

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ОСНОВИ ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЙ В СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ

Методичні вказівки
щодо проведення практичних занять

СУМИ 2024

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра енергетики та електротехнічних систем**

ОСНОВИ ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЙ В СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ

**Методичні вказівки щодо проведення
практичних занять**

для здобувачів вищої освіти освітньої програми «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
за спеціальністю 141
«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(2 курсу денної та заочної форми навчання)
за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти

Укладач: Сіренко В.Ф., к.т.н., доцент кафедри енергетики та електротехнічних систем

Вольвач Т.С., асистент кафедри енергетики та електротехнічних систем

Лисенко В.В., зав. навч.-методичним кабінетом кафедри енергетики та електротехнічних систем

Основи електротехнологій в сільському господарстві: методичні вказівки щодо проведення практичних занять для здобувачів вищої освіти освітньої програми «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» 2 курсу денної та заочної форми навчання) за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти - Суми, 2024. - 129с.

Рецензенти:

Кравченко В.О. – кандидат фізико-математичних наук, старший викладач кафедри енергетики та електротехнічних систем Сумського НАУ.

Лобода В.Б. – кандидат фізико-математичних наук, професор кафедри охорони праці та фізики Сумського НАУ.

Відповідальний за випуск:

Чепіжний А.В., к.т.н., доцент, завідувач кафедри «Енергетики та електротехнічних систем».

Рекомендовано до видання навчально-методичною радою інженерно - технологічного факультету СНАУ.

Протокол № 6 від „ 22” травня 2024 р.

1	ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №1 Ознайомлення з лінійними електричними колами постійного струму	6
2	ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 2 Електричні кола змінного синусоїдального струму.....	13
3	ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 3 Коронний розряд.....	18
4	ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 4 Електричне очищення газів.....	23
5	ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 5 Відкриті нагрівальні елементи. Трубчасті електронагрівачі.....	31
6	ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 6 Електричний розрахунок нагрівних елементів.....	37
7	ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №7 Визначення основних параметрів електродного водонагрівача...	44
8	ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 8 Розрахунок систем електротеплопостачання (ЕТП) молочних ферм.....	52
9	ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 9 Визначення параметрів, вибір електрокалориферної установки і перевірочний розрахунок електрокалорифера.....	63
10	ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 10 Вивчення будови та принципу роботи випрямляча та перетворювача частоти.....	69
11	ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 11 Розрахунок електрообігріву парників та теплиць.....	83
12	ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 12. Розрахунок індуктора для високоякісного загартовування деталей.....	93
13	ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 13. Розрахунок параметрів електроплазмолізатора рослинної сировини.....	101
14	ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 14 Розрахунок ємності-нагрівача з плівковим електронагрівачем...	106
15	ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 15 Розрахунок технологічних параметрів процесу і установки для електроаерозольної обробки птиці.....	119
16	Список використаних джерел	127

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №1

Тема: Ознайомлення з лінійними електричними колами постійного струму

План

1. Електричні кола постійного струму з послідовним, паралельним та змішаним з'єднанням його структурних елементів
2. Дія законів Ома і Кірхгофа в лінійних електричних колах постійного струму

1. Електричні кола постійного струму з послідовним, паралельним та змішаним з'єднанням його структурних елементів
Мета роботи: Оволодіти методиками розрахунку ел. кіл постійного струму

1.1. Обсяг завдання

Відповідно до варіанта розрахувати електричне коло, (рис. 1.1-1.10) та виконати такі операції:

- 1) спростити схему шляхом заміни послідовно й паралельно з'єднаних опорів еквівалентними;
- 2) методом законів Кірхгофа;
- 3) скласти баланс потужності для вихідної (не спрощеної схеми).

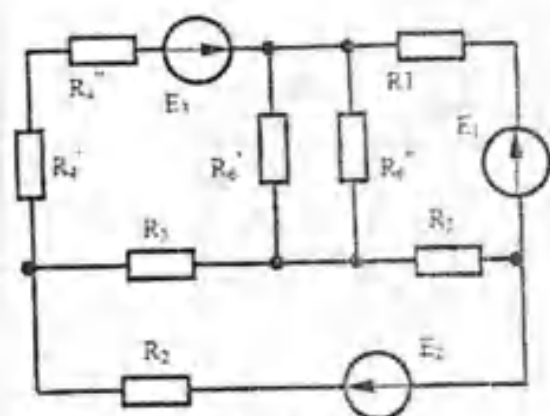


Рис. 1.1

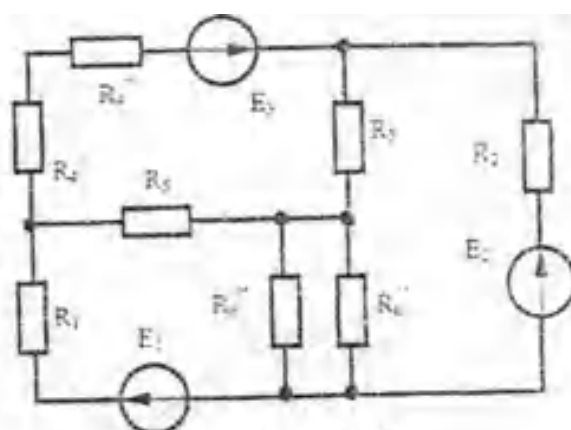


Рис. 1.2

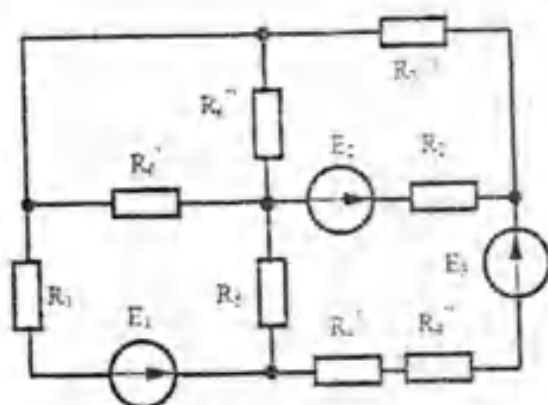


Рис. 1.3

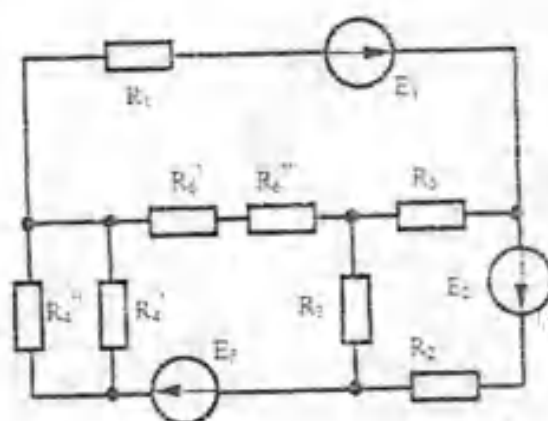


Рис. 1.4

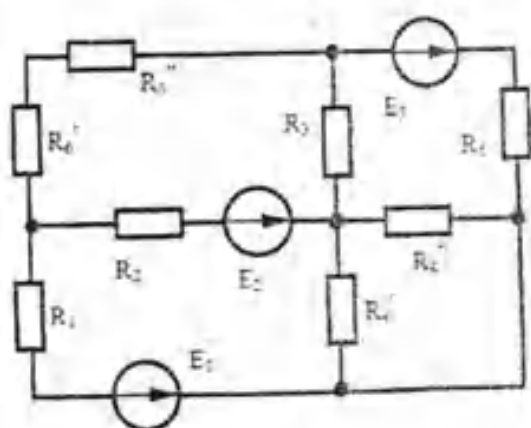


Рис. 1.5

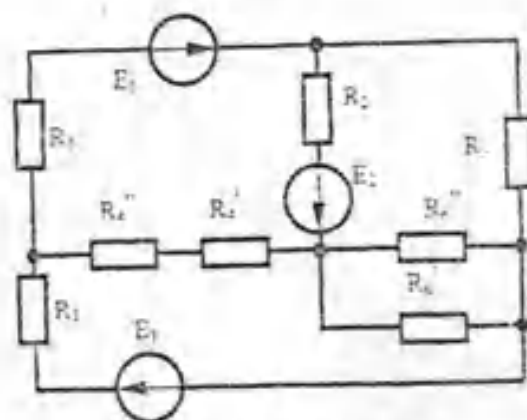


Рис. 1.6

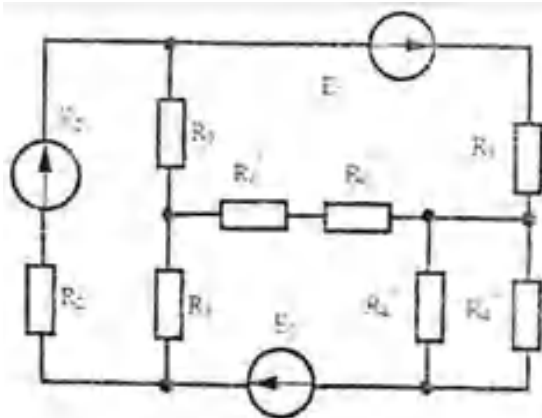


Рис. 1.7

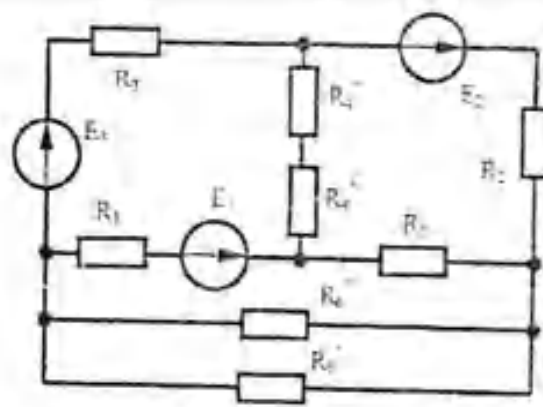


Рис. 1.8

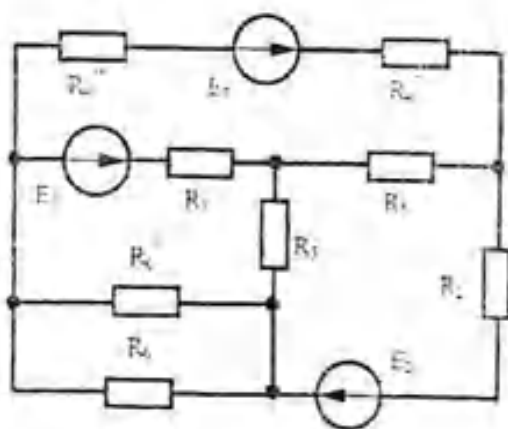


Рис. 1.9

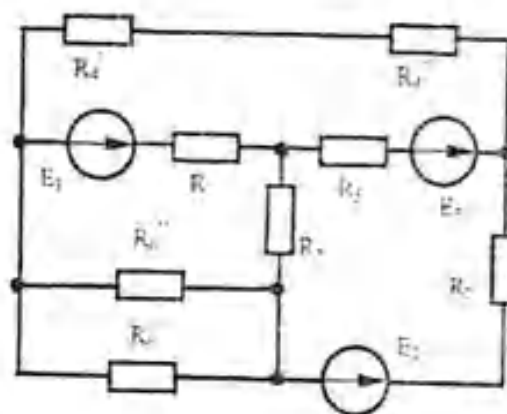


Рис. 1.10

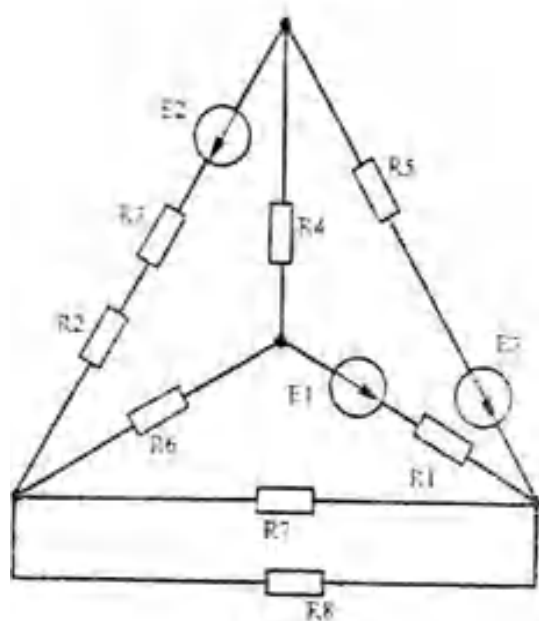


Рис. 1.11

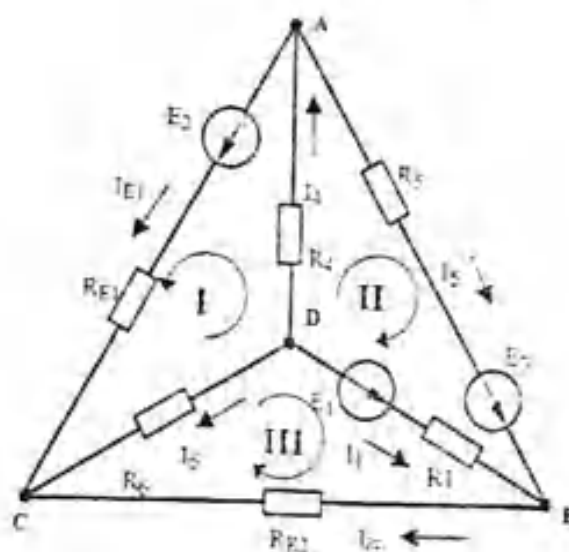


Рис. 1.12

1.2. Вказівки до вибору варіанта

Розрахункову схему і вихідні дані вибирати з табл. 1.1 та 1.2 згідно з останніми двома цифрами залікової книжки (шифру).

Таблиця 1.1

Розрахункові дані	Число одиниць шифру									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Рис.№	1.10	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9
E ₁ , В	200	220	150	150	100	220	250	180	127	180
E ₂ , В	200	150	80	120	200	180	220	230	150	180
E ₃ , В	50	70	200	100	80	90	40	50	180	150

Таблиця 1.2

Розрахункові дані	Число одиниць шифру									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
R ₁ , Ом	160	6	30	65	10	20	40	35	15	30
R ₂ , Ом	90	18	40	60	20	30	20	25	20	15
R ₃ , Ом	65	80	60	30	40	35	38	45	30	25
R ₄ ', Ом	50	12	8	12	150	120	25	30	85	45
R ₄ '', Ом	150	6	12	100	60	40	20	120	10	10
R ₅ , Ом	30	10	35	70	35	50	45	40	40	50
R ₆ ', Ом	75	36	150	35	20	100	120	25	60	70
R ₆ '', Ом	180	50	80	15	50	80	60	15	90	80

1.3. Методичні вказівки до аналізу кіл постійного струму

Важливим етапом розрахунку простого електричного кола (містить одне джерело ЕРС — E), є визначення еквівалентного опору $R_{\text{екв}}$ кола або його ділянок. За послідовного з'єднання л омічних опорів й, значення еквівалентного опору $R_{\text{екв}}$ (Ом) та за паралельного з'єднання опорів - значення еквівалентної провідності $g_{\text{екв}}$ (См) розраховують за формулами, відповідно:

$$R_{\text{екв}} = \sum_{i=1}^n R_i; \quad g_{\text{екв}} = R_{\text{екв}}^{-1} = \sum_{i=1}^n g_i = \sum_{i=1}^n R_i^{-1}.$$

Струм кола визначають за законом Ома:

$$I = E/R_{\text{екв}}; \quad I = E g_{\text{екв}},$$

або за першим законом Кірхгофа,

Спади напруг у вітках кола визначають з застосуванням закону Ома або другого закону Кірхгофа.

Для аналізу розгалужених кіл з кількома джерелами енергії (складних кіл) використовують спеціальні методи: **1) метод законів Кірхгофа,**

2) контурних струмів, накладання, вузлових потенціалів, еквівалентного генератора та інші.

Алгоритми використання перших двох методів покажемо на прикладі числового розрахунку електричного кола, зображеного на рис.1.11 при: $R_1=5$ Ом, $R_2=10$ Ом, $R_3=15$ Ом, $R_4=20$ Ом, $R_5=15$ Ом, $R_6=10$ Ом, $R_7=40$ Ом, $R_8=60$ Ом, $E_1=40$ В, $E_2=30$ В, $E_3=20$ В.

З метою спрощення розрахункової схеми: **послідовно** ввімкнені опори R_2 та R_3 замінимо еквівалентним опором R_{E1} , Ом:

$$R_{E1} = R_2 + R_3 = 25,$$

а **паралельно** з'єднані опори R_7 та R_8 — еквівалентних R_{E2} , Ом:

$$\frac{1}{R_{E2}} = \frac{1}{R_7} + \frac{1}{R_8}; \quad R_{E2} = \frac{40 \cdot 60}{40 + 60} = 24.$$

Після спрощення схема буде мати вигляд, зображений на рис. 1.12.

Незалежно від методу розв'язання задачі спочатку потрібно визначити кількість віток p , електричних вузлів m та незалежних (які відрізняються хоч би однією новою віткою, але всередині яких немає віток) контурів k кола.

Для схеми, наведеної на рис. 1.12, маємо: шість **віток (ділянок)** ($p=6$) — АВ, ВС, СА, АД, BD, CD; чотири вузли ($m=4$) — А, В, С, D.

Кількість незалежних контурів

$$k = p - (m - 1)$$

Для схеми маємо **три незалежних контури**: I — ACD, II — ABD, III — CDB.

Далі довільно задаємось напрямками дії **струмів у вітках ділянках** (I_1 – I_6) та напрямками обходу незалежних контурів кола — напрямки дії контурних струмів I_I , I_{II} , I_{III} .

У разі розв'язання задачі методом законів Кірхгофа для кола, що містить p віток та m вузлів складають систему із p рівнянь.

Перший закон Кірхгофа

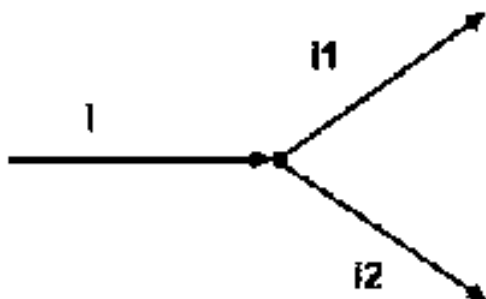
Формулювання №1

Сума всіх струмів, що сходяться у вузол, дорівнює сумі всіх струмів, що випливають із вузла.

Формулювання №2

Алгебраїчна сума струмів, що сходяться у вузлі, дорівнює нулю.

$$\sum_{k=1}^n I_k = 0$$



Іншими словами, скільки струму втікає у вузол, стільки з нього і витікає. Цей закон випливає із закону збереження заряду.

Вузол – це певне місце на схемі, в якому сходиться 3 або більше проводів.

На малюнку видно, що струм “ I ” входить у вузол, а з вузла виходять струми i_1 та i_2 . Значення струмів, що витікають, беруться зі зворотним знаком:

$$I - i_1 - i_2 = 0.$$

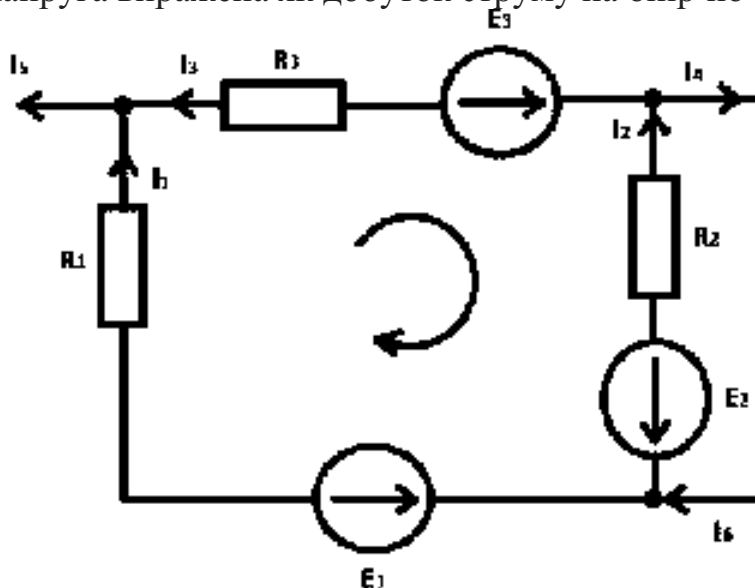
Струм i розділяється на два менших струми і дорівнює сумі струмів i_1 та i_2 :
 $i = i_1 + i_2$.

Другий закон Кірхгофа

Сума падінь напруг у контурі дорівнює сумі всіх ЕРС.

$$\sum_{l=1}^n E_l = \sum_{k=1}^m I_k R_k$$

Напруга виражена як добуток струму на опір по **закону Ома**



Необхідно задати стрілкою напрямлення обходу контура. Потім просумувати ЕРС та напругу, беручи зі знаком плюс, якщо величина співпадає з напрямком обходу і мінус, якщо не співпадає. Складемо рівняння для нашої схеми дивлячись на стрілку E_2 та E_3 співпадають по напрямленню, а отже знак плюс, а E_1 не співпадає отже знак мінус. Також дивимось і на напругу струм I_1 співпадає, а I_2 та I_3 направлені протилежно.

Отже:

$$E_1 + E_2 + E_3 = I_1 R_1 - I_2 R_2 - I_3 R_3$$

При цьому, $(m - 1)$ рівняння складають за першим, і k : рівнянь — за другим законами Кірхгофа. Для схеми Рис.1.12 система рівнянь має такий вигляд:

$$\begin{cases} I_4 - I_5 - I_{E1} = 0 - \text{для вузла } A; \\ I_1 + I_5 - I_{E2} = 0 - \text{для вузла } B; \\ I_6 + I_{E1} + I_{E2} = 0 - \text{для вузла } C; \\ R_{E1} I_{E1} + R_4 I_4 - R_6 I_6 = E_2 - \text{для контуру } I; \\ R_5 I_5 + R_4 I_4 - R_1 I_1 = E_3 - E_1 - \text{для контуру } II; \\ R_1 I_1 + R_{E2} I_{E2} - R_6 I_6 = E_1 - \text{для контуру } III. \end{cases}$$

Після підстановки значень $R_1 \dots R_6$, $E_1 \dots E_3$ та розв'язання системи відносно струмів (А) у вітках кола одержимо:

$$\begin{aligned} I_1 &= 1,501; & I_{E1} &= 0,676; & I_{E2} &= 0,756; \\ I_4 &= -0,066; & I_5 &= -0,745; & I_6 &= -1,432. \end{aligned}$$

У даному випадку маємо від'ємні значення I_4 , I_5 , та I_6 . Це означає, що напрямки дії цих струмів у вітках ділянках

обрані не правильно, але змінювати їх на протилежні не потрібно.

4. Розрахувати одне з електричних кіл методом Кірхгофа?

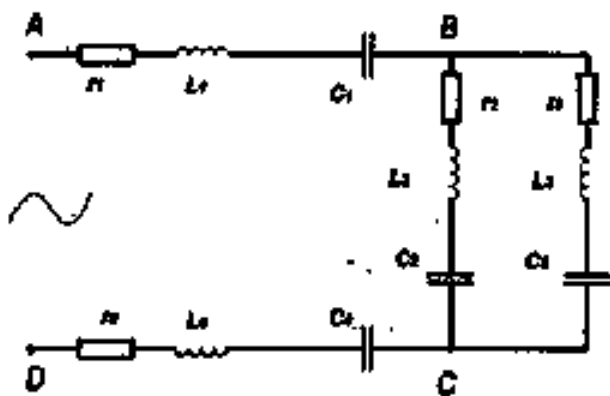
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 2**Тема: Електричні кола змінного синусоїдального струму****План**

1. Ознайомлення з лінійним електричним синусоїдальним струмом
2. З'єднання структурних елементів в «зірку» та «трикутник»

1. Ознайомлення з лінійним електричним синусоїдальним струмом

Відповідно до варіанта розрахувати електричне коло, зображене на рис.1 та виконати такі операції:

- 1) спростити схему та визначити опір кола відносно затискачів джерела синусоїдного струму частотою $f = 50$ Гц;
- 2) визначити струми та спади напруг всіх ділянок кола;



3) скласти баланс потужності джерела та споживачів, порівнявши окремо активні та реактивні потужності;

4) на комплексній площині побудувати суміщену векторну діаграму струмів і напруг.

1. Вказівки до вибору варіанта

Значення напруги на ділянці кола, опір активних елементів, індуктивність і ємність реактивних елементів розрахункової схеми вибирають з таблиці згідно з останніми двома цифрами (одиниці та десятки) залікової книжки (шифру) або за кодовим номером, що його встановлює викладач.

Таблиця 2.1

Число десятиків шифру	U, В	Активний опір, Ом				Число одиниць шифру	Індуктивність, мГн				Ємність, мкФ			
		r ₀	r ₁	r ₂	r ₃		L ₀	L ₁	L ₂	L ₃	C ₀	C ₁	C ₂	C ₃
0	110	-	12	20	19	0	16	24	32	-	-	300	350	400
1	127	2	-	18	17	1	40	48	-	58	450	-	500	600
2	60	4	7	-	15	2	60	-	55	50	650	700	-	750
3	36	6	9	14	-	3	-	45	50	55	300	350	400	-
4	100	8	11	-	11	4	25	-	30	35	450	500	-	550
5	200	10	-	10	9	5	40	45	-	50	600	-	650	700
6	127	-	15	8	7	6	55	60	65	-	-	800	850	900
7	130	14	-	6	5	7	75	70	-	60	300	-	350	400
8	220	16	19	-	3	8	50	-	55	60	450	500	-	550

9	42	18	10	2	-	9	-	45	70	35	600	650	300	-
---	----	----	----	---	---	---	---	----	----	----	-----	-----	-----	---

Методичні вказівки до аналізу

На відміну від кіл постійного струму, де наявний тільки омичний опір R , в колах змінного струму розрізняють активний r (аналог омичного), реактивний x (індуктивний — $x_L = 2\pi fL$ та ємнісний — $x_C = (2\pi fC)^{-1}$) і повний Z опори. Разом з тим, методики розрахунків кіл змінного і постійного струму по суті аналогічні.

За послідовного з'єднання n активних r , індуктивних x_L та ємнісних x_C опорів, повний опір кола (ділянки) розраховують за такою формулою:

$$Z = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n r_i\right)^2 + \left[\sum_{i=1}^n (x_L)_i - \sum_{i=1}^n (x_C)_i\right]^2}.$$

У розрахунках паралельного з'єднання використовують поняття провідності: активна — $g=1/r$; реактивна — $b=1/(X_L-X_C)$; повна — $Y=1/Z = \sqrt{g^2 + b^2}$.

Струми та спади напруг на ділянках кола розраховують за законом Ома або з використанням законів Кірхгофа. Проте у разі застосування законів Кірхгофа діючі значення струмів і напруг, на відміну від кіл постійного струму, сумують не алгебраїчно, а геометрично. Щоб зменшити похибку, геометричні дії з векторами електричних величин часто замінюють алгебраїчними операціями з комплексними числами. Звідси поділ методів розрахунку розгалужених кіл змінного струму на класичний (провідностей) та символічний (комплексних чисел). Зазначимо, що використання символічного методу дає можливість суттєво скоротити розрахунок кола та одержувати результати у формі, більш прийнятній для аналізу процесів, які відбуваються у колі.

2. З'єднання структурних елементів в «зірку» та «трикутник»

Методику використання символічного методу для аналізу розгалуженого кола змінного струму покажемо на прикладі числового розрахунку схеми, наведеної на

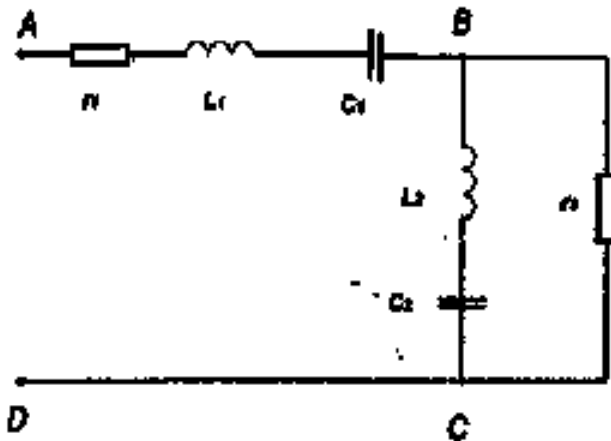


рис.2. де $U_{AB}=110$ В, $f=50$ Гц, $r_1=5$ Ом, $r_3=1$ ГОм, $L_1=47,75$ мГн, $L_2=32,84$ мГн, $C_1=318,3$ мкФ, $C_2=212,2$ мкФ. Обчислимо струми у вітках кола складанням балансу потужності джерела та споживачів

доведемо правильність зроблених обчислень, побудуємо суміщену діаграму струмів та напруг кола та проаналізуємо характер навантажень у вітках і всього кола.

Відповідно до завдання створимо розрахункову схему (рис.2.2), в яку ввійдуть

тільки ті елементи, значення яких в завданні не дорівнює нулю. За заданими значеннями індуктивності L та ємності C розраховуємо реактивні опори (Ом) ділянок кола:

$$X_{L1} = 2\pi f L_1 = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 47,75 \cdot 10^{-3} = 15;$$

$$X_{C1} = (2\pi f C_1)^{-1} = (2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 318,6 \cdot 10^{-6})^{-1} = 10;$$

$$X_{L2} = 2\pi f L_2 = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 31,84 \cdot 10^{-3} = 10;$$

$$X_{C3} = (2\pi f C_3)^{-1} = (2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 212,2 \cdot 10^{-6})^{-1} = 15$$

Далі визначаємо комплекси опорів (Ом) відповідних ділянок кола:

$$\underline{Z}_1 = r_1 + j(X_{L1} - X_{C1}) = 5 + j5 = 7,07e^{j45^\circ};$$

$$\underline{Z}_2 = r_2 + jX_{L2} = 5 + j10 = 11,66e^{j59,03^\circ};$$

$$\underline{Z}_3 = r_3 + jX_{C3} = 11 - j15 = 18,6e^{-j53,75^\circ}.$$

Подання опорів ділянок у вигляді комплексів дає підстави привести розрахункову схему до вигляду, зображеного на рис.2.3. Тут опори $\underline{Z}_2$ та $\underline{Z}_3$ ввімкнені паралельно. Отже, еквівалентний опір (Ом)

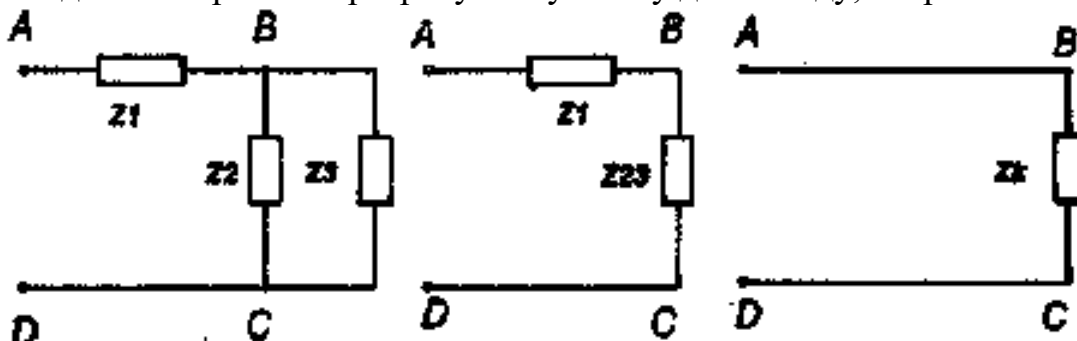
$$\underline{Z}_{23} = \frac{\underline{Z}_2 \cdot \underline{Z}_3}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3} = \frac{11,66e^{j59,03^\circ} \cdot 18,6e^{-j53,75^\circ}}{5 + j10 + 11 - j15} = 12,2e^{j21,54^\circ} = 11,35 + j4,48$$

і схема набуває вигляду, поданого на рис. 2. 4.

Подальша заміна ввімкнених послідовно опорів $\underline{Z}_1$ та $\underline{Z}_{23}$ еквівалентним $\underline{Z}_k$ (Ом)

$$\underline{Z}_k = \underline{Z}_1 + \underline{Z}_{23} = (5 + j5) + (11,35 + j4,48) = 16,35 + j9,48 = 18,9e^{j30,1^\circ}$$

дає підстави спростити розрахункову схему до вигляду, зображеного на рис.2.5.



Умовно прийнемо, що вектор спаду напруги на ділянці АВ спрямовано по осі дійсних чисел комплексної площини. В цьому випадку комплекс напруги (В) ділянки

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_{AB} = 110e^{j0^\circ} = (110 + j0)$$

Комплекс струму кола $\dot{I}_k(A)$ та комплекси спадів напруг $\dot{U}_k$ й $\dot{U}_{23}(B)$ на окремих ділянках схеми розраховують за законом Ома:

$$\dot{I}_k = \frac{\dot{U}_1}{\underline{Z}_1} = \frac{110e^{j0^\circ}}{7,07e^{j45^\circ}} = 15,56e^{-j45^\circ} = (11 - j11);$$

$$\dot{U} = \underline{Z}_k \dot{I}_k = 18,9e^{j30,1^\circ} \cdot 15,56e^{-j45^\circ} = 294,06e^{-j14,9^\circ} = (284,17 - j75,61);$$

$$\dot{U}_{23} = \underline{Z}_{23} \dot{I}_k = 12,2e^{j21,54^\circ} \cdot 15,56e^{-j45^\circ} = 189,83e^{-j23,46^\circ} = (174,15 - j75,59).$$

Правильність обчислення напруг $\dot{U}_1$, та $\dot{U}_{23}$ перевіряють за другим законом Кірхгофа:

$$\dot{U}_k = \dot{U}_\Sigma = \dot{U}_1 + \dot{U}_{23} = (110 + j0) + (174,15 - j75,59) = (284,15 - j75,59).$$

Якщо відносні розбіжності активних і реактивної складових $\dot{U}_\Sigma$ та $\dot{U}_K$ не перебільшують $\pm 1,0\%$

$$\Delta_a = \frac{U_{\Sigma 2} - U_{ka}}{U_{ka}} 100\% = \frac{284.17 - 284.15}{284.17} 100\% = 0.007\% < 1\% ;$$

$$\Delta_p = \frac{U_{\Sigma p} - U_{kp}}{U_{kp}} 100\% = \frac{75.59 - 75.61}{75.61} 100\% = 0.03\% < 1\% ;$$

розрахунок кола можна продовжувати далі. У іншому разі слід зробити перевірку виконаних обчислень з початку задачі.

Комплекси струмів (А) ділянок кола розраховують так:

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_k = 15.56e^{-j45^\circ} = (11 - j11) ;$$

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{U}_{23}}{\underline{Z}_2} = \frac{189.83e^{-j23.46^\circ}}{11.66e^{j59.03^\circ}} = 16.28e^{-j82.49^\circ} = (2.13 - j16.14) ;$$

$$\dot{I}_3 = \frac{\dot{U}_{23}}{\underline{Z}_3} = \frac{189.83e^{-j23.46^\circ}}{18.6e^{-j53.75^\circ}} = 10.21e^{j30.29^\circ} = (8.82 - j5.15) .$$

Правильність обчислення струмів перевіряють за першим законом Кірхгофа:

$$\dot{I}_k = \dot{I}_2 + \dot{I}_3 = (2.13 - j16.14) + (8.82 + j5.15) = (10.95 - j10.99) \approx (11 - j11) .$$

Якщо відносні розбіжності активних і реактивних складових $\dot{I}_\Sigma$ та $\dot{I}_k$ не перебільшують $\pm 1,0\%$ розрахунок кола можна продовжувати далі. У іншому разі слід зробити перевірку всіх раніше виконаних дій.

Комплекс повної потужності $\underline{S}_{дж}$ (ВА) джерела, його активну $P_{дж}$ та реактивну $Q_{дж}$ складові визначаємо за такою формулою:

$$\underline{S}_{дж} = \dot{U}_k I_k^* = 294.06e^{-j14.9^\circ} \cdot 15.56e^{j45^\circ} = 4575.57e^{j30.1^\circ} = (3958.56 + j2294.69) ;$$

$$P_{дж} = 3958,56 \text{ Вт} \text{ та } Q_{дж} = 2294,69 \text{ вар}.$$

Комплекс повної потужності $\underline{S}_{cn}$ (ВА) споживачів кола визначаємо як суму повних потужностей всіх споживачів додаванням їх активних P_{cn} (Вт) та реактивних Q_{cn} (вар) складових:

$$\underline{S}_1 = \underline{Z}_1 I_1^2 = 7.07e^{j45^\circ} \cdot 15.56^2 = 1711.74e^{j45^\circ} = (1210.38 + j1210.38) ;$$

$$\underline{S}_2 = \underline{Z}_2 I_2^2 = 11.66e^{j59.03^\circ} \cdot 16.28^2 = 3090.35e^{j59.03^\circ} = (1590.26 + j2649.78) ;$$

$$\underline{S}_3 = \underline{Z}_3 I_3^2 = 18.6e^{-j53.75^\circ} \cdot 10.21^2 = 1938.94e^{-j53.75^\circ} = (1146.51 - j1563.65) ;$$

$$\underline{S}_{cn} = \sum_{i=1}^3 \underline{S}_i = (3947.15 + j2296.51) 4566.61e^{j30.19^\circ} .$$

Зверніть увагу: обчислюючи $\underline{S}_{cn}$, використовують спряжений комплекс

$I_k^* = 15,56e^{j45^\circ}$ від струму кола $I_k = 15,56e^{-j45^\circ}$; обчислюючи $\underline{S}_{cn}$, до квадрату беруть

тільки модуль комплексу струму кола, наприклад модуль комплексу струму $I = 15,56$ від струму $I_1 = 15,56e^{-j45^\circ}$ А.

Задачу вважають розв'язаною правильно, якщо відносні розбіжності активних і реактивних складових $\underline{S}_{дж}$ та $\underline{S}_{cn}$ не перебільшують $\pm 1,0\%$:

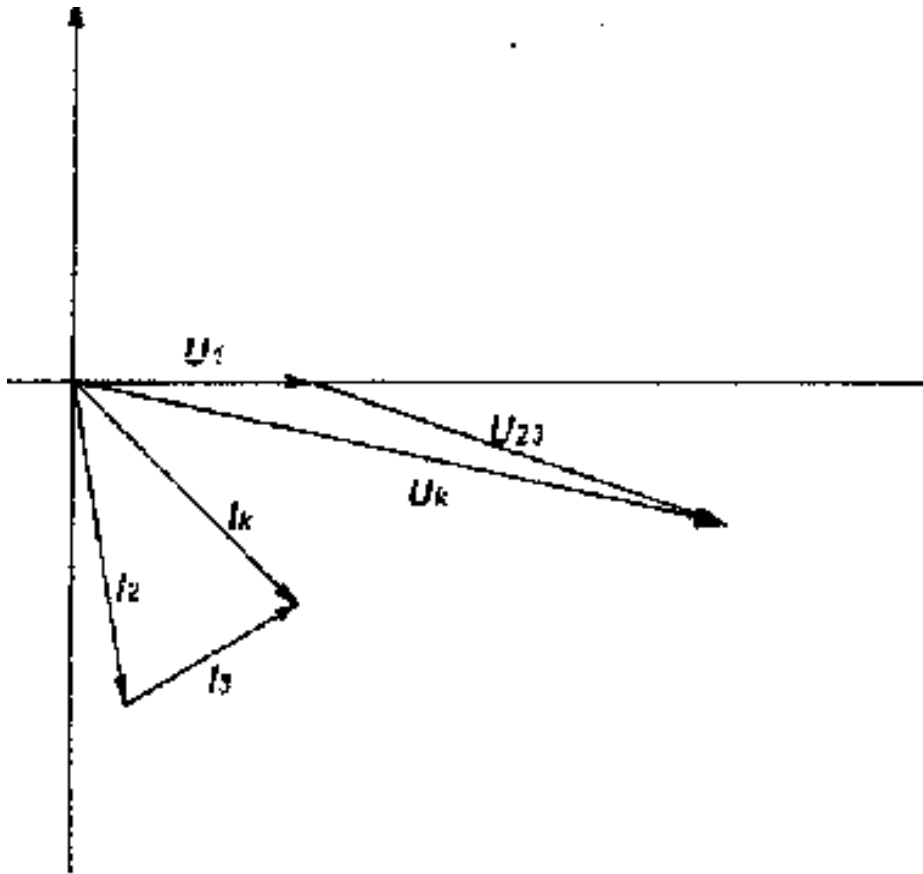


Рис.3

$$\Delta_a = \frac{P_{\text{дж}} - P_{\text{сн}}}{P_{\text{дж}}} 100\% < \pm 1.0\%,$$

$$\Delta_p = \frac{Q_{\text{дж}} - Q_{\text{сн}}}{Q_{\text{дж}}} 100\% < \pm 1.0\%,$$

За результатами розрахунків на комплексній площині будують суміщену діаграму струмів та напруг кола (рис. 3). Для цього спочатку обирають зручні масштаби побудови векторів струму M_i (А/мм) і напруги M_n (В/мм) та вказують їх на комплексній площині.

Методика побудови векторів діаграми така:

1) $\dot{U}_1 = 110e^{j0^\circ}$ - з початку координат по осі дійсних чисел ($\psi_{uk} = 0$) відкласти відрізок завдовжки $110/M_n$;

2) $\dot{U}_R = 294.06e^{-j14.9^\circ}$ - з початку координат, під кутом $\psi_{u1} = -14.9^\circ$ до осі дійсних чисел відкласти відрізок завдовжки $294.06/M_n$;

3) $\dot{U}_{23} = 189.83e^{-j23.46^\circ}$ - з кінця $\dot{U}_1$ під кутом $\psi_{u23} = -23.46^\circ$ до осі дійсних чисел відкласти відрізок завдовжки $189.83/M_n$;

4) $\dot{I}_K = \dot{I}_1 = 15.56e^{-j45^\circ}$ - з початку координат, під кутом $\psi_{ik} = \psi_{i1} = -45^\circ$ до осі дійсних чисел відкласти відрізок завдовжки $15.56/M_i$;

5) $\dot{I}_2 = 16.28e^{-j82.49^\circ}$ - з початку координат під кутому $\psi_{i12} = -82.49^\circ$ до осі дійсних чисел відкласти відрізок завдовжки $16.28/M_i$;

6) $\dot{I}_3 = 10.21e^{j30.29^\circ}$ - з кінця $\dot{I}_2$ під кутом $\psi_{i3} = 30.29^\circ$ до осі дійсних чисел відкласти відрізок завдовжки $10.21/M_i$.

Зверніть увагу: в загальному випадку на суміщеній діаграмі, за правильного виконання дій отримують два замкнених багатокутники, один з яких складений з векторів напруг, а другий — з векторів струмів (у даному випадку маємо трикутник струмів та трикутник напруг). Суміщена векторна діаграма дає можливість наочно аналізувати характери навантажень ділянок кола. Так, в цілому розрахункова схема має активно-індуктивний характер навантаження, оскільки вектор струму кола $\dot{I}_k$ відстає від вектора напруги кола $\dot{U}_k$ на кут

$$\varphi_k = \psi_{uk} - \psi_{ik} = -14.9^\circ - (-45^\circ) = 30.1^\circ.$$

Перша ділянка схеми, де включені активний опір r_1 , індуктивність L_1 та ємність C_1 , також має активно-індуктивний характер навантаження, оскільки вектор діючого тут струму $\dot{I}_1 = \dot{I}_k$, відстає від вектора напруги $\dot{U}_1$, на кут

$$\varphi_1 = \varphi_{m1} - \varphi_{i1} = 0^\circ - (-45^\circ) = 45^\circ.$$

Одна з паралельних віток (z_2) кола має активно-індуктивний характер навантаження. Тут кут зсуву фаз між векторами $\dot{I}$ і $\dot{U}_{23}$ додатний:

$$\varphi_2 = \varphi_{u23} - \varphi_{i2} = -23.46^\circ - (-82.49^\circ) = 59.03^\circ.$$

В іншій паралельній вітці (z_3), оскільки кут зсуву фаз між $\dot{I}_k$ та $\dot{U}_{23}$ від'ємний —

$$\varphi_3 = \varphi_{u23} - \varphi_{i3} = -23.46^\circ - 30.29^\circ = -53.75^\circ,$$

характеристика навантаження активно-ємнісний. У сукупності ж ділянка кола, що складається з двох паралельних віток, має активно-індуктивний характер навантаження, оскільки $\dot{I}_k$ відстає від $\dot{U}_{23}$ на кут

$$\varphi_{23} = \varphi_{u23} - \varphi_{ik} = -23.46^\circ - (-45^\circ) = 21.54^\circ.$$

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 3

Тема: Коронний розряд

Мета заняття:

1. З'ясувати природ укоронного розряду.
2. Виконуючи практичне завдання, знайти зв'язок між геометричними та електричними параметрами коронного розряду.

Загальна характеристика коронного розряду. Коронний розряд — один із видів самостійного розряду, що виникає в широкому діапазоні тисків — від сотень частин Па до атмосферного й вище. **Особливість коронного розряду полягає в тому, що він може не завершитися пробоем проміжку.** Коронний розряд виникає в електрода з малим радіусом кривизни й горить у вигляді ореолу, що світиться — «корони» (звідси й назва). **Обов'язковою умовою виникнення коронного розряду є значна неоднорідність електричного поля, $K_n \gg 3$.** Таке електричне поле виникає в проводах ліній електропередач, поява коронного розряду в яких приводить до втрат електричної енергії. Втрати на корону можуть бути істотними й часто виявляються порівнювальними із втратами джоулевого тепла в проводах. Іонізаційні процеси в коронному розряді відбуваються тільки поблизу

електрода з малим радіусом кривизни, цю зону називають **чохлом корони**. Залежно від полярності електрода розрізняють негативну й позитивну корони. За рахунок процесів ударної іонізації в чохлі корони безупинно створюються заряджені частки обох знаків. Частки того ж знака, що й коронуючий електрод, під дією електричного поля виходять із чохла корони в зовнішню область і поступово переміщуються до протилежного електрода.

Коронний розряд при постійній напрузі. При постійній напрузі розрізняють два види коронного розряду - уніполярний і біполярний. Уніполярний коронний розряд (уніполярна корона) виникає в тому випадку, коли коронуючі електроди в проміжку мають однакову полярність. При уніполярній короні вся зовнішня зона заповнена зарядами того ж знака, що й коронуючий провід. Розподіл зарядів в уніполярній короні показаний на рис. 1.

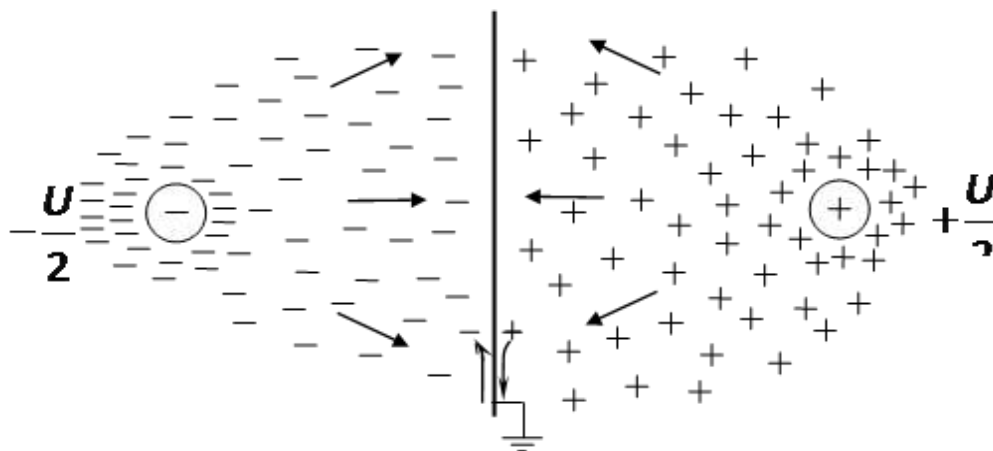


Рис. 1 Розподіл заряду в уніполярній короні

Біполярний коронний розряд (біполярна корона) виникає в тому випадку, коли коронуючі електроди мають протилежну полярність. Розподіл заряду в цьому випадку показаний на рис. 2.

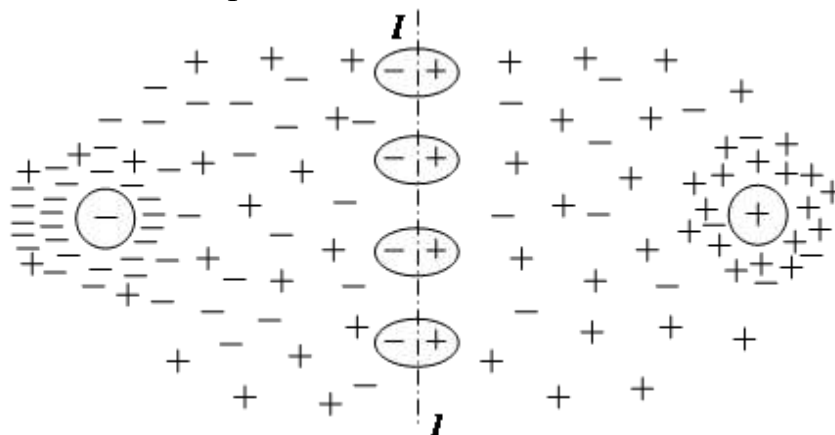


Рис. 2. Розподіл заряду в біполярній короні

У зовнішній зоні біполярної корони іони різних знаків рухаються назустріч один одному. Якби на границі нульового потенціалу (лінія нульового потенціалу показана штрихпунктиром на рис. 2) відбувалася повна рекомбінація іонів, біполярна корона складалася б із двох незалежних один від одного уніполярних коронних розрядів. У дійсності на границі розподілу відбувається лише часткова рекомбінація іонів, і значна їхня частина проникає в зовнішню зону проводу протилежної полярності. При цьому зменшується сумарний, об'ємний заряд цієї зони. Для того щоб відновити значення напруги, що забезпечує збереження

початкової напруженості поля на поверхні проводу, іонізація в чохлі корони повинна зрости й із чохла корони повинен виділитися додатковий заряд для нейтралізації зарядів, що проникнули. Завдяки цьому струм корони, а отже, **і втрати енергії в біполярній короні значно більше, ніж в уніполярній.**

Коронний розряд змушує обмежувати напруженість електричного поля на поверхні високовольтних електродів багатьох конструкцій і проводів ліній електропередачі. Обмеження досягаються шляхом збільшення розмірів електродів, додання їм форми, що забезпечує велику однорідність поля, полірування електродів і т.д. На лініях електропередачі з номінальною напругою 330 кВ і вище зниження напруженості електричного поля на поверхні проводів досягається розщепленням проводів, тобто використанням 4–6 проводів на одну фазу, які в результаті збільшують ефективний радіус. Початкова напруженість електричного поля E_k , що відповідає появі корони, залежить від радіуса кривизни електрода, виду газу, його відносної щільності й ряду інших факторів. Параметр E_k виявляється важливим при розрахунку втрат енергії на корону. Початкова напруженість електричного поля, що відповідає появі загальної корони на одиночному проводі з $r_0 < 1$ см розраховується по формулі Піка:

$$E_k = 30,3m\delta \left[1 + \frac{0,298}{\sqrt{\delta r_0}} \right], \quad (1)$$

де E_k – початкова напруженість запалювання корони, (кВ/см); m – коефіцієнт гладкості проводу (для добре відполірованого круглого проводу $m = 1$); δ – відносна щільність повітря; r_0 – радіус проводу.

При $r_0 > 1$ см розрахунок необхідно вести по формулі Залеского:

$$E_k = 24,5m\delta \left[1 + \frac{0,613}{(r_0\delta)^{0,4}} \right]. \quad (2)$$

Формули (1 й 2) дають необхідну точність для оцінки E_k на проводах як для постійної, так і змінної напруги.

Коронний розряд при змінній напрузі. На змінній напрузі коронний розряд запалюється при досягненні початкової напруги, рівного напрузі запалювання корони $U_n = U_k$ при часі t_1 . Навколо проводу утвориться зона іонізації, яку називають чохлом корони. Із чохла корони позитивні заряди виносяться в навколишній простір й утворюють зовнішній об'ємний заряд (ОЗ). Процес коронування триває доти, поки напруга не досягне $U_{\max}$ при t_2 . Незважаючи на підвищення U до $U_{\max}$, напруженість на проводі залишається постійною й рівною E_k через вплив об'ємного заряду. Потім напруга починає знижуватися. Синхронно знижується й напруженість на проводі E_n , що приводить до загасання корони. Але після загасання корони (після t_2) у просторі навколо проводу залишається позитивний зовнішній об'ємний заряд, що ще віддаляється від проводу. Відстань, на яку віддаляється об'ємний заряд, залежить від напруги на проводі і становить $\approx 40 \dots 100$ см. Різниця потенціалів між проводом і ОЗ збільшується в

міру зменшення напруженості на проводі до часу t_3 . Ще до досягнення t_3 потенціал на проводі відносно ОЗ набуває негативного значення (умовно при t_3 . І при t_4 , коли напруга досягає U_0 , що значно менше U_k , запалюється негативна корона. При цьому негативно заряджені частинки починають рухатися від проводу в зовнішню область, а назустріч (до проводу) рухаються позитивно заряджені частки із зовнішнього об'ємного заряду. Відбувається релаксація заряджених часток до повної компенсації позитивного зовнішнього ОЗ (t_5). Потім накопичується негативний ОЗ у зовнішній області (t_6). Все це відбувається за час від t_4 до t_6 (рис. 1.12, а, в). У момент часу t_6 (початок зменшення напруги) негативна корона гасне. Надалі всі ці цикли повторюються, і запалювання корони на обох полярностях відбувається при U_0 . Між проведенням і землею має місце ємність C , що заряджається й розряджається із частотою змінного струму. При цьому між проводом і землею протікає ємнісний струм i_c :

$$i_c = C \frac{dU}{dt} . \quad (3)$$

Виникнення коронного розряду в момент t_1 приводить до появи струму корони i_k , що накладається на ємнісний струм лінії й спотворює синусоїду струму. Тривалість піків струму корони дорівнює тривалості її горіння, тобто до часу t_2 (або $t_4 - t_6$, $t_7 - t_8$).

При змінній напрузі коронування проводів більш інтенсивне, чим при постійній напрузі, і за інших рівних умов втрати енергії на корону істотно більші.

На характеристики коронного розряду - початкова напруга, втрати енергії, радіоперешкоди, шум - значний вплив роблять погодні умови. Атмосферні опади різко знижують початкову напругу виникнення корони.

Практичне завдання

Тема: «Характеристики коронного розряду»

Завдання: Розрахувати вольт-амперну характеристику коронного розряду та витрати електроенергії, якщо відомі діаметри внутрішнього d та зовнішнього D циліндричних електродів, а також їх довжина $h = 1$ м для середовища повітря з тиском p (мм. рт. ст..) та температурою $t^\circ\text{C}$. Впливом вологості повітря та крайовими ефектами електродів можна нехтувати. Полярність внутрішнього електроду – від'ємна.

Рішення:

1) Знаходимо відносну густину повітря за формулою:

$$\delta \circ \frac{p}{p_0} \cdot \frac{T}{T_0} = \frac{p}{760} \cdot \frac{273+20}{273+t} = 758 \cdot 293 / (273+15) = 1,01 \dots \quad (4)$$

3) Розраховуємо початкову напруженість електричного поля за формулою Піка:

$$E_k = 30,3m\delta \left[1 + \frac{0,298}{\sqrt{\delta r_0}} \right]$$

$$= 30,3 * 1 * 1,0147 * (1 + 0,289 / (1,0147 * 0,06))^{0,5} = 67,4 \text{ кВ}$$

де $r_0 = d/2$ – радіус внутрішнього електроду, см.

(5)

2) Початкова напруга для заданих умов визначається за формулою:

$$U_0 = E_0 * r_0 * \ln(D/d), \text{ кВ} \quad (6)$$

$$= 67,4 * 0,06 * \ln 200/0,12 = 30,3 \text{ кВ}$$

5) Струм коронного розряду для довжини електродів $h = 1 \text{ м} = 100$ см розраховується за виразом:

$$6) I = k \cdot G \cdot U \cdot (U - U_0) \cdot h =$$

$$= 2,24 * 0,367 * 10^{-14} * 67,4 * (67,4 - 30,3) * 1 = 2,12 \text{ мА}$$

(7)

де U – напруга на електродах ($U > U_0$), виражена у В;

k – рухливість іонів, яка дорівнює $2,24 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$

4) G – геометричний фактор:

$$G = \frac{8\epsilon\pi}{\left(\frac{D}{2}\right)^2 * \ln \frac{D}{d}} \cdot \left(1 + 2,75 * 0,01 \sqrt{\frac{D}{d}}\right)$$

$$= 8 * 3,14 * 8,854 * 10^{-14} * (1 + 2,75 * 0,01 * (200/0,12)^{0,12} / (100 * \ln 200/0,12)) = 0,367 * 10^{-14} \quad (8)$$

Послідовність обчислень

- 1) Відносна густина повітря.
- 2) початкову напруженість електричного поля
- 3) Початкова напруга
- 4) геометричний фактор:
- 5) Струм коронного розряду

Якщо використовувати розміри в см, то $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-14} \text{ Ф/см}$.

Формули придатні для умов завдання, якщо U менше пробивної напруги проміжку U_{np} , тобто, $U_0 < U < 150 \text{ кВ}$.

Варіанти вхідних даних для виконання розрахунків

Варіант	d, см	D, см	h, см	p, мм. рт. ст.	t, °C

1	0,10	200	100	756	17
2	0,11	200	100	757	16
3	0,12	200	100	758	15
4	0,13	200	100	759	25
5	0,14	200	100	760	24
6	0,15	200	100	759	23
7	0,16	200	100	758	22
8	0,17	200	100	757	21
9	0,18	200	100	756	20
10	0,19	200	100	755	19
11	0,20	200	100	754	18
12	0,19	200	100	753	17
13	0,18	200	100	752	16
14	0,17	200	100	751	15
15	0,16	200	100	750	25
16	0,15	200	100	749	24
17	0,14	200	100	748	23
18	0,13	200	100	747	22
19	0,12	200	100	746	21
20	0,11	200	100	745	20
21	0,10	200	100	744	19
22	0,11	200	100	743	18
23	0,12	200	100	742	17
24	0,13	200	100	741	16
25	0,14	200	100	740	15

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 4

Тема: Електричне очищення газів

Мета заняття: Вивчення роботи і будови електричних очисників газів.
Засвоїти методику визначення ефективності роботи апаратів.

ПЛАН

1. Принцип роботи електричного фільтра.
2. Будова електрофільтрів
3. Визначення ступіні очищення газу в електрофільтрі

1. Принцип роботи електричного фільтра

Під електричним очищенням газу розуміють процес, при якому тверді частинки віддаляються з газоподібного середовища під впливом електричних сил.

Фундаментальною відмінністю процесу електростатичного осадження від механічних методів сепарації частинок є те, що в цьому випадку облягаюча сила діє безпосередньо на частинки, а не створюється побічно дією на потік газу в цілому.

Це пряме і надзвичайно ефективне використання силової дії і пояснює такі характерні риси електростатичного методу, як помірне споживання енергії і малий опір потоку газу. Навіть найдрібніші частинки субмікрометрового діапазону уловлюються ефективно, оскільки і на ці частинки діє достатньо велика сила. Принципових обмежень ступеня очищення немає, оскільки ефективність може бути підвищена шляхом збільшення тривалості перебування частинок в електрофільтрі.

Енергія, споживана в електрофільтрі, складається з енергії, що витрачається генератором струму високої напруги, і енергії, необхідної для подолання гідравлічного опору при проходженні газу через електрофільтр. Гідравлічний опір електрофільтру при його правильній експлуатації не перевищує 100... 150 Па, тобто значно нижче, ніж у більшості інших пиловловлювачів. Енергія, що підводиться до оброблюваних газів при електроосажденні, витрачається переважно на надання безпосередньої дії на частинки, що облягають. Цим обумовлено багато переваг процесу електрофільтрації.

Електрофільтр відноситься до найбільш ефективних пиловловлюючих апаратів. Ефективність очищення досягає 99,9 % у широких межах концентрацій (від декількох міліграм до 200 г/м³) і дисперсності частинок (до доль мкм) і невисокій витраті електроенергії (близько 0,1...0,5 кВт-ч на 1000 м³ газів). Електрофільтр може знепилювати вологу і корозійноактивну газове середовище з температурою до 500°C. Продуктивність електрофільтрів досягає сотень тисяч м³/ч газу, що очищається.

До недоліків електрофільтрів відноситься їх висока чутливість до підтримки параметрів очищення, висока металоємність і великі габарити, а також висока вимогливість до рівня монтажу і обслуговування.

Застосування електрофільтрації має ряд обмежень. Електрофільтр не може бути використаний для уловлювання пилю, що володіє дуже високим електричним опором. Не можна направляти в електрофільтри вибухонебезпечні газові викиди, у тому числі і такі, які можуть стати вибухонебезпечними в процесі обробки. Не слід використовувати електроочищення, якщо осаждення зважених частинок може супроводжуватися електрохімічними реакціями з виходом токсичних продуктів і тим більше - додавати такі (наприклад, **SO₃**, **NH₄** і ін.) для інтенсифікації процесу електрофільтрації.

Електрофільтри, як складніше і дорожче устаткування, що забезпечує тонке очищення повітря, зазвичай компонують з іншими пиловловлюючими пристроями, що встановлюються на початкових ступенях очищення. В результаті підвищується економічність використання електрофільтрів і забезпечується повніше очищення.

Принцип дії електрофільтрів. У електрофільтрі очищення газів від твердих і рідких частинок відбувається під дією електричних сил. Частинкам повідомляється електричний заряд, і вони під дією електричного поля осідають з газового потоку.

Загальний вид електрофільтру приведений на мал. 7.1.

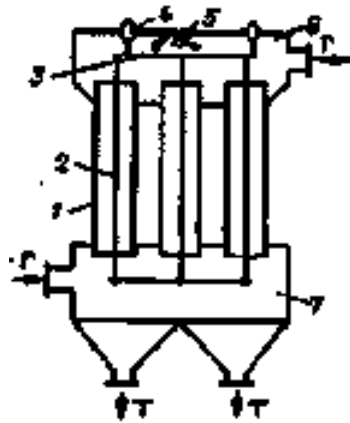


Рис. 1. Електрофільтр: 1 - осаджувальний електрод; 2 - коронуючий електрод; 3 - рама; 4 - високовольтний ізолятор; 5 - струшуючий пристрій; 6 - верхня камера; 7 - збірник пилу

Процес знепилювання в електрофільтрі складається з наступних стадій: пилові частинки, проходячи з потоком газу електричне поле, отримують заряд; заряджені частинки переміщуються до електродів з протилежним знаком; осідають на цих електродах; віддаляється пил, що осів на електродах.

Зарядка частинок - перший основний крок процесу електростатичного осадження. Більшість частинок, з якими доводиться мати справу при промисловій газоочистці, самі по собі несуть деякий заряд, придбаний в процесі їх освіти, проте ці заряди дуже малі, щоб забезпечити ефективне осадження. На практиці зарядка частинок досягається пропусканням частинок через корону постійного струму між електродами електрофільтру. Можна використовувати і позитивну і негативну корону, але для промислової газоочистки переважно негативна корона із-за більшої стабільності і можливості застосування великих робочих значень напруги і струму, але при очищенні повітря використовують тільки позитивну корону, оскільки вона дає менше озону.

2. Будова електрофільтрів

Основними елементами електрофільтру є коронуючий і осадительный електроди. Перший електрод в простому вигляді є дротом, натягнутим в трубці або між пластинами, другий - є поверхня трубки або пластины, що оточує коронуючий електрод (мал. 2).

На коронуючі електроди подається постійний струм високої напруги 30...60 кВ. Коронуючий електрод зазвичай має негативну полярність, осадительный електрод заземлений. Це пояснюється тим, що корона при такій полярності стійкіша, рухливість негативних іонів вища, ніж позитивних. Остання обставина пов'язана з прискоренням зарядки пилових частинок.

Після розподільних пристроїв оброблювані гази потрапляють в проходи, освічені коронуючими і осадительными електродами, звані міжелектродними проміжками. Що сходять з поверхні коронуючих електродів електрони розганяються в електричному полі високої напруженості і набувають енергії, достатньої для іонізації молекул газу. Молекули газів, що стикаються з електронами, іонізуються і починають прискорено рухатися у напрямі електродів протилежного заряду, при зіткненні з якими вибивають нові порції електронів. В

результаті між електродами з'являється електричний струм, а при деякій величині напруги утворюється коронний розряд, що інтенсифікує процес іонізації газів. Зважені частинки, переміщаючись в зоні іонізації і сорбуючи на своїй поверхні іони, набувають зрештою позитивного або негативного заряду і починають під впливом електричних сил рухатися до електроду протилежного знаку. Частинки сильно заряджаються на перших 100...200 мм шляху і зміщуються до заземлених осадительних електродів під впливом інтенсивного поля корони. Процес в цілому протікає дуже швидко, на повне осадження частинок потрібний всього декілька секунд. У міру накопичення частинок на електродах їх струшують або змивають.

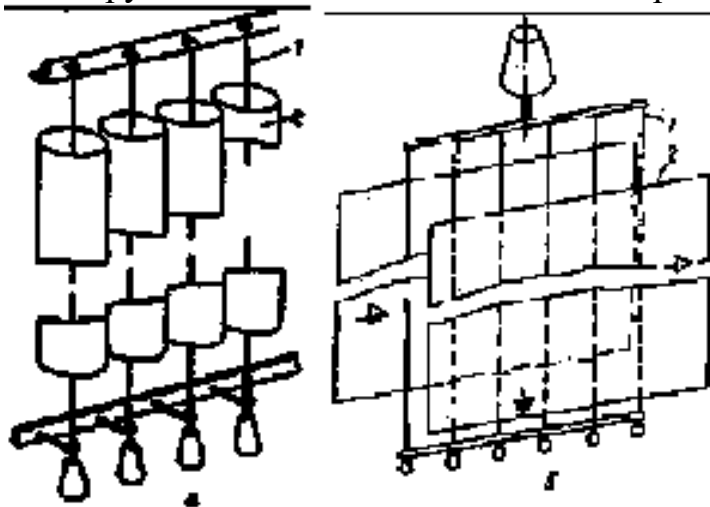


Рис. 2. Конструктивна схема електродів: а - електрофільтр с трубчатими електродами; б - електрофільтр с пластинчастими електродами; 1 - коронуючі електроди; 2 - осаджувальні електроди.

Коронний розряд характерний для неоднорідних електричних полів. Для їх створення в електрофільтрах застосовують системи електродів типу крапка (вістря) - площина, лінія (гостра кромка, тонкий дріт) - плоскість або циліндр.

У полі корони електрофільтру реалізуються два різні механізми зарядки частинок. Найбільш важлива зарядка іонами, які рухаються до частинок під дією зовнішнього електричного поля. Вторинний процес зарядки обумовлений дифузією іонів, швидкість якої залежить від енергії теплового руху іонів, але не від електричного поля. Зарядка в полі переважає для частинок діаметром більше 0,5 мкм, а дифузійна — для частинок дрібніше 0,2 мкм; у проміжному діапазоні (0,2...0,5 мкм) важливо обидва механізми. Близько 90 % заряду частинка отримує через відрізок часу, рівний t_{0to} .

На практиці напруженість поля зазвичай лежить в межах 300...600 кВ/м, але може перевищувати 1000 кВ/м в спеціальних системах. Іонна щільність має порядок $10^{13}...10^{14}$ м⁻³, але в спеціальних випадках може бути значно вище.

Тимчасова постійна зарядки t_0 складає 0,11 секунд при щодо малої іонної щільності 10 мі зменшується до 0,001 з при високому значенні щільності 10 м⁻³. Якщо прийняти час t_0 для практично повного завершення зарядки, то при помірній щільності іонів 10^{14} м⁻³ час зарядки складе 0,1 с. Цей час відповідає довжині шляху газу в осаджувачі, рівною 0,1...0,2 м, так що зарядка протікає на незначній відстані від входу в електрофільтр.

Напруженість поля, в якому виникає корона, називають початковою або критичною. Її величина багато в чому залежить від параметрів оброблюваних газів і

може складати для стандартних умов порядку (15...20) кВ/см. Критична напруга на електродах U_w , **при** якому з'являється коронний розряд, залежить від їх геометрії.

Зазвичай для промислових електрофільтрів значення R складають порядку 0,001.. 0,002 м, R_2 і $k-0,1$.. 0,15 м = 20.. 30 кВ.

Швидкість дрейфу (переміщення) зважених частинок зростає з напруженістю поля, проте при певному значенні напруги на електродах настає пробій газового проміжку і виникає дуга. Тому оптимальним значенням напруги на електродах вважається максимально близьке до пробійного.

Оскільки електрична міцність газового проміжку при негативній короні вища, ніж при позитивній, в системах очищення промислових викидів подають на коронуючий електрод негативну напругу випрямленого струму. Проте в негативній короні утворюється значна кількість озону, який може ініціювати в атмосфері безліч реакцій, що приводять до її вторинного забруднення. Електрофільтри для систем вентиляції і кондиціонування повітря працюють тільки з позитивною короною.

Ступінь очищення газів від дисперсних домішок в електрофільтрах залежить практично від всіх параметрів газів і зважених частинок, від конструктивних характеристик апаратів, режимів експлуатації і ряду інших чинників. З властивостей дисперсних частинок найочевидніше виявляється вплив питомого електричного опору (ПЕО), оптимальне значення якого знаходиться в межах ($10^6...10^9$) Ом. Низькоомні частинки легко заряджаються в електричному полі, проте з наближенням до електроду з протилежним знаком перезаряджаються, і між ними починають діяти сили відштовхування. Це служить причиною вторинного віднесення низькоомних частинок, що навіть встигли осісти на електрод. Ще менш сприятливі процеси виникають при очищенні високоомного пилу. Осідаючи на електроди, вони утворюють неоднорідний електроізоляційний шар. По місцю найбільш слабкій ізоляції напруженість поля стає максимальною. Це сприяє утворенню корони з протилежним знаком ("зворотної корони"), різко погіршуючою роботу електрофільтру.

У найбільшій мірі процес уловлювання пилу в електрофільтрі залежить від електричного опору пилу. По величині опору пилу ділять на три групи:

- пил з малим питомим електричним опором. ПЕО $< 10^4$ Ом м. Цей пил, стикаючись з осадительним електродом, миттєво втрачає заряд і набуває заряду відповідно до знаку електроду. В результаті між частинкою і електродом виникає відштовхуюча сила, напрямна частинки в газовий потік. Якщо відштовхуюча сила подолає силу опору середовища, виникає вторинне віднесення, що знижує ефективність уловлювання пилу в електрофільтрі;
- пил з ПЕО в межах $10^4...10^{10}$ Ом м без яких-небудь ускладнень осідають на електродах і віддаляються;
- пил із значним ПЕО $> 10^{10}$ Ом м. Уловлювання цього пилу в електрофільтрі представляє найбільшу складність. Із-за повільної розрядки частинок, що осідають на електроді, на останньому накопичується шар негативно заряджених частинок. Виникаюче електричне поле шару починає перешкоджати подальшому осадженню частинок. Ефективність електрофільтру знижується. Можливе явище зворотної корони, при якому значно збільшується споживаний струм при зниженні напруги на електродах.

Пил цієї групи часто утворює на електродах міцний ізолюючий шар, що важко піддається видаленню. Високим питомим електричним опором володіє пил магнезиту, гіпсу, оксиди свинцю і цинку PbO , ZnO , сульфід свинцю PbS .

Зниження ПЕО пилу досягається добавкою до газу ряду реагентів, наприклад, сірчистого ангідриду, аміаку, хлоридів кальцію і натрію і ін. Такий же результат дає додавання в газ електропровідних частинок сажі або коксу.

Високий опір ряду пилу може бути знижене охолодженням пылегазового потоку нижче $130^{\circ}C$ або його нагріванням зверху $350^{\circ}C$.

Певний вплив на ступінь осадження частинок роблять їх концентрація і дисперсний склад. На вході в електрофільтр частинки можуть мати власний електростатичний заряд, який при їх великій кількості (тобто при високій рахунковій концентрації) може помітно впливати на параметри осадження частинок, знижуючи напруженість електричного поля в апараті аж до замикання корони. Теоретично найменший розмір уловлюваних частинок в електрофільтрах не обмежений. Проте практично не всі частинки в них уловлюються. При дуже високій концентрації високодисперсних частинок (зазвичай субмикрометрового діапазону) настає придушення струму корони об'ємним електричним зарядом. Це приводить до того, що концентрація іонів стає дуже низькою, щоб забезпечити достатню зарядку частинок.

Швидкість дрейфу частинок в електричному полі значною мірою залежить від розмірів частинок. Ця залежність має складний характер зважаючи на відмінність механізмів переміщення частинок різних розмірів. Вважається, що в діапазоні розмірів менше $0,1...0,3$ мкм швидкість переміщення частинок в електричному полі зменшується з їх укрупненням, в діапазоні від $0,3$ до 20 мкм - збільшується із збільшенням діаметру і потім знов декілька знижується.

З параметрів газового потоку найбільший вплив на осадження роблять вологість і температура. Із зниженням температури зменшується в'язкість газів, унаслідок чого вони чинять менший опір переміщенню зваженої частинки до електроду. З пониженням температури росте стійкість коронного розряду, що дозволяє працювати при вищій напруженості електричного поля. Крім того, з охолодженням оброблюваного потоку росте його відносна вологість, що веде до пониження УЕС частинок унаслідок їх зволоження.

Дуже важливим чинником, пов'язаним практично зі всім процесом електроосадження, є швидкість газового потоку. Від неї безпосередньо залежать час перебування частинок в апараті і його габарити.

При слабкому перебігу газу, дуже великій швидкості газу або поганих умовах утримання може відбуватися віднесення обложених частинок. Частинки, понесені з осадительного електроду, у разі негативної корони придбають позитивний заряд унаслідок емісії. Ці частинки можуть не піддаватися перезарядці або перезарядитися тільки частково. У будь-якому випадку частинки будуть винесені з електрофільтру, що істотно понизить ефективність уловлювання. При швидкостях потоку більше $(1... 1,5)$ м/с різко росте вторинне віднесення пилу з електродів. Дуже важливо у зв'язку з цим забезпечити рівномірний розподіл потоку по перетину апарату з тим, щоб локальні швидкості в міжелектродних проміжках ненамного відрізнялися від середньої швидкості.

Певний вплив на ефективність обробки газів роблять конструктивні особливості тих або інших типів електрофільтрів.

Електрофільтри працюють як під розрідженням, так і під надмірним тиском. Система пиловловлювання, в якій застосований електрофільтр, може бути повністю автоматизована.

3. Визначення ступіні очищення газу в електрофільтрі

Завдання: Визначити ступінь очищення газу (причому, частка першої фракції за концентрацією частинок складає α) в горизонтальному електрофільтрі, якщо задані довжина електрофільтру l , H – відстань між коронуючими та осаджувальним електродами, швидкість газу в електрофільтрі V , напруга електрофільтру U_{BH} , сфероподібні частинки золи мають два значення діаметрів d_3 : d_1 та d_2 , відносна діелектрична проникність частинок золи $\epsilon_3 = 1,4$, густина газового середовища в електрофільтрі $\gamma_c = 1,3$ кг/м³, кінематична в'язкість середовища $\nu_c = 1,3 \cdot 10^{-5}$ м²/с.

Рішення:

1) Знаходимо напруженість електричного поля за формулою:

$$E = \eta \cdot U_{BH} / H$$

де η – коефіцієнт ослаблення поля в основній частині міжелектродного проміжку (приймаємо $\eta = 0,95$).

2) Визначаємо силу дії електричного поля на частинку золи для кожного діаметру d_1 та d_2 за формулою:

$$F_3 = q_3 \cdot E, .$$

$$q = \pi d^2 (1 + 2 \cdot \frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2}) E \quad \text{для } d_1 = 8,2 \text{ мкм}$$

3) Визначаємо швидкість руху частинок під дією електричного поля для кожного діаметру d_1 та d_2 з рівняння:

$$F_3 = 3 \cdot \pi \cdot \nu_c \cdot \gamma_c \cdot d_3 \cdot V_3 ,$$

звідки:

$$V = \frac{F}{3 \cdot \pi \cdot \nu \cdot \gamma \cdot d} .$$

4) Ступінь очищення газу в електрофільтрі для частинок з діаметром d_1 розраховуємо за формулою:

де коефіцієнт $\chi = 1,1$.

Ступінь очищення газу в електрофільтрі для частинок з діаметром d_2 розраховуємо за формулою:

$$\eta_2 = (1 - \exp(\kappa \frac{V_2 \cdot l}{V_2 \cdot H})) \cdot 100\%$$

5) Ступінь очищення газу в електрофільтрі, в цілому, визначається за формулою:

$$\eta = \alpha \cdot \eta_1 + (1 - \alpha) \cdot \eta_2 .$$

Алгоритм розрахунків

- 1) Напруженість електричного поля
- 2) Сила, що діє на часточку пилу
- 3) Швидкість руху частинок
- 4) Ступінь очищення газу для двох розмірів часток.
- 5) Ступінь очищення газу в електрофільтрі, в цілому

Варіанти вхідних даних для виконання розрахунків

Варіант	V, м/с	U _{ВН} , кВ	d ₁ , мкм	d ₂ , мкм	α	l, м	H, м
1	1,04	60	8,0	12,6	0,30	3,16	0,2
2	1,03	60	8,1	12,7	0,31	3,17	0,2
3	1,02	60	8,2	12,8	0,32	3,18	0,2
4	1,01	60	8,3	12,9	0,33	3,19	0,2
5	1,00	60	8,4	13,0	0,34	3,20	0,2
6	1,01	60	8,5	12,9	0,35	3,19	0,2
7	1,02	60	8,6	12,8	0,36	3,18	0,2
8	1,03	60	8,7	12,7	0,37	3,17	0,2
9	1,04	60	8,8	12,6	0,38	3,16	0,2
10	1,05	60	8,9	12,5	0,39	3,15	0,2
11	1,06	60	9,0	12,4	0,40	3,14	0,2
12	1,07	60	9,1	12,3	0,39	3,13	0,2
13	1,08	60	9,2	12,2	0,38	3,12	0,2
14	1,09	60	9,3	12,1	0,37	3,11	0,2
15	1,10	60	9,4	12,0	0,36	3,10	0,2
16	1,09	60	9,5	11,9	0,35	3,09	0,2
17	1,08	60	9,6	11,8	0,34	3,08	0,2
18	1,07	60	9,7	11,7	0,33	3,07	0,2
19	1,06	60	9,8	11,6	0,32	3,06	0,2
20	1,05	60	9,9	11,5	0,31	3,05	0,2
21	1,04	60	10,0	11,4	0,30	3,04	0,2
22	1,03	60	9,9	11,3	0,31	3,03	0,2
23	1,02	60	9,8	11,2	0,32	3,02	0,2
24	1,01	60	9,7	11,1	0,33	3,01	0,2
25	1,00	60	9,6	11,0	0,34	3,00	0,2

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 5

Тема: Відкриті нагрівальні елементи. Трубчасті електронагрівачі

ПЛАН

1. Повторити способи перетворення електричної енергії в теплову, нагрівальні елементи, їх конструкцію і технічні характеристики;
2. Виконати розрахунок відкритого і трубчастого водонагрівача;
3. Дослідити відкритий нагрівальний елемент;
4. Дослідити трубчатий електронагрівач.

Вхідні дані:

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Матеріал	Ніхром	Константа	Ніхром	Константа	Ніхром	Константан	Ніхром	Константан	Ніхром	Константан
ρ Ом*мм ² / м	1,05	0,47	1,05	0,47	1,05	0,47	1,05	0,47	1,05	0,47
α °C ⁻¹	2*10-4	2*10-5	2*10-4	2*10-5	2*10-4	2*10-5	2*10-4	2*10-5	2*10-4	2*10-5
T доп.	1000	450	1000	450	1000	450	1000	450	1000	450
U	200	190	210	180	220	170	230	190	240	180
P, кВт	3	4	5	3	5	4	6	4	5	2
Z число фаз	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
d, мм	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,2	1,4	1,2	1,3	1,1
ϑ °C Опору	300	370	400	310	380	350	320	333	340	360
Θ °C середовища	50	55	44	52	47	50	51	49	48	46
T °C допустима	300	450	350	350	350	350	350	350	400	330

Завдання: Визначити довжину нагрівного елемента (дроту)_

Непрямий електронагрів опором.

Електричні нагрівачі опору (резистивні нагрівачі) - це пристрої, в яких відбувається перетворення електричної енергії в теплову, і потім уже від них теплота передається середовищу, що нагрівається.

Основний елемент резистивних нагрівачів - високоомний нагрівальний опір (резистор), що конструктивно доповнюється пристроями підведення струму, електричної ізоляції, захисту від навколишнього і нагріваємого середовища.

Нагрівальні опори виконують з жаростійких сплавів високого опору - ніхромів (Х20Н80, Х15Н60 і ін.) у виді дровових спіралей, стрічкових зигзагів і т.п..
Питомий опір металевих провідників зростає з температурою

$$\rho_{\vartheta} = \rho_{20} [1 + \alpha (\vartheta - 20)], \quad (1)$$

а потужність, знижується:

$$P_{\vartheta} = U^2 S / (\rho_{\vartheta} l), \quad (2)$$

де ρ_{20} - питомий опір провідника при 20°C , Ом-м; α - температурний коефіцієнт опору, $^{\circ}\text{C}^{-1}$; l , S - довжина і площа поперечного переріза нагрівального опору, м, м^2 .

Значення температурного коефіцієнта електричного опору α для окремих металів і сплавів наведено в табл. 1

Зміна потужності нагрівача в процесі нагрівання приводить до необхідності завищувати площу перерізу живильних проводів і ускладнює розрахунок. Тому нагрівальні сплави повинні мати можливо більш низьке значення температурного коефіцієнта α .

По виконанню розрізняють відкриті, закриті і герметичні нагрівачі (рис. 1). У відкритих нагрівачах нагрівальний резистор відкритий для доступу повітря або середовища, що нагрівається, у закритих він розміщений у захисний кожух, що охороняє від механічних впливів і контакту із середовищем, що нагрівається, у герметичних нагрівальний резистор ізолюваний від доступу повітря.

Розрахунок нагрівачів опору включає теплову і електричну частину. Елементи теплового розрахунку викладені в лекції. Електрична частина включає, як відзначалося - вище, вибір живильної напруги, способу регулювання потужності, визначення електричного ККД і коефіцієнта потужності. Основна задача електричного розрахунку - визначити геометричні розміри нагрівального опору.

Напругу вибирають виходячи з умови безпеки для обслуговуючого персоналу і тварин. У сільськогосподарських установках в основному використовують напругу мережі 380/220В, частотою 50 Гц. При підвищеній електробезпечності пристроїв (підлоги з електрообігрвом, переносні нагрівачі. установи нагрівання в особливо вологих приміщеннях і т.п.) застосовують знижену напругу - 12, 24, 36 В.

Регулювання потужності і схема включення нагрівачів. Потужність і температуру можна регулювати зміною напруги U або опору нагрівачів R .

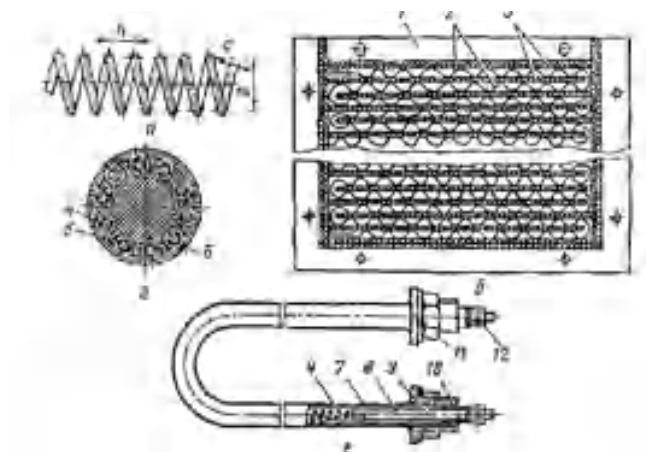
Існують способи плавного регулювання напруги за допомогою автотрансформаторів, тиристорів, магнітних підсилювачів і ін. В установках непрямого нагрівання поширене регулювання потужності зміною числа включених трифазних груп (секцій), що складають у сумі загальну потужність установки. Усе більше в електродних пристроях поширене регулювання потужності зміною активної поверхні електродів шляхом уведення між ними діелектричних екранів.

Усі нагрівачі у всіх фазах виконують однаковими по потужності, розмірам, числу їхній у кожній фазі, тому розрахунок ведуть тільки для одного нагрівача (фази).

Геометричні розміри нагрівачів (вірніше нагрівальних опорів) визначають, шляхом спільного рішення рівнянь, що характеризують нагрівач як приймач електричного струму і тепловиділяюче джерело:

1) як приймач електричного струму нагрівач повинний мати розміри, що забезпечують виділення необхідної потужності відповідно до формули (2)

$P_g = U^2 S / \left(\rho_g l \right)$, поширення одержує безперервне тиристорне регулювання



напруги і, отже, потужності.

Рисунок. 1. Типи електронагрівників опору:

а - відкритий спіральний; **б** - відкритий у виді гофрованої стрічки в електрокалориферах; **в** - закритий (спіраль на керамічній основі в захисному кожусі); **г** - герметичний (трубчастий електронагрівник ТЕН); 1 - корпус; 2 - електронагрівник з гофрованої стрічки; 3 - ізоляційні прокладки; 4 - спіраль; 5 - керамічний стержень з пазом; 6 - захисний кожух; 7 - трубка; 8 - наповнювач; 9 - вивідна шпилька; 10 - ущільнююча втулка; 11 - гайка кріплення; 12 - виводи.

2) як тепловиділяюче джерело нагрівач повинен мати розміри, що забезпечують передачу виділяємої в ньому, теплової потужності P нагріваному середовищу, відповідно до законів теплопередачі

$$P = k(\vartheta - \vartheta_0)A, \quad (3)$$

де k - коефіцієнт теплопередачі, $Вт/(м^2 \cdot ^\circ C)$; ϑ - робоча температура нагрівального опору, $^\circ C$; ϑ_0 - температура середовища, що нагрівається, $^\circ C$; A - площа активної (тепловіддачею) поверхні, $м^2$.

Робоча температура нагрівача із в найважчих умовах не повинно перевищувати припустиме для даного матеріалу значення температури $\vartheta_{доп}$, тобто дотримуватися умови $\vartheta \leq \vartheta_{доп}$. Нагрівачі старіють і виходять з ладу внаслідок окислювання поверхні нагрівального опору. Інтенсивність окислювання визначається головним чином робочою температурою ϑ , а також умовами середовища, у якій працює нагрівач, частотою включень і інших факторів. Час, за яке площа перетину нагрівача зменшується на 20 % від первісного значення при деякій незмінній температурі, називають терміном служби. Максимально припустимою температурою для нагрівача є така, починаючи з якої різко зростає процес окислювання і руйнування його поверхні. Термін служби повинний бути достатнім, щоб окупилися усі витрати на нагрівач.

Розрахувати розміри нагрівача було б неважко, склавши рівняння теплового балансу шляхом прирівнювання правих частин виразів (2) і (3). Однак труднощі полягають у тім, що умови теплопередачі від нагрівача [величина k в формулі (3)] теж залежать від його геометричних розмірів. Тому для розрахунку використовують емпіричні залежності теорії теплопередачі і розрахунок ведуть методом послідовного наближення. У практиці прибігають до наближених методів розрахунку з застосуванням різного роду експериментальних даних.

Розрахунок по робочому струму заснований на використанні експериментальних (табличних або графічних) залежностей між струмовими навантаженнями на

провідники, їхніми температурами і значеннями площ перетинів. Ці залежності одержують звичайно для дротів, натягнутих горизонтально в спокійному повітрі, що має температуру 20 °С. Таблиці складають для кожного матеріалу дротів (табл. 1). Для переходу від табличних умов до реального вводять дослідні поправочні коефіцієнти.

Розрахунок по робочому струмові ведуть у такій послідовності.

Визначають робочий струм нагрівача. Для однофазних установок

$$(1) \quad I = 10^3 P / (U_z) = 3000 / 200 = 15 \text{ A}$$

Для трифазних установок: $I = 10^3 P / (\sqrt{3} U_z),$

де Р - потужність установки, кВт; U - живляча напруга, В; z - число нагрівачів у фазі.

Вибирають матеріал нагрівального опору і встановлюють його бажану робочу температуру ϑ , що у найважчих умовах роботи не повинна перевищувати припустиму для обраного нагрівального сплаву. У таблиці 1 фігурує розрахункова (фіктивна) температура ϑ_p , що відповідає табличним умовам. Розрахункова ϑ_p , і дійсна ϑ температури зв'язані емпіричним співвідношенням

$$\vartheta_p = k_m k_c \vartheta, \quad (4)$$

де k_m і k_c - коефіцієнти монтажу і середовища.

Коефіцієнт монтажу k_m , враховує погіршення тепловіддачі від нагрівача і, отже, збільшення його температури в реальному нагрівачі в порівнянні з табличними умовами. Коефіцієнт $k_m < 1$ і тільки для табличних умов $k_m = 1$.

Таблиця №1. Допустимі навантаження на ніхромовий дріт, підвішений горизонтально в спокійному повітрі при температурі 20°С

Діаметр дроту мм	Площа перерізу мм ²	Допустимі навантаження (А) при розрахунковій t °С						
		200	400	600	700	800	900	1000
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,1	0,00785	0,1	0,47	0,63	0,72	0,81	0,9	1,0
0,2	0,0314	0,65	1,03	1,4	1,65	1,82	2,0	2,3
0,3	0,085	1,05	1,63	2,27	2,7	3,05	3,4	3,85
0,4	0,126	1,5	2,34	3,3	3,85	4,4	5,0	5,7
0,5	0,195	2,0	3,15	4,5	5,2	5,9	6,75	7,7
0,6	0,342	2,52	4,0	5,7	6,5	7,5	8,5	9,7
0,7	0,385	3,1	4,8	6,95	7,8	9,1	10,3	11,8
0,8	0,503	3,7	5,7	8,15	9,15	10,8	12,3	14,0
0,9	0,636	4,25	6,7	9,35	10,45	12,3	14,5	16,5
1,0	0,785	4,85	7,7	10,8	12,1	14,3	16,8	19,2

Продовження таблиці №1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
1,1	0,95	5,4	8,7	12,4	13,9	16,5	19,1	21,5
1,2	1,13	6,0	9,8	14,0	15,8	18,7	21,6	24,3
1,3	1,33	6,6	10,9	15,6	17,8	21,0	24,4	27,0
1,4	1,54	7,25	12,0	17,4	20,0	23,3	27,0	30,0
1,5	1,77	7,9	13,2	19,2	22,4	25,7	30,0	33,0
1,6	2,01	8,6	14,4	21,0	24,5	28,0	32,9	36,0
1,8	2,54	10,0	16,9	24,9	29,0	33,1	39,0	43,2
2,0	3,14	11,7	19,6	28,7	33,8	39,5	47,0	51,0

2,5	4,91	16,6	27,5	40,0	46,6	57,5	66,5	73,0
3,0	7,07	22,3	37,5	54,5	64,0	77,0	88,0	102,0
4,0	12,6	37	60	80	93	110	129	151

Коефіцієнт середовища k_c враховує поліпшення тепловіддачі унаслідок впливу середовища, що нагрівається, що створює умови роботи, що відрізняються від табличних, завжди $k_c > 1$.

По I і ϑ_p з таблиці 1 знаходять діаметр дроту

2) найближче більше для 15 А – 2,0 мм і визначають площу перерізу $S = 3,14 \text{ мм}^2$. З двох можливих значень завжди вибирають більше. Необхідну довжину дроту на один нагрівач знаходять по формулі:

$$L_{np} = \frac{U^2 S}{10^3 P_{p20} (1 + \alpha \theta)}, = (200^2 \times 3,14) / (1000 \times 3 \times 1,05 \times (1 + 2 \times 10^{-4} \times 450)) = 9,14 \text{ м.} \quad (5)$$

де $\theta = \vartheta - 20$.

Результати розрахунків у значній мірі залежать від вірогідності значення k_m і k_c . Значення цих коефіцієнтів для деяких випадків приведені нижче. Менші значення k беруть для менших діаметрів дроту, великі - для великих.

Конструктивне виконання нагрівача

k_m

Дріт, натягнутий горизонтально в спокійному повітрі

при 20 °С..... 1,0

Дротова спіраль у спокійному повітрі..... 0,8...0,9

Дротова спіраль у вогнетривкому тримачі..... 0,7

Дріт, навитий на вогнетривкого тримачі в спокійному повітрі... 0,6...0,7

Нагрівальний опір між двома шарами теплової ізоляції (закриті електроплитки, деякі трубчасті електронагрівники)..... 0,5

Нагрівальний опір з потужною тепловою ізоляцією (трубчасті електронагрівники, електронагрівники в підлогах)..... 0,3...0,4

Умови навколишнього (нагріваємого) середовища

k_c

Дротова спіраль у повітряному потоці..... 1,1...1,5

Нагрівачі, занурені у воду..... 2,5

Нагрівачі, занурені у рідину..... 3...3,5

Нагрівальні опори часто виконують у виді дротових спіралей (рис. 1,а). Розміри спіралей вибирають з умови достатньої механічної міцності нагрівачів. Для дротових спіралей з ніхрому середній діаметр витків d_{cn} приймають рівним $d_{cn} = (8... 10) d$, крок спіралі $h = (2...6) d$, де d - діаметр дроту ;

4) Число витків визначають по формулі

$$n = \frac{L_{np}}{\sqrt{(\pi d_{cn})^2 + h^2}} = \quad (a)$$

$$= 9,14 / ((3,14 \times 0,05)^2 + 0,01^2)^{0,5} = 581 \quad (6)$$

5) довжину спіралі - по формулі

$$l_{cn} = hn = 58,1 \times 0,02 = 1,16 \text{ м}$$

Трубчасті електронагрівники (ТЕНи). Низько і середньо температурні установки непрямого нагрівання обладнують трубчастими електронагрівниками (рис.-1,г)

заводського виготовлення, що відрізняються високою надійністю й електробезпечністю. Вони можуть працювати у воді, молоці, розплавленій солі і т.д., надійні при вібраціях і ударних навантаженнях, можуть мати будь-яку форму.

Трубчастий електронагрівник (ТЕН) являє собою металеву трубку, усередині якої розміщена спіраль з ніхрому, ізольована від трубки насипною електричною ізоляцією - кристалічним окисом магнію (периклазом). Після опресування нагрівача порошкоподібний периклаз перетворюється в моноліт, що міцно фіксує спіраль по центрі трубки. Параметри випускаємих промисловістю стандартизованих ТЕНів (більш складні конструкції можуть мати в одній трубці дві і три спіралі із самостійними висновками) змінюються в широкому діапазоні: номінальна напруга від 12 до 380 В, номінальна потужність від 0,05 до 20 кВт в одиниці, зовнішній діаметр від $4 \cdot 10^{-3}$ до $16 \cdot 10^{-3}$ м, розгорнута довжина від 0,25 до 6,3 м.

Трубки (оболонки) ТЕНів виконують з углеродиної сталі Ст. 10, Ст.20, міді, латуні, нержавіючої сталі 12Х18Н10Т. ТЕНами обладнають електричні водонагрівачі, калорифери, сушарки, випромінювачі й ін. Завдяки високій надійності і безпеці установки непрямого нагрівання з ТЕНами широко поширені в системах децентралізованого електротеплопостачання. Термін роботи одно спіральних ТЕНів при нормальній експлуатації може досягати 10 тис. год.

$$6) A = 10^3 P / \sigma_{\text{дон}} = 1000 \times 3 / 50000 = 0,06 \text{ м}^2, (7)$$

Бокова поверхня нашого дроту $3,14 \times 0,002 \times 9,1 = 0,057 \text{ м}^2$, що є достатнім.

де P - розрахункова потужність установки, кВт; $\sigma_{\text{дон}}$ - припустима питома поверхнева потужність для поверхні трубки (оболонки) ТЕНа, Вт/м. Значення а залежить від цілей і умов нагрівання, матеріалу трубки (табл. 2).

Таблиця 2. Гранично допустимі питомі потужності на поверхні оболонки ТЕНів

Середовище, що нагрівається	Характер нагріву	Матеріал оболонки ТЕНа	Питома потужність не більше, 10^4 Вт/м ²
Вода, слабкий розчин лугів і кислот .	Нагрівання і кип'ятіння	Мідь, латунь, нержавіюча сталь, вуглецева сталь. Нержавіюча сталь	7...11
Повітря	Нагрівання в спокійному повітряному середовищі до температури оболонки ТЕНа від 450 до 700 °С (променистий обігрів молодняку).	Вуглецева сталь	5...6
	Нагрівання в середовищі повітря, що рухається, зі швидкістю не менш 6 м/с (електрокалорифер та ін.) до температури на оболонці ТЕНа Те ж до температури на оболонці ТЕНа від 450 до 600 °С. Нагрівання в ємності до температури на оболонці 150 °С	Нержавіюча сталь Вуглецева сталь	5,5
Молоко	Нагрівання у ваннах до температури на оболонці Туна 300 °С		6,5
Жири харчові			1.5...2.0
			3,0

Вибравши в таблиці значення $7) \sigma_{\text{дон}} = 5 \times 10^4 \text{ Вт/м}^2$ по формулі (7) визначають загальну необхідну площу поверхні нагрівання, потім вибирають по каталозі найбільш підходящий ТЕН і по каталожним даним знаходять його активну поверхню A_1 . Необхідне число нагрівачів $z = A/A_1$.

Контрольні питання

1. Які Ви знаєте способи перетворення електричної енергії в теплову?
2. З чого складається установка електроконтактного нагріву?
3. Які основні параметри визначають при розрахунку відкритих електронагрівачів?
4. Які основні параметри визначають при розрахунку ТЕНів?

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 6

Тема: Електричний розрахунок нагрівних елементів ПЛАН

1. Електричні печі опору
2. Електричний розрахунок

1. Електричні печі опору

Електричні печі опору, засновані на виділенні в провідниках тепла при проходженні по них електричного струму - дуже розповсюджений вид електронавантаження й представляють для енергоаудиторів особливий інтерес.

По-перше, технічні характеристики ЕПО у процесі експлуатації можуть істотно змінюватися через старіння електронагрівників і футерівки, також при використанні матеріалів, що відрізняються по властивостях, у ході ремонтних робіт.

По-друге, питома витрата електроенергії в ЕПО залежить від графіка їхньої експлуатації. Багато печей проектувалися у свій час для трьохзмінних режимів роботи в умовах серійного випуску продукції, а зараз їх використовують в інших режимах.

По-третє, з'явилися й стали доступні нові теплоізоляційні й теплостійкі матеріали, що дозволяють модернізувати ЕПО і зробити їх більш енергоефективними.

Метою енергетичних обстежень ЕПО є визначення відповідності технічних характеристик до їх паспортних даних і оцінка правильності режимів їхньої експлуатації. У випадку виявлення резервів підвищення ефективності роботи обстежених ЕПО, результатом повинні бути рекомендації із проведення організаційних і технічних заходів щодо зниження питомої витрати електроенергії, а також повинен бути підрахований одержуваний економічний ефект і строк окупності капітальних витрат.

ЕПО підрозділяються на печі періодичної дії (садочні) і безперервної дії (методичні). Приклад садочної печі показаний на рис. 1. [44]. Це один з найпоширеніших типів ЕПО – камерна піч. Деталі, що нагрівають, завантажуються через завантажувальне вікно на жароміцний лист 8 у піч, нагрівають від нагрівальних елементів 6 і 9, по закінченню технологічного процесу, вивантажуються з печі.

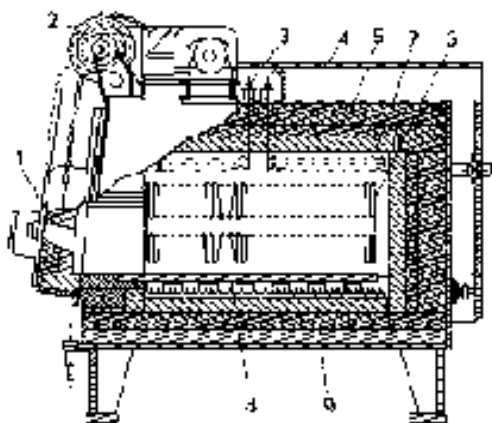


Рис.1. Камерна електропід опору

Дверцята печі 1 відкриваються за допомогою механізму 2. Для виміру температури використовуються термопари 3, закріплені на металевому кожусі 4. Футерівка печі 5 складається із внутрішнього вогнетривкого шару й зовнішнього теплоізоляційного.

Садочні ЕПО по типу конструкції бувають: камерні, шахтні, ковпакові, елеваторні, тигельні й ін.

ЕПО безперервної дії призначені для термообробки деталей у серійному типі виробництва. Їх досить багато по типах конструкцій. Для назви типу печі беруть за основу тип застосовуваного механізму для переміщення оброблюваних деталей через піч. ЕПО безперервної дії бувають: конвеєрні, рольгангові, барабанні, штовхальні та ін. На рис. 2.3.4 показана конвеєрна піч опору [44].

При більших довжинах робочого простору печі, ЕПО поділяється на кілька теплових зон. Кожна зона має незалежне електроживлення, свою термопару й регулятор температури. Найчастіше в ЕПО використовується двопозиційне регулювання температури. На уставку регулятора задається робоча температура зони нагріву, після досягнення цієї температури електронагрівники зони відключаються, зона починає остигати й, після досягнення температурою нижньої межі нечутливості, нагрівачі знову включаються.

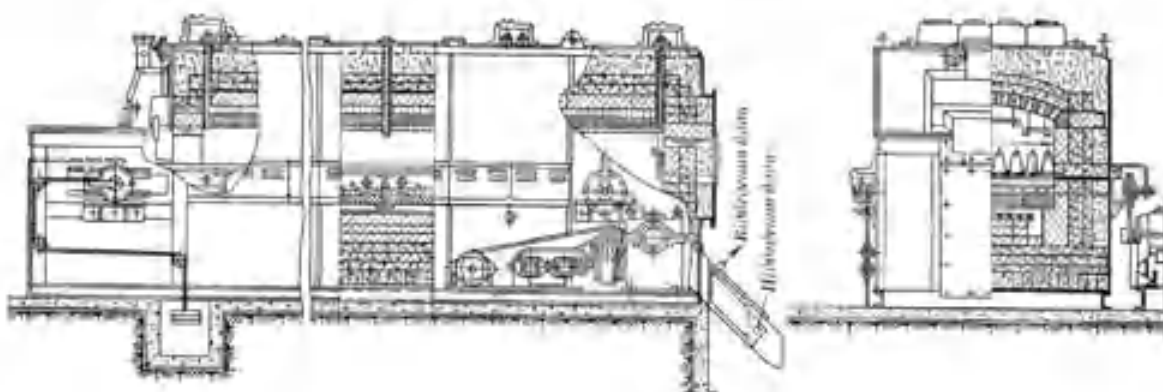


Рис. 2 Конвеєрна піч опору

Усякого роду нещільності та отвори у футерівці викликають значні збільшення теплових втрат. Завантажувальні й розвантажувальні отвори печі без необхідності не повинні залишатися відкритими, дверцята печі варто добре ущільнювати. У печах безперервної дії, в яких завантажувальні або розвантажувальні отвори відкриті під час роботи, потрібно стежити, щоб їхні розміри відповідали габаритам деталей, що входять у піч, і влаштовувати в цих отворах ширмочки, наприклад, з азбесту.

При фарбуванні кожуха печі алюмінієвою фарбою теплові втрати знижуються на 2 - 3% за рахунок зниження коефіцієнту випромінювання кожуха печі. Тому фарбування печі алюмінієвою фарбою повинна провадитися в обов'язковому порядку.

При огляді печей необхідно виявити ЕПО із підвищеною температурою кожуха. Швидше за все це можна зробити за допомогою інфрачервоного термометра для безконтактного виміру температури. Температура зовнішньої поверхні кожуха повинна бути не вище 30-40 °С при робочій температурі печі 700-800 °С і не вище 40-50 °С при робочій температурі 800-1200 °С. Такі температури кожуха печі забезпечують гарні умови для обслуговуючого персоналу і порівняно невеликі теплові втрати (не більше 300÷400 Вт/м²).

Якщо поверхня кожуха має підвищену температуру, то це свідчить про незадовільний стан футерівки печі. Іноді під час ремонту футерівки використовують матеріали, що є в наявності, які можуть відрізнитися по властивостях від проектних матеріалів у гіршу сторону. Однак надалі доводиться платити за підвищену витрату електроенергії. Тому не варто заощаджувати на вартості теплової ізоляції. Навпаки, по можливості при ремонті ЕПО бажано замінити наявну в них теплоізоляцію більш досконалою. Останнім часом можна замовити практично будь-які найефективніші теплоізоляційні матеріали. У середньому можна вважати, що кожен кубічний метр високоякісної теплоізоляції в ЕПО дає від 5000 до 10000 кВт·год економії електроенергії в рік. Вартість цієї зекономленої за рік електроенергії буде більше вартості витрат на теплоізоляцію підвищеної якості, і остання окупиться менш чим за 1 рік.

Не слід прагнути до зниження температур кожуха за рахунок надмірного збільшення товщини футерівки, тому що це збільшує втрати електроенергії на акумуляцію тепла й збільшує час розігріву та остигання печі.

Підвищення ефективності роботи печі іноді можна забезпечити збільшенням її продуктивності. Збільшити продуктивність печі можна за допомогою підвищення робочої температури (змінивши уставку терморегулятора). Це можливо за умови, що нагрівальні елементи допускають їхню експлуатацію при підвищеній температурі. При збільшенні температури в печах періодичної дії час нагріву зменшиться, а в печах безперервної дії одночасно зі збільшенням робочої температури печі треба збільшити швидкість переміщення виробів у печі. При нагріві масивних виробів температурні перепади при збільшенні температури печі повинні бути прораховані та погоджені з технологіями. Кінцеві температурні перепади можуть бути знижені шляхом зменшення температурного завдання терморегулятора наприкінці нагріву до первісного. При цьому в печах періодичної дії необхідно двічі протягом циклу змінювати температурні уставки терморегулятора. У методичних багатозонних печах це можна досягти шляхом установки регулятора в перших зонах на максимально припустимі нагрівачами температуру, а в останній зоні - на температуру, що задана технологічним процесом.

Коли продуктивність печі відповідає її потужності й вона використовується повністю, може виникнути питання про доцільність збільшення потужності печі. Таке збільшення потужності може виявитися ефективним для виробів, що не вимагають тривалої витримки, тобто при загартуванні, нормалізації та відпуску, а також при нагріві заготовок під кування і штампування. При цьому для печей періодичної дії збільшення продуктивності й зниження питомої витрати електроенергії будуть мати місце також за рахунок скорочення часу розігріву печі.

Потужність печі може бути збільшена шляхом перерахунку й переробки нагрівальних елементів. При цьому повинні бути перевірені також живильні кабелі й

комутаційна апаратури. Збільшувати потужність у ряді випадків вдається, тому що багато ЕПО мають недостатню потужність.

ЕПО найчастіше мають коефіцієнт потужності, що дорівнює одиниці. Іноді ЕПО забезпечуються понижуючими трансформаторами й регулювальними трансформаторами, що приводить до зниження коефіцієнта потужності.

Потужність окремих печей коливається від долей кіловата до декількох мегаватів. При потужності 20 кВт і вище печі виконують звичайно трифазними, тому ЕПО, як правило є симетричними навантагами.

У ряді випадків ЕПО дуже чутливі до змін напруги. Режим роботи ЕПО при зниженні напруги істотно погіршується, збільшується тривалість технологічного процесу й, отже, собівартість продукції. Так при зниженні напруги живлення на 7% у печі опору для відпалу заготовок із кольорового металу (потужність печі 675 кВт) тривалість технологічного процесу збільшується з 3-х до 5-ти годин. А при зниженні напруги живлення на 10% відпал стає неможливим. Особливо чутливі до змін напруги високотемпературні й малопотужні ЕПО. У ряді випадків, для того, щоб не допустити масовий брак виробів, доводиться живити печі через стабілізатори напруги, підтримуваної з точністю $\pm 1\%$.

2. Електричний розрахунок нагрівних елементів

Включає в себе розробку схем їх з'єднань з врахуванням вимог до регулювання потужності установки, вибір напруги живлення та визначення геометричних розмірів робочих опорів.

Вхідні дані:

$A_{н.т}$ - 0,2 м² площа теплоприймаючої поверхні нагріваного тіла, м²;

$A_{ст}$ = 0,22 м² площа поверхні стін установки, зайнятих нагрівачами, м².

P – потужність нагрівача, Вт;

$P_{пит}$ – питома поверхнева потужність нагрівача, Вт/м²;

A – площа поверхні нагрівача, м²; Π – периметр розрізу нагрівача, м; l – довжина нагрівача, м;

ϕ U^2 – фазна напруга, прикладена до нагрівача, В;

R – електричний опір нагрівача, Ом;

d – діаметр перерізу нагрівача,

S – площа перерізу нагрівача, м²;

$T_n = 673K$ і $T_{нт} = 473K$ – температура відповідно нагрівача і нагрітого тіла, К.

Варіанти завдання

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$н.т$	,18	,13	,24	,34	,29	,24	,33	,34	,27	,24
$ст$	,27	,33	,21	,22	,23	,21	,24	,25	,26	,27

н	50	80	53	00	00	50	90	00	30	26
нт	64	10	80	00	50	70	44	20	39	25

Нагрівачі розраховують по питомій поверхневій потужності (питомому поверхневому тепловому потоку) або по робочому струму .

Розрахунок по питомій поверхневій потужності заснований на спільному вирішенні двох рівнянь:

$$P = P_{\text{пит}} \cdot A = P_{\text{пит}} \cdot \Pi \cdot l$$

та

$$P = U^2 / R = U^2 \phi S / (\rho \cdot l),$$

де P – потужність нагрівача, Вт;

$P_{\text{пит}}$ – питома поверхнева потужність нагрівача, Вт/м²;

A – площа поверхні нагрівача, м²; Π – периметр розрізу нагрівача, м; l – довжина нагрівача, м;

U^2 – фазна напруга, прикладена до нагрівача, В;

R – електричний опір нагрівача, Ом;

S – площа перерізу нагрівача, м²;

робочій температурі Θ

d – діаметр перерізу нагрівача,

$\rho \Theta$ – питомий електричний опір нагрівача, Ом·м, при робочій температурі Θ .

Коефіцієнт a_c визначає вплив на $P_{\text{пит}}$ приведенного коефіцієнта випромінювання реального нагрівача (рис. 2).

$$1) c_{\text{пр}} = 1 / \left[1 + \frac{A_{\text{н.т.}}}{A_{\text{ст}}} - 1 \right] \left(\frac{1}{\epsilon_{\text{н.т.}}} - \frac{1}{\epsilon_{\text{ст}}} \right)$$

$$= 1 / (1 / 0,94 + (0,2 / 0,22) * (1 / 0,9 - 1)) = 0,86$$

де $A_{\text{н.т.}}$ – площа теплоприймаючої поверхні нагрівача, м²;

$A_{\text{ст}}$ – площа поверхні стін установки, зайнятих нагрівачами, м².

Коефіцієнт α_p враховує вплив відносних розмірів нагрівача $\rho_{\text{н.т.}}$ і тіла на

залежить від відношення $A_{\text{н.т.}} / A_{\text{ст}}$ (рис. 3); при $A_{\text{н.т.}} \geq A_{\text{ст}} = 0,8$ $\alpha_p = 1$. В якості $A_{\text{н.т.}}$ приймають площу поверхні, яка повернута до нагрівачів. Для нагрітих тіл складної форми за розрахункове значення $A_{\text{н.т.}}$ приймають площу огинаючої поверхні.

$\epsilon_{\text{н.т.}} = 0,94$ ступінь чорноти нагрітого тіла;

$\epsilon_{\text{н.}} = 0,9$ ступінь чорноти нагрівача.

При $A_{н.т.}/A_{ст} < 0,3$ поправки на розмір нагрітого тіла a_p і приведений коефіцієнт випромінювання a_c не вводять.

В тих випадках коли, тепловий потік передається випромінюванням, максимально допустиму питому поверхневу потужність, Вт/м², ідеального нагрівача (теплові втрати дорівнюють нулю) визначають на основі закону Стефана-Больцмана.

$$2) p_{пит\ id} = c_{пр} [(T_n/100)^4 - (T_{нт}/100)^4], \\ = 0,86 * ((673/100)^4 - (473/100)^4) = 1338 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{K}^4).$$

де $c_{пр}$ – приведений коефіцієнт випромінювання ідеального нагрівача, Вт/(м²·K⁴). Тут $\epsilon_n = 0,96$ і $\epsilon_{нт} = 0,91$ – відносні коефіцієнти випромінювання відповідно нагрівача і нагрітого тіла; ці значення приведені в літературі [1];

T_n і $T_{нт}$ – температура відповідно нагрівача і нагрітого тіла, К.

Гранично допустима питома поверхнева потужність реального нагрівача, працюючого при тій ж температурі, що й ідеальний, відображається наступною залежністю:

$$3) p_{пит} = p_{пит\ id} a_{ef} a_k a_c a_p, = 1338 \cdot 0,32 * 1,4 * \\ 0,8 * 1,0 = 1493 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{K}^4).$$

де a_{ef} , a_k , a_c , a_p – поправочні коефіцієнти.

Коефіцієнт a_{ef} характеризує ефективність випромінювання даної системи нагрівача. Для дрітної спіралі, розміщеної на поличці або керамічній трубці, a_{ef} приймають рівним 0,32.

Коефіцієнт кроку a_k враховує залежність $p_{пит}$ від відносної виткової відстані h/d (рис. 3).

Питомий опір металевих провідників зростає з температурою

$$4) \rho_{\vartheta} = \rho_{20} [1 + \alpha(\vartheta - 20)], = 1,05 \cdot 10^{-6} (1 + 2 * 10^{-4} (600 - 20)) = 1,17 * 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м},$$

де $\rho_{20} = 1,05 \cdot 10^{-6}$ Ом/м - питомий опір ніхрому при 20°C,

$\alpha = 2 * 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ - температурний коефіцієнт опору;

Для нагрівачів, виконаних із заготовки круглого перетину (дріт, прутки),

$\Pi = \pi d$, $S = \pi d^2/4$ (d – діаметр перерізу нагрівача, м). В цьому випадку загальний розв'язок рівнянь дає вираз для діаметра, м,

$$5) d = \sqrt[3]{\frac{4 \rho_{\Theta} P^2}{\pi^2 U_{\phi}^2 p_{пит}}} \\ = ((4 * 1,17 * 10^{-6} * 1394^2) / (3,14^2 * 220^2 * 1338))^{0,3333} = 0,0025 \text{ м} \\ \text{та довжини, м, нагрівача}$$

$$6) l = \sqrt[3]{\frac{P U_{\phi}^2}{4 \pi \rho_{\Theta} p_{пит}^2}} \\ = (1394 * 220^2 / (4 * 3,14 * 1,17 * 10^{-6} * 1338^2))^{0,333} = 135 \text{ м}$$

Геометричні розміри спіралі визначають за наступними формулами:

$$7) \text{ крок } h = (3,2 \dots 4,8) d; = 4 * 0,0025 = 0,01 \text{ м}$$

$$8) \text{ діаметр } D = (6 \dots 10) d = 0,1 \text{ м}$$

9) число витків $w = l/\pi D = 135/3,14 \cdot 0,1 = 430$

10) довжина $L = h w = 430 \cdot 0,01 = 4,3 \text{ м}$

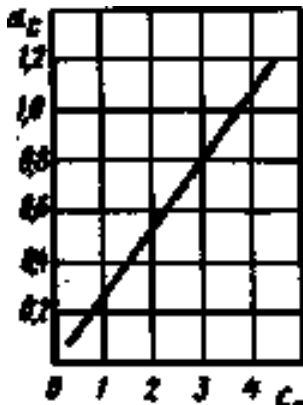
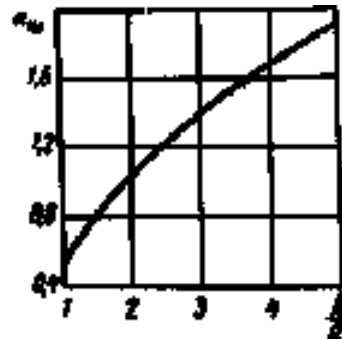


Рис.

3. Залежність коефіцієнту α_k від відношення h/d для дротового спірального електронагрівача.

Рис. 4. Залежність коефіцієнту α_c від приведенного коефіцієнту $\alpha_{пр}$ випромінювання.

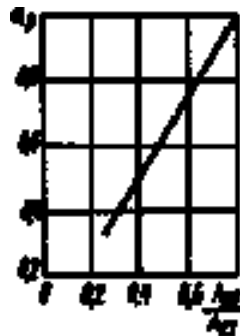


Рис. 5. Залежність коефіцієнту α_p від відношення $A_{нт}/A_{ст}$.

Алгоритм розв'язку

Виходячи із заданих величин поверхонь печі і деталей, властивостей шпичних поверхонь підраховуємо питому ідеальну потужність, потім через поправочні коефіцієнти знаходимо робочу потужність електричного нагрівача.

Із заданої напруги і підрахованої потужності нагрівача для заданої температури встановлюємо силу струму з найбільшим діаметром дроту.

Наступним кроком визначаємо довжину нагрівача. Після аналізу робимо висновок щодо корекції струму, діаметра та довжини дроту, або визначаємо параметри спіралі.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №7

Тема: Визначення основних параметрів електродного водонагрівача ПЛАН:

1. Короткі теоретичні відомості
2. Схема дослідної установки.
3. Непроточний електродний нагрівач
4. Проточні водонагрівачі

ЗНАТИ:

- конструкцію і принцип дії електродного водонагрівача;
- основні електричні і теплові характеристики електродних водонагрівачів;
- методику перевірного розрахунку електродного водонагрівача.

ВМІТИ:

- скласти схему вмикання водонагрівача і приладів;
- визначити продуктивність, середню потужність, ККД і питомі витрати електроенергії;
- будувати графік залежності потужності P , питомого опору ρ від температури води t .

1. Короткі теоретичні відомості

Електричний нагрів води - один з найбільш розповсюджених способів використання електроенергії с/г.

Не забруднюючи повітря і приміщення продуктами згорання, електронагрів у найбільшій ступені відповідає зоотехнічним і санітарно-гігієнічним вимогам тваринницьких ферм. Застосування електричного водонагрівача у порівнянні з вогневим - це велика пожежна небезпека, можливість установки в будь-якому місці скотного двора, високий термічний ККД(92...97%), економія робочої сили, можлива автоматизація всього процесу і керування на відстані (пуск, зупинка, регулювання температури).

Електроводонагрівачі дозволяють комплексно використовувати електроенергію, вирівнювати добовий графік навантаження і підвищувати коефіцієнт використання встановленої потужності джерела електропостачання.

Існують два типи електричних водонагрівачів: 1) з електродним нагрівом; 2) з елементним нагрівом.

В практиці с/г. виробництва застосовують такі типи електродних водонагрівачів (рис1): однофазні і трифазні.

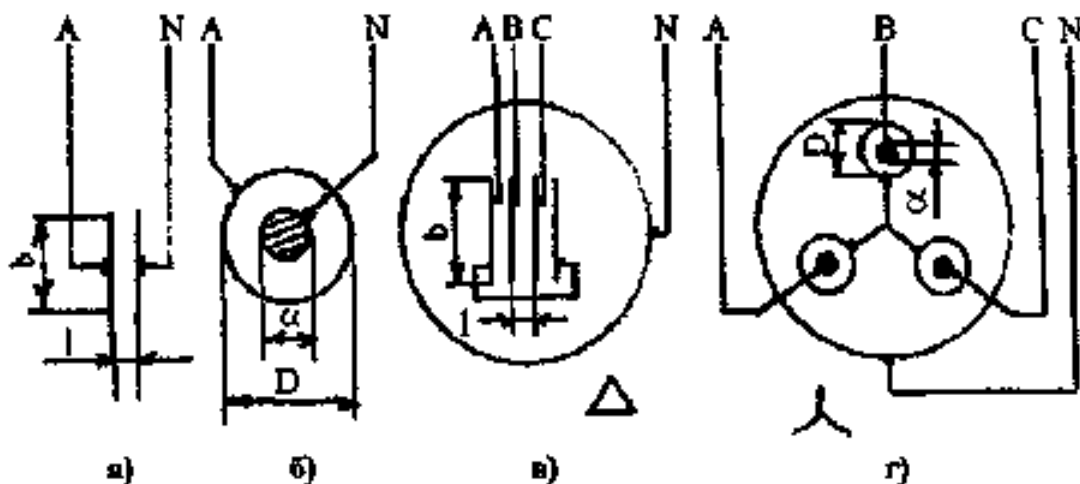


Рисунок 1 Типи електродних нагрівників.

а) однофазна з плоскими електродами; б) однофазна з циліндричними коаксіальними електродами; в) трифазна з пластинчастими електродами (трикутник); г) трифазна з коаксіальними електродами (зірка).

Для електродів використовують нержавіючу сталь і графіт. Алюміній, мідь, оцинкована сталь не застосовується.

Величина опору робочого кола залежить від питомого опору води, перерізу і довжини електролітичного провідника, густини струму, інтенсивності пароутворення, величині тиску в котлі, а також від температури води.

Залежність питомого опору в різних водоймах від температури показана на рис.2.

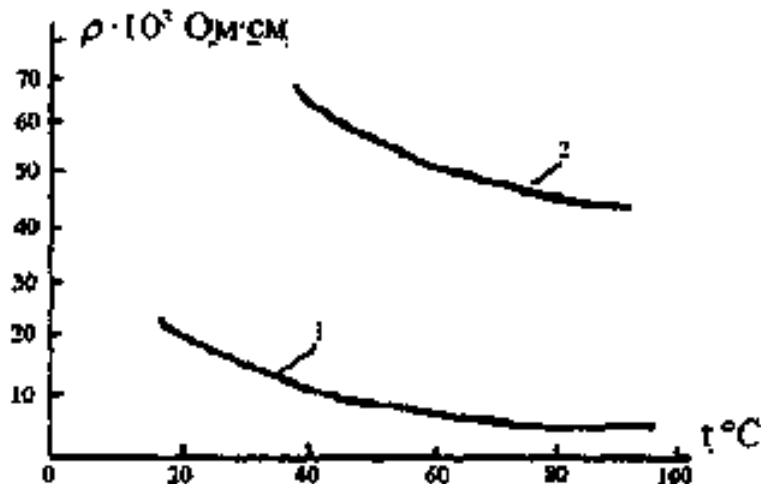


Рисунок 2 Залежність питомого опору води з різних водойм від температури:

1 - водопровідна вода в; 2 - турбінний конденсат.

Щоб уникнути появи гримучого газу густина струму для плоских електродів допускається не більш 0,6 А/см², для циліндричних - до 2,0 А/см².

Напруга на 1 см міжелектродної відстані підраховують за формулою:

$$E = \rho_r \cdot j_{\text{доп}}$$

де ρ_r - питомий опір гарячої води;

$j_{\text{доп}}$ - допустима густина струму. При більшому значенні E може виникати замикання електродів.

2. Схема дослідної установки.

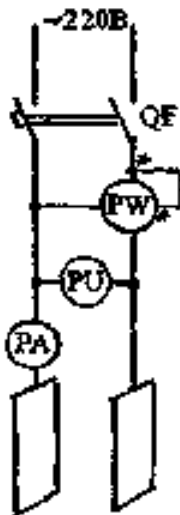


Рисунок 3 Схема вмикання водонагрівача і приладів.

Особливості електродних водонагрівачів і парових котлів заключаються в залежності споживаної потужності від питомого електричного опору нагріваємої води та в обмеженні напруженості електричного поля між електродами для попередження електричного пробою та розкладання води.

В системах з коаксіальними циліндричними електродами напруженість поля E , В/м, і щільність струму j , А/м, в поперечному перетині міжелектродного простору непостійні:

$$E = \frac{U}{\ln \frac{r_c}{r_a}} \cdot \frac{1}{r};$$

$$j = \frac{U}{\rho \ln \frac{r_c}{r_a}} \cdot \frac{1}{r};$$

де r_b та r_c – радіуси відповідно внутрішнього та зовнішнього електродів, м;

r – поточний радіус точки в міжелектродному просторі, м;

ρ – питомий електричний опір води, Ом·м.

При $r = r_b$ напруженість поля та щільність струму максимальні.

В системах з плоскопаралельними електродами електричне поле однорідне і його напруженість, В/м,

$$E = U/a,$$

де a – відстань між електродами, м.

Допустима щільність струму, А/м², на електродах

$$j_{\text{доп}} = E_{\text{доп}} / \rho \beta,$$

де $E_{\text{доп}}$ – допустима напруженість поля, яка залежить від питомого опору води, Вт/м (рис. 4);

β – коефіцієнт, який враховує вплив пароутворення на питомий опір води (для водонагрівачів $\beta = 1$, для парових котлів $\beta = 1,25 \dots 1,35$).

Максимальна щільність струму, А/м², на електродах

$$j_{\text{макс}} = k_n I / A_e,$$

де $k_n = 1,1 \dots 1,4$ – коефіцієнт, який враховує нерівномірність щільності струму на поверхні електрода;

I – сила струму, стікаючого з електрода, А;

A_e – площа поверхні електрода, м².

Розрахунок електродних систем водонагрівачів і парових котлів заключається у виборі раціональної форми електродів, у визначенні їх розмірів, потужності і діапазону її регулювання, перевірці роботоздатності апарата по напруженості поля і щільності напруги на електродах.

Вихідні дані для розрахунку:

- проточних водонагрівачів – об'ємний розхід Q_v води, температура води $\Theta_{\text{вх}}$ на вході і $\Theta_{\text{вих}}$ на виході;

- непроточних – об'єм V нагрітої води, час t нагріву, початкова Θ_n і кінцева Θ_k температура води;
- парових котлів – масовий розхід Q_t пари, робочий тиск H_p і температура Θ_s кипіння води, а також питомий електричний опір ρ_{20} води при температурі 20 °С.

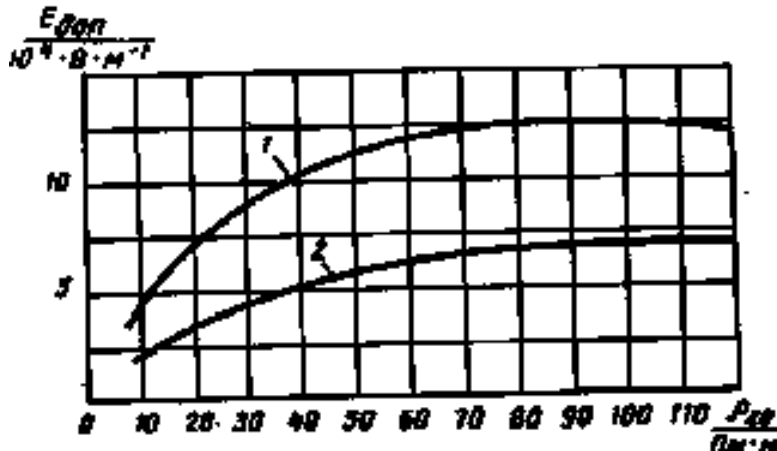


Рис. 4. Допустима напруженість електричного поля в електродних апаратах: 1 - для водонагрівачів; 2 - для парових котлів.

3. Непроточний електродний нагрівач

Фазний опір, Ом, може бути визначений:

по фазній напрузі U_ϕ , В, і потужності апарата P , Вт,

Із графіка (рис. 2) складаємо табличні значення питомого опору водопровідної води

$t^\circ\text{C}$	20	40	60	80	100
ρ_Θ Ом·см.	20	11,5	8	5	5

$$R_\phi = 3U_\phi^2 / P$$

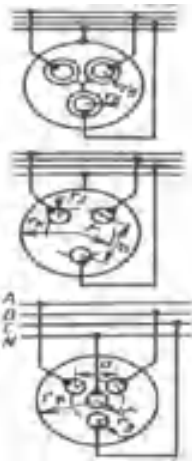
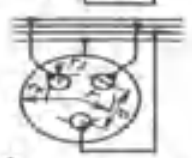
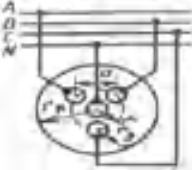
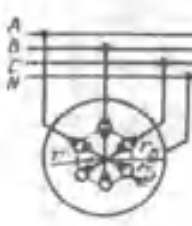
за геометричними розмірами електродної системи

$$R_\phi = k_{e.g} \rho_\Theta / h,$$

де $k_{e.g}$ – геометричний коефіцієнт системи (табл.1);

h – висота електродів, м.

Таблиця 1 - Конструктивні схеми та розрахункові формули електродних систем водонагрівачів та парових котлів

Конструктивна схема електродної	Еквівалентна електрична схема:	Геометричний коефіцієнт T^*	Максимальна напруженість поля *	Примітка
		$\frac{1}{2\pi} \ln \frac{r_B}{r_A}$	$E_{\max} = \frac{U \phi}{r_m \ln \frac{r_B}{r_A}}$	Оптимальне співвідношення $r_B/r_A = 0,368$
		$\frac{1}{4\pi} \ln \left[\frac{3r^2 (r_B^2 - r^2)^2}{r_A^2 (r_B^2 + r^2)} \right]$	$E_{\max} = \frac{0,43 U \phi}{\sqrt{3r_B} \ln \frac{r_B^2 + r^2}{r_A \sqrt{3}}}$	
		$(0,33-0,5) \frac{1}{4\pi} \ln \times \left[\frac{3r^2 (r_B^2 - r^2)^2}{r_A^2 (r_B^2 + r^2)} \right]$	$E_{\max} = k \frac{U \phi}{a} \quad k > 1$	
		$\frac{1}{8\pi} \ln \left[\frac{3r^2 (r_B^2 - r^2)^2}{4r_A^2 (r_B^2 + r^2)} \right]$		Оптимальне співвідношення розмірів $r = 0,51 r_K$ $r_e = 0,21 r_K$
		a/b	$E_{\max} = k \frac{U_B}{a} \quad k > 1$	

В проточних електродних водонагрівачах, які працюють в замкнутій системі теплозабезпечення без відбору води, при незмінній температурі води на вході і виході споживана потужність, Вт, постійна:

$$D = \frac{3U_{\phi}^2}{R_{\phi}} = \frac{3U_{\phi}^2}{k_{a,a} \rho_{\bar{n}\phi}} = \frac{3U_{\phi}^2 h(20 + \Theta_{\bar{n}\phi})}{40\rho_{20} k_{a,a}}$$

де ρ_{cp} – середній питомий електричний опір води в апараті, Ом·м;

$\Theta_{cp} = (\Theta_{вх} + \Theta_{вих}) / 2$ - середня температура в апараті, °С.

В непроточних водонагрівачах

потужність в процесі нагріву підвищується з підвищенням температури води.

Потужність, Вт, на початку нагріву

$$P_i = \frac{3U_{\phi}^2 h(20 + \Theta)}{40\rho_{20} k_{d.a} \beta}$$

Потужність, Вт, в кінці нагріву

$$P_{\kappa} = \frac{3U_{\phi}^2 h(20 + \Theta)}{40\rho_{20} k_{e.z} \beta} = P_{20} \frac{20 + \Theta}{40}.$$

Середня потужність

$$P_{cp} = \frac{P_n + P_{\kappa}}{2} = \frac{V\rho_B c_B (\Theta_{\kappa} - \Theta_n)}{t},$$

Розрахунок

Задані величини

$V = 35$ літрів $= 0,035$ м³ об'єм води, м³;

$\rho_B = 998$ кг/м³ щільність води, кг/м³;

$c_B = 4190$ Дж/(кг·°C); питома теплоємність води, Дж/(кг·°C);

$t = 10$ хвилин $= 600$ сек час нагріву води, с.

- початкова $\Theta_n = 20$ °C і

- кінцева $\Theta_{\kappa} = 90$ °C температура води;

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V, літри	90	87	80	83	35	30	65	60	55	57
T, хв..	900	100	70	65	30	25	40	45	50	42
початкова Θ_n	20	21	22	20	23	22	10	15	19	18
кінцева Θ_{κ}	95	87	79	66	78	77	75	76	87	79

, У нас відомий час , тому знаходимо В. І визначаємо висоту h

$$0) B = \frac{40V\rho_B c_B k_{e.z} P_{20}}{3U_{\phi}^2 h \eta} \quad ***$$

B - постійна часн нагріву, с.

$$B = (40 \cdot 0,035 \cdot 998 \cdot 4190 \cdot 0,5 \cdot 20) / (3 \cdot 380^2 \cdot 0,28 \cdot 0,98) = 492493$$

1) Якщо час нагріву задано, то можна визначити висоту, h м, електроду

$$h = \frac{40V \rho_B c_B k_{e,z} \rho_{20}}{3U^2 \phi t \eta} \ln \frac{20 + \Theta_{\kappa}}{20 + \Theta_n}$$

$$h = \ln((20+90)/(20+20)) \cdot$$

$$(40 \cdot 0,035 \cdot 998 \cdot 4190 \cdot 0,5 \cdot 20) / (3 \cdot 380^2 \cdot 600 \cdot 0,98) = 0,282 \text{ м}$$

2) Площа поверхні електродів на одну фазу, м^2 ,

$$A_e = \frac{40V \rho_B c_B k_{e,z} \rho_{20} b}{3U^2 \phi t \eta} \ln \frac{20 + \Theta_{\kappa}}{20 + \Theta_n}$$

$$A = \ln((20+90)/(20+20)) \cdot (40 \cdot 0,035 \cdot 998 \cdot 4190 \cdot 0,5 \cdot 20 \cdot 0,25) / (3 \cdot 380^2 \cdot 600 \cdot 0,98) = 0,15 \text{ м}$$

4) Потужність, Вт, непроточного електродного водонагрівача в любий момент часу

$$P_t = P_n e^{t/B} = P_n e^{600/B} = 1,0012 \cdot P_n$$

Величина B із***

де t – час від початку включення водонагрівача, с.

Температура, $^{\circ}\text{C}$, води в момент часу:

$$\Theta = (20 + \Theta_n) e^{t/B} - 20$$

Як правило, перед початком роботи вибирають конструктивну схему

електродної системи і приймають її геометричні розміри в поперечному перетині. В цьому випадку при розрахунку визначають висоту електродів.

4. Проточні водонагрівачі розраховують в наступній послідовності

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$Q_v = 0,00011 \text{ м}^3/\text{с}$	0,00011	0,00014	0,00019	0,00021	0,00017	0,00018	0,00013	0,00015	0,00012	0,00016

початкова $\Theta_{\text{п}}$	20	21	22	20	23	22	10	15	19	18
кінцева $\Theta_{\text{к}}$	95	87	79	66	78	77	75	76	87	79

Знаходять потужність, Вт, в апараті

$$1) P = Q_{\text{в}} \rho_{\text{в}} c_{\text{в}} ((\Theta_{\text{вих}} - \Theta_{\text{вхх}}) / \eta = 0,00011 * 998 * 4190 (60 - 45) / 0,95 = 6555 \text{ Вт}$$

$$2) \text{Визначають фазний опір } R_{\text{ф}} = 3U^2 / P, = 3 * 380^2 / 6555 = 66,1 \text{ Ом,}$$

середню температуру води в апараті

$$\Theta_{\text{ср}} = (\Theta_{\text{вх}} + \Theta_{\text{вих}}) / 2, \text{ } ^\circ\text{C}, = (45 + 60) / 2 = 7,5^\circ\text{C},$$

питомий електричний опір води при середній

$$\text{температурі } P_{\text{ср}} = 40\rho_{20} / (20 + \Theta_{\text{ср}}), = 40 * 20 / 27,5 = 29,1 \text{ Ом}\cdot\text{м.}$$

3) По табличними даними знаходять

$$\text{геометричний коефіцієнт } k_{\text{е.г}} = 0,5$$

для прийняття конструктивної схеми електродної системи.

$$4) \text{Задають відстань між електродами } a = 0,2 \text{ м}$$

В системах з плоскопаралельними електродами електричне поле однорідне і його напруженість, В/м,

$$E = U/a, = 380 / 0,2 = 1900 \text{ В/м}$$

Допустима щільність струму, А/м², на електродах

$$j_{\text{доп}} = E_{\text{доп}} / \rho_{\Theta} \beta = 8000 / (17 * 1) = 470,6 \text{ А/м}^2$$

де $E_{\text{доп}} = 8000$ допустима напруженість поля, яка залежить від питомого опору води, Вт/м (рис. 4);

β - коефіцієнт, який враховує вплив пароутворення на питомий опір води (для водонагрівачів $\beta = 1$, для парових котлів $\beta = 1,25 \dots 1,35$).

Якщо $E_{\text{макс}}$ не вдається знайти розрахунковим шляхом (відсутні розрахункові формули), то роботоздатність апарата оцінюють орієнтовно, порівнюючи допустиму $j_{\text{доп}}$ і фактичну максимальну $j_{\text{макс}}$ щільності напруги на електродах.

Вихідні дані для розрахунку:

- проточних водонагрівачів – об'ємна витрата води $Q_v = 0,0011 \text{ м}^3/\text{с}$ води,
- температура води $\Theta_{\text{вх.}} = 45^\circ\text{C}$ на вході
- і $\Theta_{\text{вих}} = 60^\circ\text{C}$ на виході;
- непроточних – об'єм $V = 0,035 \text{ м}^3$ нагрітої води,
- час $t = 10 \text{ хв}$ нагріву,
- початкова $\Theta_{\text{п}} = 20^\circ\text{C}$ і
- кінцева $\Theta_{\text{к}} = 90^\circ\text{C}$ температура води;

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 8

Тема: Розрахунок систем електротеплопостачання (ЕТП) молочних ферм ПЛАН:

1. Порядок теплового розрахунку фермського приміщення
2. Підігрів приточного повітря
3. Приклад розрахунку системи вентиляції для тваринницьких приміщень

1. Порядок теплового розрахунку фермського приміщення

Задача розрахунку ЕТП молочних ферм – **визначення максимальних теплових навантажень**, річних витрат електроенергії і вибір електротеплогенеруючих установок.

Методика розрахунку систем ЕТП молочних ферм викладена в літературі [8]. Теплову потужність, кВт, необхідну для підігріву припливного повітря тваринницьких приміщень, знаходять з рівняння теплового балансу:

$$\Phi = \Phi_{\text{огор}} + \Phi_{\text{вент. пов.}} - \Phi_{\text{тв.}}$$

де $\Phi_{\text{огор}}$, $\Phi_{\text{вент. пов.}}$ і $\Phi_{\text{тв.}}$ – теплові потоки відповідно через зовнішню огорожу, з видаленням вентиляційною системою повітрям, від тварин.

Тепловий потік, кВт, від тварин

$$\Phi_{\text{тв.}} = n(k_q q_{\text{тв.}} + q'_{\text{тв.}}), \text{ де}$$

n - число тварин в приміщенні;

k_q – коефіцієнт, який враховує температуру повітря на тепловиділення тварин;

$q_{\text{тв.}}$ – тепловий потік від однієї тварини при температурі повітря 10°C , кВт;

$q'_{\text{тв.}}$ – додатковий тепловий потік, виділений тваринами при відносній вологості вище 80% (приймається рівним 3% від $q_{\text{тв.}}$).

Тепловий потік, кВт, через зовнішню огорожу

$$\Phi_{\text{огор}} = \left(\sum_j k_j A_j \right) (\Theta_{\text{в}} - \Theta_{\text{н}}) 10^{-3} = K_T (\Theta_{\text{в}} - \Theta_{\text{н}}),$$

де, k_j – коефіцієнт теплопередачі i -ї огорожі, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;

A_j – площа огорожі, m^2 ;

Θ_{BH} і Θ_H – температура внутрішнього і зовнішнього повітря, $^{\circ}C$;

K_T – теплова характеристика приміщення, $кВт/^{\circ}C$. Коефіцієнт, $Вт/(m^2 \cdot ^{\circ}C)$, теплопередачі багатоярусних огорож

$$k = \frac{1}{1/\alpha_{BH} + 1/\alpha_{HAP} + \sum h_j / \lambda_j}$$

де α_{BH} і α_{HAP} – коефіцієнт теплообміну на внутрішній і зовнішній поверхні огорожі, $Вт/(m^2 \cdot ^{\circ}C)$;

h_j – товщина i -го шару, m ;

λ_j – теплопровідність матеріалу i -го шару огорожі, $Вт/(m \cdot ^{\circ}C)$.

Максимальне теплове навантаження молочної ферми визначають при розрахункових значеннях температури зовнішнього повітря [14] і температури зовнішнього повітря з розрахунком допустимого зниження температури внутрішнього повітря в холодний час (для корівників $5^{\circ}C$).

Тепловий потік, $кВт$, з видаленим повітрям розраховують з розрахунку прихованої теплоти пароутворення, – з врахуванням різниці вологовмісту внутрішнього і зовнішнього повітря.

$$\Phi_{\text{жв}} = \frac{1}{3600} Q_p [c(\Theta_B - \Theta_H) + q(d_B - d_3)10^{-3}]$$

де Q – повітрообмін приміщення, $m^3/\text{год}$;

ρ – щільність повітря, $кг/m^3$;

c – питома ізобарна теплоємність повітря, $кДж/(кг \cdot ^{\circ}C)$ [$c=1 кДж/(кг \cdot ^{\circ}C)$];

q – питома теплота пароутворення, $кДж/кг$ ($q=2500 кДж/кг$);

d_B і d_3 – вологовміст відповідно внутрішнього і зовнішнього повітря, $г/кг$.

Вологовміст d_B і d_3 знаходять по $I-d$ -діаграмі відповідно при допустимих значеннях температури і відносної вологості внутрішнього повітря і при розрахункових значеннях параметрів зовнішнього повітря.

Повітрообмін, $m^3/\text{год}$, визначають при умові забезпечення в приміщенні допустимої концентрації вологи і вуглекислого газу:

$$Q_{\text{жв}} = \frac{1,1 W_{\text{жв}}}{\rho(d_B - d_H)10^{-3}} - \frac{1,1 n(k_w w + w)}{\rho(d_B - d_H)10^{-3}}$$

$$Q_{CO_2} = k_{CO_2} / (c_B - c_H),$$

де $W_{\text{жв}}$ – кількість водяних парів, що виділені тваринами, $кг/ч$;

k_w – коефіцієнт, що враховує зміни вологовиділення тварин при зміні температури повітря;

w – кількість водяних парів, $кг/год$, виділених однією твариною при температурі повітря $10^{\circ}C$;

w' – додаткова кількість водяних парів, $кг/год$, виділених тваринами при відносній вологості більше 80% (приймається 3% від w)

k_{CO_2} – кількість вуглекислого газу, виділеного тваринами, $л/год$;

c_B – допустимий зміст вуглекислого газу в зовнішньому повітрі, л/м³ ($c_H = 0,3$ л/м³).

Кількість вологи і вуглекислого газу, виділених тваринами, вказана в [11].

З двох вирахованих значень повітрообміну для розрахунку приймають більше. Для великої рогатої худоби, як правило, $Q_{H_2O} > Q_{CO_2}$.

З врахуванням наведеного вище:

$$\Phi = (0,306 \frac{W_{me}}{d_B - d_H} + K_T)(\Theta_B - \Theta_H) + \frac{0,764 W_{me}}{0,764 W_{me}} - \Phi_{me}.$$

По розрахунковому тепловому навантаженню вибирають число і потужність електрокалориферів. Відповідно до умови надійності теплопостачання в приміщенні повинно бути не менше двох електрокалориферів.

Гранична температура зовнішнього повітря, °С, при якій в корівнику підтримується нормована температура повітря 10 °С за рахунок тепловиділення тварин

$$\Theta_{HGP} = \Theta_B - \frac{\Phi_{me} - 0,764 W_{me}}{K_T + 0,306 W_{me} / (d_B - d_3)}$$

Температура, °С, зовнішнього повітря, при якій, працюючи з повною потужністю, електрокалорифер підтримує в приміщенні розрахункові параметри повітря,

$$\Theta_{H.P.} = \Theta_B - \frac{\Phi + \Phi_{me} - 0,764 W_{me}}{K_T + \frac{0,306 W_{me}}{(d_B - d_3)}}$$

Θ_{HGP} і $\Theta_{H.P.}$ обчислюють методом послідовних наближень. Задавшись яким-небудь значенням Θ_{HGP} , визначають перше наближення Θ_{HGP1} . Якщо різниця між Θ_{HGP0} і Θ_{HGP1} більше одиниці, то задаються новим значенням Θ_{HGP} і розрахунок повторюють.

Умовна середня температура, °С, розрахункового періоду періоду

$$\Theta_{HCP} = \frac{F(\Theta_{HGP}) + \Theta_{H.P.} T(\Theta_{H.P.})}{T(\Theta_{HGP})}$$

Функція $F(\Theta)$ і $T(\Theta)$ знаходять в літературі [8].

В таблиці 2 приведені характерні для України значення цих функцій.

Таблиця 1 - Значення функцій T і F

$\Theta_H, ^\circ C$	T, год	F, год · °C	$\Theta_H, ^\circ C$	T, год	F, год · °C
-1	2886	-23822	-16	319	-6264

-2	2575	-23357	-17	256	-5224
-3	2289	-22640	-18	197	-4192
-4	2063	-21849	-19	152	-3359
-5	1852	-20899	-20	112	-2579
-6	1633	-19695	-21	84	-2005
-7	1441	-18447	-22	61	-1511
-8	1270	-17164	-23	44	-1128
-9	1103	-15745	-24	32	-846
-10	964	-14424	-25	23	-626
-11	835	-13070	-26	15	-422
-12	693	-11437	-27	11	-316
-13	589	-10137	-28	7	-206
-14	485	-8733	-29	4	-120
-15	381	-7225	-30	2	-61

2. Підігрів приточного повітря

Середня теплова потужність, кВт, необхідна для підігріву проточного повітря,

$$\Phi_{\text{ср}} = (0,306 \frac{W_{\text{на}}}{d_{\text{в}} - d_{\text{г}}} + K_T)(\Theta_{\text{в}} - \Theta_{\text{ср}}) + 0,764 W_{\text{на}} - \Phi_{\text{на}}$$

Річна витрата енергії, кВт·год, на підігрів повітря:

$$\epsilon = \Phi_{\text{ср}} T \Theta_{\text{ср}}$$

Теплова потужність, кВт, необхідна для опалення додаткових приміщень ферми з незначною кратністю повітрообміну, визначається тепловим потоком, кВт, через зовнішню огорожу.

$$\Phi = \sum (k_i A_i \gamma_i)(\Theta_{\text{в}} - \Theta_{\text{г}}),$$

де γ_i - додаткові втрати на інфільтрацію.

Річна витрата енергії, кВт·год, на опалення

$$\epsilon = \left[\sum (k_i A_i \gamma_i) \right] (\Theta_{\text{в}} - \Theta_{\text{ср}}) T_{\text{оп}}$$

де $\Theta_{\text{ср}}$ і $T_{\text{оп}}$ - середня температура і продовжуваність опалювального періоду для приміщень без значних внутрішніх виділень теплоти [8].

Додаткові приміщення ферм опалюють від децентралізованих систем електричного опалення за допомогою електроконвекторів чи електродних водонагрівних установок (ЕВУ) з теплоакумлюючими ємностями при використанні позапікової електроенергії.

Потужність ЕВУ, кВт

$$P_{\text{ЕВУ}} = 24 \Phi / t,$$

де Φ – розрахункова теплова потужність опалення, кВт;
 t – продовженість нічного провалу добового графіку навантаження, год.
 Об'єм, м³, теплоакуючої ємності

$$V_{\text{акк}} = 3600 \Phi (24 - t) [\rho c (95 - \Theta_{\text{роз}})].$$

де ρ і c – щільність, кг/м³, і питома теплоємність, кДж/(кг·°C) води;
 95 – температура води в кінці “зарядки”, °C;
 $\Theta_{\text{роз}}$ – температура води в кінці “розрядки”, °C.

В приміщеннях з періодичними виділеннями теплоти, газів і вологи (доїльні і молочні відділення, пункти штучного запліднення, ветсанпропускники та ін.) крім опалення, розрахованого аналогічно опаленню додаткових приміщень, необхідна періодична вентиляція з підігрівом повітря.

Розрахункова теплова потужність, кВт, використана для підігріву приточного повітря приміщень з періодичним находиттвом тварин,

$$\Phi = 0,306 \frac{W_{\text{ад}}}{d_{\text{з}} - d_{\text{з}}} (\Theta_{\text{з}} - \Theta_{\text{з}}) + 0,764 W_{\text{ад}} - \Phi_{\text{ад}}.$$

В цьому випадку при визначенні $\Phi_{\text{тв}}$ і $W_{\text{тв}}$ враховують середнє число тварин, які одночасно знаходяться в приміщенні протягом 1 години.

Воду на фермах підігрівають в акумуляційних електричних апаратах САОС, вибраних по їх місткості і добовій потребі гарячої води для даного приміщення [8].

3. Приклад розрахунку системи вентиляції для тваринницьких приміщень

У цивільних, промислових, а також тваринницьких будинках повітря повинне бути досить чистим і помірковано вологим. Підтримка параметрів внутрішнього повітря на необхідному рівні, видалення із приміщення забрудненого повітря й подача чистого повітря - основні завдання вентиляції.

Вентиляція являє собою сукупність заходів і пристроїв, що забезпечують розрахунковий повітрообмін у приміщеннях житлових, промислових і тваринницьких будинків.

Створення оптимального мікроклімату має першорядне значення для забезпечення продуктивності тварин при менших витратах кормів.

На частку забезпечення оптимального мікроклімату тваринницьких приміщень доводиться від 50 до 75% річного енергоспоживання на технологічні потреби ферми.

Про значимість процесу створення мікроклімату свідчить те факт, що потреба тваринництва країни тільки на забезпечення цього процесу становить приблизно 14.15 млн. т умовного палива.

При розробці системи забезпечення оптимального мікроклімату однієї з основних завдань є організація необхідного повітрообміну у тваринницьких приміщеннях. Особливе значення при цьому здобуває розрахунок витрати повітря, що подається або, що видаляється при вентиляції приміщень. Зміст тварин у холодних, сирих і погано вентильованих приміщеннях приводить до зниження продуктивності, збільшенню витрат кормів. Завдання даного курсового проекту - розрахунок і організація системи приточної і витяжної вентиляції для одного із тваринницьких приміщень.

1. Вибір розрахункових параметрів

1.1 Розрахункові параметри зовнішнього повітря

Кліматичні дані м. Суми відповідно до норм забезпеченості визначають по Сніп 2.04.05-91* "Опалення, вентиляція й кондиціювання". При розрахунку вентиляції приймаються параметри трьох розрахункових періодів року: теплого, перехідного й холодного. Як розрахункові параметри зовнішнього повітря (табл. 2) для будинків сільськогосподарського призначення варто приймати:

параметри А - для систем вентиляції в теплий період;

параметри Б - для систем опалення й вентиляції, що виконує функції опалення, у холодний період;

у перехідний період варто приймати температуру повітря $t_{\text{н.}} = 10^{\circ}\text{C}$, $I_{\text{н.}} = 26,5 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.

Таблиця 2. Параметри зовнішнього повітря

Період року	Холодний період	Перехідний період	Теплий період
Параметри			
Температура, $^{\circ}\text{C}$.	-30	10	26,8
Ентальпія, кДж/кг	-29,7	26,5	54,9
Швидкість повітря, м/с	1	-	4

1.2 Розрахункові параметри внутрішнього повітря

Параметри внутрішнього повітря для проектування вентиляції у тваринницьких будинках у холодний і перехідний періоди приймаються по Додатку 1 "Опалення й вентиляція тваринницьких комплексів і ферм" укладач А.И. Кирюшатов для конкретного об'єкта будівництва. У теплий розрахунковий період температура усередині приміщення приймається на $3-5^{\circ}\text{C}$ вище розрахунковій зовнішній для забезпечення відводу тепла. Дані по параметрах внутрішнього мікроклімату наведені в табл. 3.

Таблиця 2. Параметри внутрішнього повітря для змісту КРС

Показники	Розрахункові періоди року		
	холодний	Перехідний	Теплий
Температура, $^{\circ}\text{C}$	15	15	30
Відносна вологість, %	75	75	75
Тепломісткість, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	35	35	82
Вологовміст, $\frac{\text{г}}{\text{кг}}$	7,5	7,5	20
Концентрація CO_2 , $\frac{\text{л}}{\text{м}^3}$	1,5		

Тепломісткість і вологовмісти визначаються для відповідних значень температур, відносної вологості й тепломісткості. Припустима концентрація вуглекислого газу вибирається по Додатку 1 "Опалення й вентиляція тваринницьких комплексів і ферм".

2. Розрахунок повітряобміну

Для забезпечення оптимального мікроклімату у тваринницьких приміщеннях однієї з основних завдань є організація необхідного повітрообміну, визначення витрати повітря, що подається або, що видаляється при вентиляції приміщень. Витрата повітря розраховується окремо для холодного, перехідного й теплого періодів. Кількість

вентиляційного повітря визначається виходячи з даних про виділення в приміщенні водяних пар, газів, надлишкової теплоти (у перехідний і теплий періоди) і з урахуванням вимог до складу повітряного середовища усередині приміщень.

Джерелами забруднень повітря у тваринницьких приміщеннях є також телята. Норми виділення ними вільної теплоти, вуглекислого газу й водяних пар визначаються по Додатку 6 "Опалення й вентиляція тваринницьких комплексів і ферм" і наведені в таблиці 3.

Таблиця 3. Кількість шкідливості, виділюване одною твариною

Група тварин	Маса, кг	Вільна теплота, Вт	Водяники пари, г/ч	Вуглекислий газ, л/ч
Холодний і перехідний періоди				
Телята: Молодняк (старше 4 місяців)	180	322	268	65
Теплий період				
Телята: Молодняк (старше 4 місяців)	180	42	648	63

1. Розрахунок повітрообміну в холодний період.

Витрата вентиляційного повітря $V_{вент.}, \frac{m^3}{ч}$, визначається з умови видалення волого виділень і вуглекислого газу:

$$V_{вент.}^W = \frac{W}{\rho_{в.} \cdot (d_{в.} - d_{н.})}, \quad V_{вент.}^{CO_2} = \frac{V_{CO_2}}{c_{в.} - c_{н.}},$$

де W - волого виділення усередині приміщення, $\frac{г}{ч}$; $d_{в.}, d_{н.}$ - вологовміст внутрішнього й зовнішнього повітря, $\frac{г}{кг}$; V_{CO_2} - обсяг вуглекислого газу, що виділився усередині приміщення, $\frac{л}{ч}$; $c_{в.}, c_{н.}$ - концентрація вуглекислого газу гранично допустима усередині приміщення й концентрація вуглекислого газу в зовнішньому повітрі, $\frac{л}{m^3}$.

Вологовиділення усередині приміщення $W, \frac{г}{ч}$, визначаємо за виразом:

$$W = W_{ж.} + W_{н.} + W_{д.},$$

де $W_{ж.}, W_{н.}, W_{д.}$ - волого виділення тваринами, з мокрої підлоги, додаткові, $\frac{г}{ч}$.

Волого виділення тваринами $W_{ж.}, \frac{г}{ч}$, визначаємо:

$$W_{ж.} = W_{ж.} \cdot n = 268 \cdot 110 = 29480 \frac{г}{ч},$$

де $W_{ж.}$ - волого виділення одною твариною, $\frac{г}{ч}$; n - кількість тварин.

Волого виділення з мокрих підлог $W_{н.}, \frac{г}{ч}$, визначаємо:

$$W_{н.} = F_{н.} \cdot \omega = 1120 \cdot 15 = 16800 \frac{г}{ч},$$

де F_n - площа змоченої поверхні, m^2 ; ω - поверхнева щільність волого виділень із площі змоченої поверхні, $\frac{g}{m^2 \cdot h}$, залежить від температури й відносної вологості навколишнього повітря й приймається по "Вентиляція виробничих будинків агропромислового комплексу" укладач А.К. Батьківщин.

Додаткові вологовиділення у тваринницьких приміщеннях $W_{\partial}, \frac{g}{h}$, приймаємо як 10% від виділень всіма тваринами:

$$W_{\partial} = 0,1 \cdot 29480 = 2948 \frac{g}{h}.$$

У такий спосіб вологовиділення усередині приміщення $W, \frac{g}{h}$, по формулі (2) становлять:

$$W = 29480 + 16800 + 2948 = 49228 \frac{g}{h}.$$

Кількість повітря на асиміляцію $V_{\text{вент}}, \frac{m^3}{h}$, волого виділень:

$$V_{\text{вент}}^W = \frac{49228}{1,2 \cdot 7,5} = 5470 \frac{m^3}{h}.$$

Обсяг вуглекислого газу, що виділився усередині приміщення $V_{CO_2}, \frac{m^3}{h}$, визначаємо:

$$V_{CO_2} = \nu_{CO_2} \cdot n = 65 \cdot 110 = 7150 \frac{m^3}{h},$$

де ν_{CO_2} - виділення вуглекислого газу одною твариною, $\frac{m^3}{h}$.

Гранично припустима концентрація CO_2 визначається по Додатку 1 "Опалення й вентиляція тваринницьких комплексів і ферм" і становить $n_d = 1,5 \frac{g}{l^3}$, у зовнішнім повітрі приймаємо $c_n = 0,5 \frac{g}{m^3}$. Отже витрата повітря на видалення вуглекислого газу по формулі (1) дорівнює, і не міняється для трьох розрахункових періодів:

$$V_{\text{вент}} = \frac{7150}{1,5 - 0,5} = 7150 \frac{m^3}{h}.$$

Також визначаємо мінімальна витрата повітря $V_{\text{вент}}, \frac{m^3}{h}$, на 1^u живої маси тварин:

$$V_{\text{вент}} = \nu_{\text{мин}} \cdot M = 20 \cdot 1,8 \cdot 110 = 3960 \frac{m^3}{h},$$

де $\nu_{\text{мин}}$ - мінімальна витрата повітря на 1^u живої маси, $\frac{m^3}{h}$; M - загальна маса тварин, h .

За розрахункову витрату повітря приймаємо найбільший $V_{\text{вент}} = 7150 \frac{m^3}{h}$, вона виявляється достатнім і для видалення із приміщення інших шкідливих виділень: сірководню, аміаку й пилу.

2. Розрахунок повітрообміну в перехідний період

Витрата вентиляційного повітря $V_{\text{вент}}, \frac{m^3}{h}$, визначається з умови видалення волого виділень, вуглекислого газу, надлишкової теплоти:

$$V^W_{\text{вент}} = \frac{W}{\rho_e \cdot (d_e - d_n)}, \quad V^{CO_2}_{\text{вент}} = \frac{V_{CO_2}}{c_e - c_n}, \quad V^{Q_{изб}}_{\text{вент}} = \frac{3,6 \cdot Q_{изб}}{\rho_e \cdot (I_e - I_n)},$$

де $Q_{изб}$ - надлишкові тепловиділення, $Вт$; I_e, I_n - вологовміст внутрішнього й зовнішнього повітря, $\frac{кгДж}{кг}$.

Теплова потужність тепло надлишків $Q_{изб}, Вт$, визначається як:

$$Q_{изб} = Q_{ж.} + Q_{осв.} + Q_{с.р.} + Q_{ж.в.} - Q_{ж.н.},$$

де $Q_{с.р.}$ - теплова потужність від сонячної радіації, $Вт$;

$Q_{ж.в.}$ - теплова потужність виділень схованої теплоти тваринами, $Вт$;

$Q_{ж.н.}$ - теплова потужність тепловтрат через зовнішні огороження, $Вт$;

$Q_{ж.}$ - теплова потужність виділень вільної теплоти тваринами, $Вт$;

$Q_{осв.}$ - теплова потужність від освітлювальних приладів, $Вт$.

Розрахунок від сонячної радіації $Q_{с.р.}, Вт$, робимо по формулі:

$$Q_{ср.} = K_o \cdot q_o \cdot F_o + K_1 \cdot \frac{F_n}{R_o} \cdot (\Delta t_1 + t_2),$$

де K_o - коефіцієнт залежний від типу скла і його особливостей - для одинарного приймаємо 1,45; q_o - щільність теплового потоку через заклеплену поверхню, $\frac{Вт}{м^2}$, приймається по таблиці 3.2 "Опалення й вентиляція тваринницьких комплексів і ферм"; F_o - площа поверхні скла, $м^2$; K_1 - коефіцієнт, що залежить від конструкції перекриттів - для покриттів приймаємо 1; F_n - площа горизонтальної проекції перекриття, $м^2$; R_o - термічний опір теплопередачі перекриття, $\frac{м^2 \cdot ^\circ C}{Вт}$; Δt_1 - еквівалентна різниця температур, $^\circ C$ - для України $\Delta t_1 = 2^\circ C$; t_2 - еквівалентна різниця температур залежно від конструкції й кольору зовнішньої поверхні покриття, $^\circ C$, приймається по таблиці 3.3 "Опалення й вентиляція тваринницьких комплексів і ферм".

$$Q_{ср.} = 1,45 \cdot 170 \cdot 27 + 1 \cdot \frac{1296}{1,09} \cdot (2 + 26,76) = 40850 Вт$$

Схована теплота $Q_{ж.в.}, Вт$, є частиною загальної теплоти, що виділяється тваринами, і залежить від їх волого виділень:

$$Q_{ж.в.} = 0,278 \cdot r \cdot W_{ж.} = 0,278 \cdot 2,5 \cdot 110 \cdot 268 = 20489 Вт,$$

де r - схована теплота паротворення водяних пар, $\frac{кгДж}{кг}$, приймається $2,5 \frac{кгДж}{кг}$.

Тепловтрати через зовнішні огороження $Q_{ж.н.}, Вт$, визначаються по вираженню:

$$Q_{ж.н.} = q \cdot V \cdot (t_e - t_n) = 0,174 \cdot 4536 \cdot (15 - 10) = 3947 Вт,$$

де q - питомі втрати, $\frac{Вт}{м^3 \cdot ^\circ C}$, для даного виду приміщень приймається $0,174 \frac{Вт}{м^3 \cdot ^\circ C}$; V - обсяг приміщення по зовнішньому обмірюванню, $м^3$.

Теплова потужність виділень вільної теплоти тваринами $Q_{ж.}, Вт$, визначаємо:

$$Q_{ж.} = q_{св.} \cdot n = 322 \cdot 110 = 35420 \text{ Вт},$$

де $q_{св.}$ - виділення вільний теплоти одною твариною, Вт.

Теплота від освітлювальних приладів $Q_{осв.}$, Вт, розраховується з використанням потужності ламп, що доводиться на одиницю площі підлоги й прийнятої 5 Вт/м^2 , визначається по формулі:

$$Q_{осв.} = F_{п.} \cdot q = 1207 \cdot 5 = 6035 \text{ Вт},$$

де $F_{п.}$ - площа підлоги, м^2 .

Теплова потужність $Q_{изб.}$, Вт, визначаємо по формулі (7):

$$Q_{изб.} = 35420 + 6035 + 40850 + 20489 - 3947 = 98847 \text{ Вт}.$$

Явні тепло надлишки становлять:

$$Q_{изб. лех.} = 35420 + 6035 + 40850 - 3947 = 78358 \text{ Вт}.$$

При цьому тепло волого відношення має вигляд:

$$\varepsilon = \frac{Q_{изб.}}{W} = \frac{98847 \cdot 3,6}{49,228} = 7229 \text{ кДж/кг}.$$

Волого виділення усередині приміщення W , $\frac{\text{г}}{\text{ч}}$, у перехідний період становлять $W = 49228 \frac{\text{г}}{\text{ч}}$, рівні волого виділення у холодний період, не змінилися параметри внутрішнього повітря.

По $I-d$ діаграмі, по параметрах внутрішнього й зовнішнього повітря знаходимо вологовміст, відповідно рівні $d_e = 7,5 \frac{\text{г}}{\text{кг}}$, $d_n = 6,8 \frac{\text{г}}{\text{кг}}$.

Кількість повітря на видалення $V_{вент.}^W$, $\frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$, волого виділень визначаємо по формулі (6):

$$V_{вент.}^W = \frac{49228}{1,2 \cdot (7,5 - 6,8)} = 58605 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}.$$

Кількість повітря на асиміляцію $V_{вент.}^Q$, $\frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$, тепло виділень:

$$V_{вент.}^Q = \frac{3,6 \cdot 98847}{1,2 \cdot (35 - 26,5)} = 34888 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}.$$

Також визначаємо мінімальна витрата повітря $V_{вент.}$, $\frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$, на 1 т живої маси тварин:

$$V_{вент.} = v_{мин.} \cdot M = 45 \cdot 1,8 \cdot 110 = 8910 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}.$$

За розрахункову витрату повітря приймаємо найбільший $V_{вент.} = 58605 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$, вона виявляється достатнім і для видалення із приміщення інших шкідливих виділень: сірководню, аміаку й пилу.

3. Розрахунок повітрообміну в теплий період

Витрата вентиляційного повітря $V_{вент.}$, $\frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$, визначається з умови видалення волого виділень, вуглекислого газу, надлишкової теплоти. Розрахунок поступлень від сонячної радіації $Q_{ср.}$, Вт, робимо по формулі (8):

$$Q_{\text{гр.}} = 1,45 \cdot 170 \cdot 27 + 1 \cdot \frac{1296}{1,09} \cdot (2 + 26,76) = 40850 \text{ Вт}$$

Схована теплота $Q_{\text{ж.с.}}, \text{Вт}$, є частиною загальної теплоти, що виділяється тваринами, і залежить від їх волого виділень:

$$Q_{\text{ж.с.}} = 0,278 \cdot r \cdot W_{\text{ж.}} = 0,278 \cdot 2,5 \cdot 110 \cdot 648 = 49540 \text{ Вт}$$

Волого виділення тваринами $W_{\text{ж.}}, \text{г/ч}$, визначаємо по формулі:

$$W_{\text{ж.}} = W_{\text{ж.н.}} \cdot n = 648 \cdot 110 = 71280 \text{ г/ч}$$

Волого виділення з мокрих підлог $W_{\text{н.}}, \text{г/ч}$, визначаємо по формулі (4):

$$W_{\text{н.}} = F_{\text{н.}} \cdot \omega = 1120 \cdot 20 = 22400 \text{ г/ч}$$

Додаткові волого виділення у тваринницьких приміщеннях $W_{\text{д.}}, \text{г/ч}$, приймаємо як 10% від виділень всіма тваринами:

$$W_{\text{д.}} = 0,1 \cdot 71280 = 7128 \text{ г/ч}$$

У такий спосіб по формулі волого виділення усередині приміщення $W, \text{г/ч}$, становлять:

$$W = 71280 + 22400 + 7128 = 100808 \text{ г/ч}$$

Теплову потужність виділень вільної теплоти тваринами $Q_{\text{ж.}}, \text{Вт}$, визначаємо по вираженню (11):

$$Q_{\text{ж.}} = q_{\text{св.}} \cdot n = 193,5 \cdot 110 = 21285 \text{ Вт}$$

Тепловтрати через зовнішні огороження $Q_{\text{ж.н.}}, \text{Вт}$, визначаються по формулі (10):

$$Q_{\text{ж.н.}} = q \cdot V \cdot (t_{\text{е.}} - t_{\text{н.}}) = 0,174 \cdot 4536 \cdot (30 - 26,8) = 2526 \text{ Вт}$$

Теплову потужність $Q_{\text{изб.}}, \text{Вт}$, визначаємо по формулі (7):

$$Q_{\text{изб.}} = 21285 + 6035 + 40850 + 49540 = 117710 \text{ Вт}$$

Явні тепло надлишки становлять:

$$Q_{\text{св.д.м.}} = 21285 + 6035 + 40850 = 68170 \text{ Вт}$$

При цьому відношення має вигляд:

$$\varepsilon = \frac{Q_{\text{св.д.м.}}}{W} = \frac{68170 \cdot 3,6}{100808} = 2,42 \text{ г/г}$$

По $I-d$ діаграмі, по параметрах внутрішнього й зовнішнього повітря знаходимо вологовміст, відповідно рівні $d_{\text{д.}} = 20 \text{ г/г}$, $d_{\text{т.}} = 17 \text{ г/г}$

Кількість повітря на видалення $V^{\text{в.в.}}, \text{м}^3/\text{ч}$, волого виділень визначаємо по формулі (6):

$$V^{\text{в.в.}} = \frac{100808}{1,2 \cdot (20 - 17)} = 28003 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Кількість повітря на асиміляцію $V^{\text{а.в.}}, \text{м}^3/\text{ч}$, тепло видаленій (6):

$$V^{\text{а.в.}} = \frac{3,6 \cdot 117710}{1,2 \cdot (82 - 55)} = 13079 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Також визначаємо мінімальна витрата повітря $V_{\text{вент.}, \frac{M^3}{\text{ч}}}$, на 1²⁴ живої маси тварин:

$$V_{\text{вент.}} = v_{\text{вент.}} \cdot M = 70 \cdot 1,8 \cdot 110 = 13860 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$$

За розрахункову витрату повітря приймаємо найбільший $V_{\text{вент.}} = 28003 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$, вона виявляється достатнім і для видалення із приміщення інших шкідливих виділень: сірководню, аміаку й пилу.

Контрольні питання

5. Які Ви знаєте способи перетворення електричної енергії в теплову?
6. З чого складається установка електрокалориферного нагріву?
7. Які основні параметри визначають при розрахунку відкритих електронагрівачів?
8. Які основні параметри визначають при розрахунку ТЕНів?

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 9

Тема: Визначення параметрів, вибір електрокалориферної установки і перевірочний розрахунок електрокалорифера

ПЛАН:

1. Теоретичні відомості.
2. Технічний розрахунок

1. Теоретичні відомості.

Для опалення тваринницьких і птахівницьких приміщень вітчизняна промисловість до 1984 р. випускала електрокалорифери типу СФОА, а з 1985 р. - СФОЦ. Електрокалориферні установки СФОА і СФОЦ мають однакову принципіальну схему, типорозмірний ряд, близькі технічні параметри. Електрокалориферна установка (рис. 1) складається з рами І, вентилятора 5, електрокалорифера 3, м'якої підставки 4, перехідного патрубку 2 та шафи керування.

Електрокалорифер має вигляд камери з листової сталі, в яку вміщено трубчасті нагрівальні елементи. На рис. 2 зображено принципіальну електричну схему уніфікованого електрокалориферного агрегату серії СФОЦ. Для регулювання потужності електрокалорифера трубчасті нагрівники розділено на три окремі-трифазні групи (секції) ЕК1, ЕК2 та ЕК3. Вимикачем SA3 можна вмикати окремі секції нагрівників і регулювати потужність електрокалорифера в межах 100 %, 67 % або 33 % від номінальної потужності. В шафі керування встановлено вимикач ф, запобіжники FU1, FU2, FU3, FU4 для захисту секцій калорифера і кола керування, три електромагнітних пускачі КМ1, КМ2, КМ3 для вмикання секцій нагрівників, сигнальні лампи HL1... HL5, проміжне реле К1, перемикач 5А1 для вибору режиму роботи (ручний «Р» чи автоматичний «А»), перемикач 52 для вибору кількості ввімкнутих секцій при ручному керуванні та автоматичний вимикач QF1 для керування двигуном вентилятора.

При ручному керуванні перемикач 8А1 встановлюють у положення «Р». Температуру повітря в приміщенні регулюють вмиканням і вимиканням окремих секцій електронагрівників за допомогою перемикача ЗА2. Якщо температура ребер

трубчастого нагрівника перевищить $+180^{\circ}\text{C}$, розімкнеться контакт температурного реле SK1 в колі живлення проміжного реле KI, що призведе до вимикання всіх нагрівників.

При автоматичному керуванні перемикач SA1 ставлять у положення «А». Температура повітря у приміщенні контролюється за допомогою температурних реле SK2 і SK3. Коли температура повітря в приміщенні стане вище встановленої норми, то контакт температурного реле SK2 розімкнеться, що призведе до вимикання першої секції електронагрівників. Якщо температура в приміщенні підвищуватиметься й далі, розімкнеться контакт температурного реле SK3, що призведе до вимикання другої секції електронагрівників. Вимикання останньої секції електронагрівників відбудеться тільки тоді, коли температура ребер трубчастого нагрівального елемента перевищить $+180^{\circ}\text{C}$. Якщо температура стане нижчою від заданої норми, то секції нагрівників вмикаються у зворотному порядку. Про роботу окремих секцій нагрівників сигналізують лампи HL2... HL4

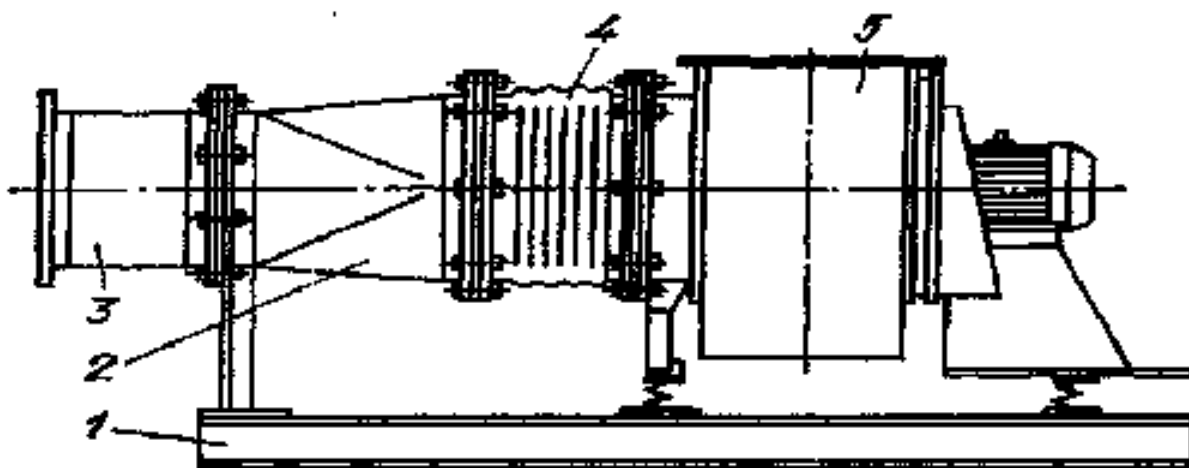


Рисунок 1 Електрокалориферна установка:

1 - рама; 2 - перехідний патрубок; 3 - електрокалорифер; 4 - м'яка вставка; 5 - вентилятор

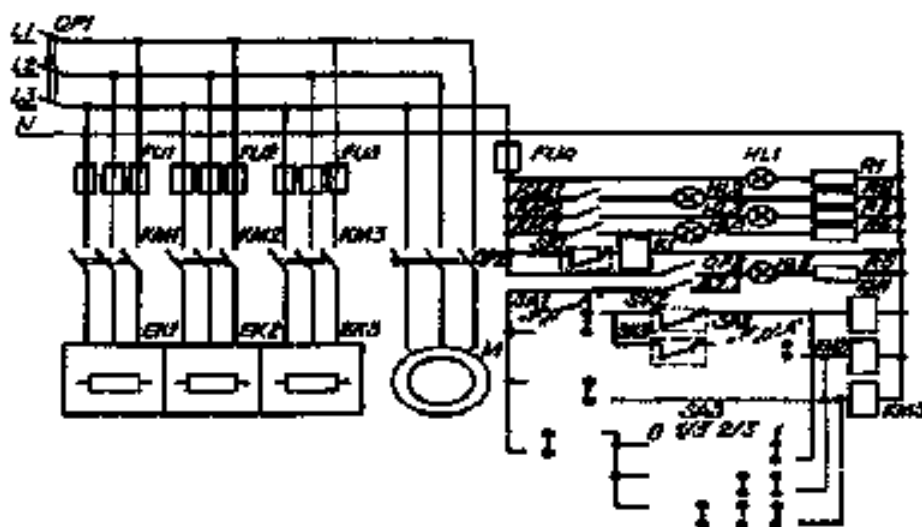


Рисунок 2 Принципова електрична схема електрокалориферного агрегату серії СФОЦ.

Орієнтований розрахунок параметрів і вибір електрокалориферного пристрою типу СФОЦ проводять по номограмам, показаним на малюнку 5 [6].

По номограмі можна визначити температуру Θ

H нагрівача при заданих

значеннях подачі Q вентиляційного повітря, температуру Θ_f оточуючого повітря і прийнятому типорозмірі електрокалориферної установки. Хід розрахунку показаний лінією а.

Використовуючи цю ж номограму, можна вирішити зворотну задачу – вибрати необхідний типорозмір електрокалориферної установки за заданими значеннями розходу і температури зовнішнього повітря при допустимій максимальній температурі нагрівача (для опалювальних калориферів 180°C). По точці перетину ліній b' і b'' визначають типорозмір пристрою. Потрібно пам'ятати, що по номограмі вибирають типорозмір електрокалориферного пристрою не по використаній потужності, а по геометричним розмірам прохідного перерізу

По номограмі рисунка 6 можна визначити температуру повітря на виході з електрокалориферної установки вибраного типорозмірам по заданими значеннями подачі Q і температури зовнішнього повітря $\Theta_{\text{окр}}$. Хід розрахунку показаний лінією

а.

По точці перетину ліній b' і b'' вибирають типорозмір електрокалориферної установки по даним розрахунку і температурі повітря на виході. З розрахунком обмеженої температури нагрівача калориферів типорозмір пристрою визначають в такій послідовності. По рисункам 3 і 4 знаходять типорозмір пристрою для заданих Θ $\Theta_{\text{вих}}$. Якщо типорозмір на рисунках співпадають, то вибір можна рахувати закінченим. Якщо потужність пристрою на рисунку 5 перевищує значення, получене на рисунку 4, то слід перевірити, чи може електрокалорифер робити з відключеною секцією чи необхідно вибрати калорифер меншого типорозміру. Декілька калориферів меншого типорозміру можна встановити послідовно по напрямленню руху повітря. При цьому їх сумарна потужність повинна відповідати значенню, отриманому по рисунку 4. Взаємодія декількох електрокалориферів застосовують в тому випадку коли потужність пристрою по рисунку 3 менше значення, визначеного на рисунку 4.

При проектуванні і експлуатації електрокалориферних пристроїв приходить визначати аеродинамічний опір системи повітрообміну, щоб забезпечити потрібний розхід повітря в вентиляційній системі при вентиляторах чи електрокалориферних пристрої заданих типів. Цю задачу вирішують, співставляючи напірно-розхідну характеристику вентилятора і аеродинамічну характеристику електрокалорифера (рис.5).

Невідповідність по координаті $\square p$ між характеристикою вентилятора і аеродинамічної характеристики електрокалорифера визначають аеродинамічний опір роздаючих трубопроводів, при якому вентилятор може забезпечити задане значення Визначення параметрів, вибір електрокалориферної установки і перевірочний розрахунок електрокалорифера.

типорозмір пристрою для заданих Θ і $\Theta_{вих}$. Якщо типорозмір на рисунках 3 і 4 типорозмір пристрою для заданих Θ і $\Theta_{вих}$. Якщо типорозмір на рисунках 3 і 4 співпадають, то вибір можна вважати закінченим. Якщо потужність пристрою на рисунку 3 перевищує значення, отримане на рисунку 4, то слід перевірити, чи може електрокалорифер робити з відключеною секцією чи необхідно вибрати калорифер меншого типорозміру. Декілька калориферів меншого типорозміру можна встановити послідовно по напрямленню руху повітря. При цьому їх сумарна потужність повинна відповідати значенню, отриманому по рисунку 4. Взаємодія декількох електрокалориферів застосовують в тому випадку коли потужність пристрою по рисунку 3 менше значення, визначеного на рисунку 4.

При проектуванні і експлуатації електрокалориферних пристроїв необхідно визначати аеродинамічний опір системи повітрообміну, щоб забезпечити потрібну витрату повітря в вентиляційній системі при вентиляторах чи електрокалориферних пристроїв заданих типів. Цю задачу вирішують, співставляючи напірно-розхідну характеристику вентилятора і аеродинамічну характеристику електрокалорифера (рис. 5).

Невідповідність по координаті Δp між характеристикою вентилятора і аеродинамічної характеристики електрокалорифера визначають аеродинамічний опір роздаючих трубопроводів, при якому вентилятор може забезпечити задане значення подачі. При аеродинамічному опорі роздаючих трубопроводів знаходять, їх геометричні розміри (протяжність, переріз, геометрію поворотів та ін.).

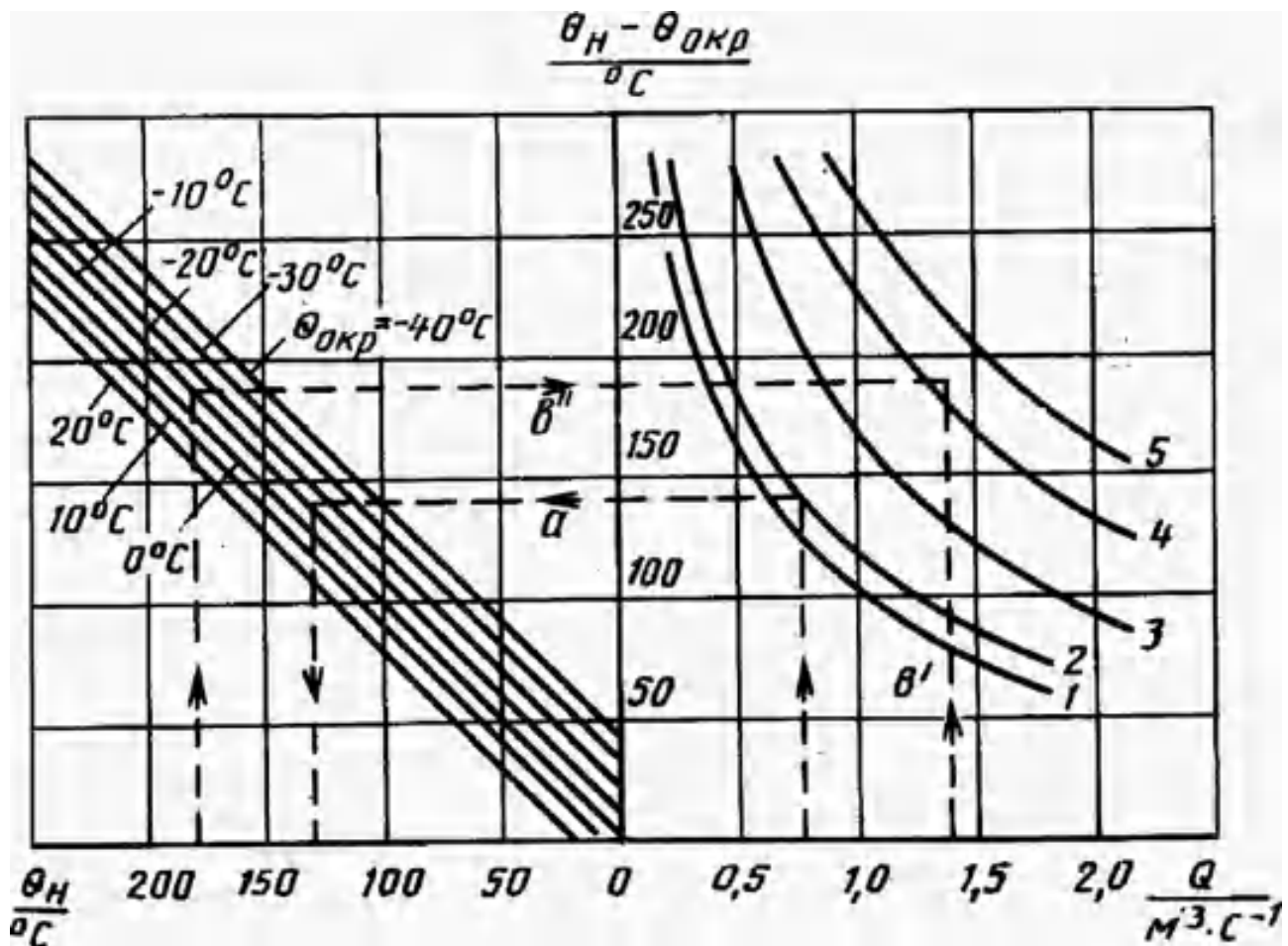


Рис. 3. Номограма для визначення температури ТЕНа в електрокалориферних установках серії СФОЦ:

1 –СФОЦ – 16/0,5; 2 – СФОЦ-25/0,5; 3 –СФОЦ 40/0,5; 4 – СФОЦ 60/0,5; 5 – СФОЦ-100/0,5

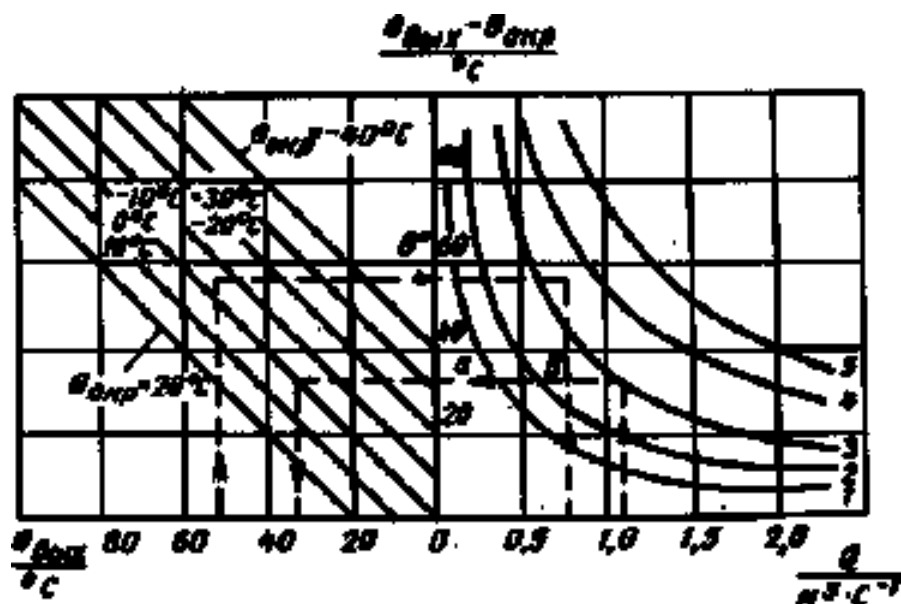


Рис.4. Номограма для визначення температури повітря, яке виходить з електрокалориферних установок СФОЦ:

1 – СФОЦ-16/0,5; 2 – СФОЦ-25/0,5; 3- СФОЦ-40/0,5; 4 – СФОЦ-60/0,5; 5 – СФОЦ-100/0,5.

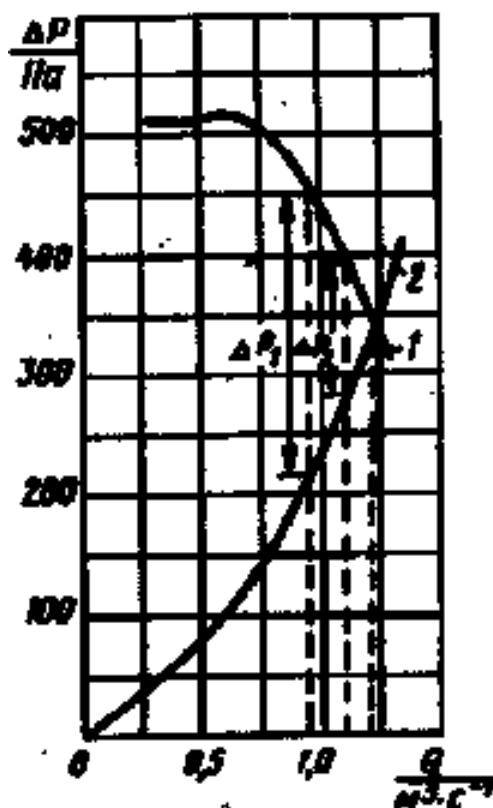


Рис. 5. До визначення допустимого аеродинамічного опору роздаючих повітроводів:

1 – напорно-розхідна характеристика вентилятора Ц-4-70 №6 з частотою обороту робочого колеса $23,5^{-1}$; 2 – аеродинамічна характеристика електрокалорифера СФО-100. я подачі.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 10

Тема: Вивчення будови та принципу роботи випрямляча та перетворювача частоти
ПЛАН:

1. Перетворювач частоти
2. Випрямляч
3. Інвертор
4. Система керування, діагностування і захисту
5. Робота зарядного пристрою (Відео)

1. ПЕРЕТВОРЮВАЧ ЧАСТОТИ

Застосування перетворювачів енергії в електроприводі обумовлене в основному необхідністю регулювання швидкості обертання електродвигунів. У більшості первинних джерел електроенергії (промислова та побутова мережі змінного струму,

контактна мережа електротранспорту, акумулятор) рівень вихідної напруги та його частота є незмінними. Зміна швидкості обертання двигуна постійного струму звичайно здійснюється шляхом зміни рівня напруги, що подається до обмотки якоря. Для цього поміж двигуном та живильною мережею вмикають спеціальний перетворювач електричної енергії – керований випрямляч. При застосуванні двигунів змінного струму з тією ж метою використовують перетворювачі частоти (ПЧ, частотні перетворювачі, «частотники»). Саме такі перетворювачі останніми роками розвивалися найбільш динамічно і фактично змінили лице сучасного електропривода.

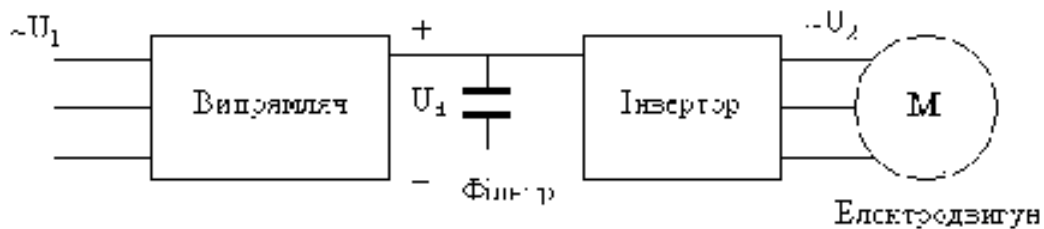


Рис. 1 Загальна структура перетворювача частоти

Більшість сучасних перетворювачів частоти мають два каскади перетворення енергії та складаються з випрямляча, згладжувального фільтра та інвертора (рис. 1). Випрямляч перетворює енергію змінного струму на енергію постійного струму, фільтр згладжує пульсації вихідної напруги випрямляча, а інвертор здійснює зворотне перетворення, перетворюючи енергію постійного струму на енергію змінного струму, проте з регульованими рівнем напруги та його частотою.

2. Випрямляч

У більшості випадків випрямляч живиться від трифазної мережі змінного струму, проте ми розглянемо принцип його дії на прикладі однофазного випрямляча, що використовується в малопотужних перетворювачах частоти (рис. 2). Процеси у випрямлячі показані на рис. 3.

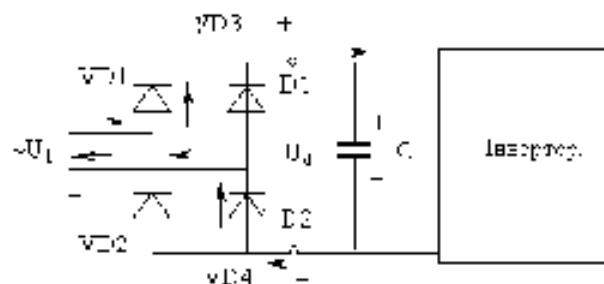


Рис. 2 Схема однофазного випрямляча

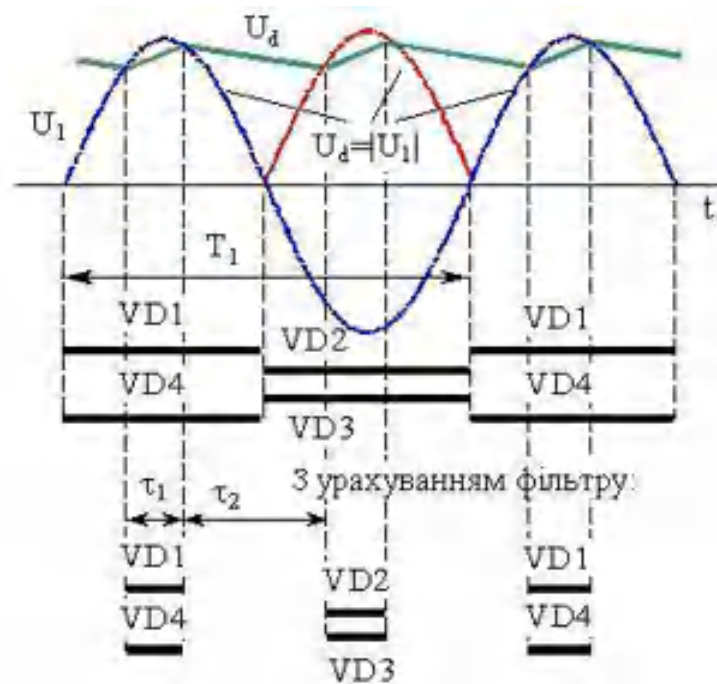


Рис. 3 До принципу дії випрямляча

Випрямляч складається з 4 діодів $VD1 \dots VD4$. Напруга джерела живлення $U1$ знакозмінна синусоїдальна, що змінюється з частотою $f1=50$ Гц (синя лінія на рис. 3). Для відкриття діода необхідно, щоб до його аноду (нижня клемма діода на рис. 2) був прикладений позитивний потенціал, а до катоду (верхня клемма) – від’ємний. Тому, живильна напруга позитивна (полярність позначена на рис. 2), можуть відкритися лише діоди $VD1$ та $VD4$.

Якби конденсаторний фільтр C був відсутній, струм протягом половини періоду $T1$ протікав би від позитивного полюсу джерела $U1$ діодом $VD1$, інвертором, діодом $VD4$ до від’ємного полюсу джерела (за стрілкою на рис. 2). При цьому на вихід випрямляча через відкриті діоди подавалася б напруга, що чисельно дорівнює $U_d=U1$ (на вихідній клемі $D1$ випрямляча наявний позитивний потенціал, на клемі $D2$ – від’ємний). На другій половині періоду, коли полярність напруги живлення від’ємна, відкриваються діоди $VD2$ та $VD3$. До виходу випрямляча через них надходить напруга зі входу, але з протилежним знаком (червона лінія $U_d=-U1$ на рис. 2). Завдяки цьому, не зважаючи на зміну знаку напруги живлення, полярність напруги на клеммах $D1$ та $D2$ не змінюється, а форма його в функції часу має вигляд випрямленої синусоїди.

Якщо врахувати наявність на виході випрямляча конденсаторного фільтра C , характер процесів буде дещо іншим. Конденсатор заряджений від випрямляча з полярністю, вказаною на рис. 2. Доки напруга на конденсаторі менша від напруги мережі $U1$, протягом часу τ_1 триває дозарядження конденсатора через якусь пару

діодів (залежно від полярності U_1). Як тільки напруга на конденсаторі (зелена лінія на рис. 3) сягне рівня напруги мережі, діоди закриваються, а конденсатор розряджається на інвертор (інтервал часу T_2). Наявність конденсатора зменшує пульсації випрямленої напруги та збільшує його середнє значення. Це позитивно впливає на роботу інвертора.

Як відомо, електрична енергія виробляється, розподіляється та споживається переважно у вигляді енергії змінного струму. Так зручніше. Проте споживачі електричної енергії є різні. Для споживачів змінного струму (асинхронних та синхронних електричних двигунів, трансформаторів, люмінесцентних ламп) важливо, щоб споживаний ними струм був знакозмінним (найкраще – синусоїдальним). Частота зміни знаку струму стандартизована (в Україні – 50 Гц). Інші споживачі потребують, щоб струм був одного знаку. До таких належать електричні двигуни постійного струму, акумуляторні батареї під час їх заряду, гальванічні та електролізні ванни, зварювальні установки, електронні мікросхеми тощо). Їх називають споживачами постійного струму.

Випрямляч – напівпровідниковий перетворювач енергії, призначений для перетворення електричної енергії змінного струму на енергію постійного струму. Потреба у використанні випрямляча виникає тоді, коли для живлення споживача постійного струму необхідно використати енергію з джерела змінного струму (наприклад, промислової або побутової мережі змінного струму). У такому випадку випрямляч вмикають між джерелом змінного струму та споживачем постійного струму.

Випрямлячі широко використовуються в блоках живлення комп'ютерів, агрегатах безперебійного живлення, зарядних пристроях для мобільних телефонів та ноутбуків, на перетворювальних підстанціях електричного транспорту, в електроприводах постійного струму, різноманітних електронних схемах.

Які бувають випрямлячі типорозмір пристрою для заданих $I_{\text{вих}}$. Якщо типорозмір на рисунках 3 і 4 співпадають, то вибір можна вважати закінченим. Якщо потужність пристрою на рисунку 3 перевищує значення, отримане на рисунку 4, то слід перевірити, чи може електрокалорифер робити з відключеною секцією чи необхідно вибрати калорифер меншого типорозміру. Декілька калориферів меншого типорозміру можна встановити послідовно по напрямленню руху повітря. При цьому їх сумарна потужність повинна відповідати значенню, отриманому по рисунку 4.

Взаємодія декількох електрокалориферів застосовують в тому випадку коли потужність пристрою по рисунку 3 менше значення, визначеного на рисунку 4.

Якщо завданням випрямляча є лише перетворення роду струму (випрямлення), їх будують на основі некерованих вентилів (діодів). У випадку, коли на випрямляч покладено також регулювання рівня напруги, подаваної до споживача, необхідно використання керованих вентилів (тиристорів). Такого регулювання вимагає, наприклад, електричний двигун постійного струму для зміни швидкості обертання.

Залежно від кількості фаз живильної мережі розрізняють однофазні випрямлячі та трифазні.

За рівнем потужності випрямлячі поділяють на малопотужні (випрямлячі сигналів) та потужні або силові.

Вентилі

Сучасні вентиля є звичайно напівпровідниковими (малопотужні – на основі кристалів германію, більш потужні – кремнієві). Не вдаючись у подробиці їх внутрішньої побудови та фізичних принципів функціонування, розглянемо лише споживчі властивості.

Найпростіший з вентилів (**діод**) є некерованим. Він має два виводи (анод А та катод К, див. рис. 1) та може проводити струм лише в одному напрямку – від аноду до катоду. Якщо до аноду прикласти позитивний потенціал, а до катоду – від’ємний (як на рис. 1а), діод буде відкритий та ним протикатиме струм. Якщо поміняти напрям вмикання діода (як на рис. 1б) або джерела живлення U , діод буде закритий та струм буде відсутній. Будемо вважати, що діод – ідеальний ventиль (тобто його внутрішній опір у відкритому стані дорівнює нулю, а у закритому – безкінечності). Графічне позначення діода на електричних схемах схоже на стрілку, яка показує єдиний можливий напрямок протікання струму. Аби відрізнити на схемі один діод від інших, поряд із їх графічним позначенням пишуть букви VD та поточний номер діода (наприклад, $VD1$).

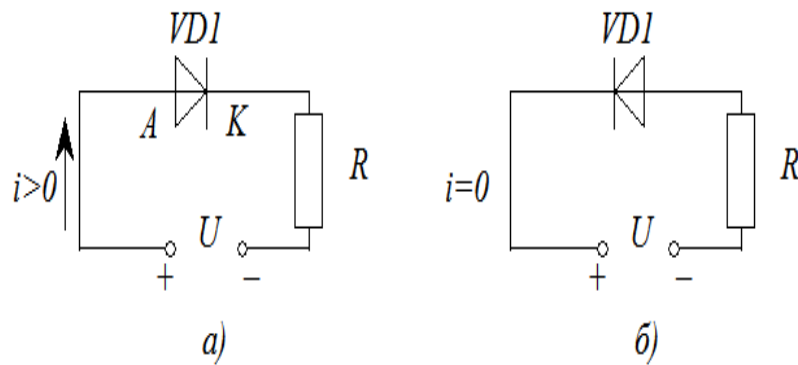


Рис. 1. Способи вмикання діода (а – прямий, б – зворотній)

Тиристор є вентилям керованим. Окрім анода та катода, він має третій вивід (керуючий електрод КЕ на рис. 2). Він також проводить струм лише в одному напрямку (від анода до катода). Для його відкриття необхідно виконати дві умови:

- подати до анода позитивний потенціал відносно катода (як для діода);
- забезпечити протікання в колі між керуючим електродом та катодом струму керування i_k , направлено як на рис. 2а.

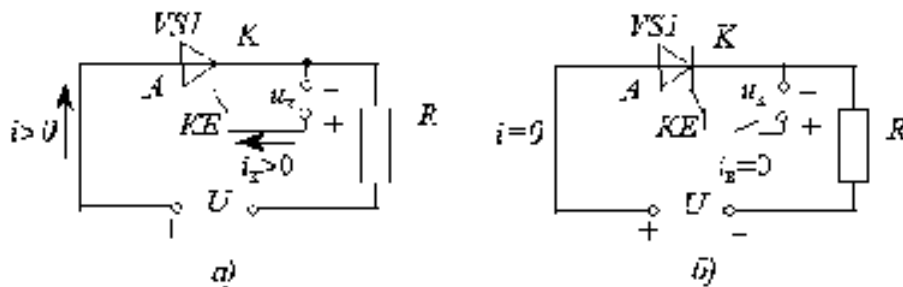


Рис. 2. Два стани тиристора (а – відкритий та б – закритий)

Для забезпечення протікання струму керування використовують додаткове джерело напруги керування u_k . Величина струму керування набагато менша від струму між анодом та катодом (тобто силового струму). Якщо коло керуючого електрода розімкнути (як на рис. 2б), струм керування буде відсутній, і тиристор не відкриється. Графічне позначення тиристора подібне до позначення діода, проте має третій вивід КЕ. Нумерацію тиристорів на схемах здійснюють із використанням букв VS. Завдяки наявності керуючого електрода тиристор стає керованим вентилям. Він відкриється лише тоді, коли буде виконано не лише першу умову його відкриття, а й другу. Тому струм керування можуть подавати не одразу після виконання першої умови, а дещо пізніше. Цей струм подається від спеціальної системи керування. Надалі ми не будемо зображувати коло, яким протікає струм керування.

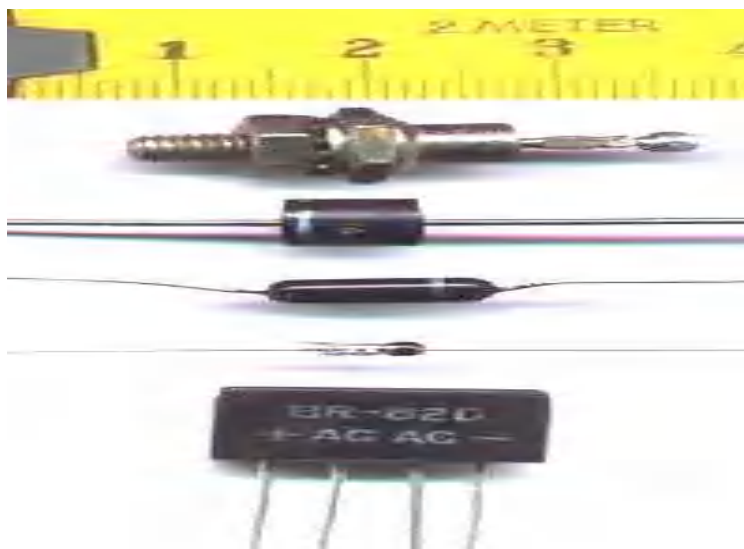


Рис. 3. Діоди

Тиристор має одну особливість: він відкривається за допомогою керуючого електрода, проте закривається лише тоді, коли струм між анодом та катодом зникне. Домогтися цього за допомогою керуючого електрода неможливо. Тому тиристор іноді називають напівкерованим вентилям.

Конструкція діодів малої потужності показана на рис. 3. У верхнього діода (більш потужного за нижні) катод розташований з лівого боку. Знизу зображено діодний місток (про них нижче).

Більш потужні діоди та тиристори зображено на рис. 4. Катод звичайно має різьбу, якою закріплюється на охолоджувачі, анод – гнучкий вивід. Охолоджувачі (рис. 5), відводячи тепло від вентиля, запобігають їх перегріванню. Найбільш потужні прилади мають таблеткову конструкцію (див. нижню частину рис. 4), яка забезпечує відвід тепла назовні від обох торців (праворуч на рис. 5).

Найпростіший випрямляч

Випрямляч (рис. 6а) живиться від джерела знакозмінної (звичайно синусоїдальної) напруги u . Він складається лише з одного діода. Будемо вважати, що навантаження випрямляча – споживач із суто активним внутрішнім опором (R). Струм, який протікає навантаженням, та напруга, прикладена до нього, позначені на рис. 6б індексами d (від англ. Direct – постійний). Діод відкритий лише тоді, коли до анода прикладається позитивний потенціал (напруга джерела позитивна, перший півперіод на рис. 6б).



Рис. 4. Потужні діоди та тиристори



Рис. 5. Тиристори з охолоджувачами

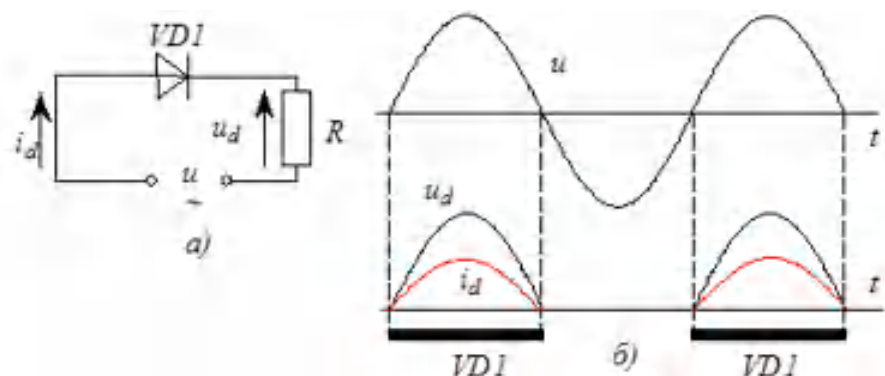


Рис. 6. Процеси у найпростішому випрямлячі

До навантаження через відкритий діод подається напруга від джерела. Струм, який протікає колом «джерело u – діод – навантаження» за чисто активного навантаження

повторює за формою напругу: $i_d = \frac{u}{R}$. Тому зі зниженням напруги до нуля зникає і

струм, а діод закривається. На наступному півперіоді, коли напруга джерела від'ємна, струм відсутній, напруга на навантаженні дорівнює нулю. Після того, як напруга джерела знову стає позитивною, відкривається діод, і до навантаження знову прикладається напруга. Таким чином, завдяки випрямлячеві напруга на навантаженні (**випрямлена напруга u_d**) містить у собі лише позитивні півперіоди напруги

живлення u , а **випрямлений струм** $i_d = \frac{u}{R}$ повторює за формою випрямлену напругу. У нижній частині рис. 6б зображена діаграма роботи діода (чорна лінія показує інтервали часу, коли діод відкритий).

Мостовий випрямляч

Щойно розглянута схема використовується лише для живлення споживачів малої потужності. Більш розповсюджена мостова схема (рис. 7а).

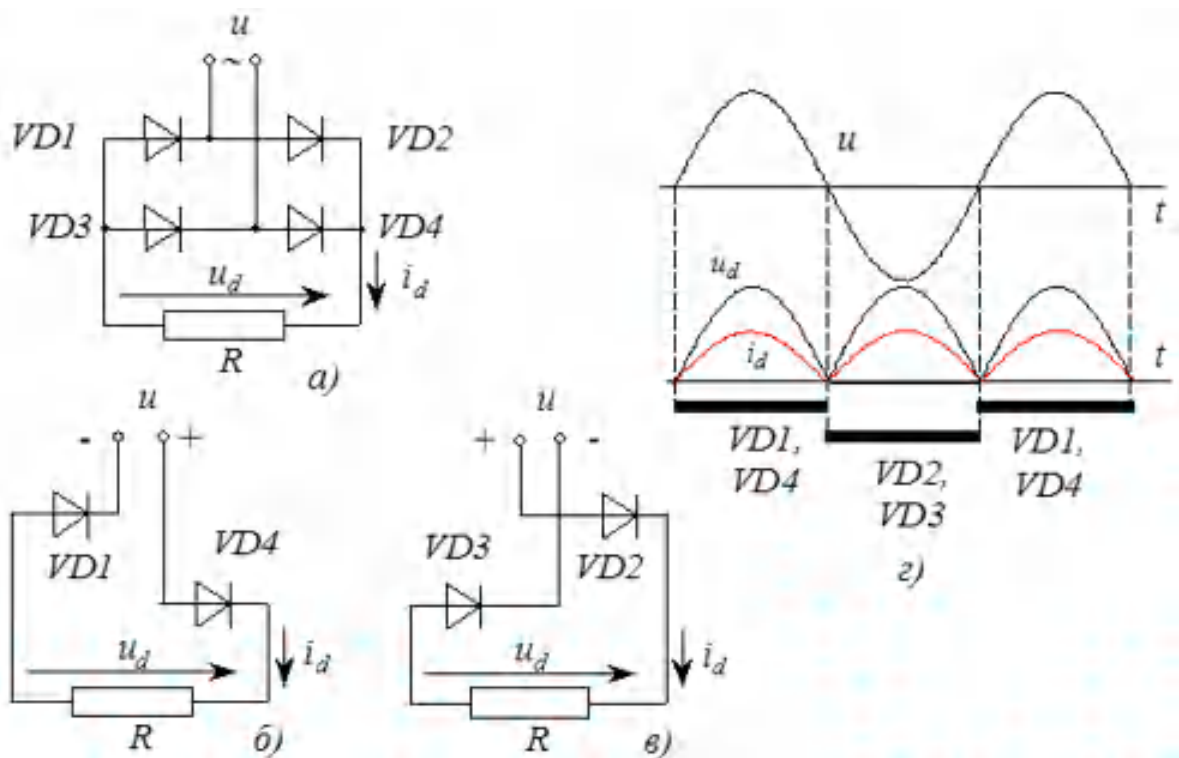


Рис. 7. Мостовий випрямляч

До її складу входять чотири діоди, які працюють попарно-почергово. На першому півперіоді живильної напруги (права клемма джерела має позитивний потенціал) відкриті діоди VD1 та VD4, утворюється шлях протікання струму, зображений на рис. 7б. До навантаження прикладається позитивна напруга. На другому півперіоді відкриті VD2 та VD3, а струм протікає, як показано на рис. 7в (у навантаженні – у тому ж напрямку). До навантаження знову прикладена позитивна напруга. Випрямлені напруга та струм у часі змінюються згідно рис. 7г. Оскільки обидва півперіоди напруги

живлення є робочими, середнє значення випрямленої напруги вдвічі більше порівняно зі схемою рис. 6а. Мостові діодні випрямлячі невеликої потужності випускають у вигляді т.з. «діодних містків» (знизу на рис. 3).

Якщо потрібно не тільки формувати на навантаженні знакопостійну напругу, а й змінювати в разі потреби її середнє значення (для регулювання зварювального струму, швидкості електродвигуна), замість діодів у випрямлячах використовують тиристори (рис. 8а). Якщо тиристори отримують до кола керування керуючий струм одразу, коли напруга на їх анодах стає позитивною, тиристори працюють як діоди, і процеси в схемі нічим не відрізняються від розглянутих раніше. Якщо ж затримати подачу струму керування, відкривання тиристорів відбудеться пізніше (на рис. 8б – по закінченні часу затримки t_z). Доки тиристори закриті, струм відсутній, і напруга до навантаження не прикладається. З кривої випрямленої напруги «вирізається» певна ділянка, і середнє цієї значення напруги зменшується. Збільшення затримки t_z призводить до подальшого зменшення середньої випрямленої напруги.

3. Інвертор

До обмоток електродвигуна змінного струму має подаватися знакозмінна напруга з середнім за період значенням, що дорівнює нулю. Найчастіше використовують трифазні двигуни, що мають три обмотки статора. Тому і інвертор має бути трифазним та перетворювати знакопостійну вхідну напругу на три знакозмінні вихідні. Ми, проте, розглянемо більш простий однофазний інвертор, на виході якого формується лише одна знакозмінна напруга.

Спрощена схема інвертора наведена на рис. 4.

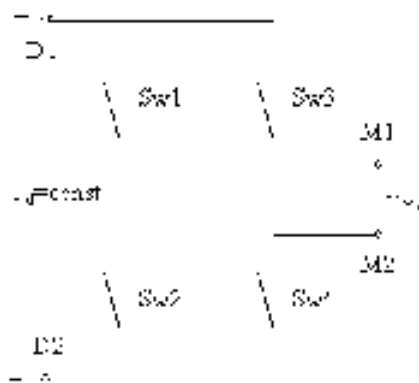


Рис. 4 Силова схема інвертора

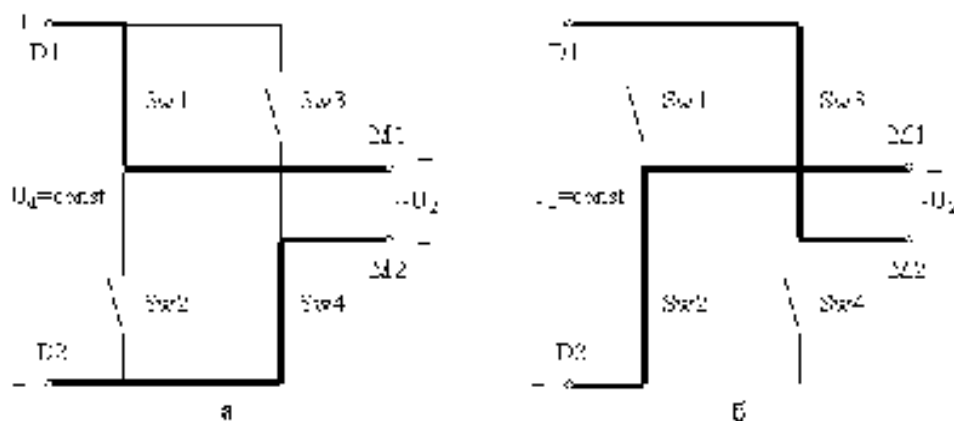


Рис. 5 Стани інвертора (а – увімкнуті Sw1 та Sw4; б – увімкнуті Sw2 та Sw3)

До входніх клем D1 та D2 подано незмінну напругу U_d з виходу випрямляча. Керовані напівпровідникові ключі Sw1...Sw4 (звичайно транзисторні або тиристорні) замикаються попарно по чергові (Sw1 із Sw4 або Sw2 із Sw3). Кожна пара ключів підключає вихідні клеми інвертора M1 і M2 до виходу випрямляча з тією чи іншою полярністю (рис. 5). Завдяки цьому на виході інвертора формується знакозмінна напруга U_2 , хоча на вході напруга знаку не міняє. Оскільки тривалості роботи пар ключів однакові, позитивні півперіоди ідентичні від'ємним, а середня за період T_2 напруга дорівнює нулю (рис. 6а). Таким чином, інвертор виконує функцію своєрідного перемикача. Змінюючи одночасно тривалості роботи ключів, можна отримати на виході інвертора напругу іншої частоти (рис. 6б).

Звичайно для двигунів змінного струму потрібна одночасна зміна частоти та рівня напруги живлення. Цю задачу може виконати той самий інвертор, якщо на кожному півперіоді його вихідної напруги ввести паузи (одну або декілька, як на рис. 7). Доки увімкнені ключі Sw1, Sw3 або Sw2, Sw4, вихідні клеми M1 та M2 інвертора замкнені через них накоротко, а його вихідна напруга $U_2=0$. Змінюючи тривалість пауз τ , можна змінювати середню за півперіод вихідну напругу. У реальних інверторах подібних пауз набагато більше, а їхня тривалість змінюється протягом півперіоду за синусоїдальним законом (так звана широтно-імпульсна модуляція).

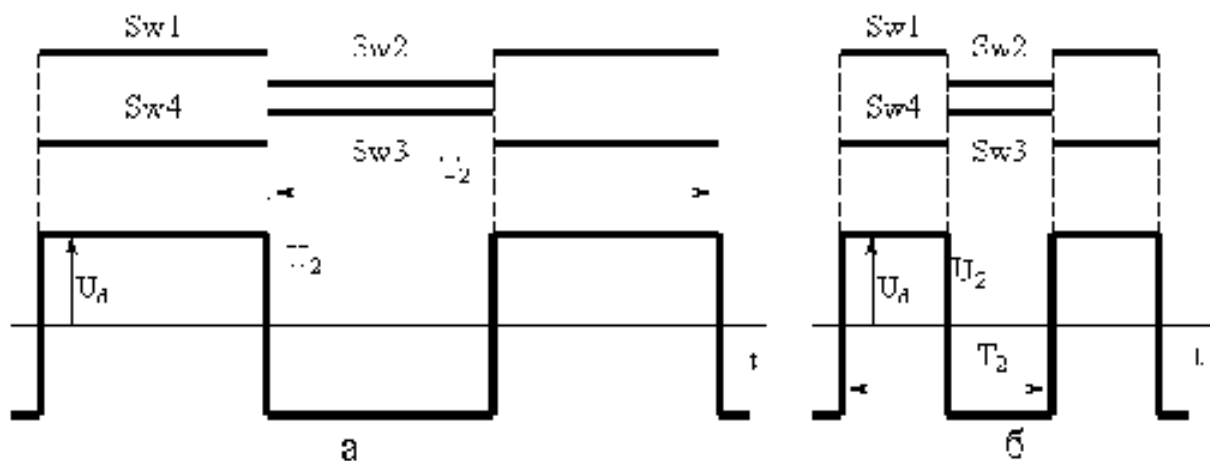


Рис. 6 Вихідні напруги інвертора різної частоти

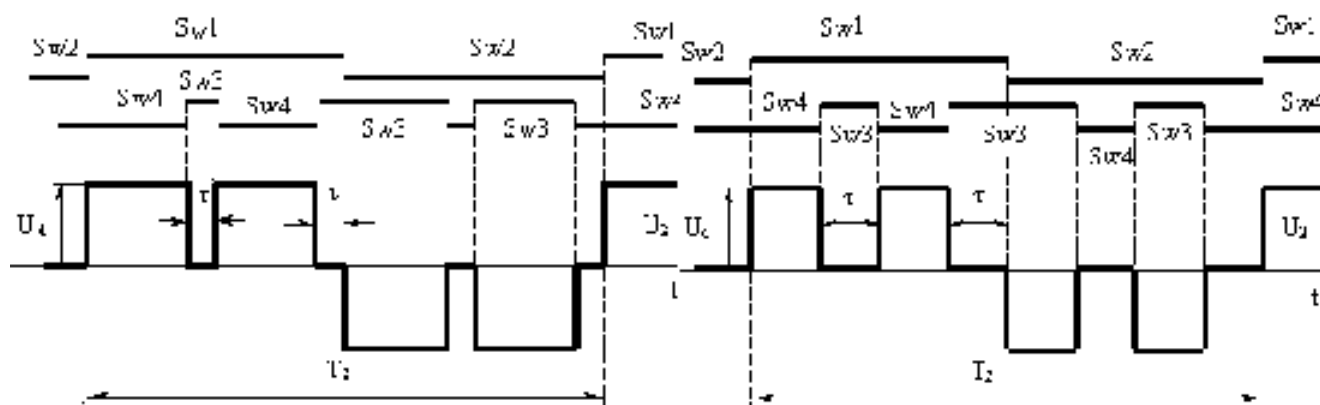


Рис. 7 Спосіб зменшення вихідної напруги інвертора

4. Система керування, діагностування і захисту

Задачами даної системи є:

- ☐ керування силовими ключами інвертора та забезпечення потрібного порядку їх перемикавання;
- ☐ керування струмом, моментом і швидкістю електродвигуна;
- ☐ контроль стану двигуна і перетворювача частоти та захист їх від аварійних режимів;
- ☐ обмін інформацією із зовнішнім світом (датчиками, програмованим логічним контролером, людиною).

Система побудована на кількох мікропроцесорних контролерах, кожен з яких виконує свої функції (керування ключами, спілкування із зовнішніми пристроями, відображення інформації).

Настроювання (програмування) перетворювача частоти складається з вибору потрібних значень змінних параметрів (темп розгону, спосіб зупинки, рівні спрацьовування захистів тощо). Параметри зібрані в меню, що чимось нагадують меню мобільного телефону. Настроювання можна здійснювати безпосередньо на перетворювачі за допомогою спеціального терміналу з кількома кнопками та

невеличким дисплеєм. Можливе також створення файлу налаштувань в офісі з наступним його завантаженням до перетворювача частоти з ноутбуку.

Окрім силових входів та виходів, через які здійснюють підключення живильної мережі та двигуна, є також керуючі входи/виходи. Завдяки їм перетворювач отримує сигнали від зовнішніх датчиків, команди від програмованого логічного контролера (ПЛК), через них передає йому інформацію про свій поточний стан. Найбільш «просунуті» перетворювачі мають ПЛК у себе на борту і завдяки цьому здатні виконувати доволі складні функції автоматизації технологічного процесу.

У сучасних автоматизованих цехах широко використовуються промислові комунікаційні мережі, подібні до мережі Ethernet у комп'ютерних класах. Мережа з'єднує програмовані логічні контролери, панелі людино-машинного інтерфейсу, датчики, електроприводи у розгалужену систему автоматизації. Тому перетворювач частоти обов'язково має можливість підключатися до комунікаційної мережі.



Рис. 8 Перетворювачі частоти малої потужності

5. Робота зарядного пристрою (Відео)

<https://www.youtube.com/watch?v=6JPtOvuPMJg>

Перетворювач

https://www.youtube.com/watch?v=q31D8QMdvE0&list=PL1s3wneoR_-p3PNc3rJ27K8POyLd0CfB-&index=9

Сучасні перетворювачі частоти різноманітні за рівнем потужності: від крихітки потужністю в кількасот ват, що вміщується у долоні (рис. 8а), до перетворювача мультимегаваттного класу, що потребує для розміщення спеціального приміщення (рис. 9). Розрізняються вони також за призначенням та функціональними можливостями (для насосів і вентиляторів, підйомних кранів та ліфтів, побутової техніки). Для спрощення монтажу та експлуатації невеличкі перетворювачі частоти

спеціальної конструкції встановлюють безпосередньо на електродвигун (рис. 86).
Перетворювач малої потужності зі знятою кришкою показаний на рис. 10.

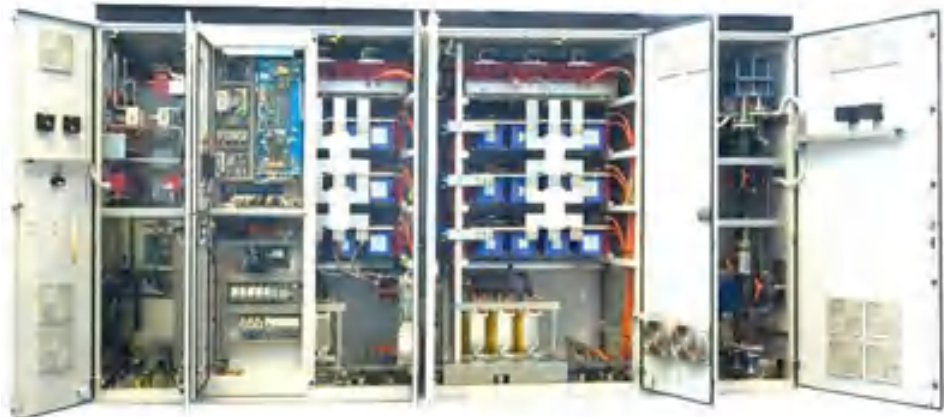


Рис. 9 Потужний перетворювач частоти у вигляді шафи



Рис. 10 Перетворювач

Контрольні питання

1. Які Ви знаєте способи перетворення електричної енергії ?
2. З чого складається випрямляч струму?
3. Які основні параметри визначають при роботі перетворювачів ?
4. Які основні параметри визначають роботу нверторів?

Контрольні питання

5. Які Ви знаєте способи перетворення електричної енергії в теплову?
6. З чого складається установка електроконтактного нагріву?
7. Які основні параметри визначають при розрахунку відкритих електронагрівачів?
8. Які основні параметри визначають при розрахунку ТЕНів?

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 11

Тема: Розрахунок електрообігріву парників та теплиць ПЛАН

- 1.Способи нагріву приміщень
2. Тепловий та електричний розрахунок обігріву

1. Способи нагріву приміщень

Електрообігрів ґрунту і повітря в парниках і теплицях, його способи і види.

Існують наступні способи обігріву теплиць: сонячний, біологічний (свіжим гноєм, будинковим сміттям), технічний: пічне або Боровне опалення, обігрів гарячою водою, гарячим повітрям, парою, електричний обігрів. З метою обігріву можуть бути використані природний газ, води гарячих джерел, а також теплові відходи промислових підприємств.

Електричний обігрів теплиць. У зв'язку з будівництвом потужних гідроелектростанцій і отриманням дешевої електроенергії стає перспективним електрообігрів теплиць. Існує кілька способів електрообігріву.

Елементний обігрів здійснюється спеціальними електронагрівальними приладами (елементами), розміщеними в шарі піску (для обігрівання ґрунту) і уздовж парубня (для обігріву повітря). Кожен елемент складається з нагрівальної дроту діаметром 2,5-2,8 мм, укладеної в азбоцементні або керамічні трубки діаметром 5 см. Через нагрівальну дріт пропускають струм напругою 220 вольт. На дно теплиці в якості теплозахисного підстилки насипають шлак шаром 15 см, а потім такий же шар піску і на нього парниковий ґрунт шаром до 20 см. Робота в теплицях з таким способом обігріву безпечна, але елементи обігріву зменшують корисну площу теплиці на 10%. У теплицях з елементним обігрівом регулювання температури автоматичне.

Електрообігрів теплиць нагрівальним кабелем. При цьому способі електрообігріву на дно теплиць кладуть шлак шаром 15 см і пісок шаром 8 см. В пісок укладають 8 паралельних ниток ізольованого кабелю, розташовуючи їх для рівномірності прогріву тим частіше, чим ближче до стінок теплиці. Для обігріву повітря теплиці вздовж кожної сторони парубня розміщують по чотири нитки кабелю. Тут також передбачено автоматичне регулювання температури, роздільне для ґрунту і для повітря.

Переваги кабельного обігріву теплиць: глибина котловану зменшується з 50-55 см до 42-48 см, повна безпека, незначні коливання температури (при завданні в 20 ° коливання в 1 °), вартість обігріву дешевша.

Температура води, необхідна для обігріву зимових теплиць, повинна бути в межах 70-90 °, для парників - 50-70 ° і для утеплення ґрунту з укриттями - близько 40 °.

Перспективним є повітряно-теплове або калориферне опалення, що застосовується для обігріву весняних теплиць. Витрата палива при цьому способі обігріву майже в 2 рази менше в порівнянні з водяним опаленням. До переваг калориферного обігріву слід також віднести можливість швидкого включення і відключення опалення. Крім того, рослини отримують кращу освітленість, тому що не затеняються трубами водяного опалення, а також краще протікає повітрообмін - нагріте повітря в калорифері надходить в теплицю, а охолоджений в теплиці повертається в калорифер.

Потужність установок електрообігріву культивацийних приміщень повинна бути достатньою для компенсації максимальних теплових втрат в навколишньому середовищі в нічний час, коли відсутня сонячна радіація, а значення зовнішньої температури мінімальне.

2. Тепловий та електричний розрахунок обігріву

1. Вхідні дані:

Розміри приміщення Довжина, ширина, висота 48х18х3

Мінімальна температура в приміщенні – 18 °С

Мінімальна розрахункова температура зовнішнього повітря (на протязі 5 діб -22 °С.

1. Вхідні дані:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Розміри	48х21х3,5	72х18х3	96х18х4	60х21х3	48х24х3,5	72х21х3	84х18х3,5	48х18х4	96х21х3	48х18х3
Темпер. Приміщ.	14	18	16	17	15	14	19	18	16	17
Зимова темпер	-20	-17	-10	-22	-18	-17	-19	-12	-14	-21

2. Потужність, кВт, установок для електрообігріву

3. Площа огорожувальних конструкцій

4 Нагрів через повітря та через ґрунт, Вт.

5. Розрахунок довжини дроту.

Наближатися до високої точності розрахунку немає необхідності, так як він проводиться для якихось середніх кліматичних умов, і тому задача в значній мірі опосередковується.

Основна доля втрат (приблизно 70%) приходить на світлопроникну огорожу (скло чи плівку).

З розрахунку, сказаного в практичних розрахунках [10] потужність, кВт, установок для електрообігріву парників і теплиць визначають по наближеній формулі

$$P = k(\Theta_{BH} - \Theta_{HAP})A_{OGR},$$

де k – коефіцієнт теплопередачі, приведений до площі світлопроникної огорожі, Вт/(м²·°C). Коефіцієнт залежить від швидкості повітря (рис.10);

Θ_{BH} - температура всередині парника чи теплиці, °C;

Θ_{HAP} - розрахункова зовнішня температура, °C (відповідно до вимог СНиП 2.10.04-85 для зимніх теплиць в якості

Θ_{HAP} - розрахункова зовнішня температура, °C (в залежності з вимогами СНиП 2.10.04-85 для зимніх теплиць в якості

Θ_{HAP} - необхідно брати середню температуру найбільш холодних днів з забезпеченістю 0,92, а для весняних теплиць – середню температуру найбільш холодного місяця за період експлуатації, знижену на половину максимальної добової амплітуди температури повітря);

A_{OGR} – площа світлопроникної огорожі, м².

При комбінованому (грунтово-повітряному) підігріві розрахункову потужність ділять між нагрівачами ґрунту P_{Γ} і повітря P_{Π} в такому відношенні: для теплиць $P_{\Gamma}/P_{\Pi}=1 : 1$ або $1:2$, для парників – $1:1$ або $2:1$.

Для розрахунку нагрівних елементів парників і теплиць використовують експериментальні графіки залежності температури нагрівача від діаметра дроту, сили струму, потужності і напруги дроту довжиною 1м.

Особливість розрахунку заключається в тому, що довжину L нагрівного елемента приймають на початку розрахунку в залежності від геометричних розмірів культивацийного приміщення і схеми з'єднання нагрівачів, а діаметр дроту

нагрівача розраховують. Наприклад, якщо вздовж парника встановлено два нагрівача, то при послідовному з'єднанні нагрівачів, чотирьох парників загальна довжина дроту буде $21,5 \times 2 \times 4 = 172\text{м}$.

Нагрівні елементи з сталюого дроту в азбоцементних чи гончарних трубах розраховують шляхом одночасного графічного рішення двох рівнянь: $\Theta_{н.е} = f(d)$ і $\Theta_{н.е} = \varphi(d)$, де $\Theta_{н.е}$ - температура нагрівного елемента, °C.

Рівняння $\Theta_{н.е} = f(d)$ відображає умови теплообміну нагрівача і записується на основі законів теплопередачі.

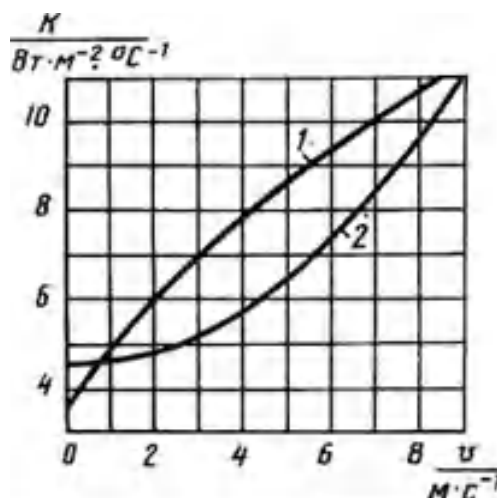


Рис.10. Значення приведенного коефіцієнта теплопередачі через скління теплиць (1) і парників (2) при різних швидкості вітру.

Для нагрівача повітря

$$\Theta_{н.с} = \Delta\Theta_1 + \Delta\Theta_2 + \Delta\Theta_3 + \Theta_B,$$

де $\Delta\Theta_1$ - температурний перепад між нагрівачем і внутрішньою поверхнею труби, °C;

$\Delta\Theta_2$ - перепад температури в трубі, °C;

$\Delta\Theta_3$ - перепад температури між зовнішньою поверхнею труби і повітрям в парнику, °C;

Θ_B - температура повітря в парнику, °C.

Величини $\Delta\Theta_1$ і $\Delta\Theta_3$ як функції лінійної потужності P_1 і діаметру дроту d і труби D визначають по кривим рисунків 11 і 12.

Перепад температури в трубі

$$\Delta\Theta_2 = (P_1 / 2\pi\lambda) \ln(D_H/D)$$

де λ - теплопровідність матеріалу труби, Вт/(м²·°C);

D_H і D_B - відповідно зовнішній і внутрішній діаметри труби, м.

Для азбоцементних труб діаметром 0,05...0,1 м з розрахунку значення

λ, D_H і D_B можна прийняти $\Delta\Theta_2 = 0,06P_1$.

Для нагрівача грунту

$$\Theta_{H, \epsilon_{gr}} = \Delta\Theta_1 + \Delta\Theta_2 + \Delta\Theta_{пс} + \Delta\Theta_{гр} + \Theta_{гр}$$

Тут $\Delta\Theta_1, \Delta\Theta_2$ - те ж, що і для нагрівного елементу повітря, $\Delta\Theta_{пс}$ - температурний перепад в шарі піску, °C:

$$\Delta\Theta_{пс} = 0,31P_1 \ln \left[\frac{2h_1}{D} + \sqrt{\left(\frac{2h_1}{D} \right)^2 - 1} \right]$$

$\Delta\Theta_{гр}$ - температурний перепад в шарі грунту, °C:

$$\Delta\Theta_{гр} \approx 1,1h_2P_1,$$

де h_1 і h_2 - товщина шару відповідно піску і грунту, м (рис.13); $\Theta_{гр}$ -

температура поверхні грунту, °C.

Рівняння $\Theta_{H, \epsilon} = \Phi(d)$, получене з виразу для електричного опору сталюї проволки довжиною 1м, діаметром при робочій температурі $\Theta_{H, \epsilon}$, характеризує залежність температури дроту від діаметру, потужності і напруги. При $p_{20} = 0,13 \cdot 10^{-6}$ Ом·м, $\alpha_R = 0,0045$ 1/°C і $\cos\phi = 0,93$:

$$\Theta_{H, \epsilon} = 222(5,4 \cdot 10^6 U_1^{-2} d^{-2} / k_R P_1 - 1) + 20;$$

де $U_1 = U / l_{H, \epsilon}$ - потужність дроту довжиною 1м, Вт/м;

d - діаметр дроту м; k_R - відношення опору сталюї проволки перемінній напрузі і опору сталюго дроту постійній напрузі при тій же температурі ($k_R = 1 + 0,0176d^{-2}$); $P_1 = P_{H, \epsilon} / l_{H, \epsilon}$ - потужність дроту довжиною 1м, Вт/м. Тут U - напруга, яка підводиться до нагрівного елементу, В;

$l_{н.ε}$ – довжина нагрівного елементу, м;

$P_{н.ε}$ – потужність нагрівного елементу, Вт.

Шляхом сумісного графічного рішення рівняння

$$\Theta_{н.ε} = f(d) \Theta_{н.ε}$$

$= \varphi(d)$ визначають діаметр і температуру дроту, яка не повинна перевищувати 300°C .

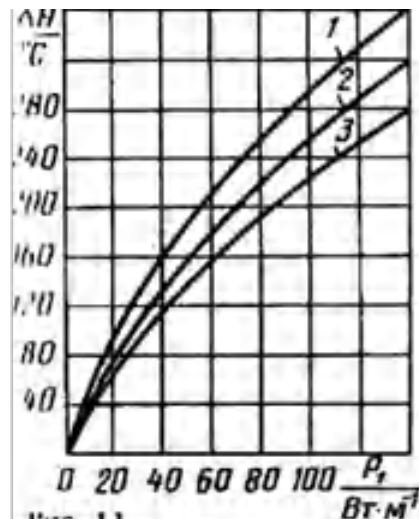


Рис 11. Залежність перепаду температури між нагрівним дротом і внутрішньою поверхнею азбоцементної труби від лінійної потужності:

1 – $d = 2$ мм; 2 – $d = 3$ мм; 3 – $d = 4$ мм

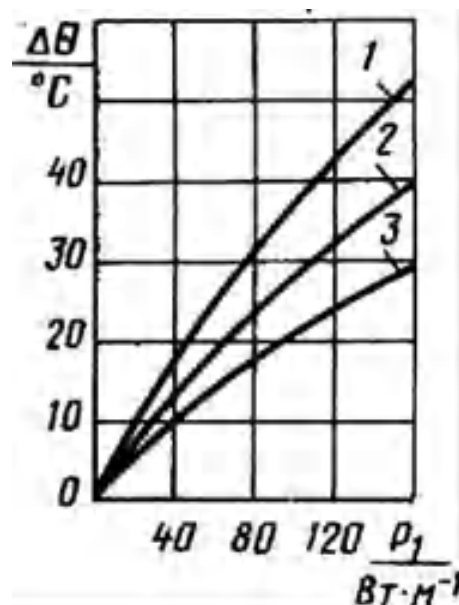


Рис 12. Залежність перепаду температури між зовнішньою поверхнею азбоцементної труби і повітрям від лінійної потужності:

1 – $D = 70$ мм; 2 – $D = 100$ мм; 3 – $D = 130$ мм

Рівняння теплового балансу приміщення закритого ґрунту має вигляд

$$\Phi_{об} = \Phi_{огр} \Phi_{інг} + \Phi_{гр},$$

де $\Phi_{об}$ – теплова потужність електронагрівальної установки, Вт;

$\Phi_{огр}$ – тепловий потік, втрачений через окремі огорожі, Вт;

$\Phi_{інф}$ – тепловий потік, втрачений в зв'язку з інфільтрацією повітря через нещільність огорожі, Вт;

$\Phi_{гр}$ – тепловий потік в ґрунт, Вт.

Потужність, Вт, нагрівного елементу

$$P = \Phi_{об} / \eta$$

де η - к.п.д. електронагрівальний пристрій.

Якщо пристрій електронагріву знаходиться в культивацийному приміщенні, то $\eta = 1$.

Втрати теплоти $Q_{огр}$ легко визначають по формулі втрат через рівну стіну.

Чітко розрахувати $Q_{інф}$ і $Q_{гр}$ важко тому, що втрати на інфільтрацію залежать від конструкції і стану будівельної частини будівлі, а розрахунок втрат в ґрунт ускладнений через труднощі опису картини розтікання теплового поля. При цьому потужність, потрібну для електронагріву парника чи теплиці, можна вирахувати лиш наближено.

Наближатися до високої точності розрахунку немає необхідності, так як він проводиться для якихось середніх кліматичних умов, і тому задача в значній мірі опосередковується.

Основна частка втрат (приблизно 70%) приходить на світлопроникну огорожу (скло чи плівку).

З розрахунку, вказаного в практичних розрахунках потужність, кВт, установок для електрообігріву парників і теплиць визначають по наближеній формулі

$$2 . P = k(\Theta_{ВН} - \Theta_{НАР}) A_{ОГР} = 7 \times (18 - (-22)) \times 720 = 201600 \text{ Вт}$$

де $k = 7$ – коефіцієнт теплопередачі, приведений до площі світлопроникної огорожі із полікарбонату, Вт/(м²·°C) для швидкості повітря 4 м/с (рис.10);

$\Theta_{ВН}$ 18 °C - температура всередині парника чи теплиці, °C;

$\Theta_{НАР}$ = -22 °C розрахункова зовнішня температура, °C (в залежності з вимогами)

СНиП 2.10.04-85 для зимніх теплиць в якості

$\Theta_{НАР}$ = -22 необхіднм повітря);

$$3. A_{\text{огр}} = -36 \times 12 + 3 \times 2 \times (36 + 12) = 720 \quad \text{м}^2 =$$

площа світлопроникної огорожі, м².

При комбінованому (грунтово-повітряному) підігріві розрахункову потужність ділять між нагрівачами ґрунту $P_{\text{г}}$ і повітря $P_{\text{п}}$ в такому відношенні: для теплиць $P_{\text{г}}/P_{\text{п}} = 1:1$ або $1:2$, для парників – $1:1$ або $2:1$.

4, Тобто, нагрів через повітря складає $0,66 \times 201600 = 133100$ Вт. А через ґрунт - $201600 - 133100 = 68500$ Вт.

Для розрахунку нагрівних елементів парників і теплиць використовують експериментальні графіки залежності температури нагрівача від діаметра дроту, сили струму, потужності і напруги дроту довжиною 1 м.

Особливість розрахунку заключається в тому, що довжину l нагрівного елемента приймають на початку розрахунку в залежності від геометричних розмірів культивацийного приміщення і схеми з'єднання нагрівачів, а діаметр дроту нагрівача розраховують. Наприклад

5. якщо вздовж парника встановлено три нагрівача, то при з'єднанні нагрівачів паралельно зірколю, загальна довжина дроту вибираємо

6. $36 \times 30 = 1100$ м. а на одну фазу 360 метрів.

Потужність в кожній фазі $P_{\text{ф}} = 133100/3 = 44367$ Вт,

або на 1 м.п. $= 44367/360 = 123$ Вт/ м.п.

Падівння напруги на 1 м.п. $380/36 = 10,6$ В/ м.п.

Величина струму в одній фазі $44367/389 = 116,8$ А.

А в кожному првіднику - 11,7 А.

Опір дроту довжиною 36 метрів $380/11,7 = 32,5$ Ом

Нагрівні елементи з ніхромового дроту в азбоцементних чи гончарних трубах розраховують шляхом одночасного графічного рішення двох

рівнянь: $\Theta_H f(d) i \Theta = \phi(d)$, де Θ_H - температура нагрівного елемента, °С.
 $\epsilon = \frac{H \epsilon}{H \epsilon}$

Рівняння $\Theta_H f(d)$ відображає умови теплообміну нагрівача і записується на основі законів теплопередачі.

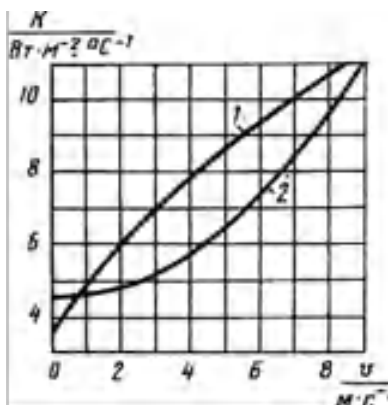


Рис.10. Значення приведенного коефіцієнта теплопередачі через скління теплиць (1) і парників (2) при різній швидкості вітру Для нагрівача повітря

$$\Theta_{H.C} = \Delta\Theta_1 + \Delta\Theta_2 + \Delta\Theta_3 + \Theta_B,$$

де $\Delta\Theta_1 = 320$ °C температурний перепад між нагрівачем і внутрішньою труби, °C; поверхнею

7. Для питомої потужності 123 Вт /м.п.із графіка (рис.11.)

$\Delta\Theta_2 = 310$ °C перепад температури в стінці трубі, °C;

$\Delta\Theta_3 = 43$ °C; перепад температури між зовнішньою поверхнею труби і повітрям в парнику, °C;

$\Theta_B = 18$ °C температура повітря в парнику, °C.

В $\Delta\Theta_1$ і $\Delta\Theta_3$ як функції лінійної потужності P_1 і діаметру дроту d і труби D визначають по кривим рисунків 11 і 12.

$$\text{Перепад температури в трубі } \Delta\Theta_2 = (P_1 / 2\pi\lambda) \ln (D_H / D)$$

$$B8. \Delta\Theta_2 = (123 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,3) \ln (0,1 / 0,08) = 15 \text{ °C}$$

де $\lambda = 0,3$ - теплопровідність матеріалу труби (азбестобетону), Вт/(м·°C);

$$\Delta\Theta_2 = (P_1 / 2\pi\lambda) \ln (D_H / D)$$

D_H і D_B - відповідно зовнішній і внутрішній діаметри труби, м.

Для азбоцементних труб діаметром 0,05...0,1 м з розрахунку значення

λ , D_H і D_B можна прийняти

9 . $\Delta\Theta_2 = 0,06 P_1 = 0,06 \times 4437 = 266$ °C Що задовільно корелюється із **310** графіка 11.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 12.

Тема: Розрахунок індуктора для високоякісного загартовування деталей

ПЛАН:

1. Індукційне нагрівання
2. Переваги
3. Недоліки
4. Приклад розрахунку

1. Індукційне нагрівання

Індукційне нагрівання — це нагрівання матеріалів електричними струмами, які індукуються змінним магнітним полем. Отже, це нагрівання виробів з провідних матеріалів (провідників) магнітним полем індукторів (джерел змінного магнітного поля).

Індукційне нагрівання виконується наступним чином. Електропровідна (металева, графітова) заготовка поміщається у так званий індуктор, що являє собою один або кілька витків дроту (найчастіше мідного). У індукторі за допомогою спеціального генератора наводяться потужні струми різної частоти (від десятка Гц до декількох МГц), в результаті чого навколо індуктора виникає електромагнітне поле. Електромагнітне поле наводить у заготовці вихрові струми. Вихрові струми розігрівають заготовку під дією джоулевого тепла (див. закон Джоуля-Ленца).

Система «індуктор-заготовка» являє собою трансформатор без осердя, в якому індуктор є первинною обмоткою. Заготівля є ніби вторинною обмоткою, що замкнена накоротко. Магнітний потік між обмотками замикається по повітрю.

На високій частоті вихрові струми витісняються утвореним ними ж магнітним полем в тонкі поверхневі шари заготовки Δ (Скін-ефект), в результаті чого їх щільність різко зростає, і заготовка розігрівається. Нижчезташовані шари металу прогріваються за рахунок теплопровідності. Важливий не струм, а велика його щільність. У скін-шарі Δ щільність струму збільшується в e разів відносно густини струму у заготовці, при цьому в скін-шарі виділяється 86,4% тепла від загального тепловиділення. Глибина скін-шару залежить від частоти випромінювання: чим вище частота, тим тонше скін-шар. Також вона залежить від відносної магнітної проникності μ матеріалу заготовки.

Для заліза, кобальту, нікелю та магнітних сплавів при температурі нижче точки Кюрі μ має величину від декількох сотень до десятків тисяч. Для інших матеріалів (розплави, кольорові метали, рідкі легкоплавкі евтектики, графіт, електропровідна кераміка і т. д.) μ приблизно дорівнює одиниці.

Формула для обчислення глибини скін-шару в мм:

: де $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ - магнітна постійна Гн / м, ρ - питомий електричний опір матеріалу заготовки при температурі обробки, Ом * м, f - частота електромагнітного поля, що генерується індуктором, Гц.

Наприклад, при частоті 2 МГц глибина скін-шару для міді близько 0,25 мм, для заліза $\approx 0,001$ мм.

Індуктор сильно нагрівається під час роботи, так як сам поглинає власне випромінювання. До того ж він поглинає теплове випромінювання від розжареної заготовки. Роблять індуктори з мідних трубок, охолоджуваних водою.



https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB:Induction_heating_of_bar.jpg

Індукційне нагрівання металевого стрижня діаметром 25 мм з використанням 15 кВт на частоті 450 кГц.

- Надчиста безконтактна плавка
- Пайка і зварювання металу
- Отримання дослідних зразків сплавів
- Гнучка і термообробка деталей машин
- Ювелірна справа
- Обробка дрібних деталей, які можуть пошкодитися при газополуменовому або дуговому нагріванні
- Поверхнєве загартування
- Загартовування і термообробка деталей складної форми
- Знезараження медичного інструменту

- Розпилення гетеру і прогрівання (активація і тренування) катоду в процесі виробництва вакуумних електронних приладів.

2. Переваги

-
- Високошвидкісний розігрів або плавлення будь-якого електропровідного матеріалу.
 - Можливий нагрів в атмосфері захисного газу, в окислювальному (або відновлювальній) середовищі, в рідині та у вакуумі.
 - Нагрівання через стінки захисної камери, виготовленої зі скла, цементу, пластмас, дерева — ці матеріали дуже слабо поглинають електромагнітне випромінювання і залишаються холодними при роботі установки. Нагрівається тільки електропровідний матеріал — метал (в тому числі розплавлений), вуглець, кераміка(яка проводить електричний струм), електроліти, рідкі метали і т. д. Наприклад, нутрі радіолампи можна прогрівати для знегажування прямо через скляну колбу.
 - За рахунок виникаючих МГД-зусиль відбувається інтенсивне перемішування рідкого металу, аж до утримання його в підвішеному стані в повітрі або захисному газі — так отримують надчисті сплави в невеликих кількостях (левітаційного плавка, плавка в електромагнітному тиглі).
 - Оскільки розігрів ведеться за допомогою електромагнітного випромінювання, відсутнє забруднення заготовки продуктами горіння факела в разі газопламенного нагріву, або матеріалом електрода в разі дугового нагріву. Поміщення зразків в атмосферу інертного газу і висока швидкість нагріву дозволяють ліквідувати утворення шару оксиду.
 - Не шкідлива для навколишнього середовища, так як відсутні продукти горіння. Невеликі установки індукційного нагріву можна експлуатувати в замкнутому і погано провітрюваному приміщенні, не обладнаному спеціальними засобами вентиляції та витяжками.
 - Зручність експлуатації за рахунок невеликого розміру індуктора .
 - Індуктор можна виготовити будь-якої форми — це дозволить рівномірно прогрівати по всій поверхні деталі складної конфігурації.
 - Легко провести локальний і вибіркового нагрів.

- Так як найбільш інтенсивно розігрів йде в тонких верхніх шарах заготовки, а нижні шари прогріваються повільніше за рахунок теплопровідності, метод є ідеальним для проведення поверхневого загартовування деталей (серцевина деталі при цьому залишається в'язкою).
- Легка автоматизація обладнання і конвеєрних виробничих ліній. Простота управління циклами нагрівання та охолодження. Просте регулювання і утримування температури, стабілізація потужності, подача і знімання заготовок.

3. Недоліки

-
- Підвищена складність обладнання, необхідний кваліфікований персонал для проектування установок, їх налаштування та ремонту.
 - При поганому узгодженні індуктора з деталлю потрібна велика потужність на нагрів, ніж у випадку застосування для тієї ж задачі ТЕНів, електричних дуг і електронагрівальних спіралей.
 - Потрібно потужне джерело електроенергії для живлення установки індукційного нагріву, а також насос і бак з охолоджувальною рідиною для охолодження індуктора. У цьому випадку застосування, наприклад, газових пальників більш виправдано.
 - Незважаючи на невеликі розміри індуктора, агрегат індукційного нагріву в цілому досить громіздкий і маломобільний і більше підходить для стаціонарної установки в приміщенні, ніж для виїзних робіт.

Індуктори виготовляють з матеріалів високої електропровідності, наприклад із міді [3,10]. Найбільш вигідно нагрівати індукційним способом матеріал з високою магнітною проникністю. Глибина, м, проникнення сили струму в нагрітий матеріал.

$$\Delta = 503 \sqrt{p_{\alpha} / (f \mu_r)},$$

де p_{α} - питомий опір нагрітого матеріалу, Ом·м;

f – частота питаючої мережі, Гц;

μ_r - відносна магнітна проникність.

Приблизно параметри індуктора можна розраховувати, використовуючи графіки подовженості t_k нагріву і питомої потужності p_0 (рис.18), напруга U_i' на одному витку індуктора і сили струму I_i' в індукторі (рис.19).

Для розрахунку необхідно знати діаметр деталі D_2 , ширину a_2 закалюваного на ній шару, глибину x_k закалки, частоту f напруги установки, потужність U на індукторі. Схема циліндричного індуктора з деталлю показана на рисунку 20.

Розрахунок ведуть в наступному порядку.

По заданим діаметру деталі і товщині закалки по графікам рисунка 18 визначають продовженість t_k нагріву, s , і питому потужність p_0 , кВт/м². Потім розраховують потужність, кВт, підведену до індуктора для закалки шару деталі шириною a_2 , м,

$$P_i = p_0 \pi D_2 a_2 / \eta_i,$$

де η_i - к.п.д. індуктора.

По діаметру деталі і прийнятому значенню зазору h_3 , м, між деталлю і індуктором визначають діаметр, м, індуктора

$$D_1 = D_2 + 2h_3.$$

На графіках рисунка 19 напруга на одновитковому індукторі і сила струму в індукторі дані в залежності від умовного діаметру D_1 індуктора (при зазорі між індуктором і деталлю $h_3=0,003$ м) при потужності індуктора $P_i=100$ кВт і частоті

живлення $f=250$ кГц. Тому отримані на графіку рисунка 19 значення U'_i і I'_i потрібно перерахувати на фактичне значення діаметру по слідуючим формулам:

$$U'_{i1} = U'_i (D_1 / D_1^o)^2 8,94 \times 10^{-6} \sqrt{P_i \cdot f^3},$$

де D^o – умовний діаметр індуктора, м, при зазорі $h=0,003$ м;

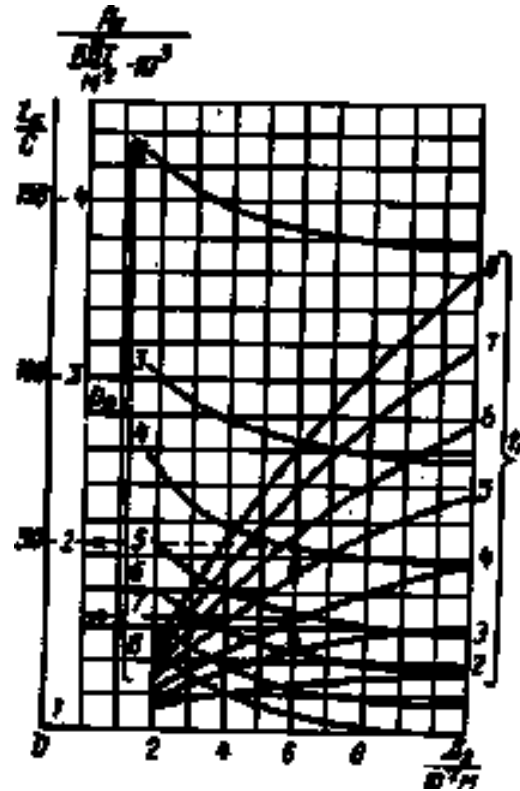


Рис.18. Залежність тривалості t_k нагріву і питомої потужності p_0 від діаметру D_2 деталі при глибині x_k закалки (цифри у кривих показують глибину закалки в міліметрах).

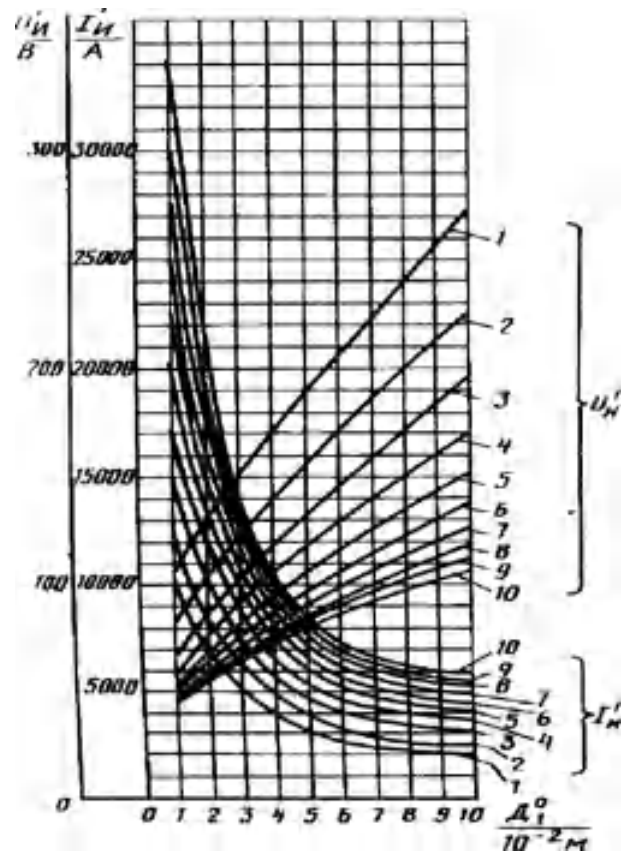


Рис.19. Залежність напруги U_i' на одновитковому індукторі і сили струму I_i' в індукторі від умовного діаметру D ° індуктора (цифри у кривих вказують ширину індуктивного проводу в сантиметрах).



Рис.20. До розрахунку циліндричного індуктора

$$I_{i1}' = 2,24 I_i' \sqrt{P_i' / f}.$$

Коефіцієнт потужності індуктора

$$\cos \varphi = P / (U_i' I_i').$$

Число витків вибраного індуктора $i1$

$$\omega = U_i' / I_{i1}'.$$

Сила струму індуктора

$$I_i = I_{i1}' / \omega.$$

Індуктори виготовляють з матеріалів високої електропровідності, наприклад із міді. Найбільш вигідно нагрівати індукційним способом матеріал з високою магнітною проникністю.

4. Приклад розрахунку

Глибина, м, проникнення сили струму в нагрітий матеріал.

$$1. \Delta = 503 \sqrt{\frac{p_\alpha}{f \mu_r}},$$

де p_α - $13 \cdot 10^{-8}$ питомий опір нагрітого матеріалу, Ом·м;

$f = 250$ кГц – частота мережі живлення, Гц;

$\mu_r = 1,26 \cdot 10^{-4}$ відносна магнітна проникність, ,

$$\Delta = 503 \cdot (13 \cdot 10^{-8}) / (250000 \cdot 1,26 \cdot 10^{-4})^{1/2} = 0,00405 \text{ м.}$$

Приблизно параметри індуктора можна розраховувати, використовуючи графіки тривалості t_K нагріву і питомої потужності p_0 (рис.18), напруга U_i' на одному витку індуктора і сили струму I_i' в індукторі (рис.19). ,

2, Для розрахунку необхідно знати

діаметр деталі $D_2 = 0,10\text{м}$

ширину a_2 закалюваного на ній шару, $0,26\text{м}$

глибину $x_k = 0,00405\text{ м}$ закалки,

частоту f напруги установки, 250000 Гц ,

потужність $U = 50\text{ кВт}$ на індукторі.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Діаметр деталі, м	0,18	0,14	0,17	0,20	0,25	0,21	0,24	0,20	0,15	0,15
Ширина шару, м	0,26	0,23	0,29	0,28	0,36	0,45	0,36	0,33	0,29	0,25
Глибина шару, м	0,004	0,00505	0,0041	0,0049	0,0048	0,0045	0,00425	0,00415	0,0044	0,0046
Частоту f напруги, Гц	290000	350000	250000	200000	240000	270000	250000	250000	250000	250000
Потужність кВт	45	40	30	50	30	25	35	52	47	55

Схема циліндричного індуктора з деталлю показана на рисунку 20.

Розрахунок ведуть в наступному порядку.

По заданим діаметру деталі і товщині закалки по графікам рисунка 18

3-4 визначають тривалість $t_k = 47\text{ с}$ нагріву, і питому потужність $p_0 = 1,9\text{ кВт/м}^2$.

Потім розраховують потужність, кВт, підведену до індуктора для закалки шару деталі шириною a_2 , м,

$$P_i = p_0 \pi D_2 a_2 / \eta_i,$$

$$\mathbf{5.} P_i = 1,9 * 1000 * 0,1 * 3,14 * 0,26 / 0,92 = 170\text{ кВт}$$

де η_i - к.п.д. індуктора.

По діаметру деталі і прийнятому значенню зазору h_3 , м, між деталлю і індуктором визначають діаметр, м, індуктора

$$\mathbf{6.} D_1 = D_2 + 2h_3 = 0,1 + 2 * 0,003 = 0,106\text{ м}$$

На графіках рисунка 19 напруга на однофазовому індукторі і сила струму в індукторі дані в залежності від умовного діаметру D_1 індуктора (при зазорі між індуктором і деталлю $h_3 = 0,003\text{ м}$) при потужності індуктора $P_i = 100\text{ кВт}$ і частоті

живлення $f = 250\text{ кГц}$.

Тому отримані на графіку рисунка 19 значення U'_i і I'_i потрібно перерахувати на фактичне значення діаметру по слідуючим формулам:

Потужність підведена до індуктора

$$U_{i1}' = U_i' (D_1 / D_1^o)^2 8,94 \times 10^{-6} \sqrt{P_i \cdot f^3},$$

де D^o – умовний діаметр індуктора, м, при зазорі $h = 0,003$ м;

$$U_n = 220 (0,1/0,106)^2 8,94 \times 10^{-6} (100 \cdot (250^3)^{0,5})^{0,5} = 37 \text{ В}$$

Приймаємо із графіка ширину провoda 2 см, тоді

$$U_i' = 220 \text{ В}; I_i' = 2500 \text{ А}$$

$$I_n = 2,24 \cdot 2500 \cdot (100/250)^{0,5} = 3550 \text{ А}$$

Коефіцієнт потужності індуктора

$$\cos \varphi = P_i / (U_{i1}' \cdot I_{i1}') = 170000 / (220 \cdot 2500) = 0,31$$

Число витків вибраного індуктора

$$\omega = U / U_{i1}' = 220 / 37 = 6 \text{ витків}$$

Сила струму індуктора

$$I = I_{i1}' / \omega = 3550 / 6 = 98,6 \text{ А}$$

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 13.

Тема: Розрахунок параметрів електроплазмолізатора рослинної сировини

ПЛАН:

1. Електроплазмоліз – контактний метод обробітку
2. Приклад розрахунку

1. Електроплазмоліз – контактний метод обробітку

ЕЛЕКТРОПЛАЗМОЛІЗ — обробка сировини струмом низької і високої частоти, в результаті чого відбувається плазмоліз протоплазми. — перспективний та ефективний метод при одержанні препаратів зі свіжої рослинної і тваринної сировини. Сутність методу полягає у впливі струму, що руйнує білково-ліпоїдні мембрани рослинних тканин зі збереженням цілісності клітинних оболонок. Одержані витяжки збагачені діючими речовинами і містять лише невелику кількість супутніх речовин.

ЕЛЕКТРОПЛАЗМОЛІЗ виконують у спеціальних пристроях — електроплазмолізаторах, забезпечених рухомими й нерухомими електродами. Електроплазмолізатор із рухомими електродами (вальцями) має два горизонтальних електроди, що обертаються назустріч один одному, до яких підводиться електричний струм напругою 220 В. Свіжа сировина з бункера надходить у щілину між вальцями, сік збирається в приймач. Вихід соку збільшується на 20–25% порівняно з використанням традиційних методів.

Електроплазмолізатор імпульсний з нерухомими електродами (2) являє собою камеру з перфорованим дном і рухомою кришкою (3), яка, опускаючись, віджимає лікарську сировину (1). Електроди монтуються безпосередньо в камері біля бокових стінок, подача струму високої напруги здійснюється імпульсами через кілька хвилин після пресування сировини за допомогою рухомої кришки. Час обробки сировини електричним струмом становить лічені частки секунди.

Електроплазмоліз відноситься до процесів електроконтактної обробки рослинної сировини – стружки плодів і овочів, зеленої маси і т.ін. Процес може виконуватися як на перемінному, так і на постійному і імпульсному струмі. При проходженні електричного струму через вологу рослинну масу виділяється теплота.

При цьому в рослинній клітці виникає стан плазмолізу - відхід від оболочки протоплазми, яка стягується. Це веде до підвищення кліткової проникності і, відповідно, до збільшення соковіддачі плодів, овочів, прискорення обезводнення трав'яної маси .

Розроблені різні конструкції електроплазмолізаторів – з повздовжніми і поперечними камерами електроплазмолізу, барабанні і з точковими електродами. Конструкція плазмолізатора визначається в основному питомим опором r рослинної сировини .

При $r < 1 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ використовують електроплазмолізатор з точковими електродами; при $8 > r > 1 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ – електроплазмолізатор з продовженою камерою електроплазмолізу, а при $r > 8 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ – барабанний електроплазмолізатор.

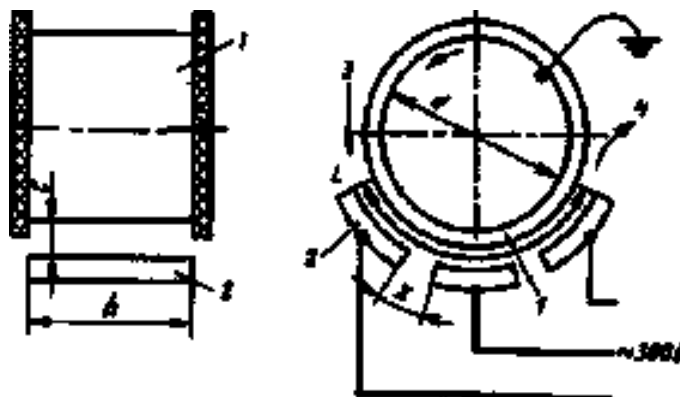


Рис.1.Конструктивна схема барабанного електроплазмолізатор:

- 1- заземлений барабан з діелектричними бортами; 2 – фазні електроди;
3-подача сировини; 4 – вихід сировини після обробки.

2. Параметри розраховують в наступному порядку.

Напруга, В/м, електричного поля між електродами плазмолізатора .

$$E = U_{\phi}/I < E_{\text{доп}} = j_{\text{доп}} \rho,$$

$$3. E_{\text{доп}} = 4 \cdot 10^3 \text{ А/м}^2 \cdot 9 \text{ Ом} = 36000 \text{ В/м}$$

При фазній напрузі 380 В товщина шару матеріалу

$$4. I = U_{\phi}/E = 380/36000 = 0,0106 \text{ м}$$

де $E_{\text{доп}}$ – допустиме значення напруги поля,

В/м;

$j_{\text{доп}}$ – допустиме значення щільності електричного струму.

$$\text{А/м}^2 \quad (j_{\text{доп}} \leq 6 \cdot 10^3 \text{ А/м}^2).$$

Тривалість, с, процесу електроплазмолізу

$$t = 3 \cdot 10^{-3} p K \Theta 10^8 / E \Theta,$$

$$5. t = 3 \cdot 10^{-3} \cdot 900 \cdot 1,0 \cdot 10^8 / 36000 \cdot 15 = 5 \text{ с}$$

де K – коефіцієнт струмостійкості, який показує, як клітини
 Θ протидіють дії

$K \Theta$ для окремих видів

сили струму, розрушуючи оболочку. рослинної

[Значення

сировини різні: яблука – 1, груша – 1,25, слива – 0,75, цукровий буряк – 10,

виноград – 0,9...9 (в залежності від сортів)].

Вираз для t було отримано в результаті сумісного рішення апроксимованих експериментальних результатів при різних умовах досліду [9].

Швидкість, м/с, переміщення рослинної сировини в плазмолізаторі

$$6. \sigma = Q_T / 3600 S \rho_M = 7200 / 3600 * 900 * 0.00315 = 0,0705 \text{ м/с}$$

де S – площа живого перерізу потоку сировини, м^2 :

$$7. S = h l = 0,3 * 0,0105 = 0.00315 \text{ м}^2$$

$\rho_M = 900 \text{ кг/м}^3$ – щільність подрібненої рослинної маси,

l – довжина, м, зони електрообробки

$$8. L = t \sigma = 5 * 0,0705 = 0,35 \text{ м}$$

Частота обертів, хв^{-1} , барабана електроплазмолізатора

$$9. n = 60 \sigma / (\pi d) = 60 * 0,0705 / (3.14 * 1,0) = 1,35 \text{ об/хв}$$

10. $d = 1,0 \text{ м}$ – прийнятий діаметр барабана

Площа, м^2 , одного фазного електрода електроплазмолізатора

$$11. S_1 = (L - 2X)h / 3 = (0,35 - 2 * 0,03) * 0,3 / 3 = 0,029 \text{ м}^2$$

12. де $x = 0,03 \text{ м}$ – відстань між фазними електродами, м.

Сила струму, А, електроплазмолізатора в одній фазі

$$13. I = U_\phi S_1 K_k / \rho l = 380 * 0,029 * 1,1 / 9 * 0,0105 = 128,3 \text{ А}$$

де K_k – конструктивний коефіцієнт, враховуючий вплив наявності сокомозгової або сокостружкової суміші за електродним простором електродних камер (для барабанного електроплазмолізатора $K_k = 1,1$).

Загальна потужність, Вт, трифазного електроплазмолізатора

$$14. P = 3 U_\phi I = 3 * 380 * 128,3 = 146234 \text{ Вт} = 146,2 \text{ кВт}$$

Витрата електроенергії, $\text{Вт} \cdot \text{год/кг}$, на електроплазмоліз

$$15. \omega_{\epsilon \Pi} = P / Q_T = 146,2 / 7200 = 0,02 \text{ кВт} \cdot \text{год/кг}$$

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 14

Тема: Розрахунок ємності-нагрівача з плівковим електронагрівачем

ПЛАН:

- 1.Плівкові нагрівачі : міфи і правда
2. Розрахунок ємності-нагрівача з плівковим електронагрівачем

Мета роботи: Оволодіти методикою розрахунку малогабаритних електронагрівачів з плівковими стрічковими електроддами

1. Плівкові нагрівачі : міфи і правда

Позиціонування «плівкових підлог»

«Двигун торгівлі» говорить: «У плівкової теплої підлоги зовсім інший, ніж у інших нагрівачів, принцип дії. Він забезпечує низьке енергоспоживання з дуже високим ККД, а так само масу інших унікальних властивостей... Далі - ті самі переваги й унікальні властивості плівки, які найчастіше зустрічаються в рекламі :

1. Економія 50 % в порівнянні з іншими типами електричного обігріву.
- 2.1. Феноменальні електро-і механічні властивості матеріалу з нано- структурою : нагрівальний елемент карбон - НЕ провідник , з гексагональними ґратами атомів вуглецю, сформованими в трубки розміром в одиниці нанометра.
- 2.2.Повна водонепроникність і високий захист від електричного пробоя.
- 2.3.Електроізоляційні та протипожежні властивості підвищені спеціальним електротехнічним поліетиленом.
- 2.4 . Пожежебезпека і неможливість перегріву: максимально можлива температура нагріву плівки складає 55 °С.
- 2.5 . Має систему саморегулювання: при перегріві різко падає енергоспоживання.
- 3 . Електробезпека, чудова надійність, термін служби - від 25 років і більше. При пошкодженні ділянки вся система продовжує функціонувати.
- 4 . Електромагнітне поле мізерно мале, тому що карбоновий напівпровідник блокує випромінювання електромагнітного поля.
- 5.1. Передача тепла через ІК випромінювання далекого спектру.
- 5.2. Не використовує повітря для розповсюдження тепла .
- 5.3. Дає ефект, максимально наближений до сонячного тепла .
- 5.4. Нагріває тіло людини дружніми ІК променями далекого спектру.

5.5 . Найбільш комфортний і економічний з усіх можливих джерел тепла.

5.6 . Високий ступінь випромінювання далеких ІК променів і аніонів з поверхні.

5.7. Корисно та лікувально : благотворний вплив довгохвильового ІЧ випромінювання (біорезонансного діапазону) на організм людини, тварин і рослини.

5.8 . Лікувальна дія аніонного та ІЧ випромінювання для більш ніж 30 різних захворювань , особливо тієї його частини , яка примикає до середнього піддіапазону - " Промені Життя " (5-15 мкм).

6 . Ультратонка : товщина плівки 0,3 мм.

А тепер спробуємо розібратися, де правда, де підміна понять, а де - відверта брехня.

Для цього нам знадобиться підручник фізики, деякі технічні знання і здоровий глузд.

Рекламний текст: «Економія 50 % в порівнянні з іншими типами електричного обігріву».

Факти :

Дійсно, можна отримати деяку економію енергії , застосувавши нагрів підлоги замість «традиційної» системи з конвекторами. Але це буде ніяк не 50%, а близько 10-15% і абсолютно не залежить від того, що саме є нагрівачем - плівка, кабель, мат або труба з теплоносієм. В даному випадку сама по собі система опалення через підлогу економічніше, ніж система з конвекторами. І пояснення цієї економії досить просте: при опаленні за допомогою нагріву підлоги розподіл тепла в приміщенні стає більш «правильним» («максимум» на рівні ніг і «мінімум» на рівні голови). Це дозволяє знизити середню температуру приміщення приблизно на 2°C без втрати комфорту, а кожен градус зниження температури в приміщенні дає приблизно 5-6 % економії. Крім того, всім відомо, що реальну економію на опаленні можна отримати:

- Утеплити будівлю;
- Застосувавши енергозберігаючі вікна;
- Застосувавши програмовані терморегулятори , які будуть автоматично знижувати температуру в приміщенні, наприклад, в періоди відсутності господарів і в нічний час .

Висновки:

- 50 % економії - не відповідає дійсності.
- «Використання карбону, як нагрівального елементу, дає підвищений ККД » - не правда .

- Формулювання, яке також можна зустріти: «До 50% економії в порівнянні з іншими типами електричного обігріву» - реklamний хід з підміною понять.

Унікальні характеристики , засновані на використанні нанотехнологій

Рекламний текст:

- 2.1 . Феноменальні електро- і механічні властивості матеріалу з нано- структурою : нагрівальний елемент карбон - НЕ провідник, з гексагональними ґратами атомів вуглецю, сформованими в трубки розміром в одиниці нанометра .
- 2.2 . Повна водонепроникність і високий захист від електричного пробоя.
- 2.3 . Електроізоляційні та протипожежні властивості підвищені спеціальним електротехнічним поліетиленом.
- 2.4 . Пожаробезпека і неможливість перегріву: максимально можлива температура нагріву плівки складає 550С
- 2.5 . Має систему саморегулювання : при перегріві різко падає енергоспоживання.

Факти:

Принцип роботи більшості електронагрівачів заснований на законі Джоуля - Ленца. Якщо не вникати у формули - все досить просто: струм, що протікає скрізь опір навантаження, перетворюється в тепло, викликаючи нагрів цього самого опору.

У нашому випадку опір – це і є нагрівальний кабель, плівка, тонкий мат і т.п. Крім того, бувають ще нагрівачі, засновані на інших принципах: індукційні (наприклад , кухонні плити , що нагрівають тільки металевий посуд, при цьому самі залишаючись практично холодними), електродуги, лазерні і т.п., які застосовуються досить рідко і не мають до досліджуваних системам опалення ніякого відношення.... Про нанотехнології і інші чудеса зараз не говорить тільки ледачий. Нанотехнології по суті своїй дозволяють збирати структури з потрібними властивостями з окремих атомів.

І це не має ніякого відношення до характеристик нагрівального елемента у вигляді тонкої плівки з вуглецю.

Іншими словами, застосування «нанотехнологій» не дає ніяких додаткових переваг нагрівачу.

Розберемося з гарним терміном: «карбон з гексагональними ґратами атомів вуглецю».

Карбон - це вуглець, який, залежно від будови решітки може бути алмазом, а може бути графітом або вугіллям.

«Вуглець з гексагональної ґратами» - це всього лише графіт, не дивлячись на красиву назву.

Про унікальні властивості «спеціального електротехнічного поліетилену» складно щонебудь говорити, не провівши повномасштабних випробувань. Але цей поліетилен не застосовується в ізоляції електричних кабелів. Точніше, застосовується, але має значну товщину для забезпечення надійної електричної ізоляції і містить масу всіляких добавок для надання йому властивостей самозатухаючого матеріалу, захисту від ультрафіолету і т.д.

Те ж можна сказати про пожежобезпеку.

При спробі підпалити смужку плівки, вона загорілася і не думала затухати, на відміну від кабелів (хоча, можливо, мені попався бракований зразок плівкового нагрівача).

Якщо продукт водонепроникний, то повинно бути відповідне маркування «IP XY», де X - число, що показує можливість проникнення всередину сторонніх предметів, а Y - число, що показує захищеність від вологи. Наприклад, IP X4 - це захист від бризок, падаючих в будь-якому напрямку, і тільки IP X8 - повна водонепроникність, коли пристрій може працювати в зануреному режимі. На нагрівальній плівці подібне маркування не зустрічається.

Визначення «неможливість перегріву і наявність системи саморегулювання» - відверта брехня. Обмежте відвід тепла з поверхні плівки - і самі все побачите. Наприклад, накрийте включену плівку картонною коробкою, а через 20 хвилин виміряйте температуру на плівці ... У мене вийшло 75 ° C!

Висновки:

- «Карбон - НЕ провідник» (іноді зустрічається назва «напівпровідник») - це неправда: графіт проводить електричний струм.
- «Неможливість перегріву» - брехня: у певних випадках перегрів можливий.
- «Наявність системи саморегулювання» - це визначення вводить покупця в оману.
- «Водонепроникність і високий захист від електричного пробоя» - терміни, нічим не підкріплені і викликають масу питань.

Для роздумів :

Для чого використовувати нанотехнології там, де вони не потрібні? Якщо такі технології дійсно використовуються в нагрівальній плівці, то якою має бути її ціна? Робити з графіту резистори вміють давно і без всяких нанотехнологій.

Якщо існує ізоляція з унікальними характеристиками, чому її не використовують, наприклад, в якості ізоляції електричних кабелів, що дозволило б зробити їх дешевше, легше, надійніше і безпечніше? Наскільки надійно вугільне напилення на гнучкій пластиковій підкладці? Що буде з вугільним провідником при механічних впливах (згинанні) або при попаданні вологи при пошкодженні ізоляції?

Електробезпека - особлива тема

Рекламний текст: «Електробезпека, чудова надійність, термін служби - від 25 років і більше. При пошкодженні ділянки вся система продовжує функціонувати». При прочитанні цього, у фахівця виникає питання: «ПУЕ ще не скасували?»

Факти:

ПУЕ - правила улаштування електроустановок, останнє видання 2009.

Це правила, «написані кров'ю», і їх невиконання загрожує дуже серйозними наслідками.

Правила не забороняють застосування плівкових, так само як і інших, стрижневих, секційних і т.п. нагрівачів, але зобов'язують виконати ряд умов, для безпечної експлуатації

нагрівальної системи:

« 9.4.1 . В установках електричного кабельного обігріву, як правило, потрібно застосовувати екрановані нагрівальні кабелі.

9.5.1 . Нагрівальний кабель не повинен створювати небезпеку займання навколишнього середовища. В умовах нормальної експлуатації нагрівальний кабель не повинен нагрівати предмети, виготовлені з горючих матеріалів, до температури вище $+80^{\circ}\text{C}$.

9.5.8 . При застосуванні нагрівального кабелю без металевої оболонки (екрана) над ним слід укласти металеву рулонну сітку з розміром осередків 50×50 мм і підключати її до системи зрівнювання потенціалів ».

Замість виконання вищевказаних пунктів, часто доводиться чути: «Плівка - це ж не кабель, отже, ці вимоги на неї не поширюються». Однак плоска форма нагрівача не є підставою для нехтування правилами безпеки, адже в плівці, як і в кабелі, присутня

небезпечна напруга , мається ізоляція і тече струм ... і діючі норми досить чітко визначають

поняття:

«3.5 нагрівальний кабель - нагрівальний елемент , призначення для трансформації електричної ЕНЕРГІЇ в теплову в огорожувальній конструкції (підлога , стіна , стеля) приміщення . Нагрівальним кабелем є нагрівальний елемент з одного чи декількох ізольованих один від одного провідників (жил) , уміщених у захисних оболонках , та всякий Інший Різновид нагрівального кабелю : саморегулювальний нагрівальний кабель , секційний (зональний) нагрівальний кабель, будь -який резистивний нагрівальний кабель або нагрівальна стрічка, а також плоска конструкція з нагрівальними елементами у вигляді мату, плівки тощо».

(ДБНВ.2.5-24:2010)

Як видно з вищесказаного, безпечно застосування нагрівальної плівки можливо з деякими додатковими поправками. Зокрема, її доведеться накривати металевою сіткою , що значно ускладнює і здорожує таку систему нагріву. Крім цього , часто доводиться чути про працездатність нагрівальної плівки навіть при її частковому пошкодженні : « в цьому випадку перестає працювати не вся система , а тільки пошкоджену ділянку». Це дійсно так, але при цьому всі чомусь забувають про безпеку. Якщо має місце пошкодження ізоляції, таке обладнання автоматично відключається за допомогою УЗО (пристрій захисного відключення) і робота обладнання можлива тільки після виявлення і усунення несправності. Згідно з діючими нормами , практично все електрообладнання повинно підключатися через УЗО : «9.5.3. В установках ЕКО слід застосовувати ПЗВ з номінальним диференціальним струмом спрацьовування не більше 30 мА ... (ПУЕ 2009) ».

Висновки:

Плівка не ремонтпригодна, а пошук несправності під шаром стяжки практично неможливий.

Правила дозволяють застосування плівкових нагрівачів так само, як і нагрівальних кабелів, без екрану тільки у вигляді винятків і вимагають установки сталевих сітки поверх таких нагрівачів з приєднанням її до системи зрівнювання потенціалів . Робота будь-якого електроустаткування з ушкодженнями категорично не допускається !

Будь-які рекомендації виключити зі схеми УЗО і продовжити користуватися частково

пошкодженою теплою підлогою - вкрай небезпечно! Краще нехай підлога стане холодною, ніж ризикувати отримати удар струмом.

Для роздумів :

При пошкодженні, наприклад, ізоляції подовжувача, ми не будемо ним користуватися, бо розуміємо, що це небезпечно: такий кабель або ремонтується, або замінюється новим. Так чому ж ми повинні наражати на небезпеку власне життя і життя близьких людей, продовжуючи користуватися небезпечним обладнанням?

Що простіше: встановити кабель / мат (який має екран) або встановлювати і підключати металеву сітку поверх плівкового нагрівача?

Електромагнітні поля та інші страшні випромінювання

Рекламний текст: «Електромагнітне поле мізерно мало, так як карбоновий напівпровідник блокує випромінювання електромагнітного поля».

Факти:

Більшість людей відверто бояться всього, що має яке-небудь випромінювання. Але не все так страшно, адже ми живемо в світі до системи змінного струму напругою 220 В, можна умовно розділити електромагнітне поле навколо провідників на «електричну» і «магнітну» складові.

Електричне поле кабелю «блокується» металевим екраном кабелю, а магнітне взаємно компенсується зустрічними струмами в провідниках 2-жильного кабелю. Результати багаторазових вимірювань і тестів показують, що електромагнітне поле навколо нагрівальних кабелів в сотні, а іноді в тисячі (!)

Разів нижче, ніж допускають норми. Плівкові нагрівачі не мають екрану, струмовий компенсація відсутня, так само як відсутні результати вимірювань цих параметрів ...

Тому пояснення: «...карбоновий напівпровідник блокує випромінювання електромагнітного поля» або «... електромагнітного поля там бути не може, так як карбон (графіт) - це не метал ...» - це не більше ніж гра слів з використанням малозрозумілих термінів.

Висновки:

Електромагнітне поле плівкового нагрівача буде значно вище в порівнянні з полем від двожильного екранованого кабелю або мата .

Для роздумів :

Чому практично ніхто не боїться електромагнітного поля, випромінюваного побутової електропроводкою? Адже кількість проводів, замурованих у стіни житлової квартири , звичайно обчислюється сотнями метрів , а ці дроти не мають екрану ...

Подумаємо про здоров'я і про способи передачі тепла ...

Рекламний текст:

- 5.1. Передача тепла через ІК випромінювання далекого спектру.
- 5.2. Не використовує повітря для розповсюдження тепла .
- 5.3. Дає ефект, максимально наближений до сонячного тепла .
- 5.4. Нагріває тіло людини дружніми ІК променями далекого спектру.
- 5.5. Найбільш комфортний і економічний з усіх можливих джерел тепла.
- 5.6 . Високий ступінь випромінювання далеких ІК променів і аніонів з поверхні.
- 5.7 . Корисно та лікувально : благотворний вплив довгохвильового ІЧ випромінювання (біорезонансного діапазону) на організм людини , тварин і рослини.
- 5.8 . Лікувальна дія аніонного та ІЧ випромінювання для більш ніж 30 різних захворювань , особливо тієї його частини, яка примикає до середнього піддіапазону - " Промені Життя " (5-15 мкм).

Факти:

Існує три способи передачі тепла:

- 1 . Конвекція : перемішування повітря або рідин в результаті того , що більш нагріті шари спрямовуються вгору .
2. Контактна теплопередача : передача тепла при контакті між предметами - від більш теплого - до більш холодного. У даному випадку теза «тепло піднімається вгору» - не вірний.
- 3 . Випромінюванням (радіаційне тепло) - перенесення тепла , при якому повітря , пропускаючи тепло , саме практично не нагрівається , наприклад , коли ми відчуваємо тепло від сонця або від вогню.

На практиці ці способи передачі тепла практично завжди зустрічаються в комбінації , так , наприклад , конвектор (радіатор) системи опалення віддає близько 80-90 % тепла

через конвекцію і 10-20% через випромінювання . А система «тепла підлога» - навпаки , більшу частину тепла віддає саме випромінюванням , це приблизно 50-60%.

Тепер трохи інформації про інфрачервоне (ІК) випромінювання. З курсу фізики відомо :

- Будь-яке тіло або речовина , нагріте вище 0°K є джерелом ІЧ- випромінювання.
- Довжина хвилі визначається виключно температурою.
- Інтенсивність випромінювання нагрітої поверхні визначається в основному її температурою. (І трохи залежить від властивостей поверхні).
- Практично всі конструкційні матеріали непрозорі для випромінювання ІК діапазону.

Зверніть увагу :

- ІК випромінювання плівки поглинається будь-яким покриттям підлоги .
- Інтенсивність і довжина хвилі визначається тільки температурою джерела , в даному випадку джерелом випромінювання є нагріта поверхня підлоги.

У своєму прагненні продати плівку за будь-яку ціну, багато перевершили всіх і вся. Користуючись тим, що багато обивателів далекі від глибокого розуміння законів фізики і застосовуючи малозрозумілі , але красиві терміни в рекламі, обіцяють «високу ступінь випромінювання ... аніонів з поверхні» і «лікувальний вплив аніонного випромінювання» .

І якщо з «променями життя» , «випромінюваннями біорезонансного діапазону» , «дружніми ІК променями далекого спектру» та іншими казковими персонажами вже трохи розібралися, то спробуємо розібратися з «аніонними випромінюваннями». Аніон - негативно заряджений іон. Аніони мають на розчинах більшості солей та кислот, а також у кристалічних решітках сполук з іонним зв'язком , в іонних рідинах і в розплавах . Що таке «аніонне випромінювання» з'ясувати так і не вдалося, зате це красива гра слів. Іноді реклама плівкових нагрівачів обіцяє навіть іонізацію повітря і нейтралізацію тютюнового диму. Цікаво , яким чином резистор може іонізувати повітря? Іонізація можлива при високій напруженості електричного поля, приклад тому - «люстра Чижевського». Відомі природні джерела: ультрафіолетове сонячне випромінювання, електричні розряди в атмосфері (гроза) , дроблення і розпилення води (водоспади , морський прибій , дощ) , взаємне тертя піщинок, частинок пилу, снігу, граду, і т.п.

Висновки:

За певних обставин, довжинах хвиль і потужностях, ІЧ-випромінювання дійсно надає лікувальну дію на організм людини. З цим особливо складно сперечатися, коли тобі показують диплом і висновки експерта одного з корейських університетів. Але, навіть якщо припустити, що плівкові нагрівачі мають унікальні властивості і випускають «промені життя дружнього спектра довгохвильової частини ІК діапазону» то «біда» в тому, що стяжка, плитка, паркет або ламінат не пропускають це «дуже корисне» випромінювання і на 100 % його поглинають. В результаті чого самі нагріваються.

Усередині статі тепло передається контактною теплопередачею. Отже, наявність «аніонного випромінювання», іонізації повітря, і т.п. - Брехня.

Для роздумів :

Терміни «дружні ІК промені далекого спектру», «промені життя», «випромінювання біорезонансного діапазону», «аніонне випромінювання», і т.п. зустрічається тільки в рекламі нагрівальних плівок. Невже сучасна фізика так відстала від передових відкриттів корейських інженерів?

Товщина зараз не в моді :)

Рекламний текст: «Ультратонкая - товщина плівки 0,3 мм». Ось з цим не посперечаєшся. Нагрівальні плівки дійсно мають малу товщину, що дозволяє успішно застосовувати їх там, де це безпечно і потрібно, наприклад, вони широко застосовуються для підігріву дзеркал в автомобілях. Враховуючи сказане вище, в інших випадках, а особливо в будівництві, мала товщина - це швидше просто параметр, а ніяк не гідність чи перевагу.

Ми розглянули основні міфи про особливі переваги плівкової теплої підлоги для того, щоб усунути нерозуміння, викликане красивими, але некоректними рекламними формулюваннями, за якими по суті нічого не стоїть, окрім необхідності продати товар недосвідченому споживачеві. Сподіваємося, ця інформація допоможе вам.

2. Розрахунок ємності-нагрівача з плівковим електронагрівачем

Тонкошарові, поверхневого розподілу, плівкові електронагрівачі (ПЕН) дуже перспективні для сільськогосподарського виробництва при низькотемпературному нагріві.

Основні переваги ПЕН: висока антикорозійна стійкість при роботі в агресивному середовищі, низька стійкість вихідного матеріалу і технологічність

виготовлення нагрівачів різних конфігурацій, рівномірний і диференційований нагрів великих поверхонь важкої форми, відносно низька металоємкість і високий тепловий к.п.д. [1,4].

Корпус плівкового електронагрівача – металевий з вузькошаровим склоізоляційним покриттям, на поверхні якого поставлений склометалічний резистивний плівковий елемент шириною $(1...1,2) \cdot 10^{-3}$ м, також зверху захисний склоізоляційний покриттям.

ПЕН можуть працювати на змінному і постійному струмі при напрузі 12...220В з допустимою температурою на поверхні 150...200°C. Механічна міцність і корзинова стійкість ПЕН такі ж, як у виробів з склоемальованим покриттям.

Техніко-економічні показники ПЕН для нагріву різних явищ приведені в таблиці 6.

Випускаються електрокаструлі з ПЕН-елементами [4]: ЄКЄ-1,220 (каструля-експрес), ЄКВ-1,220 (каструля для варки), ЄКП-1,220 (каструля-підігрівач). Їх номінальна потужність відповідно 520,350,240 Вт, температура нагріву 95,85,80. °C

8

1. Вхідні дані для розрахунків

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Теплоємність середовища, Дж/(кг·°C)	4180	4178	4167	4150	4189	4178	4160	4180	4167	4178
Маса нагрітого середовища, кг	33	44	55	32	17	47	38	34	23	43
Температура на початку, °C	10	13	16	16	14	15	17	15	13	11
температура на кінці, °C	75	77	79	83	85	84	86	81	83	82
Час нагріву, с	500	450	600	550	300	480	630	570	500	460

Таблиця 6 - Питомі параметри і показники ПЕН для різних сільськогосподарських низькотемпературних термічних процесів

Нагріте середовище	W _{дПЕН} ,кВт/м ²	Матеріалоємкість ПЕН, кг/кВт
Вода, термонеутральне рідке і тверде середовище	40	0,2
Харчові продукти	5...30	1,6...2,7
Повітря в потоці	1,3...3,6	6,2...2,5
Повітря (спокійне)	0,95	8,4
Контактний обігрів біологічних об'єктів	0,24	33,5

Для сумісної ємності-нагрівача ПЕН розраховують в такій послідовності. Корисна потужність, Вт, необхідна для нагріву середовища,

$$P_{пол} = cm(\Theta_K - \Theta_H) / t = 4189 \cdot 17 \cdot (85 - 14) / 300 = 16854 \text{ Вт}$$

де c – питома теплоємність нагрітого середовища, Дж/(кг·°C); t – маса нагрітого середовища, кг;

Θ_H, Θ_K – температура на початку і кінці нагріву, °C;

t – час нагріву, с.

Потужність, Вт, установки

$$2. \text{«} P_Y = P_{K3} / \eta_Y = 16854 \cdot 1,2 / 0,9 = 22470 \text{ Вт.}$$

де k_3 – коефіцієнт запасу, враховуючи старіння ПЕН-елемента ($k_3 = 1,1 \dots 1,2$);

η_Y – к.к.д. установки ($\eta_Y = 0,6 \dots 0,98$ в

залежності від $0,6 \dots 0,98$ в залежності від конструктивного

виконання розміру нагрівача).

Потім по додатках з довідкової літератури в залежності від матеріалу ПЕН знаходять допустиму питому поверхневу потужність для води $W_d = 40 \text{ кВт/м}^2$.

Корисна площа, м², контактної поверхні теплообміну (КПТ)

$$3. A_p = P_Y / w_d = 22470 / 40000 = 0,562 \text{ м}^2$$

Повна площа КПТ, м²,

$$4. A = A_p / K_{зап} = 0,562 / 0,93 = 0,604 \text{ м}^2$$

де $K_{зап}$ – коефіцієнт заповнення площі композиційним резистивним плівковим елементом. Для ємності-нагрівача $K_{зап} = 0,90 \dots 0,95$ при $\delta = (3 \dots 5) \cdot 10^{-4} \text{ м}$ (δ – відстань між резистивними смугами) (рис.22).

Об'єм нагрівача, м³, при циліндричній формі ємності - нагрівача з висотою h , рівною діаметру D ?

$$V = \pi D^3 / 4.$$

Якщо припустити, що ємність до країв заповнена нагрітим середовищем щільністю ρ_c , то маса, кг, нагрітого середовища

$$m = \frac{V}{p_c} = (\pi D^3 / 4) * p_c$$

Тоді діаметр, м, ємності-нагрівача

$$5. D = (4m / \pi p_c)^{1/3} = (4 * 173,14 * 1000)^{1/3} = 0,279 \text{ м}$$

Бокова поверхня, м², ємності-нагрівача

$$6. S = (\pi D) D = \pi D^2 = 3,14 * 0,279^2 = 0,244 \text{ м}^2$$

Периметр, м, поперечного перерізу-нагрівача

$$7. I = \pi D = 3,14 * 0,279 = 0,876 \text{ м}$$

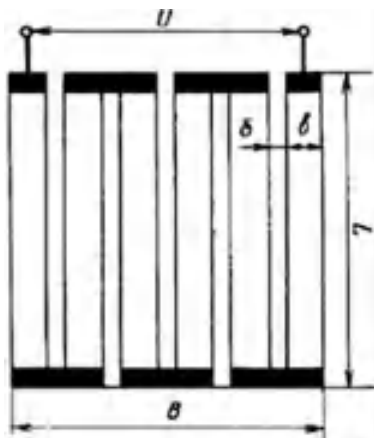


Рис.22. Конструктивна схема плівкового електронагрівача(ПЕН):

b – ширина резистивної полоси; δ - відстань між резистивними полосами; L – довжина резистивних полос плівкового нагрівача; B – ширина контактної поверхні теплообміну.

Приймаємо довжину, м, резистивних полос ПЕН-елемента з умовою, що

$$8, L < I = 0,7 \text{ м}$$

Ширина, м, всієї контактної поверхні теплообміну

$$9, B = A/L = 0,604/0,7 = 0,863 \text{ м.}$$

Ширина, м, однієї резистивної полоси ПЕН, показаного на малюнку 22 [4],

$$b = \sqrt{(\delta^2 / 4) + \frac{p_n w_0 L^2 B(B + \delta)}{U^2}} - \frac{\delta}{2},$$

$$10. = (((0.001^2/4) + (1500 * 40000 * 0,7^2 * 0.863(0.863 + 0.001)) / 220^2)^{0.25} - 0.001/2 =$$

де p_n – питомий поверхневий опір композиційної резистивної плівки,

Ом/см

(Ом/см - одиниця, яка характеризує електричний опір тонкого шару).

Число резистивних полос ПЕН

$$n = (B + \delta)/(b + \delta).$$

Якщо n – вийшло дробовим, то беруть найближче ціле число n' - і перераховують параметри резистивного тіла..

Нове значення ширини, m , резистивної полоси

$$b' = B - \delta (n' - 1) / n'.$$

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 15

Тема: Розрахунок технологічних параметрів процесу і установки для електроаерозольної обробки птиці

ПЛАН:

1. Електростатичне обприскування в сільському господарстві
2. Технологічні параметри процесу і аерозольного генератора

Мета роботи: Оволодіти методикою розрахунку впливу електростатичного поля на утворення електроаерозоля в повітрі.

1. Електростатичне обприскування в сільському господарстві

Електростатичні розпилювачі почали застосовувати в сільському господарстві наприкінці 1970-х рр. Зараз ними здебільшого користуються для повітряної обробки, однак їх також можна встановити на пневматичні обприскувачі для обробки садів і ягід або на горизонтальні штанги при обробці овочевих культур. Інколи їх навіть встановлюють на ручні розпилювачі при внесенні суміші на невеликих площах.

Заявлені результати

Незалежні експерти, виробники розпилювачів та фермери повідомляють, що завдяки застосуванню електростатичних розпилювачів:

- Покращується однорідність покриття оброблюваної ділянки (обробка під листям, панорамне покриття стебла й проникнення до крони рослини).
- Посилене «прилипання» внесеного розчину (>50% краще в порівнянні з традиційним методом) і/або потенційне заощадження суміші до 50%.
- Скорочення втрат розчину на ґрунт.
- Посилення ефективності контролю за шкідниками та захворюваннями.

Виникає очевидне питання: «Чому всі ще досі не користуються електростатичними обприскувачами»? Нижче наводяться результати тестування електростатичного обприскувача на морквяних полях в Європі.

Заряд крапель

Розчин заряджається за допомогою турбонагнітача високої напруги. Як правило, електрод, розташований поряд з дрібнокрапельним струменем, випромінює заряд у момент формування крапель. Інтенсивне електричне поле видає позитивний або негативний заряд в залежності від полярності постійного електричного струму. Іноколи розчин поляризується гідравлічними розпилювачами (наприклад, у формі порожнистого конуса) або пневматичних стригальних розпилювачів. Додаткова перевага останніх полягає в розвіюванні крапель від електрода до крони рослин.

Розглянемо негативно заряджену краплю (схема нижче). Крапля поляризується, коли проходить через електричне поле. Поле притягує електрони до поверхні краплі й відштовхує позитрони в напрямку центру. Тепер крапля має власне поле й притягується до заземлених об'єктів. Негативний заряд на поверхні краплі відштовхує електрони на поверхні цілі, які перерозподіляються, створюючи відносно позитивний заряд на поверхні рослини, що й притягує краплю.



Розмір краплі

Розмір крапель — вирішальний фактор. Вони мають бути достатньо великі аби протистояти випаровуванню та дрейфуванню (знесенню) й одночасно достатньо малими аби заряд змінював їхню траєкторію при наближенні до цілі (співвідношення заряду до маси). Більшість електростатичних розпилювачів створює краплі розміром ~50 мкм (категоризуються в сільському господарстві як дуже дрібні). Для порівняння, розмір людського волосся становить від 20 до 180 мкм, а туман — 5 мкм. Малий розмір краплі говорить про те, що відстань між розпилювачем і кроною рослини також стає вирішальним фактором при обприскуванні або знесенні (дрейфі).

Поведінка крапель

На поведінку краплі впливає низка фізичних сил: інерція, потоки вітру, сила тяжіння й т. д. Дуже дрібні краплі мають низьку граничну швидкість, через що вони падають повільно (~40 секунд — 3 м). Тож, через малий розмір краплі значною мірою схильні до знесення (дрейфування). Однак під час тестування в штучних умовах доведено, що заряджені краплі швидше притягуються до заземленого об'єкта, ніж незаряджені краплі. Крім того, на траєкторію заряджених крапель менше впливає рух повітря й вони можуть рухатися вгору, у супереччя силі тяжіння, досягаючи зворотної сторони листя.

Безперечно, краплі мають дістатися крони рослини перше ніж на них почнуть діяти всі потенційні фізичні сили. Навіть якщо подавати додаткове пневморозвантаження для проектування потоку розчину на крону рослини, тестування довело, що краплі мають знаходитися в 1 см від цілі, перш ніж тяжіння покращить осідання крапель. На цей процес впливає низка фізичних явищ:

Ефект градки Фарадея може виникати під час обприскування густих крон. Розчин накопичується на перших заземлених об'єктах на своєму шляху — листки верхньої частини крони. Проте глибше суміш не розпилюється. На додаток, часто негативний заряд, що природним шляхом утворюється на поверхні ґрунту, відштовхує негативно заряджений розчин. Можливо, через це в низці досліджень повідомлялося про зменшення втрат розчину на ґрунт.

Ефект корони (коронарний розряд) — це дуже складне співвідношення між формою, густотою насадження й відстанню між рослинами, а також їхнім впливом на заряджений розчин. Дослідження довели, що краплі краще прилипають до цілей округлої форми, ніж гострої. Газообмін між зарядами кінчиків листків і розчину може нейтралізувати або навіть відштовхувати краплі. Можливо, тому під час промо-демонстрацій використовують яблуко або кулю.



Ефект розширення хмари (або Ефект «космічної хмари») полягає в тому, що об'єкти з подібним зарядом відштовхують заряджені краплі. Закон Кулона доводить, що об'єкти з протилежним зарядом притягуються, а об'єкти з подібним зарядом відштовхуються. Оскільки всі краплі мають однаковий заряд, вони відштовхують одна одну. Саме тому струмінь розчину «розширюється», потрапивши всередину крони рослини, що допомагає перерозподілити краплі й забезпечити рівномірну обробку. Через це краплі змушені рухатися вгору, що посилює їхнє знесення (дрейф).

Висновки

Можливість знизити застосування хімікатів виглядає дуже привабливо й це спонукає фермерів розглядати електростатичні обприскувачі як екологічно свідомий вибір. Проте, явище дрейфування крапель ще недостатньо вивчено. Думки спеціалістів неоднотайні щодо того, які обприскувачі більше схильні до дрейфування крапель: електростатичні чи традиційні?

Однак, експертна думка однорідна в тому, що електростатичні обприскувачі демонструють виняткові результати в контрольованому середовищі. Між тим, у природному середовищі виникає низка складнощів через різноманіття варіюючих чинників. До того ж, вартість самого обладнання певним чином впливає на його адаптацію фермерами. Тож, існує потреба в проведенні в реальних умовах повноцінних досліджень дрейфування крапель, однорідності покриття й проникнення крапель до крони рослини (зокрема через систему ґрунтових стендів).

Отже, вважається, що електростатичне обприскування має значний потенціал.

[javascript:](#)

В пташниках для терапії і профілактики захворювань проводять вакцинацію птиці шляхом інгаляції. Щоб птиця отримала однакову дозу препарату, використовують аерозольні генератори САГ-ГРН.

Уніполярна зарядка частинок в аерозольному генераторі сприяє примусовому переносу препарату (електроаерозоля) з об'ємним розходом Q , $\text{м}^3/\text{с}$, по всьому приміщенні.

2. Технологічні параметри процесу і аерозольного генератора

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Розміри приміщення	12х48х5	12х36х4,5	12х4х5,5	15х36х4,5	18х44х5	15х36х4,5	12х54х4,5	15х42х5	12х48х4,5	12х42х4,5

1. Розміри приміщення 12х36х4,5

Оцінюють витрату препарату при інгаляції. Це можна зробити, вводючи безрозмірний коефіцієнт,

$$K_{\text{и}} = M_{\text{вд}}/M_{\text{р}},$$

де $M_{\text{вд}}$ – число крапель аерозолю, які вдихає птиця в одиницю часу, $1/\text{с}$;

$M_{\text{р}}$ – число аерозолю, вироблених генератором на одиницю часу, $1/\text{с}$.

$$M_{\text{р}} = 3Q / 4\pi r^3.$$

$$M_{\text{вд}} = NQ_1 K_{\text{ио}} n_1,$$

де r – радіус крапель, м ;

N – число птахів, голів;

$2.Q_1 = 0,00001 \text{ м}^3/\text{с}$; – об'єм повітря, який вдихає один птах

за одиницю часу, $\text{м}^3/\text{с}$;

$K_{\text{ио}}$ – коефіцієнт затримки аерозоля в дихальному тракті птиці;

n_1 – концентрація часток в об'ємі приміщення, $1/\text{м}^3$.

Якщо $K_i = 1$, то весь аерозоль вдихається птицею, і тоді $M_{\text{вд}} = M_{\text{р}}$.

Прирівнявши вирази з врахуванням K_i , отримаємо

$$3Q / 4\pi r^3 = NQ_1 K_{\text{ио}} n_1 / K_i. \quad \text{—}$$

Визначають умови, при яких втрату частинок аерозолі, які осідають під дією сили тяжіння, можна знизити.. Для цього необхідно, щоб число частин аерозолі, які вдихає птиця, була б більша кількості частинок, що осаджуються на поверхні в тому ж об'ємі приміщення. Дані умови можна записати так:

$$\frac{NQ_1 K_{io} n}{V} \geq \frac{sv_d n}{V}, \quad \text{—}$$

3. де $V=12*36*4,5=1944\text{ м}^3$ – об'єм приміщення, м^3 ;

$S=432\text{ м}^2$ – площа поверхні підлоги приміщення,

4. Щільність птахів 5 голів на 1 м^2 , тому кількість поголів'я
 $N=432*5=2160$ птахів.

v_d – швидкість осідання аерозолі, м/с , під дією сили тяжіння при числі Рейнольдса $Re < 1$.

Прийняв силу опору середовища при сферичних частинах що осаджуються

F_{cp} рівна силі тяжіння F_g запишемо

$$F_{CP} = 6\pi\eta_B r = mg,$$

звідки

$$\sigma_n = mg / (6\pi\eta_B r) = 2 / 9 (g \rho_{ж} r^2 / \eta_B),$$

де $g 9,81\text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння,

$\rho_{ж}=1040\text{ кг/м}^3$ – густина рідини,

$\eta_B=0,001\text{ Па}\cdot\text{с}$.- динамічна в'язкість повітря,

Підставивши значення σ_g , отримаємо $sp r^2$

$$\frac{NQ_1 K_{io} n}{V} \geq \frac{2}{9} \frac{g \rho_{ж} r^2}{\eta_B V} n.$$

Звідси радіус, м , частинок розпилюваного аерозолі

$$r \leq \sqrt{\frac{9NQ_1 K_{io} \eta_B}{2 \rho_{ж} g n}}$$

5. $r = ((9NQ_1 K_{io} \eta_B) / (2 \rho_{ж} g n))^{0,5} = ((9*2160*0,00001*1*0,001) / (2*432*9,81*1040))^{0,5}$
 $= 1,5*10^{-6}\text{ м}$, що задовольняє вимогам.

Розрахований радіус частинок не повинен перевищувати 10 мкм, як того потребують ветеринарні правила. $K_{io} = 0,54$ і збільшуються до $K_{io} = 1$, якщо аерозоль заряджений.

2. Розрахувати технологічні параметри процесу.

Знаходять технологічні параметри дискового розпилювача, у яких розпилюючий диск виконаний з діелектричного матеріалу (рис. 23).

В цьому розпилювачі позитивний потенціал підводиться зверху діелектричного шару та знизу діелектричного розпилюючого диска. Обидва діелектричних диска індукційні. Електростатичне поле між ними виникає за рахунок заземленого розтікаючого по диску рідкого препарату, який вводять через діелектричну трубку.

Дійсний конвертативний струм розпилювача [17].

$$I_{kd} = K_d 2\pi R \epsilon U \left(\frac{\epsilon_1}{d_1} + \frac{\epsilon_2}{d_2} \right) v_n$$

де K_d - коефіцієнт, який враховує допоміжні фактори, які діють на процес зарядки (приймаємо в задачі $K_d=1$);

R - радіус розпилюючого диска, м,

U -підведена напруга, В;

ϵ_1, ϵ_2 ,- відносна діелектрична проникність відносно діелектричного шару та розпилювального диска з діелектрика;

d_1, d_2 , товщина діелектричного шару та розпилюючого диска з діелектрика, м;

v_n -швидкість поверхні плівки рідини в момент відривання її з поверхні диска, м/с.

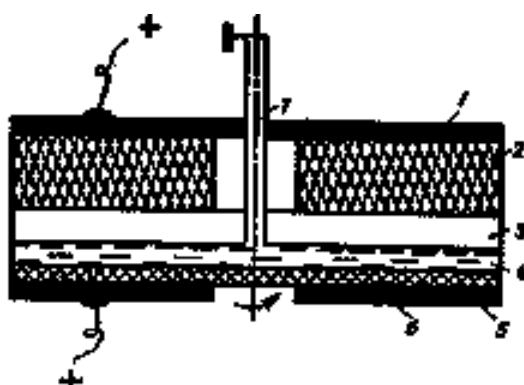


Рис. 23 Схема електростатичного розпилення: 1 - верхній індукуючий електрод; 2 - шар діелектрику; 3 - шар повітря; 4 - плівка рідини; 5 - розпилюючий диск із діелектрика; 6 - нижній індукуючий електрод; 7 - діелектрична трубка для підводу рідини.))

В дихальний тракт птиці попадає тільки частина аерозолю, виробленого генератором, що визначається коефіцієнтом $K_{\text{и}}$.

Тобто можна записати

$$I_{\text{кп}} = K_{\text{и}} I_{\text{кд}}.$$

Далі знаходять швидкість $v_{\text{п}}$ плівки рідини та, підставивши, отримуємо [12].

$$v_n = \sqrt{\frac{9\rho_{\text{ж}} \omega^2 Q_{\text{г}}^2}{32\pi^2 \eta_{\text{ж}} R}}$$

$$6. = ((9 \cdot 1040 \cdot 31,4^2 \cdot (2160 \cdot 0,00001)^2) / (32 \cdot 3,14^2 \cdot 0,001 \cdot 0,1))^{0,333} = 52,5 \text{ м/с}$$

Де $\omega + 31,4$ кутова частота обертання диску, 1/с;

$\eta_{\text{ж}} 0,001$ - в'язкість розпилюючої рідини, Па·с.

Потім визначають частоту обертання розпилюючого диску генератора.

$$\omega = \sqrt{\frac{32v^3 \pi^2 \eta R}{9\rho_{\text{г}} Q_{\text{д}}^2}}$$

$$7. = ((32 \cdot 52,5^3 \cdot 3,14^2 \cdot 0,001 \cdot 0,1) / (9 \cdot 1040 \cdot 0,0216)^2)^{0,5} = 4,3 \text{ с}$$

Навчально-методична література

Підручники, посібники

1. Кобяков О.М., Ляпа М.М., Лисенко В.М., Грабчак В.І., Гриненко В.В.: Аналогова схемотехніка Навчальний посібник. – Суми. Видавництво Сум.ДУ, 2007. – 209 с.
2. Матвійчук В. А., Рубаненко О. Є., Стаднійчук І. П. Електротехнології в АПК: навчальний посібник. Вінниця: ТОВ «ТВОРИ», 2020. - 272 с
3. Овчаров В.В. Теоретичні основи електротехніки К.: Урожай, 1993 р.
4. Червінський Л.С., Сторожук Л.О. Електричне освітлення та опромінення: Посібник. – К.: Вид-во ТОВ «Аграр Медіа Груп», 2013. – 246 с.
5. Шебанін В.С., Бацуровська І.В., Гавриш В.І., Грубань В.А. Електротехнології в АПК : навч. посіб. / за заг. ред. акад. В.С. Шебаніна – Миколаїв : МНАУ, 2022. – 326 с

Методичне забезпечення

6. Братущак М.П. Методичні вказівки по виконанню контрольної роботи з “Електротехніки”. Суми, 1997 рік.
7. Електротехнології в АПК: Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Електротехнології та електроосвітлення» для студентів очної та дистанційної форм навчання ОС «Магістр» зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / В.Ф.Яковлев, Рясна О.В. – Суми: СНАУ, 2020. – 47 с.
8. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни “Електротехнології в агропромисловому комплексі” проф. Яковлев В.Ф., ас. Стриж В.О. Суми.: СНАУ, 2017 р. – 40 с.
9. Електротехнологічні комплекси і процеси в галузі: методичні вказівки до практичних робіт для здобувачів ступеня вищої освіти «Магістр» зі спеціальності 141 – “Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка” / Ю. Стьопін та ін. Мелітополь : ТДАТУ, 2019. 100 с.

Додаткові джерела

10. Матвієнко М.П. Основи електротехніки. Підручник. Кю: Ліра К., 2018, 224с.
11. Орел О. Теплові процеси в переробній галузі: методичні вказівки до практичних робіт для здобувачів ступеня вищої освіти «Бакалавр» зі спеціальності 133 – “Галузеве машинобудування”. Мелітополь : ТДАТУ, 2021. 100 с.
12. Фізико-технологічні та електрофізичні властивості сільськогосподарських продуктів і матеріалів: навч. посіб. / Г. Б. Іноземцев, Л. С. Червінський, О. М. Берека, О. В. Окушко. - К. : Аграр Медіа Груп, 2010 - 180 с.
13. Ратушняк Г. С. Енергозбереження та експлуатація систем теплопостачання: навч. посіб. / Г. С. Ратушняк, Г. С. Попова. — Вінниця : ВДТУ, 2002.-120 с.
14. Малярєнко В. А. Енергетичні установки: навч. посіб. / В. А. Малярєнко. - Х.: САГА, 2008. - 320 с.

Інформаційні ресурси.

15. Дистанційний курс з дисципліни «Основи електротехнологій в АПК» в середовищі Moodle / [Электронный ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://cdn.snau.edu.ua/moodle/course/view.php?id=5276>

Сіренко Віктор Федорович
Вольвач Тетяна Сергіївна
Лисенко Віта Василівна

Основи електротехнологій в сільському господарстві

Методичні вказівки щодо проведення практичних занять

для здобувачів вищої освіти освітньої програми «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» 2 курсу (денної та заочної форми навчання) за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти

Суми, РВВ, Сумський національний аграрний університет,
вул. Г. Кондратьєва, 160

Підписано до друку _____ 2024 р. Формат А5: Гарнітура. Times New Roman.

Тираж 5 примірників Замовлення 2,0 Ум. др. арк.
