів для нагрівальних елементів

Найменування матеріалу, марка, хімічний склад, %	Щільність при 0°С $\gamma_м$, кг/м^3	Питомий електричний опір, ρ×10-6, Ом·м	Питома теплоємність із, ×10^3 Дж/(кг·°С)	Коефіцієнт теплопровідності λ, Вт/(м·°С)
Сортова сталь (прокат)	7860	(0,12–0,15)+(7–10)·10^{-3} t	0,481	45–55
Фехраль Х13Ю4 (ЕИ-60) Cr 12–15; Al 3,5–5,5; Fe – інше	7400	1,26(20°С); 1,28(200°С);1,32(400°С); 1,42(800°С)	–	–
Х25Н20 (ЕП-74) Cr 24-27; Ni 17-20	7880	0,92(20°С); 1,08(400°С); 1,12(600°С); 1,3(800°С);	0,50	16,0
Потрійний ніхром Х15Н60 (ЕХН60) Cr 13-18; Ni 55-61	8200	1,11(20°С); 1,18(400°С); 1,2(600°С); 1,21(800°С); 1,23(1000°С);	0,46	16,0
Подвійний ніхром Х20Н80 (ЕХН80) Cr 20–23; Ni 75–78	8400	1,09(20°С); 1,13(600°С); 1,11(800°С); 1,12(1000°С);	0,44	14,2
ХН70Ю (ЕИ-652) Cr 26-29; Al 2,6-3,5; Ni - інше; сплав модифікований	7900	1,34(20°С); 1,42(200°С); 1,4(600°С); 1,4(800°С); 1,45(1000°С);	–	13,5
ОХ23Ю5А (ЕИ-595) Cr 21,5–23,5;Al 4,5–5,2; сплав модифікований	7270	1,35(20°С); 1,42(600°С); 1,45(800°С); 1,46(1200°С);	–	19,5
ОХ27Ю5А (ЕИ-626) Cr 26,0–28,0; Al 5,0–5,8; сплав модифікований	7190	1,42(20°С); 1,46(600°С); 1,48(1000°С); 1,48(1200°С);	–	19,5

Максим. робоча температура $t_{макс}$, °С	Технологічні й експлуатаційні властивості	Області застосування
6	7	8
400-500 (1000ºС у водні)	Мінливість електричних властивостей, високий температурний коефіцієнт, змінні магнітні властивості, корозійна	Низькотемпературні нагрівачі (в окремих випадках) при великих перетинах, прутки, смуги, труби
800	Магнітна, феритного класу, окалино-стійка, не жароміцна, корозійна пластичність та зварюваність задовільні	Низькотемпературні печі до 500 ºС побутові нагрівальні прилади, може працювати в сірчистій атмосфері Дріт і стрічка
1000	Немагнітна, аустенітного класу окалиностійка, жароміцна пластичність висока, зварюваність добра	Середньотемпературні печі до 900ºС, повітря, вакуум, захисні середовища, роз'їдається в сірчистій атмосфері. Дріт
1000	Немагнітна, аустенітного класу окалиностійка, жароміцна пластичність висока, зварюваність добра	Середньотемпературні печі до 950ºС, повітря, вакуум, захисні середовища, роз'їдається в сірчистій атмосфері. Дріт і стрічка
1100	Немагнітна, аустенітного класу окалиностійка, жароміцна пластичність висока, зварюваність добра	Середньотемпературні печі до 1050ºС, повітря, вакуум, захисні середовища, роз'їдається в сірчистій атмосфері. Дріт і стрічка
1200	Немагнітна, висока окалиностійкість у повітряному середовищі, не жароміцна, пластичність зварюваність задовільна	Середньотемпературні печі до 1100ºС, повітря, вакуум, захисні середовища, роз'їдається в сірчистій атмосфері. Дріт
1200	Магнітна, феритна, корозійна окалиностійка, не жароміцна пластичність і зварюваність задовільна	Середньотемпературні печі до 1150ºС, повітря, вакуум не вище 10 Па, сірчисті середовища. Дріт і стрічка
1300	Магнітна, феритна, корозійна окалиностійка, не жароміцна пластичність і зварюваність задовільна	Середньотемпературні печі до 1250ºС повітря, вакуум не вище 10 Па, сірчисті середовища. Дріт і стрічка

5. ЗАВДАННЯ ДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

1. Визначення витрат та споживаної електроенергії при використанні насосних установок.
2. Визначення витрат та споживаної електроенергії при використанні вентиляційних установок.
3. Визначення витрат та споживаної електроенергії при використанні компресорних установок.
4. Визначення витрат та споживаної електроенергії при використанні установок індукційного нагріву.
5. Визначення витрат та споживаної електроенергії при використанні установок діелектричного нагріву.
6. Визначення витрат та споживаної електроенергії при використанні дугових сталеплавильних печей прямої дії.
7. Визначення витрат та споживаної електроенергії при використанні установок зварювання металу.
8. Визначення витрат та споживаної електроенергії при використанні електролізних установок.
9. Визначення витрат та споживаної електроенергії при використанні ультразвукових установок.
10. Визначення витрат та споживаної електроенергії при використанні установок імпульсної обробки тиском.
11. Визначення витрат та споживаної електроенергії в нагрівальних печах.
12. Визначення витрат та споживаної електроенергії в термічних печах.
13. Визначення витрат та споживаної електроенергії при використанні установок обробки металу тиском.
14. Визначення витрат та споживаної електроенергії при використанні освітлювальних установок.

15. Визначення витрат та споживаної електроенергії при використанні установок опалення.

16. Визначення витрат та споживаної електроенергії при використанні побутових приладів.

6. ЛІТЕРАТУРА

1. Электротехнологические промышленные установки / под ред. Свенчанского. – М.: Энергоатомиздат, 1982.
2. Кацевич Л.С. Теория теплопередачи и тепловые расчеты электрических печей. – М.: Энергия, 1977.
3. Свенчанский А.Д. Электрические промышленные печи. ч.1. – М.: Энергия, 1972.
4. Электрические промышленные печи. Дуговые печи и установки специального нагрева / под ред. Свенчанского А.Д. – М.: Энергоатомиздат, 1981.

ЗМІСТ

	Вступ	3
1.	Загальні методичні вказівки	4
2.	Методичні вказівки до виконання практичних робіт	5
3.	Завдання на практичні роботи	16
4.	Додатки	21
5.	Завдання до самостійної роботи	28
6.	Література	29