

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Кафедра комп'ютерних наук

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ
ПРАКТИЧНИХ РОБІТ
з курсу

ОХОРОНА ПРАЦІ В ГАЛУЗІ

для студентів спеціальності
7.05010101; 8.05010101 – «Інформаційні управляючі системи та технології»

за професійним спрямуванням **6.050101** – «Комп'ютерні науки»
всіх форм навчання

Тернопіль
2015

ЗМІСТ

Практична робота № 1	4
Практична робота № 2	16
Практична робота № 3	25
Практична робота № 4	41
Практична робота № 5	55
Практична робота № 6	70

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 1

Тема: РОЗРАХУНОК ПРИРОДНОГО ОСВІТЛЕННЯ

Мета роботи: Навчитися розраховувати природне освітлення.

Теоретичні відомості: Залежно від джерела світла виробниче освітлення може бути: природним, що створюється прямими сонячними променями та розсіяним світлом небосхилу; штучним, що створюється електричними джерелами світла; суміщеним, при якому недостатнє за нормами природне освітлення доповнюється штучним.

Класифікація виробничого освітлення приведена на рис. 1.1

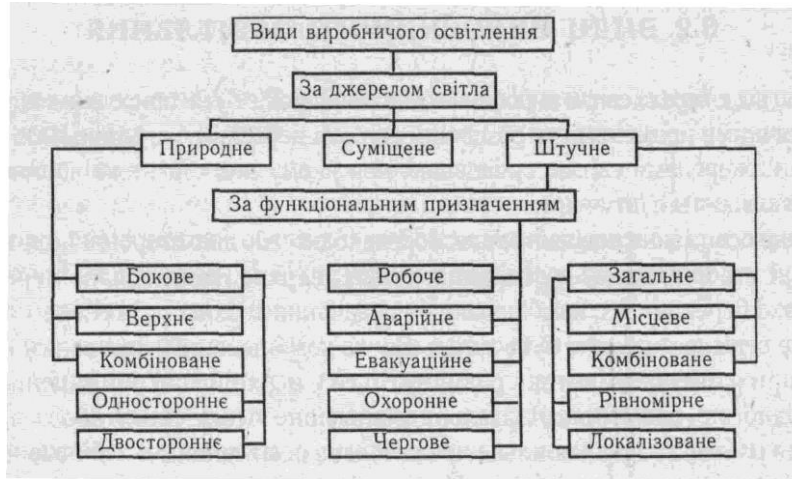


Рис.1.1 Класифікація видів виробничого освітлення.

Оскільки природне освітлення змінюється не лише протягом доби, а навіть протягом короткого проміжку часу, для нормування та розрахунку природного освітлення приміщень, і використовують відносний показник – коефіцієнт природного освітлення (КПО):

$$КПО = \frac{E_{вн}}{E_{зов}} \cdot 100\% , \quad (1.1)$$

де $E_{вн}$ – освітленість у даній точці всередині приміщення, що створюється світлом неба (безпосереднім чи відбитим).

$E_{зов}$ – освітленість горизонтальної поверхні, що створюється в той самий час ззовні світлом повністю відкритого небосхилу.

На рис. 1.2 схематично зображено внутрішню освітленість ($E_{вн}$) умовної точки М всередині приміщення та зовнішню освітленість ($E_{зов}$).

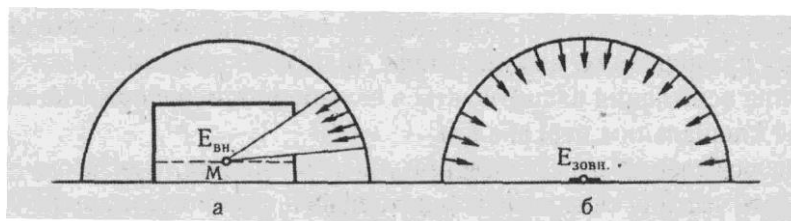


Рис. 1.2 Схематичне зображення внутрішньої $E_{вн}$ (а) та зовнішньої $E_{зов}$ (б) освітленості

Нормовані значення КПО визначаються відповідно до СНиП II-4-79.

Нормоване значення КПО (e_n) для будівель, що розміщені в I, II, III, IV та V поясах світлового клімату, визначаються за формулою:

$$e_n = e_n^{III} m C, \quad (1.2)$$

де e_n^{III} – значення КПО за табл.1.1;

m – коефіцієнт світлового клімату;

C – коефіцієнт сонячності клімату (табл. 1.3).

Територія Кримського півострова належить до V поясу світлового клімату, а решта території України – до IV (рис. 1.3). Коефіцієнт m для IV, V поясів світлового клімату становить відповідно 0,9 та 0,8.

Таблиця 1.1

**Норми штучного (для люмінесцентних ламп)
та природного освітлення виробничих приміщень (витяг з СНиП II-4-79)**

Характеристика зорових робіт	Найменший розмір об'єкта розпізнавання, мм	Розряд зорової роботи	Під розряд зорової роботи	Штучне освітлення		Природне освітлення		Суміщене освітлення			
				Освітленість, лк		КПО, %					
				при комбінованому освітленні	при загальному освітленні	при верхньому чи комбінованому освітленні	при боковому освітленні	при верхньому чи комбінованому освітленні	при боковому освітленні		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Найвищої точності	Менше 0,15	I	а	5000	1500	10	3,5	6	2		
			б	4000	1250						
			в	2500	750						
			г	1500	400						
Для високої точності	0,15 – 0,3	II	а	4000	1250	7	2,5	4,2	1,5		
			б	3000	750						
			в	2000	500						
			г	1000	300						
Високої точності	0,3 – 0,5	III	а	2000	500	5	2	3	1,2		
			б	1000	300						
			в	750	300						
			г	400	200						
Середньої точності	0,5 – 1	IV	а	750	300	4	1,5	2,4	0,9		
			б	500	200						
			в	400	200						
			г	300	150						
Малої точності	1 – 5	V	а	300	200	3	1,0	1,8	0,6		
			б	200	150						
			в	-	150						
			г	-	100						
Груба	Більше 5	VI	-	-	150	2	0,5	1,2	0,3		
Робота з самосвітними матеріалами	Більше 0,5	VII	-	-	200	3	1	1,8	0,6		

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Загальне спостереження за ходом виробничого процесу: 1) постійне спостереження; 2) періодичне при постійному перебуванні людей в приміщенні; 3) періодичне при періодичному перебуванні людей в приміщенні	–	VIII	а б в	– – –	75 50 30	1 0,7 0,5	0,3 0,2 0,1	0,7 0,5 0,3	0,2 0,2 0,1

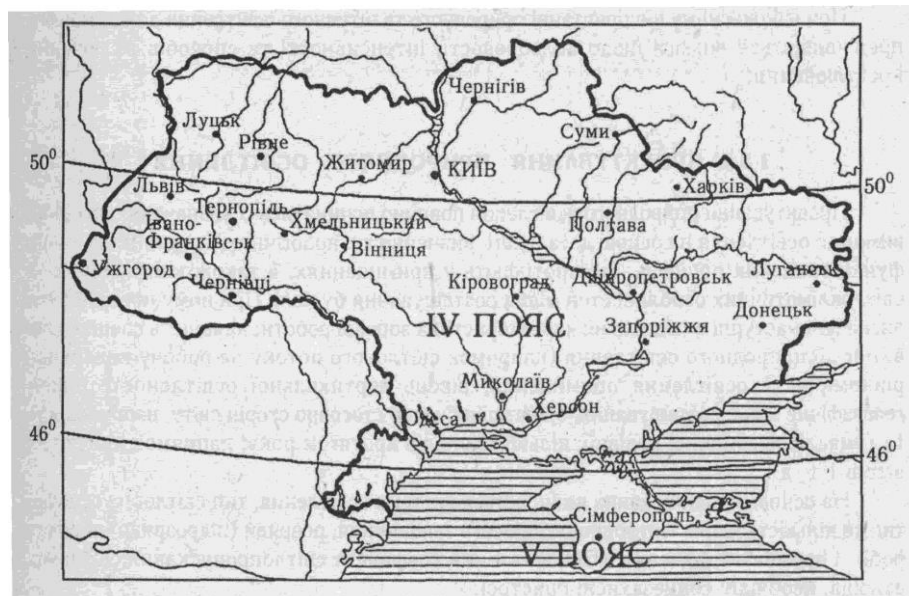


Рис.1.3 Зонування території України за поясами світлового клімату.

Таблиця 1.2
Характеристика під розрядів зорових робіт (розряд I – V) у таблиці 1.1.

Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розпізнавання з фоном	Характеристика фону
а	Малий	Темний
б	Малий Середній	Середній Темний
в	Малий Середній Великий	Світлий Середній Темний
г	Середній Великий Великий	Світлий Світлий Середній

Значення коефіцієнта сонячності клімату для IV та V поясів світлового клімату.

Пояс світлового клімату	Коефіцієнт сонячності клімату, С							
	при світлових отворах, що зорієнтовані за сторонами світу (азимут, град.)							при зенітних ліхтарях
	в зовнішніх стінах будівель			в прямокутних та трапецевидних ліхтарях			у ліхтарях типу «Шед»	
	136-225	226-315 46-135	316-45	69-113 249-293	24-68; 204-248 114-158; 294-338	159-203 339-23	316-45	
IV								
а) північніше 50 ⁰ півн.ш.	0,75	0,8	1	0,85	0,9	0,95	1	0,9
б) 50 ⁰ півн. ш. і південіше	0,7	0,75	0,95	0,8	0,85	0,9	0,95	0,85
V								
а) північніше 40 ⁰ півн.ш.	0,65	0,7	0,9	0,75	0,8	0,85	0,9	0,75
б) 40 ⁰ півн. ш. і південіше	0,6	0,65	0,85	0,7	0,75	0,8	0,85	0,65

Природне освітлення поділяється на: бокове (одно- або двохстороннє), що здійснюється через світлові отвори (вікна) у зовнішніх стінах; верхнє, здійснюване через ліхтарі та отвори в дахах і перекриттях; комбіноване – поєднання верхнього та бокового освітлення.

Розрахунок природного освітлення

Освітленість робочої поверхні всередині приміщення створюється кількома складовими, що можна представити наступним рівнянням:

$$E_{\text{вн}} = E_z + E_s + E_o, \quad (1.3)$$

де E_z – освітленість, яка створюється дифузійним світлом неба, що потрапляє через світловий отвір безпосередньо на робочу поверхню;

E_s – освітленість, яка створюється за рахунок відбиття світла від стін, стелі, підлоги;

E_o – освітленість, яка створюється за рахунок відбиття світла від будівлі, що стоїть навпроти вікна.

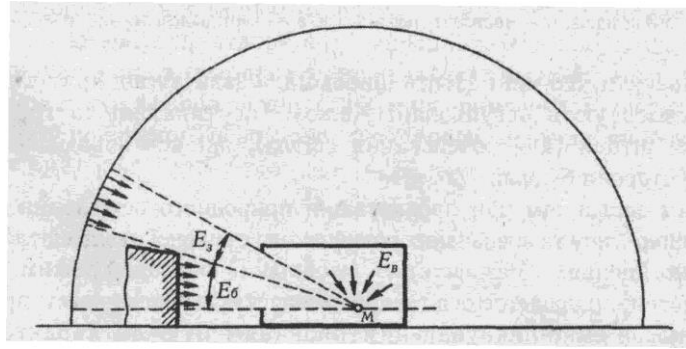


Рис. 1.4 Схема складових освітленості всередині приміщення.

Якщо навпроти вікна немає будівлі, то $E_c = 0$, в той час же час дерева, будівлі, що розташовані навпроти вікна з південної сторони, можуть його затіняти, зменшуючи тим самим загальну освітленість поверхні.

При розрахунку природного освітлення необхідно враховувати всі три складові освітленості.

Попередній розрахунок природного освітлення полягає у визначенні площі світлових прорізів за формулами:

- при односторонньому освітленні приміщення

$$100 \frac{S_c}{S_n} = \frac{e_n K_3 \eta_c K_{бод}}{\tau_3 r_1}; \quad (1.4)$$

- при верхньому освітленні

$$100 \frac{S_l}{S_n} = \frac{e_n K_3 \eta_l}{\tau_3 r_2 K_l}. \quad (1.5)$$

де S_c – площа вікон;

S_n – площа підлоги;

e_n – нормоване значення КПО;

K_3 – коефіцієнт запасу (для виробничих приміщень $K_3 = 1,3-1,5$);

η_c – світлова характеристика вікон (визначається за табл. 1.4);

$K_{бод}$ – коефіцієнт, що враховує затінення вікон будівлями, які розташовані навпроти (визначається за табл. 1.5);

τ_3 – загальний коефіцієнт світлопропускання;

r_1 – коефіцієнт, що враховує підвищення КПО при боковому освітленні завдяки світлу, яке відбивається від поверхонь приміщення;

S_l – площа ліхтарів;

η_l – світлова характеристика ліхтарів (визначається за табл. СНиП II-4-79);

r_2 – коефіцієнт, що враховує підвищення КПО при верхньому освітленні завдяки світлу, яке відбивається від поверхонь приміщення (визначається за табл. СНиП II-4-79);

K_l – коефіцієнт, що враховує тип ліхтаря (визначається за табл. СНиП II-4-79).

**Значення світлової характеристики вікон (η_a)
при боковому освітленні (рис. 1.5а)**

Відношення довжини приміщення (L) до його глибини (B)	Відношення глибини приміщення (B) до висоти від рівня робочої поверхні до верхнього краю вікна (h)							
	1	1,5	2	3	4	5	7,5	10
4 і більше	6,5	7	7,5	8	9	10	11	12,5
3	7,5	8	8,5	9,6	10	11	12,5	14
2	8,5	9	9,5	10,5	11,5	13	15	17
1,5	9,5	10,5	13	15	17	19	21	23
1	11	15	16	18	21	23	26,5	29
0,5	18	23	31	37	45	54	66	–

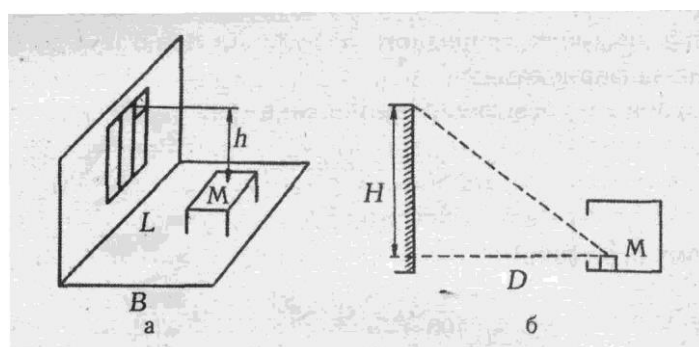


Рис.1.5 Природне бокове освітлення приміщення:
а – світлова характеристика вікна; б – затінення вікна будівлею.

**Значення $K_{\text{бод}}$ залежно від відношення відстані між протилежними будівлями D
до висоти карнізу протилежного будинку над підвіконником H (рис. 1.5б)**

D/H	0,5	1	1,5	2	3 і більше
$K_{\text{бод}}$	1,7	1,4	1,2	1,1	1,0

Загальний коефіцієнт світлопропускання визначається за формулою:

$$\tau_3 = \tau_1 \tau_2 \tau_3 \tau_4 \tau_5,$$

де τ_1 – коефіцієнт світлопропускання матеріалу (визначається за табл. 1.6);

τ_2 – коефіцієнт, що враховує втрати світла у віконній рамі (визначається за табл. 1.6);

τ_3 – коефіцієнт, що враховує втрати світла у несучих конструкціях (при боковому освітленні $\tau = 1$; при верхньому – $\tau_3 = 0,8 - 0,9$);

τ_4 – коефіцієнт, що враховує втрати світла у сонцезахисних пристроях (визначається за табл. 1.6);

τ_5 – коефіцієнт, що враховує втрати світла у захисній сітці, яка встановлюється під ліхтарями (приймається рівним 0,9).

Значення коефіцієнта τ_1 визначається за табл. 1.7 залежно від параметрів приміщення та середнього коефіцієнта відбиття ρ_{CP} стелі, стін, підлоги, який визначається за формулою:

$$\rho_{CP} = \frac{\rho_{стелі} S_{стелі} + \rho_{стін} S_{стін} + \rho_{підлоги} S_{підлоги}}{S_{стелі} + S_{стін} + S_{підлоги}}, \quad (1.6)$$

де $\rho_{стелі}$, $\rho_{стін}$, $\rho_{підлоги}$ – відповідні коефіцієнти відбиття;

$S_{стелі}$, $S_{стін}$, $S_{підлоги}$ – відповідні площі поверхонь.

Визначені за допомогою розрахунку розміри світлових прорізів допускається змінювати на (+5), (-10)%.

Таблиця 1.6

Значення коефіцієнтів τ_1, τ_2, τ_4

Вид світлопропускаючого матеріалу	Значення τ_1	Вид віконної рами	Значення τ_2	Сонцезахисні пристрої	Значення τ_4
Скло віконне листове:		Віконні рами для		Регульовані жалюзі	
одинарне	0,9	промислових		та штори (внутрішні,	
Подвійне	0,8	будівель:		зовнішні)	1
потрійне	0,75	а) дерев'яні:		Стаціонарні жалюзі	
Скло листове:		одинарні	0,75	та екран з захисним кутом не більше 45°:	
армоване	0,6	спарені	0,7		
з візерунком	0,65	подвійні окремі	0,6		
сонцезахисне	0,65	б) металеві:		- горизонтальні	0,65
контрасне	0,75	одинарні		- вертикальні	0,75
Органічне скло:		(відкриваються)	0,75	Горизонтальні	
прозоре	0,9	одинарні (глухі)	0,9	козирки:	
молочне	0,6	подвійні		- з захисним кутом	
Пустотілі скляні блоки:		(відкриваються)	0,6	не більше 30°	0,8
світлорозсіюючі	0,5	подвійні (глухі)	0,8	- з захисним кутом	
прозорі	0,55			від 15 до 45°	
Склопакети	0,8			(багатоступеневі)	0,6 – 0,9

Таблиця 1.7

Значення коефіцієнта r_l

В/h	Значення r_l при боковому освітленні					Значення r_l при боковому двосторонньому освітленні						
	Середній коефіцієнт відбиття P_{cp} стелі, стін і підлоги					Середній коефіцієнт відбиття P_{cp} стелі, стін і підлоги						
	0,5	0,4	0,3	0,5	0,3	0,5	0,4	0,3	0,5	0,3		
	Відношення довжини приміщення L до його глибини B											
	0,5	1	2 і більше	0,5	1	2 і більше	0,5	1	2 і більше	0,5	1	2 і більше
Від 1 до 1,5	1,05	1,05	1,05	1,05	1	1	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1
	1,4	1,3	1,2	1,2	1,1	1,1	1,35	1,25	1,15	1,15	1,1	1,1
	2,1	1,9	1,5	1,8	1,6	1,3	1,6	1,4	1,25	1,45	1,3	1,15
Більше 1,5 до 2,5	1,05	1,05	1,05	1,05	1	1	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1
	1,3	1,2	1,1	1,2	1,15	1,1	1,3	1,2	1,1	1,2	1,15	1,1
	1,85	1,6	1,3	1,5	1,35	1,2	1,8	1,45	1,25	1,4	1,25	1,15
	2,25	2	1,7	1,7	1,6	1,3	2,1	1,75	1,5	1,75	1,45	1,2
1,0	3,8	3,3	2,4	2,8	2,4	1,8	2,35	2	1,6	1,9	1,6	1,5
0,1	1,1	1,05	1,05	1,05	1	1	1,1	1,05	1,05	1,05	1	1
0,3	1,2	1,15	1,1	1,15	1,1	1,05	1,2	1,15	1,1	1,15	1,1	1,1
0,5	1,6	1,45	1,3	1,35	1,25	1,1	1,5	1,4	1,25	1,3	1,2	1,1
0,7	2,6	2,2	1,7	1,9	1,7	1,4	2,25	1,9	1,45	1,7	1,5	1,25
0,9	5,3	4,2	3	2,9	2,45	1,9	3,65	2,9	2,6	2,2	1,9	1,5
1,0	7,2	5,4	4,3	3,6	3,1	2,4	4,45	3,35	2,65	2,4	2,1	1,6
0,1	1,2	1,15	1,1	1,1	1,1	1,05	1,2	1,15	1,1	1,1	1,1	1,05
0,2	1,4	1,3	1,2	1,2	1,15	1,1	1,4	1,3	1,2	1,2	1,15	1,1
0,3	1,75	1,5	1,3	1,4	1,3	1,2	1,75	1,5	1,3	1,4	1,3	1,2
0,4	2,4	2,1	1,8	1,6	1,4	1,3	2,35	2	1,75	1,6	1,4	1,3
0,5	3,4	2,9	2,5	2	1,8	1,5	3,25	2,8	2,4	1,9	1,7	1,45
0,6	4,6	3,8	3,1	2,4	2,1	1,8	4,2	3,5	2,85	2,25	2	1,7
0,7	6	4,7	3,7	2,9	2,6	2,1	5,1	4	3,2	2,55	2,3	1,85
0,8	7,4	5,8	4,7	3,4	2,9	2,4	5,8	4,5	3,6	2,8	2,4	1,95
0,9	9	7,1	5,6	4,3	3,6	3	6,2	4,9	3,9	3,4	2,8	2,3
1,0	10	7,3	5,7	5	4,1	3,5	6,3	5	4	3,5	2,9	2,4

Примітка: В – глибина приміщення; h – висота від рівня умовної робочої поверхні до верхнього краю вікна; 1 – відстань розрахункової точки до зовнішньої стіни.

**Орієнтовні значення коефіцієнтів відбиття ρ
поверхонь інтер'єру приміщення**

Поверхні інтер'єру приміщення	Коеф. відбиття (ρ), %	Поверхні інтер'єру приміщення	Коеф. відбиття (ρ), %
Стеля	80 – 60	Нижня частина	
Залізобетонні ферми та балки перекриття	70 – 45	стіни (панель) та перегородки	60 – 40
Металоконструкції	55 – 40	Підлога	40 – 10
Верхня частина стіни	70 – 50	Технічне устаткування	55 – 25

Таблиця 1.9

Орієнтовні значення коефіцієнтів відбиття стелі ($\rho_{стелі}$) та стін ($\rho_{стін}$)

Стан стелі	$\rho_{(стелі)}$, %	Стан стін	$\rho_{(стін)}$, %
Свіжопобілена	80 – 65	Свіжопобілені з вікнами,	
Побілена в сирих приміщеннях	65 – 40	закритими білими шторами	75 – 65
Бетонна чиста	55 – 45	Свіжопобілені з вікнами,	
Бетонна брудна	35 – 25	без штор	55 – 45
Світла дерев'яна (полакована)	60 – 45	Бетонні з вікнами	35 – 25
Темна дерев'яна (нефарбована)	30 – 25	Обклеєні світлими шпалерами	40 – 25
Брудні (кузні, склади вугілля)	20 – 10	Обклеєні темними шпалерами	15 – 5
		Цегляні нештукатурені	15 – 10

Таблиця 1.10

Коефіцієнти відбиття ρ поверхонь з різним кольоровим пофарбуванням

Колір пофарбованої поверхні	Коеф. відбиття ρ , %	Колір пофарбованої поверхні	Коеф. відбиття ρ , %
1	2	3	4
Біла палітура	85	Світло-сіра	53
Біла напівматова	82	Сіра алюмінієва	42

1	2	3	4
Біла слонова кістка	79	Зелена (колір шавлії)	41
Кремowo-біла	72	Бежева	38
Світло-рожева	69	Коричнева	23
Світло-жовта	60	Оливково-зелена	20
Світло-червона	56	Темно-коричнева	15
Блакитна	53	Темно-зелена	10
		Темно-синя	4

Приклад 1.1. Розрахувати бокове одностороннє природнє освітлення для виробничої дільниці (крила будівлі) з розмірами $L \times B = 108 \times 9$ м і висотою $H = 3,2$ м; висота робочої поверхні $h_p = 0,7$ м. Будівля знаходиться в місті Києві (IV світловий пояс) і навпроти вікон дільниці, що зорієнтовані на захід, немає затіняючих об'єктів.

У виробничій діяльності виконуються роботи середньої точності.

Необхідна площа вікон визначається за формулою:

$$S_B = \frac{e_H K_3 \eta_B S_{II}}{\tau_3 r_1 100}.$$

Визначимо спочатку необхідні для розрахунку значення.

Нормоване значення КПО знайдемо, скориставшись табл. 1.2 та 1.3:

$$e_H = e_H^{III} mC = 1,5 \cdot 0,9 \cdot 0,8 = 1,1\%.$$

Приймаємо коефіцієнт запасу $K_3 = 1,3$. Значення світлової характеристики вікон η_B визначається відношенням $L/B = 108/9 = 12$ та $B/h = 9/2,1 = 4,3$. За табл. 1.4 знаходимо $\eta_B = 9$. Площа підлоги виробничої дільниці становить $S_{II} = 972 \text{ м}^2$. Оскільки вікна не мають світлозахисних пристроїв і виготовлені з подвійних дерев'яних рам, в яких встановлено віконне листове скло, то за знайденими в табл. 1.6 значеннями визначаємо загальний коефіцієнт світлопропускання вікон:

$$\tau_3 = \tau_1 \tau_2 \tau_3 \tau_4 \tau_5 = 0,8 \cdot 0,6 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,48.$$

Визначаємо середній коефіцієнт відбиття приміщення:

$$\rho_{CP} = \frac{\rho_{стелі} S_{стелі} + \rho_{стін} S_{стін} + \rho_{підлоги} S_{підлоги}}{S_{стелі} + S_{стін} + S_{підлоги}} = \frac{0,7 \cdot 972 + 0,5 \cdot 403 + 0,1 \cdot 972}{972 + 403 + 972} = 0,42.$$

Порахувавши значення параметрів, що характеризують приміщення $B/h = 9/2,1 = 4,3$; $l/B = 6/9 = 0,66$; $L/B = 108/9 = 12$, за табл. 1.7 визначаємо коефіцієнт $r_1 = 2,1$.

Підставивши попередньо знайдені значення визначаємо необхідну площу вікон виробничої дільниці:

$$S_B = \frac{1,1 \cdot 1,3 \cdot 9 \cdot 972}{0,48 \cdot 2,1 \cdot 100} = 124 \text{ м}^2.$$

Вибираємо стандартні вікна з розміром 1,5 x 1,7 м, тоді площа одного вікна становитиме $S_B^1 = 2,55 \text{ м}^2$.

$$n = \frac{S_B}{S_B^1} = \frac{124}{2,55} = 48,6$$

Приймаємо 49 вікон.

ЗАВДАННЯ НА ПРАКТИЧНУ РОБОТУ

Розрахувати бокове одностороннє природне освітлення для виробничої дільниці (крила будівлі) з розмірами LxB , м згідно варіанту і висотою $H = 3,2$ м; висота робочої поверхні $h_p = 0,7$ м. Будівля знаходиться в місті Тернополі (IV світловий пояс) і навпроти вікон дільниці, що зорієнтовані на захід, немає затіняючих об'єктів.

У виробничій діяльності виконуються роботи середньої точності.

Варіант згідно списку в журналі.

№ п/п	Розміри LxB, м	№ п/п	Розміри LxB, м
1	118x9	11	94x18
2	100x8	12	100x12
3	104x10	13	100x11
4	102x12	14	108x10
5	106x10	15	108x11
6	98x12	16	108x12
7	96x12	17	108x13
8	94x14	18	108x14
9	94x16	19	100x10
10	92x16	20	100x12

ЗМІСТ ЗВІТУ

1. Мета роботи.
2. Короткі відомості з теорії.
3. Проведений розрахунок.
4. Висновок.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Назвіть основні види освітленості.
2. Класифікація видів виробничого освітлення.
3. Види природного освітлення.

4. У чому полягає розрахунок природного освітлення.
5. Формула при односторонньому освітленні.
6. Формула при верхньому освітленні.

ЛІТЕРАТУРА

1. Жидецький В.Ц., Джигирей В.С., Сторожук В.М. та ін. Практикум із охорони праці. Навчальний посібник . – 2000 – 352 с.
2. ГОСТ 17677-82 ССБТ. Светильники. Общие технические условия.
3. Мешков В.В., Епалешников М.М. Осветительные установки. Учебное пособие для вузов. – М.: 1972 – 360 с.
4. СНиП II-4-79. Естественное и искусственное освещение. – М., 1980 – 48 с.
5. Жидецький В.Ц., Джигирей В.С., Мельников А.В. Основи охорони праці. Навчальний посібник. – Вид.4-те, доп. – Львів, 2000. – 351 с. М. Сторожук, Л.В. Туряб, Х.І. Лико «Практикум із охорони праці».

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 2

Тема: РОЗРАХУНОК ШТУЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ

Мета роботи: Навчитися розраховувати штучне освітлення на робочому місці.

Теоретичні відомості: Завдання світлотехнічного розрахунку системи штучного освітлення полягає у визначенні потужності джерел світла за заданою освітленістю, або у визначенні за заданими розміщенням світильників і відомій потужності джерел світла освітленості на розрахунковій площині і розподілення яскравості в полі зору.

Вирішення як першого, так і другого завдань, які часто в світлотехніці називаються прямим та перевірочним розрахунками, вимагає в загальному випадку як розрахунку розподілення світлових потоків, що безпосередньо падають від світильників на розрахункову площину, стелю, стіни, так і розрахунку потоків світла, що багаторазово відбиваються між поверхнями, які обмежують освітлюване приміщення.

Сумарна освітленість у заданій точці розрахункової площини (E_p) може, в загальному вигляді, розглядатись, як сума двох доданків:

$$E_p = (E_p)_{\text{пр}} + (E_p)_{\text{в}}, \quad (2.1)$$

де $(E_p)_{\text{пр}}$ – пряма складова освітленості;

$(E_p)_{\text{в}}$ – відбита складова освітленості.

Розподілення відбитої складової освітленості на розрахунковій площині, як правило, вважається рівномірним, розподілення ж прямої складової освітленості може бути суттєво нерівномірним, оскільки залежить як від світлорозподілу так і від розміщення світильників у просторі, що освітлюється.

Якщо обидві складові освітленості (пряма та відбита) розподіляються майже рівномірно, то для розрахунку середньої освітленості прийнято користуватись коефіцієнтом використання світлового потоку, під яким розуміють відношення світлового потоку, що падає на розрахункову площину (F_p) до сумарного світлового потоку джерел світла:

$$\eta = \frac{F_p}{n \cdot F_d} \quad (2.2)$$

де F_d – світловий потік джерела світла (лампи), лм;

n – кількість джерел світла.

Коефіцієнт використання освітлювальної установки, як впливає із (2.2), визначає ефективність використання світлового потоку джерела світла. Його величина залежить від багатьох факторів, основними з яких є світлорозподіл та розміщення світильників в приміщенні, ККД світильників, співвідношення розмірів приміщення і відбиваючих властивостей поверхонь, що обмежують приміщення.

В тих випадках, коли умови рівномірності розподілення прямої складової освітленості не дотримуються, або коли необхідно проаналізувати фактичне

розподілення освітленості на розрахунковій площині, виникає необхідність у окремих розрахунках прямої та відбитої складових освітленості.

Для розрахунку прямої складової освітленості використовують різноманітні методи, які визначаються. В основному, типом світильників і їх розміщення у просторі, що освітлюється.

Вибір методу розрахунку. Для розрахунку штучного освітлення використовують, в основному, три методи: світлового потоку (коефіцієнта використання), точковий та питомої потужності.

Метод світлового потоку, як правило, використовують для розрахунку потужності освітлювальної установки при рівномірному розміщенні світильників загального освітлення над горизонтальною площиною, коли відсутні крупногабаритні затіняючі предмети. При розрахунку за цим методом враховується як пряме так і відбите світло.

Метод питомої потужності використовується в тих же випадках, що і метод світлового потоку. Цей метод вважається наближеним, оскільки простота розрахунку досягається за рахунок деякої втрати точності.

Загальне локалізоване освітлення, а також загальне рівномірне при наявності суттєвих затінь повинні розраховуватись за точковим методом. Цей же метод використовується при розрахунку освітленості похилих площин та відкритих просторів, а також місцевого освітлення. Відбита складова освітленості у точковому методі враховується наближено.

Метод світлового потоку. Основне розрахункове рівняння методу світлового потоку, за яким можна визначити світловий потік лампи світильника, має такий вигляд:

$$\Phi_{л} = \frac{ESK_{з}Z}{Nn\eta} \quad (2.3)$$

де E – нормована освітленість, лк;

S – площа приміщення, що освітлюється, м²;

$K_{з}$ – коефіцієнт запасу, що враховує зниження освітленості в результаті забруднення та старіння ламп (табл. 2.1);

Z – коефіцієнт нерівномірності освітлення ($Z=1,15$ для ламп розжарювання та ДРЛ; $Z=1,1$ для люмінесцентних ламп, якщо відношення L/h не перевищує встановлених значень);

N – кількість світильників;

n – кількість ламп у світильнику;

η – коефіцієнт використання світлового потоку.

Нормована освітленість E приймається відповідно до СНиП II-4-79 (табл. 1.1), або розроблених на їх основі галузевих норм.

**Норми штучного (для люмінесцентних ламп)
та природного освітлення виробничих приміщень (витяг з СНиП II-4-79)**

Характеристика зорових робіт	Найменший розмір об'єкта розпізнавання, мм	Розряд зорової роботи	Під розряд зорової роботи	Штучне освітлення		Природне освітлення		Суміщене освітлення	
				Освітленість, лк		КПО, %			
				при комбінованому освітленні	при загальному освітленні	при верхньому чи комбінованому освітленні	при боковому освітленні	при верхньому чи комбінованому освітленні	при боковому освітленні
Найвищої точності	Менше 0,15	I	а б в г	5000 4000 2500 1500	1500 1250 750 400	10	3,5	6	2
Для високої точності	0,15 – 0,3	II	а б в г	4000 3000 2000 1000	1250 750 500 300	7	2,5	4,2	1,5
Високої точності	0,3 – 0,5	III	а б в г	2000 1000 750 400	500 300 300 200	5	2	3	1,2
Середньої точності	0,5 – 1	IV	а б в г	750 500 400 300	300 200 200 150	4	1,5	2,4	0,9
Малої точності	1 – 5	V	а б в г	300 200 – –	200 150 150 100	3	1,0	1,8	0,6
Груба	Більше 5	VI	–	–	150	2	0,5	1,2	0,3
Робота з самосвітними матеріалами	Більше 0,5	VII	–	–	200	3	1	1,8	0,6
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Загальне спостереження за ходом виробничого процесу: - постійне спостереження; - періодичне при постійному перебуванні людей в приміщенні; - періодичне при періодичному перебуванні людей в приміщенні	–	VIII	а	–	75	1	0,3	0,7	0,2
			б	–	50	0,7	0,2	0,5	0,2
			в	-	30	0,5	0,1	0,3	0,1

Коефіцієнт η визначається за світлотехнічними таблицями залежно від показника приміщення i , коефіцієнтів відбиття стін та стелі. Показник приміщення i вираховується за формулою:

$$i = \frac{ab}{h(a+b)}, \quad (2.4)$$

де a і b – довжина і ширина приміщення, м;
 h – висота світильника над робочою поверхнею, м.

При величині показника приміщення $i > 5$ коефіцієнт використання приймається як при $i = 5$.

Значення коефіцієнтів використання для найбільш розповсюджених типів світильників наведені в табл. 2.2 і 2.3.

Таблиця 2.1

**Значення коефіцієнта запасу K_z ,
 залежно від характеристики приміщення**

Характеристика приміщення	Приклади приміщень	Значення K_z при освітленні лампи	
		газорозрядними	розжарювання
1	2	3	4
1. Робочі приміщення з повітряним середовищем, що містить в робочій зоні: а) більше 5 мг/м ³ пилу, диму, кіптяви	Агломераційні фабрики, цементні заводи, обрубні відділення ливарних цехів.	2	1,7
б) від 1 до 5 мг/м ³ пилу, диму, кіптяви	Цехи ковальські, ливарні, мартенівські, зварювальні, збірного залізобетону.	1,8	1,5
в) менше 1 мг/м ³ пилу, диму, кіптяви	Цехи інструментальні, складальні, механічні, швейні, ткацькі, деревообробні.	1,5	1,3
г) значні концентрації парів кислот, лугів, газів, які здатні при зіткненні з вологою утворювати слабкі розчини кислот лугів, а також мають властивість викликати значну корозію.	Цехи хімічних заводів з виготовлення кислот, лугів, їдких хімічних реактивів, отрутохімікатів, міндобрив; цехи гальванічних покриттів і гальванопластики різних галузей промисловості з застосуванням електролізу.	1,8	1,5
2. Виробничі приміщення з особливим режимом за чистотою повітря при обслуговуванні світильників: а) з технічного поверху	–	1,3	1,15
б) знизу приміщення	–	1,4	1,2
3. Приміщення громадських і житлових будівель	Кабінети і робочі приміщення громадських будівель, житлові кімнати, навчальні приміщення, читальні зали, зали нарад, торговельні зали тощо	1,5	1,3

Визначивши світловий потік лампи Φ_n , за таблицею вибирають найближчу стандартну лампу (табл. 2.4, 2.5), причому її світловий потік не повинен відрізнятись від розрахункового більше ніж на (-10) – (+20)%. При неможливості вибрати лампу з таким наближенням коректується кількість ламп у світильнику (n), або ж кількість світильників (N). Якщо вже є відомим вид світильника та кількість і тип ламп в ньому, тобто відомий світловий потік світильника, то розрахунок зводиться до визначення N . Інколи формула (3) може бути використана і для перевірного розрахунку, коли визначається очікувана освітленість поверхні всіх інших значеннях.

Коди як джерела світла використовуються люмінесцентні лампи, то їх доцільно розташовувати рядами. Оскільки довжина цих ламп значна необхідно співставити сумарну довжину ряду світильників з люмінесцентними лампами з довжиною приміщення. При цьому можливі такі випадки:

- сумарна довжина світильників, що розташовані в ряд перевищує довжину приміщення: необхідно застосовувати більш потужні лампи, у яких світловий потік на одиницю довжини більший, або збільшувати кількість рядів, чи компонувати ряди із подвоєних, потроєних і т.д. світильників;
- сумарна довжина ряду світильників рівна довжині приміщення: необхідно вставити неперервний ряд світильників;
- сумарна довжина ряду світильників менша довжини приміщення: необхідно світильники розмістити в ряд через рівномірні проміжки, які, як правило, не повинні перевищувати 0,5 розрахункової висоти.

Таблиця 2.2

Коефіцієнти використання світлового потоку світильників з лампами розжарювання

Тип світильника	У; УПМ-15 «Астра-1,12»	Г _c , Г _c У	ПО-21	НСП02; НСП03	ВЗГ-100М
$P_{стелі}$ %	70 50 30	70 50 30	70 50 30	70 50 30	70 50 30
$P_{спл}$ %	50 30 10	50 30 10	50 30 10	50 30 10	50 30 10
i	Коефіцієнт використання, %				
0,5	22 20 17	55 50 48	23 20 17	10 7 5	13 8 6
0,6	32 26 23	59 54 51	28 25 20	15 10 7	17 12 9
0,7	39 34 30	62 59 54	31 29 25	19 14 10	20 16 13
0,8	44 38 34	66 62 58	38 34 30	21 16 12	23 19 16
0,9	47 41 37	68 64 61	39 36 33	24 18 15	24 20 17
1,0	49 43 39	70 66 63	42 38 34	26 20 17	25 21 18
1,1	50 45 41	72 67 65	43 39 35	27 21 18	26 22 19
1,25	52 47 43	74 70 67	46 41 37	28 23 19	28 23 20
1,5	55 50 46	77 73 71	49 44 39	31 25 21	29 24 22
1,75	58 53 48	79 76 74	52 46 41	33 27 22	30 26 24
2,0	60 55 51	82 80 76	54 48 44	35 29 23	31 28 25
2,25	62 57 53	83 81 77	56 50 45	37 30 25	32 29 26
2,5	64 59 55	85 82 79	58 51 47	39 32 27	33 30 28
3,0	66 62 58	86 83 80	60 53 50	43 35 29	35 33 31
3,5	68 64 61	88 85 82	62 56 52	45 37 31	37 34 33
4,0	70 66 62	88 86 83	63 57 53	47 39 32	38 36 34
5,0	73 69 64	89 86 84	65 58 56	50 42 35	39 37 35
$\Phi_{н.п.}$, %	75	80	52	42	48
$\Phi_{в.п.}$, %	0	0	28	28	0

**Коефіцієнти використання світлового потоку світильників
з люмінесцентними лампами**

Тип світильника	ПВЛМ-Р	ЛОУ	ШОД	ЛПО01	ЛСП01
1	2	3	4	5	6
$P_{стел}$ %	70 50 30	70 50 30	70 50 50	70 50 50	70 50 50
$P_{спл}$ %	50 30 10	50 30 10	50 50 30	50 50 30	50 50 30
i	Коефіцієнти використання, %				
0,5	25 18 13	26 21 16	22 16 14	25 23 20	25 23 22
0,6	29 22 17	30 24 20	28 21 18	31 29 24	31 29 26
0,7	34 26 20	34 28 24	32 24 21	36 34 28	35 33 30
0,8	36 28 23	37 31 27	35 27 24	39 37 32	38 36 32
0,9	40 31 25	40 34 30	37 30 27	42 41 35	41 38 35
1,0	43 34 28	43 37 32	40 32 29	46 44 38	43 40 37
1,1	45 36 30	45 39 34	43 34 31	48 46 41	45 42 39
1,25	47 38 32	48 42 37	46 37 34	51 49 44	47 44 41
1,5	51 42 35	50 46 41	50 40 37	55 53 49	50 46 44
1,75	54 45 38	54 49 44	53 43 40	58 57 52	52 49 47
2,0	56 47 40	56 50 46	55 45 42	61 59 55	54 50 48
2,25	58 49 42	58 52 48	57 47 44	63 62 57	56 52 50
2,5	60 51 44	60 54 50	59 48 45	65 64 59	57 53 51
3,0	63 53 46	62 56 52	61 50 48	68 66 62	59 54 52
3,5	64 54 48	63 57 53	63 52 50	70 68 64	60 56 54
4,0	66 56 49	64 58 55	65 54 52	71 69 66	61 56 55
5,0	68 59 52	66 61 58	67 56 53	75 72 70	63 58 57
$\Phi_{н.п.}$, %	54	62	40	74	53
$\Phi_{в.п.}$, %	28	10	45	0	16

Примітка. $\Phi_{н.п.}$ – світловий потік світильника у нижню півсферу; $\Phi_{в.п.}$ – світловий потік світильника у верхню півсферу.

Технічні дані деяких ламп розжарювання та люмінесцентних ламп

Лампи розжарювання							Люмінесцентні лампи загального призначення			
Загального призначення (U=220 Вт)			Місцевого освітлення							
Потужність, Вт	Тип лампи	Світловий потік, лм	Потужність, Вт	Тип лампи	Напруга, В	Світловий потік, лм	Потужність, Вт	Тип лампи	Світловий потік, лм	Довжина лампи, м
25	В	220	15	МО	12	200	20	ЛДЦ	850	0,6
40	Б	400	25	МО	12	380	20	ЛД	1000	0,6
40	БК	460	40	МО	12	620	20	ЛБ	1200	0,6
60	Б	715	60	МО	12	850	30	ЛДЦ	1500	0,9
60	БК	790	25	МО	36	300	30	ЛД	1800	0,9
100	Б	1350	40	МО	36	600	30	ЛБ	2180	0,9
100	БК	1450	60	МО	36	800	40	ЛДЦ	2200	1,2
150	Г	2000	100	МО	36	1550	40	ЛД	2500	1,2
150	Б	2100	40	МОЗ	12	400	40	ЛБ	3200	1,2
200	Г	2800	60	МОЗ	12	660	80	ЛДЦ	3800	1,5
200	Б	2920	60	МОЗ	36	650	80	ЛД	4300	1,5
300	Г	4600	100	МОЗ	36	1200	80	ЛБ	5400	1,5

**Технічні дані ртутних дугових ламп (ДРН)
та металогалогених ламп (ДРН)**

Тип лампи	Потужність, Вт	Напруга Живлення, В	Світловий потік, лм	Тип ламп	Потужність, Вт	Напруга живлення, В	Світловий потік, лм
ДРЛ 80	80	115	3200	ДРН 250	250	220	18700
ДРЛ 125	125	125	5600	ДРН 400	400	220	32000
ДРЛ 250	250	130	11000	ДРН 700	700	220	59500
ДРЛ 400	400	135	19000	ДРН 1000	1000	220	90000
ДРЛ 700	700	140	35000	ДРН 2000	2000	380	190000
ДРЛ 1000	1000	145	50000				

Приклад 2.1. Розрахувати систему загального рівномірного освітлення з люмінесцентними лампами для лабораторії 702.

Розміри приміщення: довжина $a = 12$ м, ширина $b = 5$ м, висота $H = 3,2$ м. Приміщення має світлову побілку: коефіцієнт відбиття $p_{стелі} = 70\%$, $p_{стін} = 50\%$. Висота робочих поверхонь (столів) $h_p = 0,7$ м. Мінімальне освітлення приміщення становить $E = 300$ лм. Як світлові пристрої приймаємо світильники типу ЛПО01 (з двома лампами). Оскільки світильники кріпляться до стелі, то їх висота над підлогою майже рівна висоті приміщення $h_o = 3,2$ м.

Визначаємо висоту світильника над робочою поверхнею:
 $h = h_o - h_p = 3,2 - 0,7 = 2,5$ м.

Показник приміщення i становить:

$$i = \frac{ab}{h(a+b)} = \frac{12 \cdot 5}{2,5(12+5)} = 1,4$$

При $i = 1,5$ ($i = 1,4$ немає), $p_{стелі} = 70\%$ $p_{стін} = 50\%$ для світильника ЛПО01 коефіцієнт використання дорівнює $\eta = 0,55$ (табл. 2.3).

Визначимо необхідну кількість світильників, для забезпечення необхідної нормованої освітленості робочих поверхонь, якщо відомо, що в кожному світильнику встановлено по дві лампи ЛБ-40, а світловий потік однієї такої лампи становить $\Phi_{л} = 3200$ лм:

$$N = \frac{ESK_3 Z}{2\Phi_{л}\eta} = \frac{300 \cdot 60 \cdot 1,7 \cdot 1,1}{2 \cdot 3200 \cdot 0,55} = 9,6.$$

Приймаємо 10 світильників, які для забезпечення рівномірності освітлення розташовуємо в два ряди по 5 штук в кожному. Оскільки довжина світильника мало що більша за довжину люмінесцентної лампи, встановленої в ньому, загальна довжина усіх світильників у ряді становитиме $\sum L_{св} = 1,2 \cdot 5 = 6$ м.

Визначимо сумарну електричну потужність усіх світильників, встановлених в приміщенні:

$$\sum P_{св} = P_{л} \cdot N \cdot n = 40 \cdot 10 \cdot 2 = 800 \text{ Вт.}$$

ЗАВДАННЯ НА ПРАКТИЧНУ РОБОТУ

Розрахувати систему загального рівномірного освітлення з люмінесцентними лампами для лабораторії 702.

Розміри приміщення: довжина і ширина з таблиці, висота $H = 3,2$ м. Приміщення має світлову побілку: коефіцієнт відбиття $p_{стелі} = 70\%$, $p_{стін} = 50\%$. Висота робочих поверхонь (столів) $h_p = 0,7$ м. Мінімальне освітлення приміщення становить $E = 300$ лм. Як світлові пристрої приймаємо світильники типу ЛПО01 (з двома лампами). Оскільки світильники кріпляться до стелі, то їх висота над підлогою майже рівна висоті приміщення $h_o = 3,2$ м.

Варіант згідно списку в журналі.

№ з/п	Довжина а, м	Ширина в, м	$P_{стелі} \%$	$P_{стін} \%$	Світильники типу	Тип лампи
1	12	5	70	50	ЛПО01	ЛДЦ-20
2	11	6	50	50	ЛСП01	ЛД-20
3	10	7	50	30	ЛПО01	ЛБ-20
4	12	8	70	50	ЛСП01	ЛДЦ-30
5	14	8	50	50	ЛПО01	ЛД-30
6	16	5	50	30	ЛСП01	ЛБ-30
7	18	6	70	50	ЛПО01	ЛДЦ-40
8	20	6	50	50	ЛСП01	ЛД-40
9	18	8	50	30	ЛПО01	ЛБ-40
10	12	7	70	50	ЛСП01	ЛДЦ-80
11	13	6	50	50	ЛПО01	ЛД-80
12	15	9	50	30	ЛСП01	ЛБ-80
13	10	9	70	50	ЛПО01	ЛДЦ-20
14	11	10	50	50	ЛСП01	ЛД-20
15	16	6	50	30	ЛПО01	ЛБ-20
16	17	5	70	50	ЛСП01	ЛДЦ-30
17	18	8	50	50	ЛПО01	ЛД-30
18	20	10	50	30	ЛСП01	ЛБ-30
19	19	8	70	50	ЛПО01	ЛДЦ-40
20	12	10	50	50	ЛСП01	ЛД-40

ЗМІСТ ЗВІТУ

1. Мета роботи.
2. Короткі відомості з теорії.
3. Проведений розрахунок.
4. Висновок.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Види штучного освітлення.
2. У чому полягає розрахунок штучного освітлення.
3. Назвіть три методи розрахунку штучного освітлення.
4. Основне розрахункове рівняння методу світлового потоку.
5. У чому полягає суть методу питомої потужності.
6. Суть точкового методу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Жидецький В.Ц., Джигирей В.С., Сторожук В.М. та ін. Практикум із охорони праці. Навчальний посібник . – 2000 – 352 с.
2. ГОСТ 17677-82 ССБТ. Светильники. Общие технические условия.
3. Мешков В.В., Епалешников М.М. Осветительные установки. Учебное пособие для вузов. – М.: 1972 – 360 с.
4. СНиП II-4-79. Естественное и искусственное освещение. – М., 1980 – 48 с.
5. Жидецький В.Ц., Джигирей В.С., Мельников А.В. Основи охорони праці. Навчальний посібник. – Вид.4-те, доп. – Львів, 2000. – 351 с. М. Сторожук, Л.В. Туряб, Х.І. Лико «Практикум із охорони праці».

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 3

Тема: РОЗРАХУНОК ЗАХИСНОГО ЗАЗЕМЛЕННЯ

Мета роботи: Навчитися розраховувати захисне заземлення.

Теоретичні відомості:

Захисне заземлення – це навмисне електричне з'єднання з землею або її еквівалентом металевих неструмоведучих частин, які можуть опинитись під напругою внаслідок порушення ізоляції електроустановки.

Призначення заземлення – перетворення замикання на корпус у замикання на землю з метою зниження напруги дотику та напруги кроку до безпечних величин (вирівнювання потенціалів).

При наявності захисного заземлення опір замкненої на корпус фази визначається, в основному, опором заземлювального пристрою R_z . Заземлювальний пристрій складається з металевих заземлювачів та з'єднувальних провідників.

За розташуванням відносно корпусів електрообладнання розрізняють два види заземлення – виносне (або зосереджене) і контурне (або розподілене). При виносному заземленні заземлювачі винесені за межі майданчика, на котрому знаходиться електрообладнання. Завдяки цьому є можливість вибрати місце з найменшим опором ґрунту для розташування заземлювача. Заземлені корпуси знаходяться поза полем розтікання, тобто виносне заземлення захищає лише за рахунок малого опору заземлення.

Електроди контурного заземлювального пристрою розташовуються по контуру майданчика або приміщення, на яких знаходиться заземлювальне обладнання, а також всередині майданчика або приміщення. Тут будь-яка точка поверхні ґрунту всередині контуру має значний потенціал. Внаслідок цього різниця потенціалів між точками, які знаходяться всередині контуру, знижена і сила струму через тіло людини, що торкається корпусу, менша, ніж при виносному заземленні. При виконанні контурного заземлення часом прокладають горизонтальні металеві стрічки (заземлювач у вигляді сітки), які додатково вирівнюють потенціали всередині контуру. Всередині приміщень вирівнювання потенціалів відбувається за рахунок наявності металевих конструкцій, трубопроводів, кабелів та інших струмопровідних предметів, які зв'язані з мережею заземлення.

В будівлях прокладають магістраль заземлення вздовж стін, до якої під'єднують паралельно заземлювальні проводи від корпусів електрообладнання, яке підлягає заземленню. Послідовне включення заземлювального обладнання не допускається.

Існують штучні заземлювачі, призначені виключно для заземлення електрообладнання, і природні струмопровідні – предмети, які знаходяться в землі та комунікації іншого призначення. Як штучні заземлювачі використовуються сталеві труби діаметром 35 – 50 мм та кутникові сталь (40*40 – 60*60 мм) з товщиною стінок не менше 10 мм довжиною до 10 м; сталеві шини перетином не менше 100 мм². Вертикальні заземлювачі з'єднують у контур сталевую стрічкою перетином не менше 4*12 мм або круглого перетину діаметром не менше 6 мм за допомогою зварювання.

Для з'єднання вертикальних електродів і як самостійного горизонтального електрода застосовується стрічкова сталь перетином 4*12 мм. При встановленні

вертикальних заземлювачів попередньо риється траншея глибиною 0.7 – 0.8 м. Після цього в землю забиваються металеві труби, стержні або кутники. Верхні кінці розташованих у землі вертикальних електродів, з'єднують сталеву стрічкою за допомогою зварювання. В таких самих траншеях вкладають і горизонтальні електроди.

Як природні заземлювачі можна використовувати:

- металеві конструкції та арматуру залізобетонних конструкцій, які контактують з землею;
- прокладені в землі водогінні труби та свинцеві оболонки кабелів;
- обсадні труби артезіанських свердловин та колодязів.

Забороняється використовувати, як природні заземлювачі трубопроводи з пожежовибухонебезпечними рідинами і газами, алюмінієві оболонки кабелів та алюмінієві провідники.

Область застосування захисного заземлення:

– мережі до 1000 В змінного струму – трифазові три проводів з ізолюваною нейтраллю; однофазові двопроводові, ізолювані від землі, а також постійного струму двопроводові з ізолюваною середньою точкою обмоток джерела струму;

– мережі напругою понад 1000 В змінного та постійного струму з будь-яким режимом нейтральної або середньої точок обмоток джерел струму. Захисному заземленню підлягає обладнання;

- в приміщеннях з підвищеною безпекою і в особливо небезпечних, а також у зовнішніх установках при номінальній напрузі електроустановки понад 42 В змінного струму і 110 В постійного струму;

- в приміщеннях без підвищеної безпеки при напрузі 380 В і вище змінного струму і 440 В та вище постійного струму;

- у вибухонебезпечних приміщеннях заземлення виконується незалежно від значення напруги.

РОЗРАХУНОК ЗАХИСНОГО ЗАЗЕМЛЕННЯ

Мета розрахунку захисного заземлення – визначення кількості електродів заземлювача і заземлювальних провідників, їхніх розмірів і схеми розміщення в землі, при яких опір заземлюючого пристрою розтіканню струму або напруга дотику при замиканні фази на заземлені частини електроустановок не перевищують допустимих значень.

Для розрахунку використовуються такі вихідні дані:

- найменування об'єкта, що захищається;
- стаціонарність об'єкта;
- характеристика установки (тип, вид устаткування, робочі напруги, сумарна потужність генераторів або трансформаторів, що живлять дану мережу, режим нейтралі мережі, засоби її заземлення і т. п.);
- план електроустановки із зазначенням розмірів і розміщення устаткування (рис. 3.1);

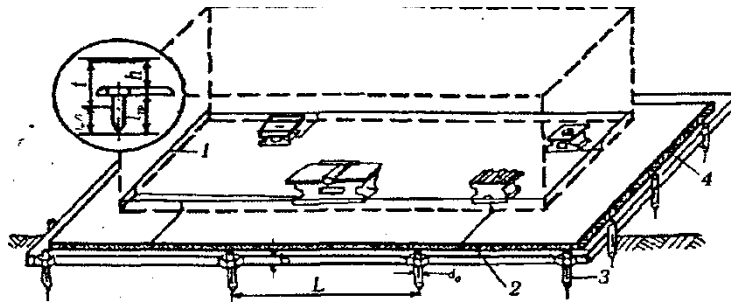


Рис. 3.1. Схема стаціонарного захисного обладнання:
 1 – внутрішній контур; 2 – зовнішній контур; 3 – заземлювачі;
 4 – з'єднувальна стрічка

– дані про природні заземлювачі, зокрема вимірні опори конструкцій розтіканню струму, що допускаються ПУЕ для використання як заземлювачі. Якщо виміряти опір природного заземлювача неможливо, то необхідно мати відомості про його конфігурацію, розміри, матеріали, глибину закладання в землю й інші дані, необхідні для визначення його опору розрахунковим методом;

– питомий електричний опір землі на ділянці розміщення заземлювача, отриманий безпосередньо вимірюванням і характеристика погодних умов під час вимірів. При неможливості проведення вимірів необхідно знати тип землі і ступінь її неоднорідності в залежності від глибини. Необхідно визначити ознаки кліматичної зони, у межах якої споруджується заземлювач;

– вид, форма, розміри, матеріал електродів і заземлювальних провідників, призначених для спорудження штучного заземлювального пристрою (розміри заземлювачів (стержнів): довжина стержня (труби) l (рис. 3.2), діаметр стержня (труби) d , товщина стінки труби S_m , відношення відстані між стержнями до їх довжини L/l ; розміри горизонтального заземлювача (з'єднувальної стрічки); довжина L_3 , ширина стрічки b_c глибина закладання вертикальних заземлювачів h_B);

– розрахунковий струм замикання на землю для електроустановок напругою понад 1 кВ.

Розташування заземлювачів попередньо приймають за чотирикутним контуром при кількості стержнів від 4 до 100 або в один ряд при кількості стержнів від 2 до 20 (рис. 3.1).

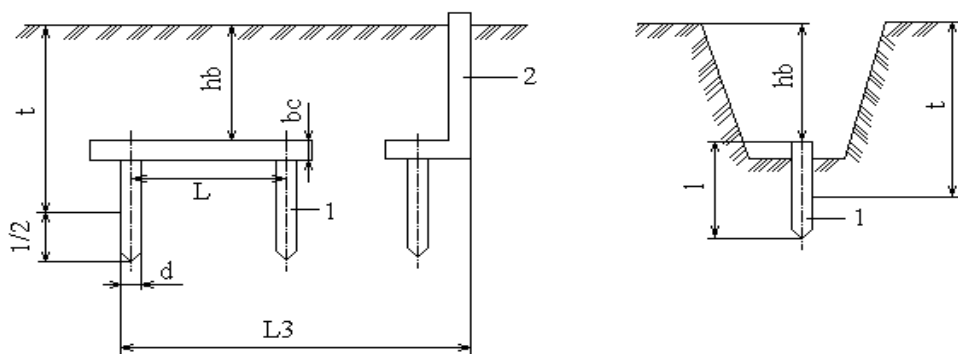


Рис. 3.2. Схема позначення розмірів для розрахунку захисного заземлення:
 1 – заземлювач; 2 – з'єднувальна стрічка; h_B – глибина закладання вертикальних заземлювачів; L – відстань між заземлювачами; t – відстань від середини заземлювача до поверхні ґрунту; l – довжина заземлювача (стержня або труби);
 b_c – ширина стрічки

Послідовність розрахунку. Визначається характеристика оточуючого середовища у виробничому приміщенні.

Визначається R – допустимий опір розтікання струму в заземлювальному пристрої (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Найбільші допустимі значення опорів заземлювальних пристроїв, в електроустановках

Характеристика установок	Найбільший допустимий опір заземлюваного пристрою, Ом
1	2
Електроустановки напругою до 1000 В	
1.Захисне заземлення в установках з великими струмами замикання на землю (500 А та більше)	0,5
2.Захисне заземлення в установках з малими струмами замикання на землю (до 500 А): – без компенсації ємнісних струмів при використанні заземлювального пристрою:	125/I, але не більше 10 (I – розрахунковий опір замикання на землю, А)
а) для електроустановок до 1000 В;	
б) лише для установок понад 1000 В;	250/I, але не більше 10 (I – розрахунковий опір замикання на землю, А)
– з компенсацією ємнісних струмів:	
а) до заземлювального пристрою не приєднані апарати, котрі компенсують ємнісний струм;	125/I, але не більше 10 (I – розрахунковий опір замикання на землю, котрий виникає при відключенні найбільш потужного з компенсуючи апаратів, але не менше 30 А)
б)апарати котрі компенсують ємнісний стрим.	125/I, але не більше 10 (I приймають рівним 1,25 номінального струму компенсуючи апаратів)
Електроустановки напругою до 1000 В	
3. Установки з глухим заземленням нейтралі при лінійних напругах, В:	
а) генераторів або трансформаторів:	
660	2
380	4
220	8
б) повторне заземлення нульового робочого проводу повітряної лінії електропередачі (ПЛ);	
660	15
380	30
220	60
в) всі повторні заземлення нульового робочого проводу ПЛ (сумарний опір):	
660	5
380	10
220	20

1	2
4. Установки з ізолюваною нейтраллю:	
а) захисне заземлення при потужності генераторів та трансформаторів 100 кВА і менше	10
б) те ж в інших випадках	4
в) заземлення гаків та штирів фазових проводів, встановлених на залізобетонних опорах, а також арматури цих опор	50
г) заземлення металевих відтяжок опор в мережах з ізолюваною нейтраллю, закріплених нижнім кінцем на висоті менше ніж 2,5 м від землі	10

Визначається $\rho_{ТАБЛ.}$ – приблизне значення питомого опору ґрунту, яке рекомендується для розрахунку (табл. 3.2.).

Визначається значення $K_{С.В.}$ – коефіцієнта сезонності для вертикальних заземлювачів за даною кліматичною зоною.

Визначається значення $K_{С.Г.}$ – коефіцієнта сезонності для горизонтального заземлювача за заданою кліматичною зоною (табл. 3.2, 3.3).

Таблиця 3.2

**Приблизні значення питомих електричних опорів
різних ґрунтів та води, Ом * м**

Ґрунт, вода	Можливі межі коливань, ρ	При вологості 10-20% до маси ґрунту	Рекомендоване значення для приблизних розрахунків
Глина	8 – 70	40	40
Суглинок	40 – 150	100	100
Чорнозем	9 – 53	20	20
Торф	10 – 30	20	20
Садова земля	30 – 60	40	40
Супісок	150 – 400	300	300
Пісок	400 – 700	700	700
Кам'янистий	500 – 800	–	–
Скелястий	$10^4 – 10^7$	–	–
Вода:			
морська	0,2 – 1,0	–	1,0
річкова	10 – 100	–	80
водоймищ	40 – 50	–	50
струмкова	10 – 60	–	60
ґрунтова	20 – 70	–	50

Примітки: 1. Питомий електричний опір ґрунту є опір куба ґрунту з ребром 1 м.

2. При малому відсотку вмісту вологи в ґрунті можливі більші значення опорів.

3. Питомі опори ґрунтів коливаються протягом року, що враховують при розрахунках введенням так званих сезонних коефіцієнтів опорів ґрунту (табл. 3.4)

Ознаки кліматичних зон для визначення коефіцієнтів сезонності

Характеристика кліматичної зони	Кліматичні зони СНД			
	I	II	III	IV
Середня багаторічна нижня температура (січень), °С	Від -20 до -15	Від -14 до -10	Від -10 до 0	Від 0 до +5
Середня багаторічна верхня температура (липень), °С	Від +16 до +18	Від +18 до +32	Від +22 до +24	Від +24 до +26
Середньорічна кількість опадів, см	40	50	50	30 – 50
Тривалість замерзання води, діб	190 – 170	150	100	0

Таблиця 3.4

Коефіцієнти сезонності $K_{с.в.}$ та $K_{с.г.}$ для однорідної землі при вимірюванні її опору

Кліматична зона	Вологість землі при вимірюванні		
	підвищена	нормальна	мала
$K_{с.в.}$ для вертикального електрода довжиною $L_B = 3$ м			
I	1.9	1.7	1.5
II	1.7	1.5	1.3
III	1.5	1.3	1.2
IV	1.3	1.1	1.0
$K_{с.в.}$ для вертикального електрода довжиною $L_B = 5$ м			
I	1.5	1.4	1.3
II	1.4	1.3	1.2
III	1.3	1.2	1.1
IV	1.2	1.1	1.0
$K_{с.в.}$ для вертикального електрода довжиною $L_B = 10$ м			
I	9.3	5.5	4.1
II	5.9	3.5	2.5
III	4.0	2.5	2.0
IV	2.5	1.5	1.1
$K_{с.в.}$ для вертикального електрода довжиною $L_B = 50$ м			
I	7.2	4.5	3.6
II	4.8	3.0	2.4
III	3.2	2.0	1.6
IV	2.2	1.4	1.12

Визначається $\rho_{розр.в.}$ – розрахунковий питомий опір ґрунту для вертикальних заземлювачів, Ом * м

$$\rho_{РОЗР.В.} = \rho_{ТАБЛ} \cdot K_{С.В.} \quad (3.1)$$

Визначається $\rho_{розр.г.}$ – розрахунковий опір ґрунту для горизонтальних заземлювачів, Ом * м

$$\rho_{РОЗР.Г.} = \rho_{ТАБЛ} \cdot K_{С.Г.} \quad (3.2)$$

Визначається t – відстань від поверхні землі до середини вертикального заземлювача (рис. 3.1, 3.2), м

$$t = h_B + \frac{L_B}{2} \quad (3.3)$$

Визначається R_B – опір розтіканню струму в одному вертикальному заземлювачі, Ом

$$R_B = 0.366 \cdot \frac{\rho_{РОЗР.В.}}{L_B} \left(\lg \frac{2L_B}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t + L_B}{4t - L_B} \right) \quad (3.4)$$

Визначається $n_{м.в.}$ – теоретична кількість вертикальних заземлювачів без врахування коефіцієнта використання η_B , шт.

$$n_{м.в.} = \frac{R_0}{R_B} \quad (3.5)$$

Визначається $\eta_{В.В.}$ – коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів при використанні їх відповідно до вихідних даних або по чотирикутному контуру при кількості заземлювачів $n_{м.в.}$ та при відношенні L/l (табл. 3.5)

Таблиця 3.5

Коефіцієнт $\eta_{В.В.}$ використання вертикальних електродів (труб, кутників тощо) групового заземлювача без врахування впливу з'єднувальної стрічки

Кількість заземлювачів	Відношення відстаней між електродами до їх довжини L_B/l_B					
	в ряд			по контуру		
	1	2	3	1	2	3
2	0,85	0,91	0,94	–	–	–
3	0,73	0,83	0,89	0,69	0,78	0,85
4	0,65	0,77	0,85	0,61	0,73	0,80
10	0,59	0,74	0,81	0,57	0,68	0,76
20	0,48	0,67	0,76	0,47	0,63	0,71
40	–	–	–	0,41	0,58	0,66
60	–	–	–	0,39	0,55	0,64
100	–	–	–	0,36	0,52	0,62

Визначається n_B – необхідна кількість вертикальних заземлювачів з врахуванням коефіцієнта використання, шт.

$$n_B = \frac{R_B}{R_0 \cdot \eta_{B.B.}} \quad (3.6)$$

Визначається $R_{розр.в.}$ – розрахунковий опір розтіканню струму у вертикальних заземлювачах при n_B без врахування впливу з'єднувальної стрічки, Ом

$$R_{розр.в.} = \frac{R_B}{n_B \cdot \eta_{B.B.}} \quad (3.7)$$

Визначається L – відстань між вертикальними заземлювачами з відношення $L/l=1$.

Визначається L_C – довжина з'єднувальної стрічки – горизонтального заземлювача, м

$$L_C = 1,05 \cdot L(n_B - 1). \quad (3.8)$$

Визначається R_r – опір розтіканню струму в горизонтальному заземлювачі (з'єднувальній стрічці), Ом

$$R_r = 0,366 \frac{\rho_{розр.г.}}{L_C} \lg \frac{2L_C}{h_3 b_C}. \quad (3.9)$$

Визначається $\eta_{г.с.}$ – коефіцієнт використання горизонтального заземлювача при розташуванні вертикальних заземлювачів відповідно до вихідних даних або по чотирикутному контуру при відношенні L/l та при необхідній кількості вертикальних заземлювачів n_B . За табл. 3.6 визначається $\eta_{г.с.}$ при паралельно вкладених горизонтальних заземлювачів $\eta_{г.с.}$ визначається з табл. 3.7.

Таблиця 3.6

Коефіцієнт $\eta_{г.с.}$ використання горизонтального стрічкового електрода, що з'єднує вертикальні електроди (труби, кутники тощо) групового заземлювача.

Відношення відстаней між вертикальними електродами до їх довжини L_B/l_B	Кількість вертикальних електродів							
	2	4	6	10	20	40	60	100
Електроди розташовані в ряд								
1	0,85	0,77	0,72	0,62	0,42	–	–	–
2	0,94	0,80	0,84	0,75	0,56	–	–	–
3	0,96	0,92	0,88	0,82	0,68	–	–	–
Електроди розташовані по контуру								
1	–	0,45	0,40	0,34	0,27	0,22	0,20	0,19
2	–	0,55	0,48	0,40	0,32	0,29	0,27	0,23
3	–	0,70	0,64	0,56	0,45	0,39	0,36	0,33

**Коефіцієнт використання $\eta_{Г.С.}$ паралельно вкладених
горизонтальних стрічкових електродів групового заземлювача
(ширина стрічки $B_C = 20 - 40$ мм, глибина закладання $h_r = 0.3 - 0.8$,
довжина кожної стрічки l_C , м)**

Кількість паралельних стрічок, n_r	Відстань між паралельними стрічками, м				
	1	2.5	5.0	10.0	15.0
$L_C = 15$					
2	0.63	0.75	0.83	0.92	0.96
5	0.47	0.49	0.60	0.73	0.79
10	0.25	0.37	0.49	0.64	0.72
20	0.16	0.27	0.39	0.57	0.64
$L_C = 25$					
5	0.35	0.45	0.55	0.66	0.73
10	0.23	0.31	0.43	0.57	0.66
20	0.14	0.23	0.33	0.47	0.57
$L_C = 50$					
2	0.60	0.69	0.78	0.88	0.93
5	0.33	0.40	0.48	0.58	0.65
10	0.20	0.27	0.35	0.46	0.53
20	0.12	0.19	0.25	0.36	0.44
$L_C = 75$					
5	0.31	0.38	0.45	0.53	0.58
10	0.18	0.25	0.31	0.41	0.47
20	0.11	0.16	0.22	0.31	0.38
$L_C = 100$					
5	0.31	0.36	0.43	0.51	0.57
10	0.17	0.23	0.28	0.37	0.44
20	0.10	0.15	0.20	0.28	0.34
$L_C = 200$					
5	0.28	0.32	0.37	0.44	0.50
10	0.14	0.20	0.23	0.30	0.36
20	0.08	0.12	0.15	0.21	0.26

Визначається $R_{РОЗР.Г.}$ – розрахунковий опір розтіканню струму в горизонтальному заземлювачі (з'єднувальній стрічці) при кількості електродів n_r , Ом

$$R_{РОЗР.Г.} = \frac{R_r}{n_r \cdot \eta_{Г.С.}} \quad (3.10)$$

Визначається $R_{РОЗР.В.}$ – розрахунковий опір, Ом, розтіканню струму у вертикальних та горизонтальних заземлювачах

$$R_{РОЗР.В.} = \frac{1}{\frac{1}{R_r} + \frac{1}{R_r}} \leq R_\delta, \quad (3.11)$$

або

$$R_{\text{розр.в.}} = \frac{R_B \cdot R_\Gamma}{R_B + R_\Gamma} \leq R_\delta. \quad (3.12)$$

Вибирається матеріал та перетин з'єднувальних провідників і магістральної шини згідно табл. 3.8.

Таблиця 3.8

Найменші розміри заземлювальних та нульових провідників

Характеристика провідника	Розмір, що нормується	Найменший допустимий розмір залежно від матеріалу				
		мідь	алюміній	сталь		
				в приміщеннях	поза приміщеннями	в землі
Неізольовані провідники	Перетин, мм ² Діаметр, мм ²	4,0 –	6,0 –	– 5,0	– 6,0	– 10
Ізольовані провідники	Перетин, мм ²	1,5	2,5	–	–	–
Заземлювальні та нульові жили кабелів та багатожильні дроти в загальній захисній оболонці з фазовими жилами	Перетин, мм ²	1,0	2,5	–	–	–
Кутникова сталь	Товщина полиці, мм	–	–	2,0	2,5	4,0
Стрічкова сталь	Перетин, мм	–	–	2,4	48	48
	Товщина, мм	–	–	3,0	4,0	4,0
Водо-, газогінні труби (сталеві)	Товщина стінки, мм	–	–	2,5	2,5	3,5
Тонкостінні труби (сталеві)	Товщина стінки, мм	–	–	1,5	2,5	–

Приклад 3.1. Розрахунок штучного заземлювального пристрою при відсутності природних заземлювачів

Вихідні дані:

1. Захищений об'єкт – обладнання опоряджувального цеху.
2. Захищений об'єкт – стаціонарний.
3. Напруга мережі – 380 В.

4. Виконання мережі – з глухозаземленою нейтраллю.
5. Тип заземлювального пристрою – вертикальний (труби).
6. Розміри вертикальних заземлювачів: довжина $l_B = 3$ м; діаметр труби $d = 0.04$ м; товщина стінки труби $\delta_T = 3.5$ мм.
7. Відношення відстані між трубами до їхньої довжини $\frac{L_B}{l_B} = 1$.
8. Розміри горизонтального заземлювача (з'єднувальної стрічки): довжина $L_G = L_{3.C.}$ – згідно з розрахунком, м; ширина стрічки $b_c = 0.04$ м.
9. Глибина закладання вертикальних заземлювачів $h_B = 0,8$ м; горизонтальних $h_G = 0,8$ м.
10. Розташування заземлювачів попередньо приймають за чотирикутним контуром при числі стержнів від 4 до 100 та в один ряд при числі стержнів від 2 до 20 (рис. 3.1, 3.2).
11. Грунт – супісок; склад – однорідний; вологість – мала; агресивність – нормальна.
12. Кліматична зона – II.

Розв'язок:

1. Визначаємо характеристику навколишнього середовища в опоряджувальному цеху: за пожежною небезпекою згідно з ПУЕ воно відноситься до класу П-II; за вибухонебезпекою згідно з ПУЕ — до класу В-I; за ступенем ураження електричним струмом – без підвищеної та особливої небезпеки.

2. Визначаємо R_D – допустиме (нормативне) значення опору розтіканню струму в заземлювальному пристрої (табл. 3.1); $R_D \leq 4$ Ом.

3. Визначаємо $K_{C.B.}$ – приблизне значення питомого опору ґрунту, що рекомендується для розрахунку. За табл. 3.2 приймаємо $\rho_{\text{табл.}} = 300$ Ом * м.

4. Визначаємо $K_{C.B.}$ – коефіцієнт сезонності для вертикальних заземлювачів для даної кліматичної зони II. За табл. 3.4. приймаємо $K_{C.B.} = 1.5$.

5. Визначаємо значення $K_{C.G.}$ – коефіцієнт сезонності для горизонтального заземлювача згідно з кліматичною зоною. За табл. 3.4. приймаємо $K_{C.G.} = 3,5$.

6. Визначаємо $\rho_{\text{РОЗР.В}}$ – розрахунковий питомий опір ґрунту для вертикальних заземлювачів.

$$\rho_{\text{РОЗР.В.}} = \rho_{\text{ТАБЛ.}} * K_{C.B.} = 300 * 1.5 = 450 \text{ Ом} * \text{м}$$

7. Визначаємо $\rho_{\text{РОЗР.Г}}$ – розрахунковий питомий опір ґрунту для горизонтальних заземлювачів.

$$\rho_{\text{РОЗР.Г}} = \rho_{\text{ТАБЛ.}} * K_{C.G.} = 300 * 3.5 = 1050 \text{ Ом} * \text{м}$$

8. Визначається t – відстань від поверхні землі до середини вертикального заземлювача (рис. 3.2).

$$t = h_B + \frac{l_B}{2} = 0.8 + \frac{3}{2} = 2.3 \text{ м.}$$

9. Визначається R_B – опір, Ом, розтіканню струму в одному вертикальному заземлювачі:

$$R_B = 0.366 \cdot \frac{\rho_{\text{розр.В.}}}{L_B} \left(\lg \frac{2L_B}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t + L_B}{4t - L_B} \right) = 0.366 \frac{450}{3} \left(\lg \frac{2 \cdot 3}{0.04} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot 2.3 + 3}{4 \cdot 2.3 - 3} \right) = 135 \text{ Ом}$$

10. Визначається $n_{T.B.}$ – теоретична кількість вертикальних заземлювачів без врахування коефіцієнта використання $\eta_{B.B.}$, тобто $\eta_{B.B.} = 1$.

$$n_{T.B.} = \frac{R_B}{R_D \cdot \eta_{B.B.}} = \frac{135}{4 \cdot 1} \approx 33$$

11. Визначають $\eta_{B.B.}$ – коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів при розташуванні їх згідно з вихідними даними або за чотирикутним контуром при числі заземлювачів $n_{T.B.} = 33$ та при відношенні $\frac{L_B}{l_B} = 1$. За табл. 3.5 приймаємо $\eta_{B.B.} = 0.42$

12. Визначається $n_{H.B.}$ – необхідна кількість, шт., вертикальних однакових заземлювачів з врахуванням коефіцієнта використання

$$n_{H.B.} = \frac{R_B}{R_D \cdot \eta_{B.B.}} = \frac{135}{4 \cdot 0.42} = 80$$

13. Визначається $R_{\text{розр.В.}}$ – розрахунковий опір, Ом, розтіканню струму у вертикальних заземлювачах, при $n_{H.B.} = 80$ без врахування з'єднувальної стрічки

$$R_{\text{розр.В.}} = \frac{R_B}{n_{H.B.} \cdot \eta_{B.B.}} = \frac{135}{80 \cdot 0.42} = 4.$$

14. Визначаємо L_B – відстань між вертикальними заземлювачами за відношенням

$$\frac{L_B}{l_B} = 1. \text{ Звідси } L_B = 1 * l_B = 1 * 3 = 3 \text{ м.}$$

15. Визначаємо $L_{3.C.}$ – довжину, м, з'єднувальної стрічки – горизонтального заземлювача:

$$L_{3.C.} = 1.05 \cdot L_B (n_{H.B.} - 1) = 1.05 \cdot 3(80 - 1) \approx 249$$

16. Визначаємо $R_{Г.3.C.}$ – опір, Ом, розтіканню струму в горизонтальному заземлювачі (з'єднувальній стрічці):

$$R_{Г.3.C.} = 0.366 \frac{\rho_{\text{розр.Г.}}}{L_{3.C.}} \lg \frac{2L_{3.C.}^2}{h_3 \cdot b_C} = 0.366 \frac{1050}{249} \lg \frac{2 \cdot 249^2}{0.8 \cdot 0.04} \approx 8$$

17. Визначається $\eta_{B.Г.}$ – коефіцієнт використання горизонтального заземлювача при розташуванні вертикальних заземлювачів згідно з вихідними даними або за чотирикутним контуром при відношенні $\frac{L_B}{l_B} = 1$ та необхідній кількості вертикальних заземлювачів $n_{H.B.} = 80$. За табл. 3.6 приймаємо $\eta_{B.Г.} = 0.19$. При паралельно вкладених горизонтальних заземлювачах $\eta_{B.Г.}$ визначається за табл. 3.7.

18. Визначаємо $R_{POЗP.Г.}$ – розрахунковий опір, Ом, розтіканню струму в горизонтальному заземлювачі (з'єднувальній стрічці) при числі електродів $n_G = 1$:

$$R_{POЗP.Г.} = \frac{R_{Г.З.С.}}{n_G \cdot \eta_{B.Г.}} = \frac{8}{1 \cdot 0,19} = 42$$

19. Визначаємо $R_{POЗP.В.Г.}$ – розрахунковий теоретичний опір, Ом, розтіканню струму у вертикальних та горизонтальних заземлювачах

$$R_{POЗP.В.Г.} = \frac{1}{\frac{1}{R_{POЗP.В.}} + \frac{1}{R_{POЗP.Г.}}} = \frac{1}{\frac{1}{4} + \frac{1}{42}} \approx 3,7$$

або

$$R_{POЗP.В.Г.} = \frac{R_{POЗP.В.} \cdot R_{POЗP.Г.}}{R_{POЗP.В.} + R_{POЗP.Г.}} = \frac{4 \cdot 42}{4 + 42} = 3,7$$

20. Вибираємо матеріал та поперечний перетин з'єднувальних провідників. За табл. 7.8 вибираємо голі мідні $S_M = 4 \text{ мм}^2$ або алюмінієві $S_A = 6 \text{ мм}^2$ провідники.

21. Вибираємо матеріал та поперечний перетин магістральної шини. За табл. 3.8 приймаємо сталеву шину товщиною $\delta_C = 4 \text{ мм}$ і перетином не менше $\sigma = 100 \text{ мм}^2$.

22. Наводиться схема з'єднання обладнання з магістральною шиною та з'єднання магістральної шини з заземлювальним пристроєм (з'єднувальною стрічкою).

Приклад 3.2. Розрахунок горизонтального заземлювального пристрою.

Вихідні дані:

1. Захищений об'єкт – обладнання нижнього складу.
2. Захищений об'єкт – стаціонарний.
3. Напруга мережі $U_M = 380 \text{ В}$.
4. Виконання мережі – з глухозаземленою нейтраллю.
5. Тип заземлювального пристрою – горизонтальний зі стрічкової сталі.
6. Розміри заземлювачів і довжина стрічки $L_C = 50 \text{ м}$, ширина стрічки $b_C = 0,04 \text{ м}$.
7. Розташування заземлювачів – паралельне.
8. Відстань між паралельними заземлювальними стрічками $l_C = 5 \text{ м}$.
9. Глибина закладання заземлювачів $h_3 = 0,8 \text{ м}$.
10. Грунт – суглинок.
11. Характеристика ґрунту: склад – однорідний; вологість – нормальна; агресивність – нормальна.
12. Кліматична зона – III.
13. Природні заземлювачі відсутні.
14. Довжина електрода $L_B = 50 \text{ м}$.

Розв'язок.

1. Визначають R_D – допустиме нормативне значення питомого опору, Ом, розтіканню струму в заземлювальному пристрої. Згідно з ПУЕ, ПТЕ та ПТБ для прийнятих вихідних даних (мережа до 1000 В з глухозаземленою нейтраллю) за табл.3.1 $R_D = 4$.

2. Визначають $\rho_{ТАБЛ.}$ – наближене значення опору ґрунту. За табл. 3.2 приймаємо $\rho_{ТАБЛ.} = 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

3. Визначають значення $K_{С.Г.}$ – коефіцієнта сезонності для ґрунту нормальної вологості при кліматичній зоні III для горизонтального заземлення довжиною $l_C = 50 \text{ м}$. За табл. 3.4 прийmemo $K_{С.Г.} = 2$.

4. Визначають $\rho_{РОЗР.Г.}$ – розрахунковий питомий опір, Ом * м, ґрунту для горизонтальних заземлювачів.

$$\rho_{РОЗР.Г.} = \rho_{ТАБЛ.} \cdot K_{С.Г.} = 100 \cdot 2 = 200$$

$$\rho_{РОЗР.Г.} = \rho_{ТАБЛ.} \cdot K_{С.Г.} = 100 \cdot 2 = 200$$

5. Визначають R_G – теоретичний опір, Ом, розтіканню струму в одному горизонтальному заземлювачі:

$$R_G = 0,366 \frac{\rho_{РОЗР.Г.}}{L_C} \lg \frac{2L_C^2}{h_3 b_C} = 0,366 \frac{200}{50} \lg \frac{2 \cdot 50^2}{0,8 \cdot 0,04} = 8,4.$$

6. Визначають n_G – теоретичну кількість горизонтальних заземлювачів без врахування $\eta_{В.Г.}$ – коефіцієнта використання, тобто прийmemo $\eta_{В.Г.} = 1$.

$$n_G = \frac{R_D}{R_G \cdot \eta_{В.Г.}} = \frac{4}{8,4} = 2,1.$$

7. Визначають $\eta_{В.Г.}$ – коефіцієнт використання паралельно вкладених горизонтальних заземлювачів при $n_G = 2$, $l_C = 50 \text{ м}$. За табл. 3.7 прийmemo $\eta_{В.Г.} = 0,78$.

8. Визначаємо $n_{Г.Н.}$ необхідну кількість горизонтальних заземлювачів (стрічок).

$$n_{н.з.} = \frac{R_D}{R_G \cdot \eta_{В.Г.}} = \frac{4}{8,4 \cdot 0,78} = 2,7.$$

Прийmemo $n_{Г.Н.} = 3$.

9. Визначають $R_{РОЗР.Г.}$ – розрахунковий опір, Ом, розтіканню струму в заземлювальному пристрої при $n_{Г.Н.} = 3$ та $\eta_{В.Г.} = 0,78$:

$$R_{РОЗР.Г.} = \frac{R_G}{n_{Г.Н.} \cdot \eta_{В.Г.}} = \frac{8,4}{3 \cdot 0,78} \approx 3,6.$$

Отриманий розрахунковий опір розтіканню струму відповідає вимогам ПУЕ, ПТЕ, ПТБ.

ЗАВДАННЯ НА ПРАКТИЧНУ РОБОТУ

Розрахувати горизонтальний заземлюючий пристрій.

Вихідні дані:

1. Захищений об'єкт – обладнання нижнього складу.
2. Захищений об'єкт – стаціонарний.
3. Напруга мережі $U_M = 380 \text{ В}$.
4. Виконання мережі – з глухозаземленою нейтраллю.
5. Тип заземлювального пристрою – горизонтальний зі стрічкової сталі.
6. Розміри заземлювачів і довжина стрічки L_C м, ширина стрічки b_C м згідно варіанту.
7. Розташування заземлювачів – паралельне.
8. Відстань між паралельними заземлювальними стрічками $l_C = 5 \text{ м}$.
9. Глибина закладання заземлювачів $h_3 = 0,8 \text{ м}$.
10. Грунт – суглинок.
11. Характеристика ґрунту: склад – однорідний; вологість – нормальна; агресивність – нормальна.
12. Кліматична зона – III.
13. Природні заземлювачі відсутні.
14. Довжина електрода L_B згідно варіанту.

Варіант згідно списку в журналі.

№ з/п	Довжина стрічки, L_C м	Ширина стрічки, b_C м	Відстань між паралел. заземлюв стрічками	Грунт	Довжина електрода L_B
1	15	0,02	1	глина	3
2	25	0,03	2,5	суглинок	5
3	50	0,04	5	чорнозем	10
4	75	0,02	10	торф	50
5	100	0,03	15	садова земля	3
6	200	0,04	1	супісок	5
7	15	0,02	2,5	пісок	10
8	25	0,03	5	глина	50
9	50	0,04	10	суглинок	3
10	75	0,02	15	чорнозем	5
11	100	0,03	1	торф	10
12	200	0,04	2,5	садова земля	50
13	15	0,02	5	супісок	3
14	25	0,03	10	пісок	5
15	50	0,04	15	глина	10
16	75	0,02	1	суглинок	50
17	100	0,03	2,5	чорнозем	3
18	200	0,04	5	торф	5
19	50	0,02	10	садова земля	10
20	100	0,03	15	супісок	50

ЗМІСТ ЗВІТУ

1. Мета роботи.
2. Короткі відомості з теорії.
3. Проведений розрахунок.
4. Висновок.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Визначення захисного заземлення.
2. Призначення заземлення.
3. Мета розрахунку захисного заземлення.
4. Послідовність розрахунку.

ЛІТЕРАТУРА

1. Жидецький В.Ц., Джигирей В.С., Сторожук В.М. та ін. Практикум із охорони праці. Навчальний посібник. – 2000 – 352 с.
2. Жидецький В.Ц., Джигирей В.С., Мельников А.В. Основи охорони праці. Навчальний посібник. – Вид.4-те, доп. – Львів, 2000. – 351 с. М. Сторожук, Л.В. Туряб, Х.І. Лико «Практикум із охорони праці».
3. Цивільна оборона. Навчальний посібник \ Під ред. полковника В.С. Франчука. – 2000. – 336 с.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 4

Тема: РОЗРАХУНОК ПРИРОДНОЇ ВЕНТИЛЯЦІЇ

Мета роботи: Навчитися розраховувати природну вентиляцію.

Теоретичні відомості:

У всіх виробничих та допоміжних приміщеннях необхідно передбачити вентиляцію. Під вентиляцією розуміють сукупність заходів та засобів, призначених для забезпечення на постійних робочих місцях та зонах обслуговування виробничих приміщень метеорологічних умов та чистоти повітряного середовища. Основне завдання вентиляції – вилучити із приміщення забруднене або нагріте повітря та подати свіже, тобто забезпечити в приміщеннях метеорологічні умови (температуру, відносну вологість та швидкість повітря), що відповідають нормативним вимогам, а також виключити можливість вмісту в повітрі шкідливих речовин, які перевищують гранично допустимі концентрації (ГДК).

Вентиляція може бути природна, штучна (механічна) та суміщена (природна та штучна одночасно).

ВИБІР СИСТЕМ ТА СПОСОБІВ ВЕНТИЛЯЦІЇ

Ефективність дії систем вентиляції та кондиціонування повітря залежить не забезпечення необхідного повітрообміну, але й від схеми організації повітрообміну, тобто вибору зони вилучення та подачі необхідної кількості повітря.

Схеми вентиляції визначаються:

- специфікою виробничого приміщення;
- характером шкідливостей;
- місцем їх виділення;
- кратністю повітрообміну.

У виробничих приміщеннях при проектуванні загальнообмінної вентиляції можлива організація повітрообміну за такими схемами: зверху вниз, знизу вверх, зверху вверх, знизу вниз, а також і за змішаними схемами (рис. 4.1).

Схеми зверху вниз та зверху вверх доцільно застосовувати у випадку, коли повітря в холодний період року має температуру, нижчу від температури приміщення. Припливне повітря перш ніж досягти робочої зони нагрівається за рахунок повітря приміщення. Схему зверху вверх також застосовують, коли кратність повітрообміну не перевищує 5 і в приміщенні відсутні токсичні виділення. Схеми знизу вверх та знизу вниз рекомендується використовувати тоді, коли припливне повітря в холодний період року підігрівається і його температура вища від температури внутрішнього, повітря.

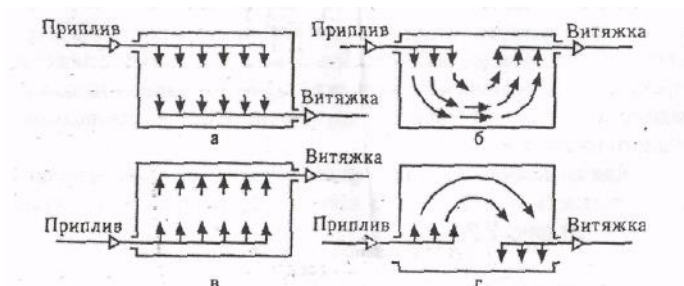


Рис. 4.1. Схема організації повітрообміну при загальнообмінній вентиляції:
а – зверху вниз; б – зверху вверх; в – знизу вверх; г – знизу вниз

Якщо у виробничих приміщеннях виділяються гази та пари з густиною, що перевищує густину повітря (наприклад пари кислот, бензину, гасу), то загальнообмінна вентиляція повинна забезпечити видалення 60% повітря з нижньої зони приміщення та 40% – з верхньої. Якщо густина газів менша за густину повітря, то видалення забрудненого повітря здійснюється у верхній зоні.

ПРИРОДНА ВЕНТИЛЯЦІЯ ТА ЇЇ ЗАСТОСУВАННЯ

Природна вентиляція може бути неорганізованою і організованою. При неорганізованій вентиляції невідомі об'єми повітря, що надходять та видаляються із приміщення, а сам повітрообмін залежить від випадкових чинників (напрямку та сили вітру, температури зовнішнього та внутрішнього повітря), а тому допускається тільки в окремих випадках (наприклад об'єм приміщення на одного працюючого становить більше 40 м³) при наявності вікон або вікон та ліхтарів і відсутності шкідливих виділень і речовин з неприємним запахом.

Організована природна вентиляція називається аерацією. Для аерації в стінах будівлі роблять отвори для надходження зовнішнього повітря, а на даху чи у верхній частині будівлі встановлюють ліхтарі для виведення відпрацьованого повітря.

Аерація використовується в цехах (виробничих приміщеннях) із значними тепловиділеннями, якщо концентрація шкідливих речовин у припливному повітрі не перевищує 30% ГДК в робочій зоні.

Для регулювання припливного зовнішнього повітря в одно – та двопрільотних приміщеннях в теплий період року в зовнішніх стінах роблять отвори, що розташовані на висоті 0,3 – 1,8 м над підлогою. Припливні отвори дозволяється розмішувати в два ряди і більше у поздовжніх стінах будівлі, які повинні бути вільні від надбудов. Як припливні отвори також використовуються ворота, розсувні стіни та отвори у підлозі приміщень. Отвори для припливу зовнішнього повітря в холодний період року роблять у зовнішніх стінах, розташовуючи низ отворів у цехах (приміщеннях) висотою менше 6 м на висоті не менше 3 м над підлогою, а в приміщеннях висотою більше 6 м – на висоті не менше 4 м над підлогою.

Для регулювання припливного зовнішнього повітря в багатопрільотних цехах (виробничих приміщеннях) роблять отвори в зовнішніх стінах і ліхтарі в «холодних» прольотах, які повинні чергуватися з «гарячими», враховуючи, що «холодні» прольоти відокремлюються від «гарячих» спущеними зверху перегородками, які не доходять до підлоги на 2 – 4 м.

Для видалення повітря з приміщення, що регулює приплив і витяжку (аерація) встановлюють незадувні аераційні та світлоаераційні ліхтарі та шахти різних конструкцій (рис. 4.2).

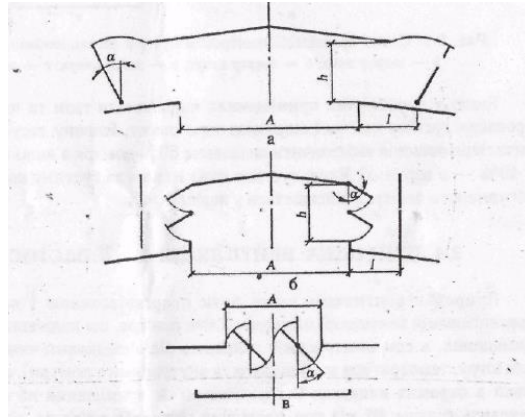


Рис. 4.2. Схеми незадувних аераційних ліхтарів:
 а – КТИС; б – П-видного з вітрозахисними панелями; в – щілинного

Витяжні канали систем аерації доцільно розташовувати у внутрішніх цегляних стінах (мінімальний переріз каналів становить 130x140 мм); у спеціальних вентиляційних блоках; у вигляді приставних та підвісних каналів біля внутрішніх стін, перегородок та перекриттів. Мінімальна товщина перегородок у цегляних стінах між каналами одного призначення та зовнішніх стінок каналів становить 120 мм.

Розрахунок аерації зводиться до визначення необхідної площі припливних $F_{\text{ПРИП}}$ та витяжних $F_{\text{ВИТ}}$ аераційних отворів, що забезпечують необхідний повітрообмін.

Площа припливних аераційних отворів у стіні визначається за формулою:

$$F_{\text{ПРИП}} = \frac{G_{\text{ПРИП}}}{3600 \sqrt{\frac{2g\gamma_{\text{ЗОВН}}}{\xi_1} \Delta p_1}} (m^2), \quad (4.1)$$

де $G_{\text{ПРИП}}$ – необхідна кількість (за масою) повітря, яке надходить в приміщення, кг/год; g – прискорення вільного падіння, м/с² ($g = 9.8 \text{ м/с}^2$); $\gamma_{\text{ЗОВН}}$ – питома вага зовнішнього повітря (кг/м³), визначається за формулою:

$$\gamma = \frac{353}{t + 273} (\text{кг/м}^3), \quad (4.2)$$

де t – температура повітря, для якого визначається γ , °С; ξ_1 – коефіцієнт місцевого опору припливних отворів (табл. 4.3);

Δp_1 – втрати тиску на прохід повітря через припливні отвори (кг/м²), визначаються за формулою:

$$\Delta p_1 = \beta \Delta p (\text{кг/м}^2), \quad (4.3)$$

де β – частина різниці тисків, яка витрачається на прохід повітря через припливні отвори ($\beta = 0,1 - 0,4$);

Δp – різниця тисків, які створює переміщення аераційного повітря через припливні та витяжні отвори (кг/м²), визначається за формулою:

$$\Delta p = (h_{T.ПЕР} - h_H)(\gamma_{ЗОВН} - \gamma_{ВН}) + (h_B - h_{T.ПЕР})(\gamma_{ЗОВН} - \gamma_{ВИД})(\text{кг}/\text{м}^2), \quad (4.4)$$

де h_H – відстань від центру припливного (нижнього) отвору до нейтральної зони, м;
 h_B – відстань від центру витяжного (верхнього) отвору до нейтральної зони, м;
 $\gamma_{ВН}$ – питома вага внутрішнього повітря, $\text{кг}/\text{м}^3$;
 $\gamma_{ВИД}$ – питома вага повітря, що видаляється, $\text{кг}/\text{м}^3$;
 $h_{T.ПЕР}$ – відстань від температурного перекриття над підлогою (м), визначається за формулою:

$$h_{T.ПЕР} = 0,1 \left(\frac{C(t+273)}{g\gamma_{2ВН}} \frac{G}{n^2 Q_{КОНВ}} \right)^{1/5} - h_{ПОЛ} (\text{м}), \quad (4.5)$$

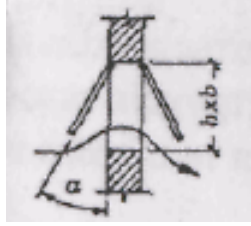
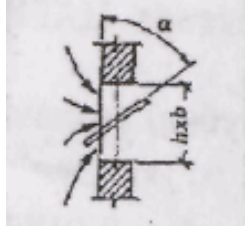
де C – питома теплоємність повітря, $\text{ккал}/\text{кг}^{\circ}\text{C}$ ($C = 0,24 \text{ккал}/\text{кг}^{\circ}\text{C}$);
 t – температура внутрішнього повітря (в робочій зоні) $^{\circ}\text{C}$;
 G – необхідна кількість (за масою) повітря, яке забезпечує підтримання оптимальної температури в робочій зоні приміщення, $\text{кг}/\text{год}$;
 n – число основних джерел тепловиділення;
 $Q_{КОНВ}$ – кількість конвентивного тепла, яке виділяється в приміщенні від основних джерел тепловиділення, $\text{ккал}/\text{год}$; $h_{ПОЛ}$ – полюсна відстань джерел тепловиділення (м), визначається за формулою:

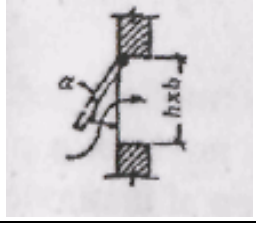
$$h_{ПОЛ} = \frac{2lb}{l+b} (\text{м}), \quad (4.6)$$

де l, b – відповідно довжина та ширина джерела тепловиділення, м (табл. 4.4).

Таблиця 4.3

Характеристика припливних отворів та величини коефіцієнтів місцевого опору ξ припливних отворів

Стулка	Схема отвору	h/b	Кут відхилення отвору, α°				
			15	30	45	60	90
1	2	3	4	5	6	7	8
Одинарна верхньопідвісна		0	30,8	9,2	5,2		2,6
		0,5	20,6	6,9	4	3,5	2,6
		1	16	5,7	3,7	3,2	2,6
Одинарна середньопідвісна		0	59	13,6	6,6	3,2	2,7
		1	45,3	11,1	5,2	3,2	2,4

1	2	3	4	5	6	7	8
Подвійна (обидві стулки верхньопідвісні)		0,5 1	30,8 14,8	9,8 4,9	5,2 3,8	3,5 3	2,4 2,4
Аераційні ворота		–	–	–	–	–	2,4

Таблиця 4.4

Характеристика джерел тепловиділення

Джерело тепловиділен ня	Число джерел, n	Геометричні розміри, m			Тепловиділення $Q_{т.в.}$ тис. ккал/год
		довжина, l	ширина, b	висота, h	
Піч камерна	5	3	4	2,5	280
Піч термічна	4	3,5	2	3	225
Піч методична	8 12	5 2	3 2	3 4,5	375 115
Прес Місце зберігання продукції	12	2	2	1,5	275

Площа отворів ліхтаря визначається за формулою:

$$F_{\text{ЛХТ}} = \frac{G_{\text{ВИТ}}}{3600 \sqrt{\frac{2g\gamma_{\text{ВИД}}}{\xi_2} \Delta p_2}} (m^2), \quad (4.7)$$

де ξ_2 – коефіцієнт місцевого опору ліхтаря (табл. 4.5);

Δp_2 – втрати тиску на прохід повітря через отвори ліхтаря ($кг/м^2$), визначається за формулою:

$$\Delta p_2 = \Delta p - \Delta p_1 (кг/м^2) \quad (4.8)$$

Коли як припливні отвори використовуються ворота, на яких встановлена завіса, то площа припливних аераційних отворів визначається за формулою:

$$F_B = \frac{G_{\text{ПРИП}}}{3600 \mu \sqrt{2gh_{\text{Н.З.}} (\gamma_{\text{ВН}} - \gamma_{\text{ЗОВН}}) \gamma_{\text{ЗОВН}}} (m^2), \quad (4.9)$$

де μ – коефіцієнт втрат, що залежить від конструкції отвору (значення наведені в таб. 4.6);

$h_{\text{Н.З.}}$ – висота нейтральної зони, m .

**Характеристика аераційних ліхтарів
та величини коефіцієнтів місцевого опору ξ отворів ліхтаря**

Тип ліхтаря	A/h	l/h	$\alpha,^\circ$	ξ
Витяжний КТИС	4	1,1	40	4,3
Припливний П – видний без вітрозахисних панелей	3,3	–	35	12,2
			70	6
Витяжний П – видний без вітрозахисних панелей	3,3	–	35	8,9
			45	5,9
			55	3,8
Витяжний П – видний з вітрозахисними панелями	3,3	1,5	35	11,5
			45	9,2
			55	7,1
			70	5,8
Витяжний П – видний з вітрозахисними панелями	3,3	2	35	9,4
			45	6,2
			55	5,1
Витяжний П – видний з стулками на вертикальній осі і без вітрозахисних панелей	7,4	–	90	2,1
	3,6			1,8
	2,8			1,4
Витяжний П – видний з стулками на вертикальній осі і з вітрозахисними панелями	7,4	1,5	90	4,2
	3,6			4,1
	2,8			3,7
Витяжний щілинний	–	–	45	4,3
			75	3
			90	2,8

Висота положення нейтральної зони, при наявності в приміщенні природного повітрообміну, визначається за формулою:

$$h_{н.з.} = \frac{h}{\left(\frac{F_{в\mu}}{F_{ВИТ}}(1-g) + \frac{F_{ПРИП}}{F_{ВИТ}} \right)^2 \frac{\gamma_{ЗОВН}}{\gamma_{ВН}} + 1}} (м), \quad (4.10)$$

де h – відстань від середини воріт до середини фрамуг аераційного ліхтаря, м;

$F_{ВИТ}$ – сумарна площа отворів в ліхтарі, $м^2$; $F_{ПРИП}$ – сумарна площа отворів у вікнах та дверях, $м^2$.

Для збільшення природної тяги за рахунок енергії вітру над витяжними каналами встановлюють дефлектори.

Широке використання знайшли дефлектори типу ЦАГИ. Розміри дефлекторів та їх продуктивність наведені в таблицях 4.6, 4.7.

Таблиця 4.6

Дефлектори круглі типу ЦАГИ

№ дефлектора	Діаметр патрубку $d_g, \text{мм}$	Площа перерізу патрубку, м^2	Розміри, мм							Розміри кутників для фланця
			D_1	D_2	D_3	A	B	B	Γ	
1	100	0,0078	126	200	170	120	100	ГО	50	
2	200	0,0314	252	400	340	240	200	140	100	30x30x4
3	300	0,0707	378	600	510	360	300	210	150	30x30x4
4	400	0,1260	504	850	670	480	400	280	150	30x30x4
5	500	0,1960	630	1000	850	680	500	350	200	30x30x4
6	600	0,2830	756	1200	1020	720	600	420	200	30x30x4
7	700	0,3850	882	1400	1190	840	700	490	200	50x50x5
8	800	0,5020	1008	1600	1360	960	800	560	250	50x50x5
9	900	0,6360	1134	1800	1530	1080	900	630	250	50x50x5

Таблиця 4.7

Продуктивність дефлекторів типу ЦАГИ ($\text{м}^3 / \text{год.}$) під дією вітру при встановленні без повітропроводів

№ дефлектора	Швидкість вітру, $\text{м} / \text{с}$				
	2	2,5	3	3,5	4
3	240	300	360	420	480
4	380	475	570	660	760
5	670	850	1000	1180	1350
6	980	1230	1470	1720	1960
7	1330	1670	2000	2300	2670
8	1740	2170	2600	3050	3470
9	2210	2760	3320	3860	4420
10	2700	3370	4040	4720	5400

РОЗРАХУНОК ПРИРОДНОЇ ВЕНТИЛЯЦІЇ

При організації природної вентиляції необхідно значну увагу звернути на вибір швидкості, площу перерізу каналів та правильне визначення гравітаційного тиску. Гравітаційний тиск визначаємо:

$$H_{ГР} = h(\gamma_{+5} - \gamma_{ВН})(\text{кг} / \text{м}^3), \quad (4.11)$$

де h – відстань по вертикалі між серединами вхідного та вихідного отворів каналів, м ;
 γ_{+5} – питома вага зовнішнього повітря, яка приймається при температурі $+5^\circ\text{C}$, $\text{кг} / \text{м}^3$;
 $\gamma_{ВН}$ – питома вага внутрішнього повітря при температурі приміщення, $\text{кг} / \text{м}^3$.

При розрахунку визначаються: кількість повітря, яке необхідно видалити з приміщення L_g ; необхідна конструкція газо-, паро-, пилоприймача; діаметр патрубка

дефлектора при врахуванні: тільки теплового напору, тільки вітрового напору, вітрового і теплового напорів.

Діаметр патрубку дефлектора ЦАГИ можна визначити за спеціальними формулами і графіками.

Діаметр дефлектора (патрубку) визначаємо за формулою:

$$d_g = 0.0188 \sqrt{\frac{L_g}{v_g}} (м), \quad (4.12)$$

де L_g – необхідна продуктивність дефлектора, $м^3 / год.$;

v_g – швидкість руху повітря в патрубку дефлектора, що створюється вітром, який обдуває дефлектор зі швидкістю $v_{ВИТ}$, (швидкість вітру приймається за кліматичними даними для відповідного населеного пункту України). Можна приймати $v_g = 0.4v_{ВИТ} (м/с)$.

При використанні тільки теплового напору (гравітаційного тиску) швидкість повітря в патрубку визначається за формулою:

$$v_g = \sqrt{\frac{16H_{ГР}}{\sum \xi + 0,61 + 0,02l/d_g}} (м/с); \quad (4.13)$$

при використанні тільки вітрового напору:

$$v_g = \sqrt{\frac{0,4v_{ВИТ}^2}{1,2 + \sum \xi + 0,02l/d_g}} (м/с); \quad (4.14)$$

при використанні теплового та вітрового напорів:

$$v_g = \sqrt{\frac{16H_{ГР} + 0,4v_{ВИТ}^2}{1,2 + \sum \xi + 0,02l/d_g}} (м/с), \quad (4.15)$$

де $H_{ГР}$ – тепловий напір, $кг/м^2$;

$v_{ВИТ}$ – швидкість вітру, $м/с$;

l – довжина патрубку або витяжного повітропроводу (шахти) по вертикалі, $м$.

$\sum \xi$ – сума коефіцієнтів місцевих опорів витяжного повітропроводу (мережі) до дефлектора, при відсутності витяжного повітропроводу $\sum \xi = 0.5$ (опір входу в патрубку дефлектора).

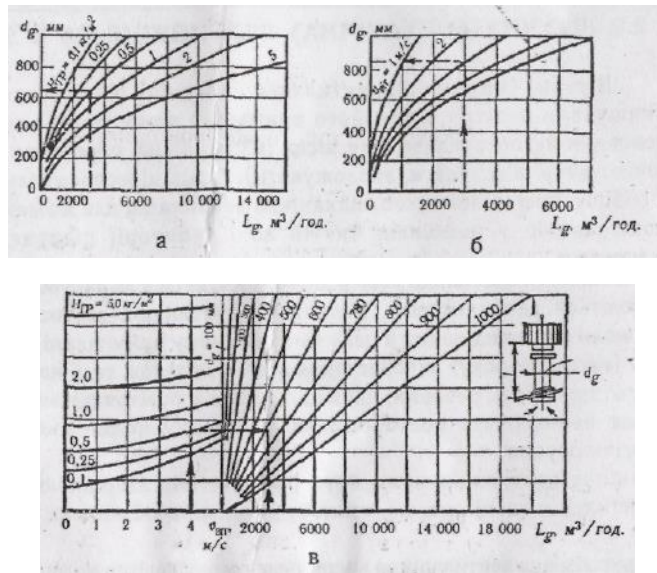


Рис. 4.3. Графіки для підбору дефлектора ЦАГИ:
 а – при врахуванні теплового напору; б – при врахуванні вітрового напору;
 в – при врахуванні теплового та вітрового напорів

Графіки на рис. 4.3 складені при $\sum \xi = 0.5$ і $l = 5$ м. При значеннях $\sum \xi > 0.5$, отримані за графіком діаметри необхідно помножити на поправочний коефіцієнт k , який приймаємо:

при $\sum \xi = 1.0 - k = 1.06$;

при $\sum \xi = 1.5 - k = 1.12$;

при $\sum \xi = 2.0 - k = 1.18$.

Приклад 1. Визначити діаметр дефлектора для видалення з приміщення повітря. Продуктивність дефлектора $L_0 = 3000 \text{ м}^3 / \text{год.}$, $H_{gp} = 0,5 \text{ кг} / \text{м}^2$, $v_{wit} = 4 \text{ м} / \text{с}$, дефлектор встановлений на даху – $\sum \xi = 0,5$ і $l = 5,0$ м.

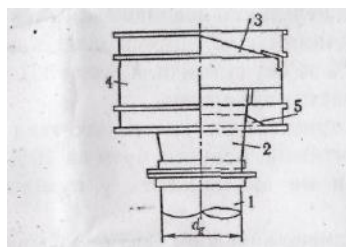


Рис. 4.4. Дефлектор ЦАГИ: 1 – патрубок (витяжна труба); 2 – дифузор;
 3 – зонтик-ковпак; 4 – циліндр; 5 – конусний щиток

Розрахунок. Враховуючи тільки тепловий тиск за графіком (рис. 4.3, а), знаходимо $d_g = 650 \text{ мм}$, приймаємо найближчий більший $d_g = 700 \text{ мм}$. Враховуючи тільки повітряний тиск за графіком (рис. 4.3, б) $d_g = 860 \text{ мм}$, приймаємо $d_g = 900 \text{ мм}$.

Враховуючи тепловий та вітровий напори за графіком (рис. 4.3, в), знаходимо $d_g = 620 \text{ мм}$, приймаємо $d_g = 700 \text{ мм}$. Хід рішення на рис. 4.3 показано пунктирними лініями.

Приклад 2. Розрахувати аерацію в однопрольотній будівлі (цеху) в теплий період року, тобто визначити площу аераційних отворів для таких даних: кількість повітря, яке повинно надходити в приміщення $G_{\text{ПРИШ}} = 38000 \text{ кг/год.}$, а яке видаляється з приміщення $G_{\text{ВИТ}} = 29000 \text{ кг/год.}$; відстань між осями отворів $h = 10 \text{ м}$; температура зовнішнього повітря $t_{\text{ЗОВН}} = 20^\circ \text{C}$, температура внутрішнього повітря $t_{\text{ВН}} = 25^\circ \text{C}$. Коефіцієнт $m = 0.41$ приймаємо згідно табл. 4.8. Конструкція стулки віконного отвору – одинарна верхньопідвісна ($h/b = 1$) з кутом відкривання отвору $\alpha = 45^\circ$ (табл. 4.3). Ліхтар Π – видний з фрамугами на вертикальній осі з вітрозахисними панелями, які знаходяться на відносній відстані $l/h = 1.5$, з кутом відкривання $\alpha = 90^\circ$ (табл. 4.5, рис. 4.5).

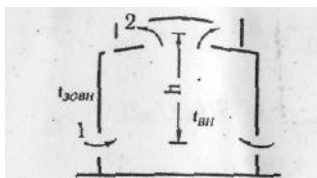


Рис. 4.5. Схема аерації однопрольотної будівлі: 1 і 2 – номери вентотворів

Розрахунок. Визначаємо температуру повітря, яке видаляється з верхньої зони приміщення за формулою:

$$t_{\text{ВИД}} = t_{\text{ЗОВН}} + \frac{t_{\text{ВН}} - t_{\text{НРЗ}}}{m} (^\circ \text{C}), \quad (4.16)$$

де $t_{\text{НРЗ}}$ – температура повітря, яка надійшла в робочу зону (в теплий період року

$$t_{\text{НРЗ}} = t_{\text{ЗОВН}});$$

m – коефіцієнт, що приймається згідно табл. 4.8 або 4.9.

$$t_{\text{ВИД}} = 20 + \frac{25 - 20}{0,41} = 32,2 (^\circ \text{C}).$$

Таблиця 4.8

**Коефіцієнт m для виробничих приміщень
за умови подачі повітря в робочу зону та видалення його з верхніх зон**

Виробничі приміщення підприємства	Коефіцієнт m
Металургійні підприємства	0,3 – 0,85
Підприємства хімічної промисловості	0,2 – 1,0
Металообробні підприємства	0,25 – 0,45
Підприємства хімічної промисловості та керамічних виробів	0,35 – 1,0
Підприємства залізобетонних виробів	0,4 – 0,65
Нафтопереробні підприємства	0,5 – 0,8
Підприємства поліграфічної промисловості	0,55 – 0,6
Підприємства харчової промисловості	0,3 – 1,0

**Коефіцієнт m для виробничих приміщень,
в яких встановлене тепловипромінююче обладнання**

f/F	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
m	0,33	0,41	0,53	0,63	0,69	0,75	0,8

Примітка. f – площа, яку займає тепловипромінююче обладнання, m^2 ; F – загальна площа виробничого приміщення, m^2 .

Визначаємо питому вагу повітря за формулою:

$$\gamma = \frac{353}{t + 273} (\text{кг} / \text{м}^3);$$

$$\gamma_{\text{зовн}} = \frac{353}{20 + 273} = 1,205 (\text{кг} / \text{м}^3);$$

$$\gamma_{\text{внд}} = \frac{353}{32,2 + 273} = 1,157 (\text{кг} / \text{м}^3).$$

Розподілений тиск визначаємо за формулою:

$$\Delta p_{1,2} = h(\gamma_{\text{зовн}} - \gamma_{\text{вн}}) = 10(1,205 - 1,157) = 0,48 (\text{кг} / \text{м}^2).$$

Втрати тиску на прохід повітря через припливні отвори можна визначити за формулою:

$$\Delta p_1 = \beta \Delta p = 0,2 \cdot 0,48 = 0,096 \text{кг} / \text{м}^2.$$

Втрати тиску на прохід повітря через ліхтар можна визначити за формулою:

$$\Delta p_2 = \Delta p_{1,2} - \Delta p_1 = 0,48 - 0,096 = 0,384 \text{кг} / \text{м}^2.$$

Визначаємо площу отворів у стіні $F_{\text{прип}}$ і площу отворів ліхтаря $F_{\text{ліхт}}$ за формулами:

$$F_{\text{прип}} = \frac{G_{\text{прип}}}{3600 \sqrt{\frac{2g\gamma_{\text{зовн}}}{\xi_1} \Delta p_1}} = \frac{38000}{3600 \sqrt{\frac{2 \cdot 9,8 \cdot 1,205}{3,7} \cdot 0,096}} = 13,5 \text{м}^2;$$

$$F_{\text{ліхт}} = \frac{G_{\text{внт}}}{3600 \sqrt{\frac{2g\gamma_{\text{внд}}}{\xi_2} \Delta p_2}} = \frac{29000}{3600 \sqrt{\frac{2 \cdot 9,8 \cdot 1,157}{4,1} \cdot 0,384}} = 5,5 \text{м}^2.$$

ЗАВДАННЯ НА ПРАКТИЧНУ РОБОТУ

Приклад 2. Розрахувати аерацію в однопрольотній будівлі (цеху) в теплий період року, тобто визначити площу аераційних отворів для таких даних: кількість повітря, яке повинно надходити в приміщення $G_{\text{прип}}$, а яке видаляється з приміщення $G_{\text{внт}}$; відстань між осями отворів $h = 10 \text{м}$; температура зовнішнього повітря $t_{\text{зовн}} \text{ } ^\circ\text{C}$,

температура внутрішнього повітря $t_{вн}$ °С. Коефіцієнт $m = 0.41$ приймаємо згідно табл. 4.8. Конструкція стулки віконного отвору – згідно варіанту ($h/b = 1$) з кутом відкривання отвору α° (табл. 4.3). Ліхтар згідно варіанту, які знаходяться на відносній відстані $l/h = 1.5$, з кутом відкривання α° (табл. 4.5, рис. 4.5).

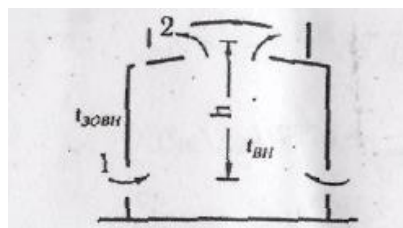


Рис. 4.5. Схема аерації однопрольотної будівлі: 1 і 2 – номери вентотворів

Варіант згідно списку в журналі.

№ з/п	G _{прип} , кг/год	G _{вит} , кг/год	t _{вн} °С	t _{зовн} °С	Стулка ($h/b = 1$); α°	Тип ліхтаря $l/h = 1.5$ α°
1	2	3	4	5	6	7
1	39000	29000	30	25	Одинарна верхньопідвісна, 15°	Витяжний П-видний з вітрозахисними панелями, 35°
2	36000	30000	29	24	Одинарна верхньопідвісна, 30°	Витяжний П-видний з вітрозахисними панелями, 45°
3	34000	32000	28	22	Одинарна верхньопідвісна, 45°	Витяжний П-видний з вітрозахисними панелями, 55°
4	40000	25000	27	25	Одинарна верхньопідвісна, 60°	Витяжний П-видний з вітрозахисними панелями, 70°
5	41000	24000	26	20	Одинарна верхньопідвісна, 90°	Витяжний П-видний з стулками на вертикальній осі і без вітрозахисних панелей, 90°
6	42000	22000	25	22	Одинарна середньопідвісна, 15°	Витяжний П-видний з вітрозахисними панелями, 35°
7	43000	21000	24	21	Одинарна середньопідвісна, 30°	Витяжний П-видний з вітрозахисними панелями, 45°
8	44000	20000	28	25	Одинарна середньопідвісна, 45°	Витяжний П-видний з вітрозахисними панелями, 55°
9	45000	19000	26	22	Одинарна середньопідвісна, 60°	Витяжний П-видний з вітрозахисними панелями, 70°

1	2	3	4	5	6	7
10	46000	18000	26	24	Одинарна середньопідвісна, 90°	Витяжний П-видний з стулками на вертикальній осі і без вітрозахисних панелей, 90°
11	38000	28000	26	23	Подвійна (обидві стулки верхньопідвісні), 15°	Витяжний П-видний з вітрозахисними панелями, 35°
12	37000	27000	27	21	Подвійна (обидві стулки верхньопідвісні), 30°	Витяжний П-видний з вітрозахисними панелями, 45°
13	36000	26000	27	22	Подвійна (обидві стулки верхньопідвісні), 45°	Витяжний П-видний з вітрозахисними панелями, 55°
14	35000	24000	27	23	Подвійна (обидві стулки верхньопідвісні), 60°	Витяжний П-видний з вітрозахисними панелями, 70°
15	34000	23000	27	24	Подвійна (обидві стулки верхньопідвісні), 90°	Витяжний П-видний з стулками на вертикальній осі і без вітрозахисних панелей, 90°
16	33000	22000	28	23	Одинарна верхньопідвісна, 15°	Витяжний П-видний з вітрозахисними панелями, 35°
17	37000	26000	28	24	Одинарна верхньопідвісна, 30°	Витяжний П-видний з вітрозахисними панелями, 45°
18	38000	27000	29	22	Одинарна верхньопідвісна, 45°	Витяжний П-видний з вітрозахисними панелями, 55°
19	39000	28000	29	23	Одинарна верхньопідвісна, 60°	Витяжний П-видний з вітрозахисними панелями, 70°
20	40000	29000	29	25	Одинарна верхньопідвісна, 90°	Витяжний П-видний з стулками на вертикальній осі і без вітрозахисних панелей, 90°

ЗМІСТ ЗВІТУ

1. Мета роботи.
2. Короткі відомості з теорії.
3. Проведений розрахунок.
4. Висновок.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Види природної вентиляції.
2. Які ви знаєте схеми організації повітрообміну при загальнообмінній вентиляції.
3. За якою формулою визначають площу припливних аераційних отворів.
4. За якою формулою визначають площу отворів ліхтаря.
5. В чому полягає суть розрахунку аерації.
6. У чому полягає розрахунок природної вентиляції.

ЛІТЕРАТУРА

1. Жидецький В.Ц., Джигирей В.С., Сторожук В.М., та ін. Практикум із охорони праці. Навчальний посібник. – 2000 – 352 с.
2. Жидецький В.Ц., Джигирей В.С., Мельников А.В., Основи охорони праці. Навчальний посібник. – Вид. 4-те, доп. – Львів, 2000. – 351 с.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 5

Тема: РОЗРАХУНОК ШТУЧНОЇ ВЕНТИЛЯЦІЇ

Мета роботи: Навчитися розраховувати штучну (механічну) вентиляцію.

Теоретичні відомості: Штучна (механічна) вентиляція, на відміну від природної, дає можливість очищувати повітря перед його викидом в атмосферу, вловлювати шкідливі речовини безпосередньо біля місць їх утворення, обробляти припливне повітря (очищувати, підігрівати, зволожувати), більш цілеспрямовано подавати повітря в робочу зону. Окрім того, механічна вентиляція дає можливість організувати повітрязабір у найбільш чистій зоні території підприємства і навіть за її межами.

При механічній вентиляції повітрообмін досягається за рахунок різниці тисків, які створюються вентилятором. Механічна вентиляція застосовується в тих випадках, коли тепловиділення в цеху (виробничому приміщенні) недостатні для постійного (протягом року) використання аерації, а також тоді, коли кількість або токсичність шкідливих речовин, які виділяються у повітря приміщення є такою, що виникає необхідність постійного повітрообміну незалежно від зовнішніх метеорологічних умов.

Механічна вентиляція може бути робочою або аварійною. В свою чергу робоча вентиляція за місцем дії може бути загальнообмінною, місцевою, комбінованою.

Згальнообмінна вентиляція за напрямком потоку повітря може бути припливна, витяжна, припливно-витяжна.

Припливна вентиляція забезпечує подачу чистого зовнішнього повітря у виробничі приміщення. Вона може використовуватись у виробничих приміщеннях зі значними тепловиділеннями і малою концентрацією шкідливих речовин. У цьому випадку видалення забрудненого повітря здійснюється через фрамуги, дефлектори, вентиляційний жолоб.

Витяжна вентиляція може застосовуватись у виробничих приміщеннях, в яких відсутні шкідливі виділення і необхідна мала кратність повітрообміну, в допоміжних та побутових приміщеннях, складах.

Припливно-витяжна вентиляція застосовується у всіх приміщеннях, коли необхідно забезпечити підвищений і надійний обмін повітря. При такому виді вентиляції у виробничих приміщеннях з малими виділеннями шкідливих речовин доцільно створювати невеликий надлишковий тиск повітря, а у суміжних з ними приміщеннях зі значними виділеннями шкідливих речовин приплив повітря повинен складати 95% об'єму витяжки. А решта 5% припливного повітря надходить із суміжних, більш чистих приміщень.

У виробничих приміщеннях, де виділяється значна кількість шкідливих газів, парів, пилу витяжка, повинна бути на 10% більшою ніж приплив, щоб шкідливі речовини не витіснялись у суміжні приміщення з меншою шкідливістю.

В системі припливно-витяжної вентиляції можливе використання не лише зовнішнього повітря, але й повітря самих приміщень після його очищення, тобто використання принципу рециркуляції. Рециркуляція здійснюється в холодний період року для економії тепла, що витрачається на підігрівання припливного зовнішнього повітря.

При використанні принципу рециркуляції необхідно дотримуватись таких вимог: кількість чистого зовнішнього повітря, що надійшло, повинно складати не менше 10% загальної кількості повітря, яке подається в приміщення; повітря, яке подається в приміщення, повинно містити шкідливих речовин 4 класу небезпеки не більше 30% ГДК цих речовин у повітрі робочої зони.

Рециркуляцію недоцільно використовувати у виробничих приміщеннях, у повітряному середовищі яких можуть бути отруйні суміші, неприємні запахи, мікроорганізми, що можуть спричинити захворювання або тоді, коли може різко збільшитись концентрація шкідливих та вибухонебезпечних парів, газів та пилу.

Системи місцевих відсмоктувачів та системи загальнообмінної витяжної вентиляції проектуються окремо.

Системи загальнообмінної припливно-витяжної вентиляції або кондиціонування повітря виробничих будівель та приміщень без природного провітрювання необхідно проектувати таким чином, щоб було не менше двох припливних і двох витяжних вентиляційних установок, які при відключенні однієї з них забезпечували б продуктивність не менше ніж на 50% необхідного повітрообміну. При проектуванні однієї припливної та однієї витяжної установки або кондиціонера необхідно передбачити установку резервних вентиляторів з електродвигунами, які автоматично вмикаються при зупинці основних вентиляторів.

Система аварійної вентиляції передбачається у виробничих приміщеннях, в яких можливе раптове надходження у повітря великої кількості шкідливих або вибухонебезпечних речовин, згідно вимог технологічної частини проекту, відомчих нормативних документів та СНиП 2.04.05-91.

Місцева вентиляція забезпечує вентиляцію безпосередньо на робочих місцях. Вона може бути припливною і витяжною.

Місцева припливна вентиляція, при якій здійснюється концентрована подача припливного повітря заданих параметрів (температури, вологості, швидкості руху), виконується у вигляді повітряних душів, повітряних та повітряно-теплових завіс.

Місцева витяжна вентиляція застосовується застосовується для вловлювання шкідливих речовин безпосередньо у місцях їх виділення. Пристрої місцевої витяжної вентиляції (місцеві відсмоктувачі) умовно можна поділити на відсмоктувачі відкритого та закритого типів.

До місцевих відсмоктувачів відкритого типу належать витяжні зонти, всмоктувальні панелі, бортові відсмоктувачі.

Витяжні зонти передбачені для вловлювання потоків шкідливих речовин, які направлені вгору.

Всмоктувальні панелі встановлюють для локалізації шкідливих виділень, які захоплюються конвективними струменями, коли більш повне укриття джерела шкідливих виділень неможливе згідно умов технологічного процесу.

Калорифери. Для підігріву повітря в системах вентиляції, кондиціонування та повітряного опалення використовують калорифери, у яких теплоносієм застосовується пара або вода. Проектують калориферні установки виходячи з мінімального числа калориферів з арматурою, яка забезпечує регулювання продуктивності за теплом.

Калорифери виготовляють двох моделей: середньої – марок КФС, КМС, КФСО та великої – марок КФБ, КМБ, КФБО, Б, КВБ.

За рухом теплоносія калорифери поділяють на одноходові (КВБ, КФС, КФБ, КФСО, КФБО, та СТД 3009 В) і на багатоходові (СТД 3010 В, КМС і КМБ). Калорифери КФСО і КФБО – ребристі, решта пластинчаті.

Калорифери середньої моделі за напрямком руху повітря мають три ряди паралельних труб, а калорифери великої моделі – чотири. Калорифери ребристі мають шахматне розташування труб, а калорифер типу СТД – плоскі труби.

Калорифери СТД розраховані на робочий тиск 8 атмосфер, а решта типів калориферів – до 6 атмосфер.

Розрахунок калориферів.

Розрахунок та підбір калориферів проводиться в такому порядку.

Визначається кількість тепла, яке йде на підігрів повітря за формулою:

$$Q = L \cdot c \cdot \gamma_{\text{пов}} (t_{\text{кін}} - t_{\text{поч}}), (\text{ккал} / \text{год.}), \quad (5.1)$$

де L – кількість повітря, яке нагрівається, $\text{м}^3/\text{год.}$;

$\gamma_{\text{пов}}$ – питома вага повітря при температурі приміщення, $\text{кг}/\text{м}^3$;

c – вагома теплоємність повітря, $\text{ккал}/\text{кг} \text{ } ^\circ\text{C}$;

$t_{\text{кін}}$ – кінцева температура нагрітого повітря, $^\circ\text{C}$;

$t_{\text{поч}}$ – початкова температура нагрітого повітря, $^\circ\text{C}$.

Необхідний живий переріз у калорифері для проходу повітря визначаємо за формулою:

$$f_{\text{поч}} = \frac{L \cdot \gamma_{\text{поч}}}{3600 \cdot v_\gamma} (\text{м}^2), \quad (5.2)$$

де v_γ – вагова швидкість повітря, $\text{кг} / \text{м}^2 \cdot \text{с}$ (приймається в межах $v_\gamma = 7 - 10 \text{ кг}/\text{м}^2 \cdot \text{с}$, а для ребристих калориферів $v_\gamma = 3 - 5 \text{ кг}/\text{м}^2 \cdot \text{с}$).

Згідно таблиць 5.1 – 5.3 вибирають калорифери за живим перерізом для проходу повітря.

Для кожної вибраної моделі калорифера розрахунок проводять окремо.

Таблиця 5.1

Калорифери сталіні пластинчаті середньої моделі КФС і КФБ

Номер калорифера	Поверхня нагріву, м ² .		Живий переріз, м ² .		
	КФС	КФБ	за повітрям	за теплоносієм	
				КФС	КФБ
1*	7,25	9,3	0,0851	0,0046	0,0061
2	9,9	12,7	0,115	0,0046	0,0061
3	13,2	16,9	0,154	0,0061	0,0082
4	16,7	21,4	0,195	0,0061	0,0082
5	20,9	26,8	0,244	0,0076	0,0102
6	25,3	32,4	0,295	0,0076	0,0102
7	30,4	38,9	0,354	0,0092	0,0122
8	35,7	45,7	0,416	0,0092	0,0122
9	41,6	53,3	0,486	0,0107	0,0143
10	47,8	61,2	0,558	0,0107	0,0143
11	54,6	69,9	0,638	0,0122	0,0163
12*	61,6	79,0	0,720	0,0122	0,0163
13*	69,3	88,8	0,810	0,0138	0,0184
14*	77,3	99,0	0,903	0,0138	0,0184

Примітка. Калорифери, які позначені зірочкою, не випускаються промисловістю.

Таблиця 5.2

Калорифери сталіні з пластинчаті з плоскими зварними трубами типу STD 3009 моделі Б, теплоносій пара та STD 3010 моделі Б, теплоносій вода

Номер калорифера	Поверхня нагріву, м ²	Живий переріз., м ²		
		За повітрям	За теплоносієм	
			3009	3010
5	20,4	0,272	0,0080	0,00134
7	29,1	0,388	0,0096	0,0016
8	34,3	0,457	0,0096	0,0016
9	40,5	0,533	0,0112	0,0014
14	74,2	0,990	0,0144	0,0024

Примітка. В калориферах STD 3010 Б5-9 значення живого перерізу для проходу теплоносія з усередині враховуючи неоднакову кількість труб в теплообміннику.

**Калорифери сталіні ребристі середньої моделі КФСО
та більшої моделі КФБО**

Номер калорифера	Поверхня нагріву м ²		Живий переріз м ²			
	КФСО	КФБО	За повітрям	За теплоносієм	За повітрям	За теплоносієм
2	9,77	13,02	0,0913	0,0061	0,091	0,0081
4	17,06	20,68	0,153	0,0084	0,143	0,0107
5	21,71	26,68	0,167	0,0107	0,182	0,0135
6	26,29	32,65	0,227	0,0107	0,222	0,0135
7	30,05	40,06	0,271	0,0122	0,271	0,0163
8	35,28	47,00	0,318	0,0122	0,318	0,0165
9	41,89	53,86	0,375	0,0145	0,375	0,0193
10	48,22	64,30	0,431	0,0145	0,431	0,0193
11	55,84	71,00	0,497	0,0168	0,475	0,0213

Таблиця 5.4

Калорифер сталіний пластинчатий багатоходовий середньої та більшої моделі типу КМС та КМБ

Номер калорифера	Поверхня нагріву, °С		Живий переріз ,м ²			Кількість					
	КМС	КМБ	За повітрям	За теплоносієм		ходів	секції	труб		Монтажних отворів	пластин
				КМС	КМБ			КМС	КМБ		
2	9,9	12,7	0,115	0,0023	0,0030	2	3	18	24	32	333
3	13,2	16,9	0,154	0,0015	0,0020	4	4	24	32	36	444
4	16,7	21,4	0,195	0,0015	0,0020	4	4	24	32	40	564
5	20,9	26,8	0,244	0,0019	0,0025	4	5	30	40	44	705
6	25,3	32,4	0,295	0,0019	0,0025	4	5	30	40	48	855
7	30,4	38,9	0,354	0,0023	0,0030	4	6	36	48	52	1025
8	35,7	45,7	0,415	0,0023	0,0030	4	6	36	48	56	1206
9	41,6	53,3	0,485	0,0018	0,0024	6	7	42	56	60	1407
10	47,8	61,2	0,558	0,0018	0,0024	6	7	42	56	64	1617
11	54,6	69,9	0,638	0,0020	0,0027	6	8	48	64	68	1848

Примітки: 1. При установці калориферів з вертикальним положенням труб у кришках калориферів повинні бути виконані отвори і встановлені коркові крани для випуску повітря та спуску води з кожного відсіку калорифера.

В зв'язку з обмеженими даними досліджень підбір калориферів КМС та КМБ тимчасово може проводитись так, як для калориферів КФС та КФБ, збільшуючи коефіцієнт теплопередачі при температурах води 95/70°С в 1,6 рази, а при 130/70°С- в 1,4 рази.

За дійсним живим перерізом калорифера $f_{пов}$ конкретної моделі уточнюється вагова швидкість повітря

$$g_{\varphi} = \frac{L * \varphi_{пов}}{3600 * f_{пов}} \quad (\text{кг/м}^3 * \text{с}). \quad (5.3)$$

Швидкість води в трубах калорифера визначається за формулою:

$$W = \frac{Q}{3600 * 1000 * f_{mp} (t_z - t_{зв})} \quad (\text{м/с}). \quad (5.4)$$

де:

f_{mp} – живий переріз труб калорифера для води, м²;

t_z – температура гарячої води, яка подається з магістралі, °С ;

$t_{зв}$ – температура зворотної води, °С;

Q – витрати тепла на підігрівання повітря, ккал/год.

Якщо встановлюється декілька калориферів, то кількість тепла приймається в залежності від схеми під'єднання калориферів до трубопроводів .При паралельному під'єднанні трубопроводів приймається відповідна частина, загальної кількості тепла, тобто Q/m (m – кількість калориферів), а при послідовному – загальні витрати тепла на нагрівання всієї кількості повітря.

Згідно табл. 5.5 – 5.13 для вибраної моделі калорифера визначаємо коефіцієнт теплопередачі та опір.

Таблиця 5.5

Коефіцієнт теплопередачі калориферів КФБ та КФС

швидкість руху теплоносія, м/с	Вагова швидкість повітря v_{γ} , кг/м ² с													
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Теплоносій вода .Модель КФС														
0,02	9,8	10,9	11,7	12,3	12,8	13,4	13,8	14,2	14,6	14,9	15,2	15,5	15,9	16,1
0,03	10,0	11,1	12,0	12,7	13,3	13,8	14,4	14,7	15,1	15,5	15,9	16,3	16,6	16,9
0,04	10,2	11,4	12,3	13,0	13,6	14,3	14,8	15,2	15,6	16,1	16,5	16,9	17,3	17,5
0,05	10,4	11,8	12,7	13,5	14,1	14,8	15,4	15,9	16,4	16,9	17,3	17,7	18,1	18,3
0,06	10,6	12,0	13,0	13,9	14,5	15,2	15,9	16,4	16,9	17,5	17,9	18,3	18,8	18,9
0,07	10,8	12,3	13,3	14,2	14,9	15,7	16,4	16,9	17,4	18,0	18,5	19,0	19,4	19,7
0,08	11,0	12,6	13,7	14,6	15,3	16,1	16,8	17,6	18,1	18,6	19,1	19,6	20,1	20,3
0,09	11,2	12,8	14,0	14,9	15,7	16,6	17,3	18,1	18,6	19,1	19,7	20,2	20,7	21,0
0,10	11,4	13,1	14,3	15,3	16,1	17,0	17,8	18,6	19,1	19,7	20,2	20,8	21,4	21,7
0,20	12,6	14,7	16,4	17,6	18,7	19,9	20,9	21,7	22,5	23,3	24,0	24,9	25,6	26,1
0,30	13,2	15,5	17,3	18,7	19,8	21,2	22,2	23,2	24,0	24,9	25,7	26,7	27,4	28,0
0,40	13,5	16,0	17,8	19,5	20,6	22,1	23,2	24,2	25,1	26,0	26,9	28,0	28,7	29,4
0,50	13,7	16,2	18,1	19,8	21,0	22,4	23,7	25,0	26,0	27,0	28,0	29,0	29,8	30,6
0,60	13,8	16,4	18,4	20,1	21,5	22,9	24,2	25,4	26,6	27,7	28,8	29,8	30,5	31,3
0,80	14,0	16,6	18,8	20,6	22,1	23,5	25,0	26,1	27,4	28,2	29,7	30,5	31,6	32,3

Модель КФБ														
0,02	9.4	10.4	11.3	12.0	12.6	13.2	13.7	14.2	14.6	15.0	15.4	15.7	16.0	16.4
0,03	9.6	10.6	11.6	12.4	13.1	13.7	14.3	14.8	15.2	15.6	16.1	16.5	16.9	17.2
0,04	9.7	10.9	11.9	12.7	13.4	14.0	14.7	15.1	15.6	16.1	16.6	17.0	17.5	17.9
0,05	9.8	11.2	12.2	13.1	13.8	14.5	15.1	15.6	16.2	16.7	17.2	17.5	18.1	18.5
0,06	9.9	11.4	12.5	13.4	14.2	14.9	15.5	16.1	16.7	17.2	17.8	18.1	18.8	19.1
0,07	10.1	11.6	12.8	13.7	14.5	15.3	16.0	16.5	17.2	17.8	18.4	18.7	19.4	19.8
0,08	10.2	11.8	13.0	14.1	14.9	15.7	16.5	17.0	17.7	18.3	19.0	19.4	20.1	20.5
0,09	10.4	12.1	13.3	14.4	15.3	16.1	16.9	17.5	18.2	18.9	19.6	20.0	20.7	21.2
0,10	10.5	12.3	13.6	14.7	15.6	16.5	17.3	18.0	18.8	19.4	20.2	20.6	21.4	21.8
0,20	11.5	13.7	15.2	16.8	18.0	19.1	20.3	21.1	22.1	23.0	24.0	24.6	25.6	26.1
0,30	11.9	14.3	16.2	17.7	19.1	20.3	21.5	22.5	23.6	24.5	25.7	26.4	27.4	28.0
0,40	12.2	14.8	16.6	18.3	19.8	21.1	22.2	23.4	24.6	25.6	26.9	27.6	28.7	29.3
0,50	12.4	15.0	17.0	18.8	20.1	21.7	22.9	24.1	25.4	26.5	27.6	28.5	29.7	30.4
0,60	12.5	15.1	17.1	19.0	20.3	21.9	23.1	24.5	25.7	26.8	27.9	28.9	29.9	30.9
0,80	12.6	15.2	17.4	19.3	20.8	22.2	23.8	25.1	26.4	27.4	28.8	29.9	30.8	31.9
Теплоносій пара .Модель КФС														
	15,6	18,2	20,1	21,8	23,3	24,8	25,9	27,4	28,1	29,4	30,0	31,0	31,8	32,6
Модель КФБ														
	13,4	15,7	17,9	19,5	21,2	22,5	24,0	25,2	26,3	27,3	28,4	29,6	30,3	31,3

Таблиця 5.6

Швидкість руху теплоносія, м/с	Вагова швидкість повітря ν , кг/м ² с														
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
0,02	13,2	14,9	16,4	17,6	18,6	19,4	20,2	20,8	21,5	22,2	22,8	23,5	24,0	24,6	25,1
0,03	13,5	15,4	17,0	18,8	19,4	20,3	21,1	21,9	22,7	23,4	24,2	24,9	25,4	26,0	26,4
0,04	13,8	15,9	17,6	19,0	20,1	21,1	22,1	22,9	23,8	24,6	25,4	26,1	26,8	27,4	28,0
0,05	14,2	16,4	18,2	19,6	20,8	21,9	23,0	24,0	24,9	25,7	26,6	27,3	28,1	28,8	29,4
0,06	14,6	17,0	18,8	20,3	21,6	22,8	24,0	25,0	26,0	26,8	27,8	28,6	29,4	30,1	30,8
0,07	15,0	17,5	19,3	20,9	22,4	23,7	24,9	25,8	27,0	27,9	29,0	29,8	30,6	31,4	32,2
0,08	15,3	17,8	19,8	21,5	23,0	24,5	25,7	26,8	27,9	28,9	30,1	30,9	31,8	32,7	33,5
0,09	15,5	18,2	20,3	22,1	23,7	25,2	26,5	27,7	29,0	29,9	31,1	32,1	33,0	33,9	34,8
0,10	15,9	18,7	20,8	22,7	24,4	25,9	27,3	28,5	29,8	30,8	32,0	33,1	34,0	35,0	35,7
0,12	16,4	19,3	21,6	23,6	25,5	27,0	28,5	29,8	31,1	32,3	33,5	34,6	35,6	36,6	37,6
0,14	17,0	20,0	22,3	24,5	26,4	28,1	29,6	31,0	32,4	33,6	34,9	36,0	37,0	38,1	39,1
0,16	17,3	20,4	22,9	25,2	27,1	28,9	30,4	32,0	33,5	34,8	36,1	37,3	38,4	39,5	40,6
0,18	17,6	20,7	23,4	25,7	27,8	29,6	31,4	32,9	34,4	35,7	37,2	38,4	39,6	40,8	41,9
0,20	17,7	21,1	23,8	26,2	28,4	30,3	32,2	33,8	35,3	36,7	38,3	39,5	40,7	42,0	43,1
0,25	17,9	21,4	24,6	27,2	29,5	31,7	33,6	35,4	37,2	38,8	40,4	42,0	43,4	44,7	46,2
0,30	18,3	22,0	25,3	28,0	30,5	32,0	35,0	36,9	38,8	40,5	42,3	43,9	45,5	47,1	48,4
0,35	18,5	22,5	25,8	28,8	31,4	33,8	35,9	38,1	40,1	42,0	44,0	45,6	47,4	49,0	50,5
0,40	18,7	22,8	26,2	29,4	32,2	34,7	37,0	39,2	41,4	43,3	45,3	47,2	48,9	50,5	52,2
0,50	18,9	23,2	26,8	30,0	33,0	35,6	38,1	40,3	42,7	44,7	47,0	48,9	50,8	52,6	54,3
0,60	19,0	23,5	27,2	30,6	33,6	36,4	39,0	41,4	43,9	46,1	48,4	50,3	52,3	54,2	56,0
0,80	19,1	23,8	27,7	31,3	34,5	37,4	40,0	42,7	45,2	47,7	50,0	52,2	54,2	56,3	58,3
1,00	19,2	24,0	28,0	31,6	35,0	38,0	40,7	43,5	46,3	48,6	51,2	53,4	55,4	57,7	59,8

Модель КФБО															
0,02	12,7	14,3	15,7	16,8	17,6	18,7	19,4	20,1	20,6	21,2	21,8	22,3	22,9	23,5	23,9
0,03	12,9	14,7	16,2	17,4	18,5	19,4	20,2	20,9	21,6	22,3	23,0	23,6	24,2	24,8	25,3
0,04	13,1	15,0	16,7	18,0	19,2	20,1	21,0	21,8	22,6	23,4	24,2	24,9	25,5	26,1	26,2
0,05	13,3	15,4	17,2	18,6	19,8	20,8	21,8	22,7	23,6	24,5	25,3	26,1	26,8	27,4	28,1
0,06	13,6	15,7	17,6	19,2	20,4	21,5	22,6	23,6	24,6	25,5	26,4	27,2	28,0	28,6	29,0
0,07	13,8	16,2	18,1	19,7	21,0	22,2	23,4	24,5	25,5	26,5	27,5	28,3	29,2	29,8	30,6
0,08	14,1	16,6	18,6	20,2	21,6	22,9	24,2	25,4	26,4	27,4	28,5	29,4	30,1	31,0	31,8
0,09	14,4	17,0	19,1	20,7	22,2	23,6	25,0	26,2	27,3	28,3	29,4	30,4	31,3	32,1	32,9
0,10	14,7	17,3	19,5	21,2	22,8	24,3	25,7	27,0	28,2	29,2	30,3	31,3	32,3	33,1	34,0
0,12	15,1	17,9	20,1	21,9	23,7	25,3	26,7	28,0	29,3	30,5	31,6	32,7	33,8	34,6	35,6
0,14	15,5	18,4	20,7	22,6	24,6	26,2	27,6	29,1	30,4	31,7	32,9	34,1	35,2	36,0	37,1
0,16	15,8	18,9	21,2	23,3	25,3	27,0	28,5	29,9	31,4	32,8	34,0	35,2	36,4	37,6	38,4
0,18	16,0	19,2	21,6	23,9	25,9	27,7	29,3	30,8	32,3	33,8	35,0	36,3	37,5	38,5	39,7
0,20	16,2	19,5	22,0	24,4	26,4	28,3	30,0	31,6	33,3	34,8	36,1	37,4	38,6	39,6	40,8
0,25	16,5	19,9	22,6	25,2	27,4	29,5	31,4	33,2	34,8	36,3	38,0	39,5	40,8	42,1	43,3
0,30	16,7	20,2	23,3	25,9	28,3	30,5	32,6	34,7	36,5	38,1	39,8	41,5	42,9	44,3	45,7
0,35	16,9	20,5	23,7	26,5	29,0	31,4	33,5	35,5	37,6	39,3	41,1	42,8	44,4	46,0	47,7
0,40	17,0	20,8	24,1	27,0	29,6	32,1	34,3	36,3	38,4	40,4	42,0	44,0	45,7	47,4	48,3
0,50	17,1	21,1	24,6	27,6	30,4	33,0	35,3	37,6	39,7	41,8	43,7	45,9	47,3	49,3	50,5
0,60	17,2	21,3	25,0	28,1	31,0	33,6	36,1	38,5	40,8	42,9	44,9	47,2	48,6	50,8	52,3
0,80	17,3	21,5	25,4	28,6	31,7	34,5	37,2	39,6	42,0	44,1	46,6	48,9	50,4	52,7	54,4
1,00	17,4	21,8	25,7	29,0	32,3	35,1	37,9	40,3	42,9	45,1	47,7	50,0	51,7	54,0	55,9

Теплоносій пара .Модель КФСО															
–	21,6	25,8	29,3	32,4	35,0	37,5	39,7	41,8	43,8	45,7	47,5	49,2	50,9	52,5	54,0
Модель КФБО															
–	19,5	23,4	26,7	29,6	32,1	34,5	38,7	39,6	40,6	42,4	44,1	45,7	47,3	48,9	50,4

Таблиця 5.7

Коефіцієнт теплопередачі* та опір калориферів типу STD моделі Б

швид- кість руху тепло- носія, м/с	Вагова швидкість повітря v_{γ} кг/м ² ·с															
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
Теплоносій пара Модель STD 3009 В																
–	18,8	21,4	23,5	25,2	26,8	28,2	29,5	30,6	31,7	32,5	33,4	34,3	35,2	35,9	36,7	

Теплоносій вода Модель STD 3010 В																
0,02	11,9	13,2	14,2	14,9	15,5	16,3	16,8	17,4	17,7	18,1	18,6	18,9	19,3	19,6	20,0	
0,03	12,1	13,4	14,5	15,3	16,1	16,8	17,4	17,9	18,4	18,8	19,3	19,7	20,0	20,4	20,8	
0,04	12,3	13,7	14,8	15,7	16,5	17,3	17,9	18,4	19,0	19,4	20,0	20,4	20,7	21,2	21,5	
0,05	12,5	14,0	15,2	16,1	17,0	17,7	18,4	19,0	19,6	20,0	20,6	21,0	21,5	21,9	22,3	
0,06	12,8	14,4	15,6	16,6	17,5	18,3	19,0	19,7	20,2	20,8	21,4	21,8	22,4	22,8	23,1	
0,07	13,0	14,7	16,0	17,0	18,0	18,9	19,6	20,3	20,9	21,4	22,0	22,5	23,0	23,4	23,9	
0,08	13,2	14,9	16,4	17,6	18,5	19,4	20,2	20,9	21,6	22,1	22,7	23,3	23,7	24,2	24,7	
0,09	13,4	15,2	16,7	17,7	18,9	19,9	20,7	21,4	22,1	22,7	23,4	23,9	24,4	24,9	25,4	
0,10	13,6	15,5	17,0	18,1	19,3	20,3	21,0	21,9	22,6	23,2	24,0	24,6	25,0	25,6	26,1	
0,12	14,0	15,9	17,6	18,8	20,0	21,1	22,0	22,8	23,7	24,4	25,0	25,7	26,3	26,9	27,4	
0,14	14,3	16,3	18,0	19,4	20,6	21,8	22,8	23,6	24,4	25,1	26,0	26,6	27,3	27,9	28,5	
0,16	14,6	16,7	18,5	19,9	21,3	22,4	23,4	24,3	25,1	26,0	26,7	27,4	28,1	28,8	29,5	
0,18	14,8	17,0	18,9	20,4	21,7	22,9	23,9	24,9	26,0	26,6	27,4	28,2	29,0	29,6	30,3	
0,20	15,0	17,3	19,2	20,7	22,0	23,3	24,4	25,4	26,3	27,2	28,1	28,9	29,6	30,3	30,9	
0,25	15,4	17,8	19,7	21,3	22,7	24,0	25,1	26,3	27,2	28,0	28,9	29,7	30,4	31,1	32,0	
0,30	15,7	18,2	20,2	21,8	23,3	24,6	25,8	26,9	28,0	28,9	29,7	30,6	31,2	32,2	32,9	
0,35	16,0	18,5	20,5	22,2	23,7	25,1	26,2	27,4	28,5	29,4	30,2	31,1	31,9	32,7	33,6	
0,40	16,2	18,7	20,7	22,4	24,0	25,4	26,7	27,8	28,9	29,8	30,8	31,7	32,6	33,3	34,2	
0,50	16,3	18,9	21,0	22,8	24,4	25,9	27,1	28,3	29,4	30,4	31,5	32,5	33,5	34,4	35,2	
0,60	16,4	19,1	21,3	23,1	24,8	26,4	27,6	28,9	30,0	31,0	32,0	33,0	34,0	34,9	35,8	
0,80	16,5	19,3	21,6	23,4	25,1	26,8	28,1	29,4	30,7	31,7	32,7	33,8	34,8	35,7	36,7	
1,00	16,6	19,4	21,8	23,8	25,4	27,2	28,6	29,9	31,1	32,3	33,4	34,5	35,5	36,4	37,4	
Опір калориферів STD 3009В та STD 3010 В руху повітря, кг/м ²																
	0,5	1,0	1,7	2,5	3,5	4,5	5,7	7,0	8,4	9,9	11, 7	13, 5	15, 4	17, 0	18,9	

**Коефіцієнти теплопередачі калориферів КМС при обігріві водою,
ккал/м² год. °С**

Швидкість руху теплоносія, м/с	Вагова швидкість повітря ν_γ , кг/м ² ·с							
	2	4	6	8	10	12	14	16
0,25	16,7	20,8	23,5	25,8	27,8	29,4	30,8	32,1
0,30	17,2	21,3	24,4	26,7	28,8	30,4	32,0	33,5
0,40	17,5	22,1	25,4	28,1	30,3	32,4	34,2	35,7
0,50	17,8	22,8	26,3	29,2	31,6	33,8	35,7	37,1
0,60	18,2	23,4	27,0	29,9	32,5	34,8	36,6	38,2
0,80	18,5	23,9	27,7	30,8	33,5	35,8	37,9	39,4
1,00	18,9	24,4	28,3	31,5	34,3	36,6	38,8	40,3

Примітки:

1. Згідно з матеріалами МИСИ та ВНИИГС.

2. Опір калориферів КМС та КМБ руху повітря може бути прийнятий згідно табл. 5.9.

* Згідно з матеріалами МИСИ, ВНИИГС та Сантехпроекту.

Опір* калориферів КФС та КФБ руху повітря H , кг/м²

Вагова швидкість повітря ν_γ , кг/м ² ·с	Модель		Вагова швидкість повітря ν_γ , кг/м ² ·с	Модель		Вагова швидкість повітря ν_γ , кг/м ² ·с	Модель	
	КФС	КФБ		КФС	КФБ		КФС	КФБ
2	0,4	0,6	7	3,8	5,0	12	9,7	12,7
3	0,9	1,2	8	4,8	6,2	13	11,1	14,6
4	1,4	1,9	9	5,8	7,7	14	12,8	16,3
5	2,1	2,8	10	7,0	9,2	15	14,4	18,2
6	2,9	3,8	11	8,3	10,8			

Опір* калориферів КФС та КФБ руху води h , кг/м²

Модель	Швидкість води в трубах W , м/с						
	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35
КФС	6,5	29,0	61,0	104,5	156,0	218,0	288,0
КФБ	4,3	17,0	37,0	66,0	106,0	146,6	198,0

Таблиця 5.11

Опір* калориферів КФБО та КФСО руху повітря H , $кг/м^2$

Вагова швидкість повітря v_γ , $кг/м^2 \cdot с$	Модель		Вагова швидкість повітря v_γ , $кг/м^2 \cdot с$	Модель		Вагова швидкість повітря v_γ , $кг/м^2 \cdot с$	Модель	
	КФБО	КФСО		КФБО	КФСО		КФБО	КФСО
2	1,7	1,4	7	19,4	16,8	12	55,2	49,5
3	3,7	3,1	8	24,9	21,9	13	64,0	58,2
4	6,6	5,4	9	31,4	27,5	14	73,5	66,8
5	10,1	8,5	10	38,8	34,2	15	84,5	77,5
6	14,3	11,6	11	46,1	41,2	16	96,0	88,2

Таблиця 5.12

Опір* калориферів КФБО та КФСО руху води h , $кг/м^2$

Модель	Швидкість води в трубах W , $м/с$						
	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35
КФБО	4,3	17,0	37,0	66,0	106,0	146,0	198,0
КФСО	2,5	29,0	61,0	104,5	156,0	218,0	288,0

*Згідно з матеріалами МІСИ, ВНІІГС та Сантехпроекту.

Таблиця 5.13

Опір калориферів КМБ та КМС за водою h , $кг/м^2$

Номер калорифера	Середній живий переріз труб для теплоносія, $м^2$		Середня швидкість води W_{cp} , $м/с$							
	КМС	КМБ	0,01	0,035	0,05	0,10	0,20	0,50	0,80	1,0
2	0,0023	0,0030	0,144	1,10	2,45	9,45	37,2	233	595	930
3	0,0015	0,0020	0,144	1,16	2,67	10,38	40,4	252	645	1010
4	0,0015	0,0020	0,160	1,23	2,87	11,10	42,8	267	682	1070
5	0,0019	0,0025	0,168	1,49	3,10	12,00	46,1	288	737	1155
			(0,173)	(1,56)	(3,25)	(12,60)	(48,5)	(304)	(775)	(1215)
6	0,0019	0,0025	0,184	1,59	3,33	12,85	49,2	307	786	1230
			(0,189)	(1,66)	(3,48)	(13,40)	(51,2)	(231)	(820)	(1285)
7	0,0023	0,0030	0,172	1,24	2,96	14,40	43,4	271	682	1085
			(0,176)	(1,28)	(3,03)	(11,70)	(44,8)	(280)	(715)	(1120)
8	0,0023	0,0030	0,190	1,30	3,18	18,10	46,1	283	737	1155
			(0,193)	(1,33)	(3,25)	(12,40)	(47,3)	(296)	(756)	(1185)
9	0,0018	0,0024	0,305	2,59	5,32	20,00	78,0	487	1285	1950
10	0,0018	0,0024	0,334	2,70	5,62	21,10	82,4	515	1317	2060
11	0,0020	0,0027	0,328	2,50	5,45	20,60	79,2	495	1267	1980

Примітки: 1. Значення опору калорифера КМБ, які відрізняються від значень для калориферів КМС, подані в дужках.

2. Згідно з матеріалами НІІСТ та Сантехпроекту.

Тепловіддачу калорифера перевіряємо за формулою:

$$Q_k = F_k \cdot K(T_{CP} - t_{CP}) \text{ (ккал/год.)}, \quad (5.5)$$

де F_k – поверхня нагріву калорифера, m^2 (приймаємо в залежності від типу вибраного калорифера);

K – коефіцієнт теплопередачі, $ккал/м^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ (табл. 5.5 – 5.8);

T_{CP} – середня температура теплоносія, $^\circ\text{C}$;

t_{CP} – середня температура повітря, яке проходить через калорифер, $^\circ\text{C}$.

$$t_{CP} = \frac{t_{ПОВ} + t_K}{2} \text{ (} ^\circ\text{C)}, \quad (5.6)$$

де $t_{ПОВ}$ і t_K – температура повітря до та після калорифера, $^\circ\text{C}$.

Для води

$$T_{CP} = \frac{t_{Г} + t_{ЗЛ}}{2} \text{ (} ^\circ\text{C)}. \quad (5.7)$$

При насиченій парі тиском до 0,3 атм. $T_{CP} = 100 \text{ } ^\circ\text{C}$, а при тиску більше 0,3 атм. Згідно табл. 5.14 приймаємо температуру пари за значеннями його тиску ($T_{CP} = t_{ПАРИ}$).

Визначаємо загальне число калориферів, які необхідно встановити:

$$n = \frac{F_y}{F_k}, \quad (5.8)$$

де F_k – площа поверхні нагріву одного калорифера вибраної моделі, m^2 ;

F_y – площа поверхні нагріву калориферів установки, m^2 .

Таблиця 5.14

Параметри насиченої пари (за М.П. Вукаловичем)

Тиск абсолютний $p_{АБС}, \text{ кг/см}^2$	Температура насичення $t_{НАС}, \text{ } ^\circ\text{C}$	Питомий об'єм пари $V''_{ПАРИ}, \text{ м}^3/\text{кг}$	Питома вага пари $\gamma''_{ПАРИ}, \text{ кг/м}^3$	Тепловміст $c'', \text{ ккал/кг}$	Теплота випаровування $r, \text{ ккал/кг}$
0,10	45,45	14,950	0,06689	617,0	571,6
0,20	59,67	7,789	0,1284	623,1	563,4
0,30	68,68	5,324	0,1878	626,8	558,1
0,40	75,42	4,066	0,2459	629,5	554,1
0,50	80,86	3,299	0,3031	631,6	550,7
0,60	85,45	2,782	0,3595	633,5	548,0
0,70	89,45	2,408	0,4153	635,1	545,6
0,80	92,99	2,125	0,4706	636,4	543,3
0,90	96,18	1,903	0,5255	637,6	541,3
1,0	99,09	1,725	0,5797	638,8	539,6
1,1	101,76	1,578	0,6337	639,8	537,9

1,2	104,25	1,455	0,6873	640,7	536,3
1,3	106,56	1,350	0,7407	641,6	534,9
1,4	108,74	1,259	0,7943	642,3	533,4
1,5	110,79	1,1810	0,8467	643,1	532,1
1,6	112,73	1,1110	0,9001	643,8	530,8
1,7	114,57	1,0500	0,9524	644,5	529,7
2,0	119,62	0,9018	1,109	643,3	526,4
2,5	126,79	0,7318	1,367	648,7	521,5
3,0	132,88	0,6169	1,621	650,7	517,3
3,5	138,19	0,5338	1,873	652,4	513,5
4,0	142,92	0,4709	2,124	653,9	510,2
4,5	147,20	0,4215	2,373	655,2	507,1
5,0	151,11	0,3817	2,620	656,3	504,2
6,0	158,06	0,3214	3,111	658,3	498,9
7,0	164,17	0,2778	3,600	659,9	494,2
8,0	169,61	0,2448	4,085	661,2	489,8
9,0	174,53	0,2189	4,568	662,3	485,8
10,0	179,04	0,1980	5,051	663,3	482,1
11,0	183,20	0,1808	5,531	664,1	478,4
12,0	187,08	0,1663	6,013	664,9	475,1
13,0	190,71	0,1540	6,494	665,6	472,0
14,0	194,13	0,1434	6,974	666,2	468,9
15,0	167,36	0,1342	7,452	666,7	465,9

Розрахунок калориферних установок.

Приклад 1. Підібрати калориферну установку для підігріву припливного повітря, що складається із калориферів типу КФБ: кількість повітря, яке підігрівається $G = 15640$ кг/год.; початкова температура повітря $t_{Поч} = -14^{\circ}\text{C}$, кінцева температура повітря $t_{Кін} = 20^{\circ}\text{C}$, теплоносій – вода з параметрами $t_{Г} = 130^{\circ}\text{C}$, $t_{ЗВ} = 60^{\circ}\text{C}$.

Розрахунок.

Визначаємо витрати тепла на нагрів повітря за формулою:

$$Q = G \cdot 0,24 \cdot (t_{Кін} - t_{Поч}) = 15640 \cdot 0,24 \cdot (20 + 14) = 127623 \text{ ккал/год.}$$

Приймаємо, що вагова швидкість повітря $\nu_{\gamma} = 8$ кг/м² с для пластинчатих калориферів, живий переріз калориферної установки за повітрям визначаємо за формулою:

$$f_{ПОВ} = \frac{G}{3600 \cdot \nu_{\gamma}} = \frac{15640}{3600 \cdot 8} = 0,55 \text{ м}^2.$$

Згідно табл. 5.1 вибираємо калорифер КФБ-10 з живим перерізом за повітрям $f_{ПОВ} = 0,558 \text{ м}^2$.

Паралельна установка за повітрям двох калориферів утворює переріз:

$$f_{ПОВ} = n \cdot 0,558 = 2 \cdot 0,558 = 1,116 \text{ м}^2.$$

Визначаємо вагову швидкість повітря для прийнятої установки калориферів за формулою:

$$v_{\gamma} = \frac{G}{3600 \cdot 2 \cdot f_{\text{ПОВ}}} = \frac{15640}{3600 \cdot 2 \cdot 0,558} = 3,9 \text{ кг м}^2 \text{ с.}$$

Визначаємо швидкість руху води в трубах калориферів, пропускаючи воду послідовно через кожен з них:

$$W = \frac{Q}{3600 \cdot 1000 \cdot f_{\text{ТР}} (t_{\Gamma} - t_{\text{ЗВ}})} = \frac{127623}{3600 \cdot 1000 \cdot 0,0143 \cdot (130 - 60)} = 0,035 \text{ м/с,}$$

де $f_{\text{ТР}} = 0,0143 \text{ м}^2$ – живий переріз проходу води для калорифера КФБ-10 (табл. 5.1).

Визначаємо коефіцієнт теплопередачі калориферів – інтерполяцію значень (табл. 5.5)

$$K = 14,7 \text{ ккал/год} \cdot \text{м}^2 \text{ }^{\circ}\text{С.}$$

Визначаємо необхідну поверхню нагріву калориферів установки:

$$F_y = \frac{Q}{K \left[\left(\frac{t_{\Gamma} - t_{\text{ЗВ}}}{2} \right) - \left(\frac{t_{\text{ПОЧ}} - t_{\text{КІН}}}{2} \right) \right]} = \frac{127623}{14,7 \left[\left(\frac{130 - 60}{2} \right) - \left(\frac{-14 - 20}{2} \right) \right]} = 167 \text{ м}^2.$$

Визначаємо загальну кількість калориферів КФБ-10:

$$n = \frac{F_y}{F_k} = \frac{167}{61,2} = 2,7 \approx 3,$$

де F_k – поверхня нагріву одного калорифера КФБ-10 (табл. 5.1).

Необхідно встановити три калорифери КФБ-10

ЗАВДАННЯ НА ПРАКТИЧНУ РОБОТУ

Підібрати калориферну установку для підігріву припливного повітря, що складається із калориферів типів КФБ, КФС, кількість повітря, яке підігрівається $G \text{ кг/год.}$; початкова температура повітря $t_{\text{ПОЧ}} \text{ }^{\circ}\text{С}$, кінцева температура повітря $t_{\text{КІН}} \text{ }^{\circ}\text{С}$, теплоносій – вода з параметрами $t_{\Gamma} \text{ }^{\circ}\text{С}$, $t_{\text{ЗВ}} \text{ }^{\circ}\text{С}$.

Варіант згідно списку в журналі.

№ п\п	G кг / год	t _{поч} °C	t _{кін} °C	t _г	t _{зв.}	Типи калориферів
1	15840	-14	26	150	70	КФБ
2	14640	-16	22	120	60	КФС
3	12680	-12	21	160	70	КФБ
4	13680	-14	24	140	60	КФС
5	12980	-14	22	110	50	КФБ
6	15 680	-16	25	130	70	КФС
7	13680	-12	28	170	80	КФБ
8	12600	-14	24	160	80	КФС
9	14640	-14	27	150	80	КФБ
10	12880	-16	28	150	90	КФС
11	15 940	-12	26	140	70	КФБ
12	12480	-14	24	140	80	КФС
13	12860	-14	21	130	80	КФБ
14	16400	-16	29	130	70	КФС
15	13680	-12	25	130	50	КФБ
16	16400	-14	23	120	70	КФС
17	14640	-12	20	170	90	КФБ
18	13680	-16	23	170	70	КФС
19	12480	-12	23	120	50	КФБ
20	15 740	-13	24	180	90	КФС

ЗМІСТ ЗВІТУ

1. Мета роботи.
2. Короткі відомості з теорії.
3. Проведений розрахунок.
4. Висновок.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Види механічної вентиляції.
2. Види робочої вентиляції за місцем дії.
3. Види загальнообмінної вентиляції за напрямком потоку повітря.
4. Використання аварійної вентиляції.
5. Види місцевої вентиляції.
6. Порядок розрахунку калориферної установки.

ЛІТЕРАТУРА

1. Виноградов Б.В. Безопасность труда и производственная санитария в машиностроении: Сборник расчетов. – М., 1963. – 264 с.
2. Жидецкий В.Ц., Джигирей В.С., Мельников О.В. Основы охраны праці. Навчальний посібник. – Вид. 4-те, доп. – Львів, 2000. – 350 с.
3. СНиП 2.04.05-91. Отопление, вентиляция и кондиционирование.
4. Справочник по теплоснабжению и вентиляции. Вентиляция и кондиционирование воздуха / Щекин Р.В., Корневский С.М., Бем Г.Е., Артюшенко М.А., Скороходько Ф.Н. – К., 1968. – 286 с.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 6

Тема: РОЗРАХУНОК ІНТЕНСИВНОСТІ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ НА РОБОЧОМУ МІСЦІ

Мета роботи: навчитися здійснювати попередній розрахунок інтенсивності опромінення електромагнітного поля та передбачити використання засобів захисту від випромінювань.

Теоретичні відомості: Залежно від особливостей опромінення людей, місця розташування та технічних характеристик високовольтних ліній і відкритих розподільних пристроїв застосовують наступні методи захисту від електричних полів: захист часом або відстанню; вибір оптимальних геометричних параметрів високовольтних ліній та відкритих розподільних пристроїв, застосування заземлених тросів, стаціонарних пересувних екранувальних пристроїв, екранувального одягу.

Захист часом передбачає скорочення часу перебування людини в електричному полі промислової частоти, якщо напруженість поля перевищує 5 В/м (табл. 6.2).

Захист відстанню. Оскільки напруженість електричного поля промислової частоти зменшується при збільшенні віддалі від джерела поля, то існують такі віддалі, на яких напруженість поля не перевищує допустимого значення.

Правила техніки безпеки при експлуатації електроустановок в окремих випадках передбачають поєднання захисту часом і відстанню одночасно.

Допускається працювати на землі в зоні впливу електричного поля на робочих місцях у наступних випадках:

- біля високовольтних ліній 400 – 500 кВ без обмеження часу в межах 20 м від осі опори будь-якого типу і не більше 90 хв. у випадку виконання робіт у прольоті;
- біля високовольтних ліній 750 кВ не більше 180 хв. в межах 30 м від осі проміжної опори і не більше 10 хв. при виконанні робіт в прольоті або поблизу анкерної або кутової опори.

Для захисту від електричних полів надвисокої напруги (50 Гц) необхідно збільшувати висоту підвішування фазових проводів ліній електропередач.

З метою захисту населення від впливу електричного поля високовольтних ліній передбачаються санітарно-захисні зони. Встановлено наступні значення гранично допустимих рівнів (ГДР) напруженості електричного поля: всередині житлових будинків – 0,5 кВ/м; на території зони житлової забудови – 1 кВ/м; в населеній місцевості (міста, селища, села, території городів та садів) – 5 кВ/м; на ділянках перетину високовольтних ліній з автомобільними дорогами I-IV категорій – 10 кВ/м; в населеній місцевості (включаючи с/г угіддя) – 15 кВ/м; у важкодоступній місцевості – 20 кВ/м.

Території санітарно-захисних зон розташовуються вздовж трас повітряних ліній електропередач по обидва їх боки. Розміри цієї території визначаються від проєкцій на землю крайнього струмонесучого дроту до відстаней, на яких забезпечується гранично допустимий рівень поля, встановлений діючими санітарними нормами.

Для повітряних ліній електропередачі напругою 330 кВ встановлюється межа санітарно – захисної зони в одну сторону 20 м, для 500 кВ – 30 м, для 750 кВ – 40 м, для 1150 кВ – 55 м.

В межах санітарно-захисних зон повітряних ліній електропередач забороняється розміщувати житлові і громадські будівлі, дачні ділянки та інші місця перебування людей, майданчики для стоянки та зупинки всіх видів транспорту, підприємства з обслуговування автомобілів, а також сховища нафти та нафтопродуктів.

При проектуванні в санітарно-захисних зонах с/г угідь вирощування винограду, хмелю з метою запобігання впливу електричного поля на с/г працівників необхідно встановлювати шпалерну проводку для підвіски винограду і хмелю перпендикулярно до осі повітряних ліній електропередач.

Відстань від осі повітряних ліній електропередач, що проектуються до мережі населених пунктів не повинна бути меншою 250 м для повітряних ліній електропередач напругою 750 кВ і 300 м – для повітряних ліній електропередач напругою 1150 кВ. На ділянках стисненої траси повітряної лінії електропередач 750 – 1150 кВ (ущелини, насипи тощо) допускається зменшення відстаней, але менше, ніж зазначені вище. Повітряні лінії електропередачі напругою 35 – 110 кВ і вище потрібно розміщувати за межами сільської території або проводити їх заміну підземними кабельними лініями. Прокладку електричних мереж напругою 20 кВ на сільських територіях міст і селищ міського типу в районах забудови будинками 4-х поверхів і вище, а також на території курортних комплексів потрібно передбачати кабельними лініями.

Якщо напруженість електричного поля не перевищує ГДР, повинні бути передбачені заходи щодо її зниження шляхом віддалення житлової забудови від високовольтних ліній, вирощування с/г культур, які не потребують ручної обробки, тобто повинні бути виключені умови для тривалого перебування людей в зоні дії електричного поля. Використовуються різні екрани, високі чагарники, дерева, будівельні конструкції з дерева та цегли. Машини та механізми, які знаходяться в санітарно-захисній зоні, повинні бути заземленими. Як заземлювач допускається використовувати металевий ланцюг, котрий торкається землі. Машини без критичних металевих кабін повинні бути обладнані екранами. На території санітарно-захисних зон ВЛ – 750 кВ та вище заборонено виконувати с/г роботи особами віком до 18 років.

Вибір оптимальних геометричних параметрів високовольтних ліній та відкритих розподільних пристроїв. Величини потенціалів та напруженості електричного поля залежать від конструктивних параметрів дротів високовольтної лінії та шин відкритих розподільних пристроїв. Суттєво знизити потенціал та напруженість електричного поля можна шляхом оптимального вибору цих параметрів. На рис. 6.1. показано залежність потенціалу під крайнім фазовим проводом високовольтної лінії на висоті 1,8 м над поверхнею землі від геометричних параметрів високовольтної лінії 750 кВ та висоти підвищення дротів h , кількості

дротів у фазі n , віддалі між дротами та між фазовими дротами d , а також від радіуса дротів r_0 .

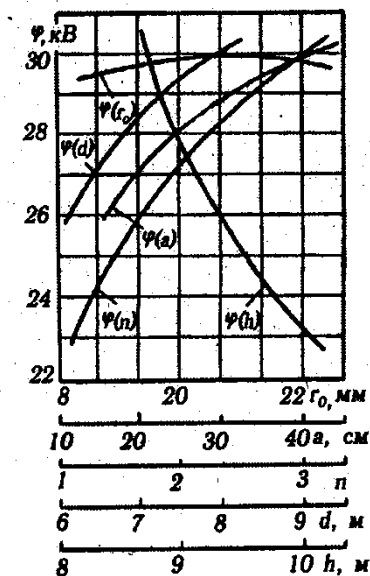


Рис. 6.1. Залежність потенціалу під крайнім фазовим дротом високовольтної лінії на висоті 1,8 м над поверхнею землі від геометричних параметрів високовольтної лінії 750 кВ

Застосування заземлених тросів. Заземлені троси підвішені під струмоведучими з'єднувальними шинами, дозволяють значно знизити параметри електричного поля промислової частоти у робочій зоні. Відносне зменшення потенціалу при цьому характеризується коефіцієнтом зменшення потенціалу

$$k_{\varphi} = \frac{\varphi - \varphi'}{\varphi} * 100, \quad (6.1)$$

де φ та φ' – потенціали в точці при відсутності та при наявності заземлених тросів відповідно, В.

У випадку використання одного заземленого троса на висоті 2,5 м від поверхні землі під з'єднувальними шинами відкритого розподільного пристрою 750 кВ, k_{φ} під даною шиною сягає 75%, тобто потенціал зменшується з 30 до 9 кВ. При наявності трьох заземлених тросів, розташованих під кожною фазою, k_{φ} під крайніми фазами складає 50%, а під середніми – 75%. Найсуттєвіше впливають на потенціал зменшення висоти підвішування та відстані між заземленими тросами.

Екрани. Захисні властивості екранів базуються на ефекті послаблення напруженості електричного поля в просторі поблизу заземленого металевго предмета. Екрани виготовляються у вигляді металевої сітки, розташованої між екранованим простором та джерелом електричного поля (рис. 2).

Захисна дія екрана характеризується ефективністю екранування $\varepsilon = \varphi_p / (\varphi_p - \varphi_{pe})$, де φ_p і φ_{pe} – потенціали в точці Р при відсутності і при наявності екрана відповідно.

На рис. 6.2 показано залежність ефективності екранування сітчастим екраном (при $h_1 = 2$ м та $h_p = 1,8$ м) від розміру чарунки a , діаметра дроту d та віддалі по h .

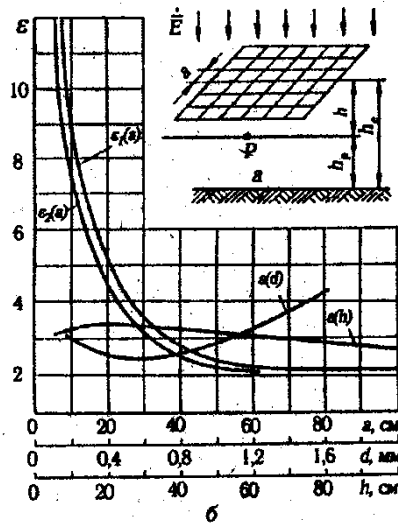


Рис.6. 2. Екран з металеві сітки (а) та залежність ефективності екранування від параметрів екрана (б): $\varepsilon_1(a)$ – при $d = 0,4$ мм $h = 20$ см; $\varepsilon_2(a)$ – при $d = 1,25$ мм та $h = 20$ см; $\varepsilon(d)$ – при $a = 50$ см та при $h = 20$ см; $\varepsilon(h)$ – при $a = 30$ см та при $d = 1,6$ мм.

Вертикалі від екрана до досліджуваної точки h . Ефективність екранування збільшується при зменшенні розміру чарунки (крива $\varepsilon(a)$), наближенні розглядуваної точки до екрана (крива $\varepsilon(h)$) та збільшенні діаметра дроту сітки (крива $\varepsilon(d)$).

Сітчасті екрани використовуються при $\varepsilon \geq 8$. Розмір сторони чарунки сітки – 10 – 15 см. Діаметр дроту сітки – 0,8 – 1,6 мм. Для екранів використовуються сітки з оцинкованого сталевого дроту. Дріт фарбується з метою запобігання корозії. Стационарні екрани виготовляються у вигляді козирків, навісів та перегородок. Козирки вставляються над ділянками, з яких здійснюється обслуговування обладнання. Висота розташування навісів – 2 – 2,5 м від поверхні землі над проходами та ділянками, з котрих здійснюється огляд обладнання. Перегородки встановлюють посередині між сусідніми повітряними вимикачами таким чином, щоб нижня грань перегородки знаходилась на висоті 2 – 3 м над поверхнею землі для вільного проходу людей та проїзду автотранспорту.

Переносні екранувальні пристрої призначені для захисту персоналу, котрий протягом тривалого часу виконує експлуатаційні, ремонтні та монтажні роботи в зоні впливу, якщо стационарні екрани відсутні. Переносні екрани виготовляються у вигляді знімних навісів, козирків, перегородок, наметів. Переносні екрани виготовляються з металевих сіток. Намети та навіси виготовляються з металізованої тканини або брезенту, вкритого алюмінієвою фарбою.

Екранувальний одяг є індивідуальним захисним засобом, до його складу входить костюм, шолом, рукавиці та спеціальне взуття. Екранувальні костюми виготовляють із спеціальної металізованої струмопровідної тканини у вигляді комбінезона, куртки зі штанами або плаща. Під час теплого періоду року використовуються металеві або металізовані пластмасові шоломи.

Взимку використовується хутряна шапка з прокладкою з металізованої тканини. Захисне взуття – шкіряні черевики з підошвою з електропровідної гуми або черевики, чоботи, калоші. Опір підошви взуття не повинен перевищувати 50 кОм. Всі

предмети екранувального одягу, їхні металеві елементи повинні мати між собою надійний електричний зв'язок.

Екранувальні костюми використовують, якщо напруженість поля на робочому місці перевищує 25 кВ/м, або тривалість роботи перевищує гігієнічні норми, вказані в таблиці.

Забороняється застосовувати екранувальний одяг, якщо існує можливість випадкового дотику людини до частин обладнання, які знаходяться або можуть опинитися під напругою, при електричних випробуваннях обладнання, під час електрозварювальних робіт, при використанні ручного електрифікованого інструменту.

ЗАХИСТ ВІД ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ РАДІОЧАСТОТНОГО ДІАПАЗОНУ

Зони випромінювання

З врахуванням широкого діапазону випромінювання електромагнітної енергії робочі місця обслуговуючого персоналу можуть опинитись у зонах індукції, проміжній і в зоні випромінювання залежно від частоти, параметрів і типів випромінювальних систем та відстані від джерела випромінювання до робочого місця.

При ізотропному випромінюванні ближня зона поширюється на відстань $r_{Б.з.} \leq \lambda/2\pi$. Дальня зона починається на віддалі $r_{Д.з.} \geq \lambda$.

При напрямленому випромінюванні для параболічних та круглих антен межі ближніх зон $r_{Б.з.} \leq D^2/4\lambda$, для інших типів випромінювачів $r_{Б.з.} \leq L_1L_2/4\lambda$. Дальня зона параболічних та круглих випромінювачів починається при $r_{Д.з.} \geq D^2/\lambda$, для інших типів випромінювачів $r_{Д.з.} \geq L_1L_2/\lambda$ (рис. 6.3.).

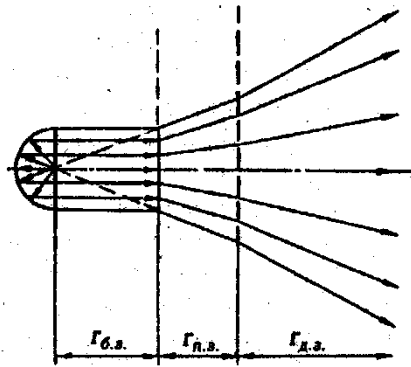


Рис. 6.3. Межі зон при напрямленому випромінюванні

Область проміжної зони $r_{п.з.} = r_{д.з.} - r_{б.з.}$

В наведених формулах D – діаметр випромінювача, м; L_1L_2 – горизонтальний та вертикальний розміри розкриття антени, м; λ – довжина хвилі.

Амплітуда електричної складової електромагнітного випромінювання в зоні індукції знижується обернено пропорційно кубу відстані від джерела випромінювання. В зоні випромінювання амплітуда обох складових електромагнітного випромінювання знижується обернено пропорційно першій

степені віддалі від джерела. Обладнання, прилади, металеві конструкції будівель, люди, котрі знаходяться в електромагнітному полі, викликають його деформацію.

Розрахунок інтенсивності електромагнітного поля на робочому місці

Під час налагоджування, ремонту, випробування та експлуатації радіоелектронної апаратури, електромагнітних установок існує можливість опромінення обслуговуючого персоналу.

В зв'язку з цим необхідно здійснювати попередній розрахунок інтенсивності опромінення електромагнітного поля та передбачити використання засобів захисту від випромінювань.

При ізотропному випромінюванні напруженість електричної E та H складових поля у ближній зоні

$$E = \frac{I l}{2\pi\omega\epsilon r^3} \quad (6.2)$$

$$H = \frac{I l}{4\pi r^2} \quad (6.3)$$

де I – сила струму в провіднику (антені), А;

l – довжина провідника (антени) м;

ω – кругова частота поля;

ϵ – діелектрична проникність середовища;

r – відстань від джерела випромінювання до робочого місця, м.

В дальній зоні напруженість електричної та магнітної складових

$$E = \frac{\sqrt{30P\sigma}}{r} \quad (6.4)$$

$$H = \frac{\sqrt{P\sigma/30}}{4\pi r} \quad (6.5)$$

де P – потужність випромінювання, Вт;

σ – коефіцієнт підсилення антени.

При напрямленому випромінюванні щільність потоку енергії в ближній зоні по осі діаграми напрямленості випромінювання

$$\psi_{\text{б.з.}} = \frac{3P_{\text{СЕР}}}{S} \quad (6.6)$$

де $P_{\text{СЕР}}$ – середня потужність випромінювання, Вт;

S – площа випромінювальної системи, м².

Для установок, які працюють в імпульсному режимі, середня потужність

$$P_{\text{СЕР}} = P_{\text{ИМП}}\tau / T_1 \quad (6.7)$$

$P_{\text{ИМП}}$ – потужність випромінювання в імпульсному режимі;

τ – тривалість імпульсу;

T – період чергування імпульсів.

У проміжній зоні щільність потоку енергії

$$\psi_{\text{П.З.}} = \frac{3P_{\text{СЕР}}}{S} (r_{\text{Б.З.}}/r) \quad (6.8)$$

де r – відстань від центра розкриття антени до даної точки, розташованої в проміжній зоні.

В дальній точці щільність потоку енергії по осі випромінювання

$$\psi_{\text{Д.З.}} = \frac{P_{\text{СЕР}} \sigma}{4\pi r^2} \quad (6.9)$$

Напруженість магнітного поля в точці А, котра лежить на осі кругового витка, по котрому проходить струм I (рис. 6.4а)

$$H = \frac{IR^2}{2r^3} \quad (6.10)$$

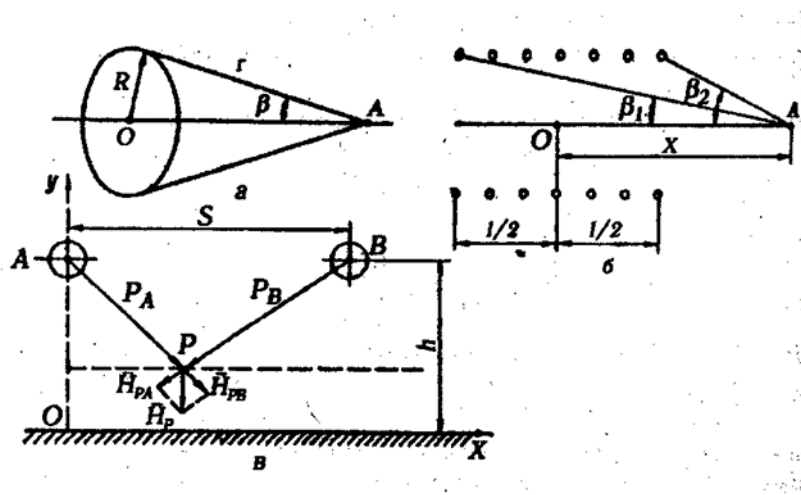


Рис. 4. Визначення напруженості магнітного поля:
а – кругового витка; б – одношарової циліндрової котушки;
в – двопроводової лінії

Напруженість магнітного поля на осі одношарової циліндричної котушки розраховується за законом Біо-Савара-Лапласа (рис. 6.4б):

$$H = \frac{IN}{2l} (\cos \beta_1 - \cos \beta_2) \quad (6.11)$$

де N – число витків;
 l – довжина котушки;

$$\cos \beta_1 = \frac{x + l/2}{\sqrt{R^2 + (x + l/2)^2}} \quad (6.12)$$

$$\cos \beta_2 = \frac{x + l/2}{\sqrt{R^2 + (x + l/2)^2}} \quad (6.13)$$

де x – відстань від котушки A до середини котушки.

Напруженість магнітного поля двопроводової лінії постійного струму в точці P (рис. 6.4в)

$$H_P = \sqrt{H_{Px}^2 + H_{Py}^2} \quad (6.14)$$

$$\text{де } H_{Px} = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{h-y}{(h-y)^2 + x^2} - \frac{h-y}{(h-y)^2 + (S-x)^2} \right)$$

$$H_{Py} = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{S-x}{(h-y)^2 + (S-x)^2} - \frac{x}{(h-y)^2 + x^2} \right)$$

Захист від електричних і магнітних полів та випромінювань радіочастотного діапазону

Залежно від умов експлуатації обладнання, діапазону частот, розташування робочого місця, рівня опромінення застосовують наступні методи захисту: захист часом та віддалю, зменшення випромінювання в джерелі випромінювання, екранування джерела полів або випромінювань, екранування робочих місць, засоби індивідуального захисту, раціональне розташування в приміщенні установок, раціоналізація режимів експлуатації установок та роботи обслуговуючого персоналу, застосування попереджувальної світлової та звукової сигналізації.

Захист часом передбачає обмеження часу перебування людини в робочій зоні, якщо інтенсивність опромінення перевищує встановлені норми. Цей метод використовується, коли немає можливості знизити інтенсивність опромінення до допустимих значень і лише для електричного поля частотою 50 Гц та випромінювань в діапазоні 300 МГц – 300 ГГц. Допустимий час перебування залежить від інтенсивності опромінення.

Якщо інтенсивність опромінення в діапазоні 300 МГц – 300 ГГц знаходиться між двома нормованими рівнями (5.4), то допустиме значення часу опроміненні визначається за формулою:

$$t_{\text{дон}} = T((1 + 0,005 \psi / \psi_{\text{дон}}) / (0,65 + 0,355 \psi / \psi_{\text{дон}})) \quad (6.15)$$

де ψ – інтенсивність опромінення, Вт/м²;

$\psi_{\text{дон}}$ – допустима інтенсивність опромінення, Вт/м².

За допомогою цієї формули можна визначити допустимий час опромінення при значеннях ψ в інтервалі 10 – 1000 мкВт/см².

Захист віддалю застосовується тоді, коли неможливо послабити інтенсивність опромінення за допомогою інших методів. В цьому випадку збільшують відстань між джерелом випромінювання та обслуговуючим персоналом. В ближній зоні при напрямленому випромінюванні цей метод не застосовується, оскільки в цій зоні щільність поверхневої енергії не залежить від віддалі.

Передбачено також влаштування санітарно-захисних зон.

Санітарно-захисна зона для передавальних радіостанцій, обладнаних антенами не спрямованої дії, для телецентрів і телевізійних ретрансляторів, а також для радіолокаційних станцій кругового огляду встановлюється по колу.

Для передавальних радіостанцій, обладнаних антенами спрямованої дії, а також для радіолокаційних станцій, антени яких сканують у визначеному секторі або фіксовані у заданому напрямку, санітарно-захисна зона встановлюється в напрямку дії випромінювання електромагнітних хвиль.

Земельні ділянки, що входять в санітарно-захисну зону, не вилучаються у землекористувачів і можуть використовуватись як с/г угіддя, а також для розміщення на них виробничих споруд, що належать радіотехнічному об'єкту або іншим відомствам, з дотриманням діючих санітарних норм і правил.

Зниження випромінювання в джерелі виникнення досягається шляхом застосування спеціальних пристроїв – поглиначів потужності, а атенюаторів, напрямлених відгалужувачів, поділювачів потужності, хвилевих послаблювачів.

Виділення зон випромінювання. Межі зони, де ψ перевищує гранично допустимі значення, експериментально визначають для кожного випадку розташування апаратури при її роботі на максимальну потужність випромінювання. Установки огорожуються або вивішуються попереджувальні написи «Не заходити, небезпечно!» Така зона може додатково позначитись яскравою фарбою на підлозі приміщення.

Екранування джерел випромінювання використовується для зниження інтенсивності електромагнітного поля на робочому місці. Застосовуються екрани з металевих листів або сіток у вигляді замкнених камер, шаф або кожухів.

Основною характеристикою екрана є ступінь послаблення електромагнітного поля, тобто ефективність екранування, котра є відношенням E, H, ψ в даній точці при відсутності екрана до E_e, H_e, ψ_e в тій же точці з екраном.

Ступінь послаблення електромагнітного поля залежить від глибини проникнення високочастотного струму в товщу екрана. Чим більша магнітна проникність екрана і чим вища частота екранованого поля, тим менша глибина проникнення і необхідна товщина екрана. Джерело випромінювань або робоче місце екрануються за допомогою відбивальних або поглинальних екранів.

Знаючи характеристики металу, можна розрахувати товщину екрана δ , мм, котрий забезпечує необхідне послаблення електромагнітних полів на даній віддалі.

$$\delta = \frac{\ln E_x}{\sqrt{\frac{\omega \mu \gamma}{2}}} \quad (6.16)$$

де $\omega = 2\pi f$ – кутова частота змінного струму, рад/с;

μ – магнітна проникність металу захисного екрана, Г/м;

γ – електрична провідність металу екрана, $(\text{Ом} \cdot \text{м})^{-1}$;

E_x – ефективність екранування на робочому місці, що виражається з виразу

$$E_x = \frac{H_x}{H_{xE}} \quad (6.17)$$

де H_x і H_{XE} – максимальні значення напруженості магнітної складової поля на віддалі X , м, від джерела відповідно без екрана і з екраном А/м.

Напруженість H_x може бути визначена з виразу

$$H_x = \frac{\omega I a^2}{4X^2} \beta_m \quad (6.18)$$

де ω та a – число витків на радіус котушки, м;

I – сила струму в котушці, А;

X – відстань від джерела (котушки) до робочого місця, м;

β_m – коефіцієнт, що визначається співвідношенням X/a (при $X/a > 10$ $\beta_m = 1$).

Якщо регламентується допустима електрична складова поля E_d , магнітна складова може бути визначена з виразу

$$H_d = 1,27 * 10^5 E_d / X f \quad (6.19)$$

де f – частота поля, Гц.

Приклад. Розрахувати ефективність екрана радіусом $R = 0,35$ м, якщо задано: $f = 6 * 10^4$ Гц; $\mu_e = 4\pi * 10^{-7}$ Г/м; $\gamma_e = 3,55 * 10^7$ (Ом*м)⁻¹; $\mu = 1$; $I = 380$ А; $\omega = 14$; $a = 0,1$ м; $l = 0,3$ м; $X = 0,8$ м.

Розв'язок. Визначаємо допустиму величину магнітної складової поля з врахуванням, що допустима напруженість поля $E_{п.д.} = 5$ В/м (за санітарними нормами):

$$H_{п.д.} = 1,27 * 10^5 E_{п.д.} / X f = 1,27 * 10^5 * 5 / 0,8 * 6 * 10^4 = 13,2 \text{ А/м.}$$

Напруженість на робочому місці при відсутності екрана

$$H_x = \frac{\omega I a^2}{4X^2} = \frac{14 * 380 * 0,1^2}{4 * 0,8^2} = 20,7$$

Необхідна ефективність екранування на робочому місці

$$E_{X.H.} = H_x / H_{п.д.} = 20,7 / 13,2 = 1,57$$

Дійсна ефективність екранування на робочому місці

$$E_{X.д.} = \frac{\text{Re}^{\frac{d}{\delta}}}{2\sqrt{2}\delta\mu'_e} = \frac{0,35 * 0,3^{0,32}}{2\sqrt{2} * 3,2 * 10^{-4} * 1} = 10,5$$

де d – товщина екрана, мм

δ – глибина проникнення поля в екран, м;

μ'_e – відносна магнітна проникність екрана $\left(\mu'_e = \frac{\mu_e}{\mu_0} \right)$

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\mu_e \gamma_e \omega f}} = \frac{1}{\sqrt{4\pi * 10^{-7} * 3,55 * 10^7 * 14 * 6 * 10^4}} = 0,32 \text{ мм}$$

З конструктивних міркувань приймаємо $d = 1$ мм.

Таким чином, вибраний екран забезпечує необхідний захист на даному робочому місці, оскільки $E_{х.д.} > E_{х.н.} (10,5 > 1,57)$.

ЗАВДАННЯ НА ПРАКТИЧНУ РОБОТУ

Розрахувати ефективність екрана радіусом $R = 0,35$ м, якщо задано: $f = 6 \cdot 10^4$ Гц; $\mu_e = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Г/м; $\gamma_e = 3,55 \cdot 10^7$ (Ом*м)⁻¹; $\mu = 1$; $I = 380$ А; $\omega = 1,4$; $a = 0,1$ м; $l = 0,3$ м; $X = 0,8$ м.

Варіанти згідно списку в журналі.

№	R, м	X, м	№	R, м	X, м
1	0,36	0,9	11	0,39	0,5
2	0,35	0,6	12	0,40	0,7
3	0,37	0,8	13	0,39	0,8
4	0,39	0,9	14	0,38	0,9
5	0,40	0,6	15	0,37	0,5
6	0,38	0,7	16	0,36	0,4
7	0,35	0,7	17	0,35	0,6
8	0,36	0,8	18	0,34	0,7
9	0,37	0,9	19	0,33	0,8
10	0,38	0,6	20	0,32	0,9

ЗМІСТ ЗВІТУ

1. Мета роботи.
2. Короткі відомості з теорії.
3. Проведений розрахунок.
4. Висновок.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Які Ви знаєте методи захисту від електричних полів.
2. За якими формулами розраховують напруженість електричної та магнітної складових у ближній та в дальній зонах.
3. Напруженість на робочому місці при відсутності екрана.
4. Необхідна ефективність екранування на робочому місці.
5. Дійсна ефективність екранування на робочому місці.

ЛІТЕРАТУРА

1. Апполонский С.М. Расчет электромагнитных экранирующих оболочек. – Л., 1982. – 144 с.
2. Давыдов Б.Ч., Тихончук В.С., Антипов В.В. Биологическое воздействие, нормирование и защита от электромагнитных излучений / Под ред. Ю.Г. Григорьева – М., 1984. – 176 с.
3. Пышкина Э.П. Защита от электромагнитных полей // Охрана труда в машиностроении / Под ред. Юдина Е.Я., Белова С.В. – М., 1983. – 432 с.
4. Шапиро Д.Н. Основы теории электромагнитного экранирования. – Л., 1975. – 109 с.
5. Жидецький В.Ц., Джигирей В.С., Мельников О.В. Основи охорони праці. Навчальний посібник – Львів, 2000. – 350 с.