

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Дрогобицький державний педагогічний університет
імені Івана Франка

Р.Грабовський, В.Лужецький, Ю.Павловський



ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

Методичне забезпечення для проведення
практичних занять для студентів
ОКР “Бакалавр” освітніх напрямків
6.010103 “Технологічна освіта” та
6.010104 “Професійна освіта”

Дрогобич
2007

Р.Грабовський, В.Лужецький, Ю.Павловський. Основи охорони праці: методичне забезпечення для проведення практичних занять для студентів ОКР “Бакалавр” освітніх напрямків 6.010103 “Технологічна освіта” та 6.010104 “Професійна освіта”. – Дрогобич: Видавничий центр Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка, 2007. – 53 с.

У посібнику викладено методичні рекомендації до виконання практичних робіт з основних розділів курсу “Основи охорони праці” – “Виробнича санітарія” та “Електробезпека”.

Тематика практичних робіт відповідає навчальній програмі нормативної дисципліни “Основи охорони праці” для студентів денної форми навчання Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка за напрямками підготовки 6.010103 “Технологічна освіта” та 6.010104 “Професійна освіта” ОКР “Бакалавр”.

Кожна практична робота містить короткі теоретичні відомості, послідовність проведення розрахунків та завдання для самостійної роботи студентів. Крім цього, наведено приклади розрахунку штучного освітлення і вентиляції виробничих приміщень, а також захисного заземлення та занулення електроустановок.

Рекомендовано до друку Вченою радою Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка (протокол №12 від 15.11.2007р.)

Автори:

- Р.Грабовський – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри машинознавства та охорони праці;
 В.Лужецький – ст. викладач кафедри машинознавства та охорони праці;
 Ю.Павловський – викладач кафедри машинознавства та охорони праці.

Рецензенти:

- О.Федевич – кандидат технічних наук, доцент кафедри охорони праці Національного університету “Львівська політехніка”;
 Ю.Скварок – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри основ виробництва Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка.

ЗМІСТ

1. Методичне забезпечення для проведення практичного заняття на тему "Розрахунок штучного освітлення приміщень"	4
2. Методичне забезпечення для проведення практичного заняття на тему "Розрахунок заземлення та занулення електроустановок"	23
3. Методичне забезпечення для проведення практичного заняття на тему "Розрахунок вентиляції виробничих приміщень"	32
Література	53

Тема заняття: Розрахунок штучного освітлення приміщень

Мета заняття: Навчитися практично проводити розрахунок штучного освітлення приміщень

План

- 1.1. Основні світлотехнічні характеристики і поняття
- 1.2. Проектувальний розрахунок загального освітлення
 - 1.2.1. Загальні відомості
 - 1.2.2. Метод коефіцієнта використання світлового потоку
 - 1.2.3. Точковий метод
 - 1.2.4. Приклади проектувальних розрахунків загального освітлення
- 1.3. Проектувальний розрахунок комбінованого освітлення
 - 1.3.1. Методика розрахунку
 - 1.3.2. Приклади розрахунків місцевого освітлення
- 1.4. Перевірочний розрахунок загального освітлення
 - 1.4.1. Методика розрахунку
 - 1.4.2. Приклади розрахунків
- 1.5. Розрахунки загального і комбінованого освітлення для самостійної роботи студентів

1.1. Основні світлотехнічні характеристики і поняття

Кількісними характеристиками освітлювальних умов є світловий потік, сила світла, освітленість, яскравість.

Світловий потік - потужність світлової енергії, що оцінюється за зоровим відчуттям, яке виникає у середньому людському оці. Світловий потік визначається як кількість світлової енергії, що сприймається за одиницю часу:

$$\Phi = Q / \ell$$

Одиницею світлового потоку прийнято *люмен* (лм).

Сила світла — просторова густина світлового потоку. Вона дорівнює відношенню світлового потоку до тілесного кута ω (у стерadianах), у межах якого він розповсюджується:

$$I = \Phi / \omega$$

За одиницю сили світла прийнята *кандела* (кд).

Освітленість - поверхнева густина світлового потоку, рівномірно розподіленого на поверхні площею S :

$$E = \Phi / S$$

Одиницею освітленості є *люкс* (лк), рівний освітленості, що утворюється світловим потоком в 1 лм, рівномірно розподіленим на площі в 1 м².

Яскравість - сила світла у даному напрямку, що спрямовується в орган зору з одиниці площі:

$$B_{\alpha} = I_{\alpha} / F \cos \alpha ,$$

де F - площа поверхні;

α - кут між нормаллю до цієї поверхні і напрямом до ока спостерігача.

Одиницею яскравості є кд/м².

Орган зору людини з усіх наведених величин може оцінювати безпосередньо лише яскравість.

Щодо виробничого освітлення ставляться такі вимоги: достатня освітленість на робочому місці відповідно характеру зорової роботи (див. 2.2.1), сприятливий розподіл яскравостей у полі зору (відсутність різких тіней та блискучості), постійність освітленості, оптимальна направленість світлового потоку, необхідний спектральний склад світла.

Розрізняють такі системи штучного освітлення:

- загальне, яке призначене для освітлення всього приміщення, світильники розташовують у верхній зоні (його підсистеми: рівномірне або локалізоване);
- додаткове до загального (воно може бути стаціонарним чи переносним). Застосування одного місцевого освітлення без загального забороняється через шкідливу дію на органи зору;
- комбіноване, за яким до загального освітлення додається місцеве; застосовується при виконанні робіт високої точності або при необхідності певної направленості світла тощо.

Сукупність установлених у приміщенні світильників називається *освітлювальною установкою приміщення*. *Світильник* - це лампа разом з освітлювальною арматурою. Основне призначення цієї арматури - раціональний перерозподіл світлового потоку лампи та захист очей від її надмірної яскравості. Застосування відкритих ламп (без арматури) неприпустимо через небезпечну дію на зір і втрат світлового потоку, який у такому випадку випромінюється в непотрібних напрямках, а збільшення кількості ламп для досягнення потрібної освітленості призводить до перевитрат енергії. Залежно від стану середовища щодо освітлювальної арматури ставлять вимоги герметичності, пожежо- чи вибухонебезпечності.

Основні світлотехнічні характеристики світильника:

- крива сили світла;
- коефіцієнт корисної дії (відношення світлового потоку світильника до світлового потоку лампи) $\eta = \Phi_{sv} / \Phi_l$;
- захисний кут (кут, що відраховується від горизонтальної площини, у межах якого світло від лампи не потрапляє до очей спостерігача).

За світлорозподілом світильники поділяють на: прямого, переважно прямого, розсіяного, відбитого, переважно відбитого світла. Крива світлорозподілу являє собою характеристику розподілу сили світла світильника у полярній системі координат, тобто $I = f(\alpha)$.

Світильники за джерелами світла поділяються на такі групи: для ламп розжарювання, галогенних ламп, люмінесцентних ламп, ламп типу ДРЛ, спеціальних ламп. Характеристика світильників для виробничих приміщень наведена у табл. Д.2.1, світильників з люмінесцентними лампами для виробничих і громадських приміщень - у табл. Д.2.2.

При виборі типу світильника необхідно враховувати насамперед вимоги щодо світлорозподілу, умови середовища, відбивну здатність стелі і стін, висоту приміщення.

1.2. Проектувальний розрахунок загального освітлення

1.2.1. Загальні відомості

Залежно від особливостей технологічного процесу, габаритів і розташування устаткування та робочих місць приймають загальне рівномірне чи загальне локалізоване освітлення, а за необхідністю - комбіноване (загальне з місцевим). Систему загального рівномірного освітлення застосовують при рівномірному розташуванні робочих місць, а також, коли не вимагається високого рівня освітленості.

Правилами проектування для загального освітлення рекомендується використовувати, як правило, газорозрядні лампи: для приміщень висотою до 6 м - люмінесцентні (табл. Д.2.3), для більш високих типу “ДРЛ”, “ДРИ”, “ДнаТ”, а також галогенні (табл. Д.2.4 та Д.2.5). Лампи розжарювання (табл. Д.2.6) допускається застосовувати у випадку технічної неможливості або недоцільності застосування газорозрядних ламп (невеликі приміщення, невисокі вимоги до освітлення).

Тип світильника вибирають відповідно до вибраного джерела світла, умов середовища приміщення, вимог пожежної безпеки, конструкції стелі.

Вибір норми освітленості здійснюється за “СНиП-П-4-79 Естественное и искусственное освещение. Нормы проектирования” (табл. Д.2.7) відповідно вибраного типу джерела світла (газорозрядні чи лампи розжарювання), системи освітлення і характеристики зорових робіт (найменший розмір об’єкта розпізнання, світлість фону, контраст об’єкта розрізнення з фоном).

За найменший розмір об’єкта розпізнання приймають ширину риски, тріщини, лінії, що утворює букву чи цифру, товщину нитки, дрітінки тощо. Фон - поверхня, що прилягає безпосередньо до об’єкту розпізнання, на якій він розглядається. Фон характеризується коефіцієнтом відбивання ним світла $\rho = \Phi_{\text{відб}} / \Phi_{\text{над}}$. При $\rho > 0,4$ фон вважається світлим, при $\rho = 0,2 \div 0,4$ - середнім, при $\rho < 0,2$ - темним. Контраст об’єкта з фоном характеризується

співвідношенням яскравості об’єкта, що розглядається, і фону: $K = \frac{B_{\phi} - B_{об}}{B_{\phi}}$,

якщо $B_{\phi} > B_{об}$, або $K = \frac{B_{об} - B_{\phi}}{B_{об}}$, якщо $B_{\phi} < B_{об}$. При $K > 0,5$ контраст вважається

великим, при $K = 0,2 \div 0,5$ - середнім, при $K < 0,2$ - малим.

Завдяки яскравості, фону і контрасту людина і розрізняє різні предмети. Основне значення у цьому має не освітленість, а світловий потік, відбитий від поверхні, що розглядається, і спрямований в орган зору.

При проектуванні освітлених попередньо намічають число рядів світильників та їх розташування, враховуючи наступне:

1) відстань між рядами світильників I_1 ; та між світильниками у ряді l визначають за умови, що відношення цих відстаней до висоти від робочої поверхні до світильника (висоти підвісу) h її не повинне бути більше 1,4 (висоту підвісу звичайно приймають не більшою 4 ÷ 5 м);

2) світильники з люмінесцентними лампами установлюють рядами, переважно паралельно довшій стороні приміщення або стіні з вікнами;

3) світильники з точковими джерелами світла розташовують рядами у вершинах квадратів, прямокутників або у шаховому порядку;

4) відстань від крайніх рядів до стіп приймають рівною половині відстані між рядами;

5) відстань між крайнім світильником у ряді і стіною дорівнює половині відстані між світильниками.

Висота підвісу визначається за формулою (див. рис. 2.1):

$$h = H - (h_{p.n.} + h_{зв}),$$

де H - висота приміщення, м;

$h_{p.n.}$ - висота робочої поверхні (може бути 0,7...1,2 м залежно від виконуваної роботи);

$h_{зв}$ - звис - відстань від центру світильника до стелі ($h_{зв} = 0,1 \div 1,5$ м залежно від висоти приміщення і висоти світильника).

Відповідно до джерела світла, системи освітлення, схеми розташування світильників, орієнтації робочої поверхні у просторі вибирають відповідний метод розрахунку: коефіцієнта використання світлового потоку, точковий, питомої потужності тощо.

1.2.2 Метод коефіцієнта використання світлового потоку

При точкових джерелах світла (лампи розжарювання або типу ДРЛ, ДРИ) і системі загального рівномірного освітлення горизонтальних поверхонь застосовують метод коефіцієнта використання світлового потоку (КВ) за умови, що витримано рекомендовані співвідношення відстані між світильниками A до висоти їх підвісу A (див. 2.2.1), відхилення не повинно бути більшим 20 %.

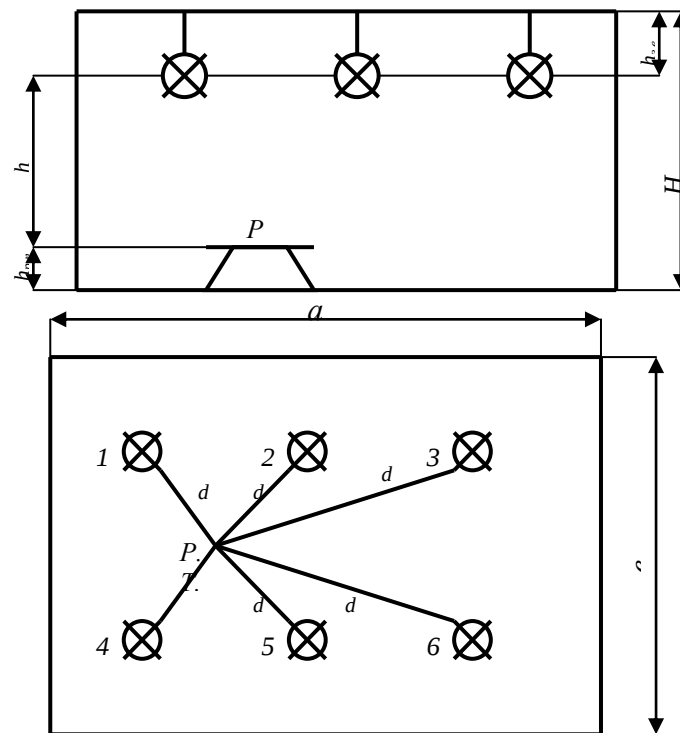


Рис. 1.1. Схема до визначення висоти підвісу

Метод КВ можна застосовувати також при трубчастих джерелах світла при додержанні однієї з наступних умов:

- а) приміщення освітлюється одним світильником;
 б) світильники розташовані рядами, відстань між світильниками у ряді $\lambda \geq 0,5h$;
 в) відношення довжини світильника до найкоротшої відстані від нього до розрахункової точки:

$$\ell_c : r \leq 0,2$$

За методом КВ визначають необхідний світловий потік однієї лампи (лм) за формулою

$$\Phi = \frac{E_n S k z}{\eta N n} \quad (2.1)$$

де E_n - нормоване значення освітленості горизонтальної робочої поверхні, лк (табл. Д.2.7);

S - площа приміщення, м²;

k - коефіцієнт запасу;

z - коефіцієнт нерівномірності освітлення (при розташуванні світильників рядами приймають 1,1);

η - коефіцієнт використання світлового потоку;

N - число світильників;

n - число ламп у світильнику (для світильників з люмінесцентними лампами).

Довідкові дані для розрахунків освітлення тут і далі можна отримати з наведених у додатках таблиць: k - за табл. Д.2.8, залежно від забрудненості повітря і типу ламп; η - за табл. Д.2.10, залежно від коефіцієнтів відбивної здатності стелі, стін і робочої поверхні та індексу приміщення (геометричних його розмірів) відповідно даному типу світильників.

Фактичні значення коефіцієнтів відбивної здатності визначити важко, тому рекомендується вживати орієнтовні їх значення (табл. Д.2.9).

Індекс приміщення обчислюється за формулою:

$$i = \frac{AB}{h(A+B)} \quad (2.2)$$

де A і B - довжина і ширина приміщення, м.

Орієнтовну кількість світильників можна визначити за формулою:

$$N = \frac{S}{\lambda \ell_1} \quad (2.3)$$

де λ і ℓ_1 - орієнтовні відстані відповідно між світильниками в ряді і між суміжними рядами згідно з наведеними вище рекомендаціями щодо прикупання висоти підвісу.

За розрахунком за формулою 2.1 значенням світлового потоку вибирають за каталогом лампу, номінальний світловий потік (Φ_n) якої відрізняється від розрахункового не більше, ніж на $+20 \div -10\%$, при більшому відхиленні число світильників корегують і викопують перерахунок.

Якщо спочатку приймають певну лампу з відомим світловим потоком, то використовують формулу 2.1, визначаючи кількість світильників N (шт):

$$N = \frac{E_n Skz}{n\Phi_l \eta} \quad (2.4)$$

Далі визначають кількість рядів та кількість світильників у ряді за умови, щоб відстані між світильниками у ряді та між рядами були приблизно однаковими. За необхідності коригування кількості світильників визначають фактичну освітленість за формулою:

$$E_\phi = \frac{Nn\Phi_l \eta}{Skz} \quad (2.5)$$

та визначають фактичне відхилення її від нормованого значення, порівнюючи з допустимим:

$$\Delta E = \frac{E_\phi - E_n}{E_n} \cdot 100\% \quad (2.6)$$

1.2.3. Точковий метод

При використанні лінійних джерел світла за умови, що метод КВ не підходить, розрахунок загального освітлення виконують точковим методом. Цей метод застосовують також для точкових джерел світла при системі загального локалізованого освітлення чи при освітленні похилих поверхонь і для місцевого освітлення.

За точковим методом визначають висоту підвісу h джерела світла (див. 2.1.1) та визначають кут α , під яким знаходиться відносно світильника розрахункова точка, за формулою:

$$\operatorname{tg} \alpha = d / h \quad (2.7)$$

де d - відстань від перпендикуляра, опущеного із центра світильника на горизонтальну поверхню, до розрахункової точки (див. рис. 2.1).

Потім по кривій розподілу світлового потоку світильника з умовною лампою в 1000 лм або за табл. Д.2.11 визначають силу світла у даному напрямку I_α , кд.

Умовна горизонтальна освітленість від одного світильника визначається за формулою:

$$e = I_\alpha \cos^2 \alpha / h^2 \quad (2.8)$$

Коли світильників кілька, умовну освітленість від кожного з них підсумовують, при цьому вводять коефіцієнт запасу $k_1 = 0,9$:

$$e_\Sigma = k_1 \sum_{i=1}^n e_i \quad (2.9)$$

де n - кількість світильників.

Розрахункову освітленість визначають за формулою:

$$E_p = e_\Sigma F_l / 1000 \quad (2.10)$$

Значення умовної освітленості e для різних типів світильників можна визначити за графіками просторових ізолюкс у реальних координатах $d-h$ (рис. Д.2.5 ÷ Д.2.12).

При точкових джерелах світла і системі загального локалізованого освітлення, а також при загальному рівномірному освітленні похилих

поверхонь, для знаходження потрібного світлового потоку лампи застосовують метод просторових ізолюкс, використовуючи формулу:

$$\Phi = 1000 E_n k / \mu \sum_{i=1}^n e_i \psi_i \quad (2.11)$$

або метод лінійних ізолюкс (якщо ряди невеликої протяжності і відношення $\ell_p : h < 3$):

$$\Phi = 1000 E_n k h^2 / \mu \sum_{i=1}^n \varepsilon_i \psi_i \quad (2.12)$$

де E_n - нормована освітленість, лк;

k - коефіцієнт запасу, що враховує запиленість приміщення та старіння ламп (табл. Д.2.8);

μ - коефіцієнт, що враховує збільшення освітленості внаслідок багаторазового відбиття від різних поверхонь у приміщенні і впливу віддалених світильників; у більшості випадків можна прийняти рівним $1,1 \div 1,2$, а для похилих поверхонь з великими значеннями коефіцієнтів відбивної здатності стелі і стін $-1,5 \div 1,8$;

e - умовна освітленість у реальних координатах, лк;

ε - відносна освітленість в розрахунковій точці від тих напіврядів, які утворюють освітленість не менше 5 % від найближчого, лк; визначається за графіками лінійних ізолюкс, побудованих у відносних координатах $p' - \ell'$ (рис. Д.2.1 - Д.2.4), або розрахунком;

ψ - коефіцієнт переходу від горизонтальної освітленості, яка утворюється i -тим світильником у розрахунковій точці, до освітленості похилої площини.

Коефіцієнт ψ для похилих поверхонь (дим. рис. 2.3) визначають за формулою:

$$\psi = \cos \theta + p / h_i \cdot \sin \theta$$

де θ - кут нахилу робочої поверхні (для горизонтальних поверхонь $\psi = 1$);

p - відстань від точки проєкції світильника на горизонтальну площину, що проходить через розрахункову точку, до розрахункової точки;

h_i - відстань від світильника до тієї ж площини.

При рядах великої протяжності у формулі 2.12 h^2 замінюють на h . При використанні світильників, для яких графіки лінійних ізолюкс відсутні, відносну освітленість визначають за формулою:

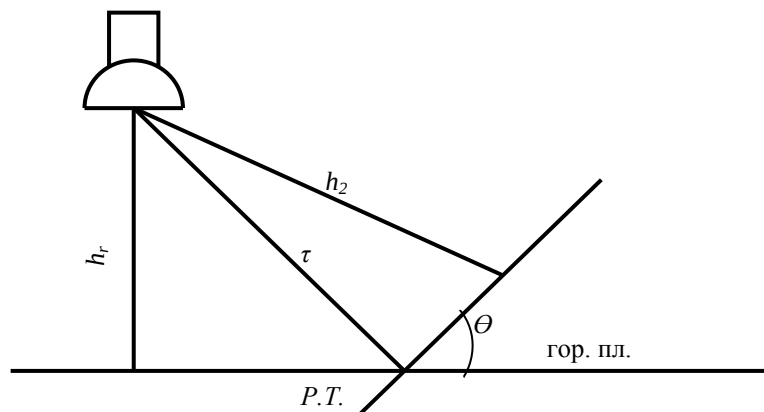


Рис. 2.3. Схема до визначення коефіцієнта ψ

$$\varepsilon = f(p', \ell') I_a$$

де $f(p', \ell')$ - допоміжна функція, значення якої визначається за табл. Д.2.12 у залежності від значення відносних координат $p' = p/h$ і $\ell' = \ell/h$ (p - відстань по горизонталі між розрахунковою точкою і рядом світильників, м; ℓ - довжина напівряду, м);

I_a - сила світла в напрямку до розрахункової точки, кд; значення I_a знаходять для відповідних значень α і умовної групи світильника (кут α визначають також за табл. Д.2.12 для різних значень p).

За розрахованим значенням світлового потоку вибирають відповідну лампу.

При трубчастих джерелах світла (люмінесцентних лампах) і рядах великої довжини ($I_p : h \geq 3$) кількість потрібних світильників визначають за формулою (метод світлової лінії):

$$N = \frac{1000 E_n k h \ell_p}{n \Phi_{\lambda} \mu \Sigma \varepsilon_i \psi_i} \quad (2.13)$$

де ℓ_p - довжина ряду, м;

n - число ламп у світильнику;

Φ_{λ} - світловий потік вибраної лампи, лм;

При рядах невеликої довжини h у формулі 2.13 заміняють на h^2 . Норми освітленості для деяких видів приміщень та показники якості освітлення наведені у табл. Д.2.13.

1.2.4. Приклади проектувального розрахунку загального освітлення

Приклад 1.1.

Розрахувати загальне рівномірне освітлення виробничого приміщення за наступними даними: розміри приміщення $A = 30$ м, $B = 10$ м, $H = 4,6$ м; напруга освітлювальної мережі 220 В; світильники з люмінесцентними лампами ЛПО 02-4×20/Н-01; лампи ЛБ-20; коефіцієнти підбивної здатності стелі, стін, робочої поверхні відповідно 0,7, 0,5, 0,3; коефіцієнт запасу $k=1,3$; коефіцієнт нерівномірності освітлення $z=1,1$. Виконувати зорові роботи відносяться до III розряду, підрозряду, "в". Висота робочої поверхні $h_{p.n.} = 0,8$ м, висота звису $h_{зв} = 0,1$ м.

Розв'язання

1. За нормами "БНіП-П-4-79" (табл. Д.2.7) мінімальна нормована освітленість від загального освітлення для III розряду зорових робіт, підрозряду, "в", становить $E_n = 300$ лк (для газорозрядних ламп).

2. Висота підвісу світильників:

$$h = H - (h_{p.n.} + h_{зв}) = 4,6 - (0,8 + 0,1) = 3,7 \text{ (м)}.$$

3. Довжина світильника з табл. Д.2.2:

$$\ell_c = 0,655 \text{ м}.$$

4. Перевірка можливості використання методу КВ за відношенням ℓ_c / h (див. 2.2.2):

$$\frac{\ell_c}{h} = 0,655 / 3,7 = 0,18 < 0,2$$

тобто використання метолу КВ правомірне.

5. Для визначення коефіцієнта використання світлового потоку знаходимо індекс приміщення:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{30 \cdot 10}{3,7 \cdot (30 + 10)} \approx 2,03$$

6. За табл. Д.2.10 для даного світильника, який відноситься до групи II, при індексі приміщення 2,0 і заданих коефіцієнтах відбивної здатності коефіцієнт використання $\eta = 0,43$.

7. Оскільки при розрахунку з люмінесцентними лампами світловий потік ламп відомий (за табл. Д.2.3 для лампи ЛБ-20 $\Phi_{\text{л}}=1180$ лм) і конструктивно визначена кількість ламп у світильнику, визначаємо необхідну кількість світильників:

$$N = \frac{E_{\text{н}} Skz}{n \Phi_{\text{л}} \eta} = \frac{300 \cdot 30 \cdot 10 \cdot 1,3 \cdot 1,2}{4 \cdot 1180 \cdot 0,43} = 63,25$$

8. Приймаємо розташування світильників $n_p = 4$ ряди, паралельно довшій стороні приміщення, тоді число світильників у ряді буде дорівнювати:

$$N_p = N / n_p = 63 / 4 = 15,8$$

приймаємо $N_p = 16$.

9. Загальне число світильників:

$$N_p = N_p \cdot n_p = 63 \cdot 4 = 64$$

10. Визначаємо фактичну освітленість за формулою 2.5 (див. підрозділ 2.2.2):

$$E_{\phi} = \frac{N n \Phi_{\text{л}} \eta}{Skz} = \frac{64 \cdot 4 \cdot 1180 \cdot 0,43}{300 \cdot 1,3 \cdot 1,1} = 302,8 \text{ (лк)}$$

що задовольняє нормам.

11. Відстань між світильниками у ряді:

$$\lambda = A / N_p - \ell_c = 30 : 16 - 0,655 \approx 1,22 \text{ (м)}.$$

12. Відстань від крайніх світильників до стіни:

$$\lambda' = \lambda : 2 = 1,22 : 2 = 0,61 \text{ (м)}.$$

13. Відстань між суміжними рядами світильників (при ширині світильників $b=0,655$ м):

$$\ell_1 = B / n_p - b = 10 : 4 - 0,66 = 1,84 \text{ (м)}.$$

14. Відстань між крайніми рядами і стінами:

$$\ell'_1 = \ell_1 : 2 = 1,84 : 2 = 0,92 \text{ (м)}.$$

Приклад 1.2.

Розрахувати загальне рівномірне освітлення виробничого приміщення лампами розжарювання на напругу 220 В. Характеристика зорових робіт: найменший розмір об'єкта розпізнання 0,4 мм, контраст середній, фон середній. Світильники типу "НСП-17". Коефіцієнт запасу $k=1,3$, коефіцієнт нерівномірності $z=1,1$. Коефіцієнти відбивної здатності стелі, стін і робочої поверхні 0,7, 0,5, 0,1. Розміри приміщення (м) $A \cdot B \cdot H=50 \cdot 20 \cdot 6$. Висота робочої поверхні $h_{\text{р.н.}}=0,9$ м, центр світильників розташувати на відстані 1,0 м від стелі.

1. Визначаємо орієнтовно кількість світильників для визначення необхідного світлового потоку лампи за методом КВ (формула 2.3). Прийmemo $\lambda = \ell_1 = 3,0$ м, тоді:

$$N = \frac{S}{\lambda \ell_1} = \frac{50 \cdot 20}{3 \cdot 3} \approx 110$$

2. Світильники можна розташувати у шість рядів. Тоді в кожному ряді буде світильників:

$$N_p = \frac{N}{n_p} = \frac{110}{6} = 18,3$$

Приймаємо $N_p = 19$ світильників, всього світильників у приміщенні буде:
 $N = N_p \cdot n_p = 19 \cdot 6 = 114$

3. Висота світильника за табл. Д.2.1 становить 660 мм, висота звису при розташуванні його центру на відстані 1 м від стелі:

$$h_{зв} = \frac{1}{2} \cdot 0,66 + 1,0 = 1,33 \text{ (м)}.$$

4. Висота підвісу світильників:

$$h = H - (h_{p.n.} + h_{зв}) = 6 - (0,9 + 1,33) = 3,77 \text{ (м)} -$$

5. Індекс приміщення:

$$i = \frac{A \cdot B}{h(A + B)} = \frac{50 \cdot 20}{3,77(50 + 20)} 3,8$$

6. За табл. Д.2.10 для світильників НСП-17 при індексі приміщення $i=3,8$ та з урахуванням заданих коефіцієнтів відбиття коефіцієнт використання світлового потоку $\eta = 0,88$.

7. Для заданої характеристики зорової роботи при загальному освітленні лампами розжарювання $E_H = 200$ лк (табл. Д.2.7).

8. Необхідний світловий потік лампи:

$$\Phi_p = \frac{E_H S k z}{\eta N n} = \frac{200 \cdot 1000 \cdot 1,3 \cdot 1,1}{0,88 \cdot 114 \cdot 1} = 2851 \text{ (лм)}$$

9. За таблицею Д.2.6 вибираємо лампу ЛНГ-200 зі світловим потоком $\Phi_{л} = 2920$ лм.

10. Визначаємо розрахункову освітленість робочих місць за формулою 2.5:

$$E_p = \frac{N n \Phi_{л} \eta}{S k z} = \frac{114 \cdot 1 \cdot 2920 \cdot 0,88}{1000 \cdot 1,3 \cdot 1,1} = 187,6 \text{ (лк)}$$

при цьому відхилення розрахункового освітлення від нормованого становить:

$$\Delta E = \frac{(E_p - E_H)}{E_H} \cdot 100\% = \frac{(187,6 - 200)}{200} \cdot 100\% = -6,2\%$$

що менше допустимого (-10%).

11. Відстань між осьовими лініями рядів $\ell_1 = B : n_p = 20 : 6 = 3,33$ м, відстань між світильниками у ряді $\lambda = A : N_p = 50 : 19 = 2,63$ м, відстань від крайніх світильників у ряді до стіни $0,5\lambda = 1,32$ м, від крайніх рядів до стін $0,5\ell_1 = 1,67$ м.

Приклад 1.3.

Визначити потрібну потужність лампи типу „ДРИ” для загального локалізованого освітлення світильниками "ГСП - 18" відділку бракування литва комплексно механізованого цеху. Світильники розташувати у кутах квадрату зі стороною $a=8$ м, висота підвісу над робочою поверхнею $h=6$ м, коефіцієнт запасу освітлювальної установки $k=1,3$, впливом інших віддалених світильників знехтувати. Найменший розмір об'єктів розрізнення 0,6 мм, контраст малий, фон середній.

Розв'язання

1. Вибираємо розрахункову точку в центрі квадрата, тоді

$$d = \sqrt{(a/2)^2 + (a/2)^2} = 5,65(\text{м}).$$

2. Визначаємо умовну освітленість e для даного світильника за графіком просторових ізолюкс світильників з кривою сили світла Г-4 (рис. Д. 2.8). Для $h=6$ м та $d=5,65$ м $e_1=2,05$ (з умовною лампою, що дає світловий потік 1000 лм).

3. Кожний з чотирьох світильників утворює в розрахунковій точці однакову освітленість, тому сумарна умовна освітленість буде:

$$e_{\Sigma} = e_1 \cdot n = 2,05 \cdot 4 = 8,2(\text{лк}).$$

4. Необхідна загальна освітленість за заданими умовами зорових робіт за табл. Д.2.7 $E_H=200$ лк (розряд 4, підрозряд «б»).

5. Світловий потік однієї лампи при значеннях $k=1,3$ і $\mu=1$ (вплив віддалених світильників не враховуємо):

$$\Phi_{\text{л.р.}} = \frac{k \cdot E_H}{\mu \cdot e_{\Sigma}} \cdot 1000 = \frac{1,3 \cdot 200}{1 \cdot 8,2} \cdot 1000 = 31700 (\text{лм})$$

6. За табл. Д. 1.4 найближчою є лампа „ДРИ - 400” потужністю 400 Вт із світловим потоком $\Phi_{\text{л.ф.}} = 32000$ лм.

7. Визначимо фактичну освітленість, яка буде при цих джерелах світла:

$$E_{\text{ф}} = E_H \cdot \frac{\Phi_{\text{л.ф.}}}{\Phi_{\text{л.р.}}} = 200 \cdot \frac{32000}{31700} = 202(\text{лк}).$$

8. Відхилення фактичної освітленості від нормованої становить:

$$\Delta E = \frac{(E_{\text{ф}} - E_H)}{E_H} \cdot 100\% = \frac{(202 - 200)}{200} \cdot 100\% = 1\%$$

що менше допустимого, яке дорівнює +20%.

1.3. Проектувальний розрахунок комбінованого освітлення

1.3.1. Методика розрахунку

Загальне освітлення в системі комбінованого розраховують за викладеною вище методикою.

Місцеве освітлення проектується наступним чином.

Вибирають джерело світла. Слід пам'ятати, що для приміщень з підвищеною небезпекою та особливо небезпечних за ураженням електричним струмом для місцевого освітлення необхідно застосовувати лампи розжарювання з напругою живлення до 42 В (36; 24; 12 В). В інших випадках це можуть бути люмінесцентні лампи чи галогенні.

Відповідно до типу вибраного джерела світла і конструкції робочого місця визначають спосіб установки світильника та його тип. Це можуть бути

світильники для ламп розжарювання типу “НКС” (криві сили світла Г-1), для галогенних ламп розжарювання - типу “НСП” (криві сили світла Д-2), для люмінесцентних ламп - “МЛ” (табл. Д.2.15).

Освітленість, яку повинен забезпечити світильник місцевого освітлення, дорівнює різниці між нормованими освітленостями для комбінованого і загального освітлення робочих місць:

$$E_m = E_k - E_z \quad (2.14)$$

Розрахунок виконують точковим методом. Якщо вибрана лампа розжарювання у світильнику НКС, для визначення світлового потоку лампи (лм) використовують залежність:

$$\Phi_{л(розр)} = \frac{1000 E_m k}{\mu e \psi} \quad (2.15)$$

де e - умовна освітленість, що визначається за графіком просторових ізолюкс (графік ізолюкс Г-1), інші величини - як у підрозділі 2.2.3.

За розрахунковим $\Phi_{л}$ вибирають відповідну лампу (40, 60 або 100 Вт). Якщо $\Phi_{л(розр)} > \Phi_{л(100)}$, необхідно застосувати два світильники або використати інші типи джерел світла та світильників.

Якщо вибрані галогенні чи люмінесцентні лампи з світильниками відповідно “ИСП” і “МЛ”, використовують залежність для визначення числа світильників:

$$N = \frac{1000 E_m k}{\mu e \psi} \quad (2.16)$$

де n - число ламп у світильнику (для “ИСП” $n=1$; для “МЛ” $n=2$),

e - визначається для “ИПС” - за рис. Д. 2.5, для “МЛ” - з табл.Д.2.15.

Значення інших величин визначають відповідно вказівкам, наведеним у підрозділі 2.2.3.

Якщо отримаємо $N > 2$, слід прийняти $N = 2$ (тому що встановлювати більше двох світильників на робочому місці нераціонально) і відповідно перерозподілити значення освітленості між світильниками загального і місцевого освітлення із збереженням рівняння $E_k = E_z + E_m$. При незначному відхиленні можна скорегувати освітленість заміною марки лампи (з іншим $\Phi_{л}$).

1.3.2. Приклади розрахунків місцевого освітлення

Приклад 1.4.

Розрахувати місцеве освітлення для монтажних столів, де виконуються роботи з деталями, що мають найменший розмір розрізнення 0,4 мм при фоні середньої світлості і малому контрасті об'єкту розрізнення з фоном. Світильники для місцевого освітлення МЛ-2×80 з двома люмінесцентними лампами ЛДЦ-80. Висота розташування світильників над столами $h=1$ м; відстань між розрахунковою точкою, що знаходиться в площині, яка проходить через середину світильника, і проекцією світильника на робочу поверхню $p=0,7$ м. Прийняти: коефіцієнт запасу $k=1,3$; коефіцієнт $\mu=1$.

Розв'язання.

1. Для заданої характеристики зорової роботи, що за табл. Д.2.7 відповідає III розряду, підрозряду „в”, норма освітленості становить: для системи

комбінованого освітлення $E_k=1000$ лк, для системи загального освітлення $E_z=300$ лк (при люмінесцентних лампах).

2. Визначаємо освітленість, яку повинен забезпечити світильник місцевого освітлення в системі комбінованого:

$$E_m = E_k - E_z = 1000 - 300 = 700 \text{ (лк)}.$$

3. Визначаємо за табл. Д.2.15 просторових ізолюкс умовну освітленість для $h=1$ м, $p=0,7$ м: $e=115$ лк.

4. Світловий потік лампи ЛДЦ-80 становить $\Phi_l=3740$ лм (табл. Д.2.3).

5. Визначаємо потрібну кількість світильників для монтажного стола за формулою 2.16:

$$N = \frac{1000 E_m k}{n \Phi_l \mu e} = \frac{1000 \cdot 700 \cdot 1,5}{2 \cdot 3740 \cdot 1,2 \cdot 115} = 1,02 \text{ (шт)}.$$

6. Приймаємо один світильник МЛ-2×80 з лампами ЛДЦ-80.

Приклад 1.5.

Спроектувати місцеве освітлення для виконання зорових робіт IV розряду, підрозряду „г”. Світильники для місцевого освітлення типу НКС з лампами розжарювання на напругу 36 В. Висота розташування світильників над робочою поверхнею $h=0,7$ м, відстань між світильником і розрахунковою точкою по горизонталі $d=0,5$ м. Коефіцієнт запасу $k=1,2$, коефіцієнт $\mu=1,1$.

Розв'язання.

За табл. Д.2.7 для заданих зорових робіт (1У-г) при газорозрядних лампах нормована освітленість становить: для комбінованого освітлення $E_k=300$ лк, для загального $E_z=150$ лк. Для ламп розжарювання нормована освітленість знижується на один ступінь для загального освітлення, тобто $E_z=100$ лк (див. примітку «б» до табл. Д.2.7).

2. Місцеве освітлення в системі комбінованого повинно утворювати освітленість:

$$E_m = E_k - E_z = 300 - 100 = 200 \text{ (лк)}.$$

3. Визначаємо за графіком просторових ізолюкс (Д.2.5) умовну освітленість для $d=0,5$ м, $h=0,7$ м: $e=80$ лк.

4. Визначаємо необхідний світловий потік лампи за формулою 2.15:

$$\Phi_l = \frac{10000 E_m k}{\mu e} = \frac{1000 \cdot 200 \cdot 1,2}{1,1 \cdot 80} = 2727 \text{ (лм)}.$$

5. Лампа потужністю 100 Вт дає світловий потік 1590 лм (табл. Д.2.14), тому приймаємо два світильника НКС з лампами МО-36 -100, які дають загальний світловий потік:

$$\Phi'_l = 2 \Phi_{l(100)} = 2 \cdot 1590 = 3180 \text{ (лм)}.$$

6. Освітленість робочого місця місцевим освітленням становитиме:

$$E'_m = \frac{\Phi'_l \mu e}{1000 k} = \frac{3180 \cdot 1,1 \cdot 80}{1000 \cdot 1,2} = 233,2 \text{ (лк)}$$

7. Правилами дозволяється перевищення освітленості від нормованої на 20%. Фактичне перевищення освітленості при комбінованому освітленні становитиме:

$$\Delta E_{\kappa} = \frac{(E_{\text{з}} + E'_{\text{м}}) - E_{\kappa}}{E_{\kappa}} \cdot 100\% = \frac{(100 + 233) - 300}{300} \cdot 100\% = 11\%$$

що задовольняє вимогам правил.

1.4. Перевірочний розрахунок загального освітлення

1.4.1. Методика розрахунку

Спочатку роблять креслення в масштабі плану і розрізу приміщення, на яких умовними позначками зображують світильники (ряди світильників), розрахункові точки на робочій поверхні, проставляють необхідні розміри.

За довідковими таблицями визначають характеристики ламп і світильників, а на основі “СНиП-II-4-79 Естественное и искусственное освещение. Нормы проектирования” вибирають норму освітленості робочих місць (див. табл. Д.2.7) за характером зорових робіт.

Залежно від типу джерела світла, системи освітлення, схеми розташування світильників, орієнтації робочої поверхні у просторі вибирають метод розрахунку.

При точкових та прирівняних до них джерелах світла і системі загального рівномірного освітлення застосовують метод коефіцієнта використання світлового потоку (див. 2.2.2), користуючись формулою:

$$E_p = \frac{Nn\Phi_{\text{л}}\eta}{Skz} \quad (2.17)$$

де E_p — розрахункова освітленість робочої поверхні, лк;

N - кількість світильників у приміщенні;

n - кількість ламп у світильнику;

$\Phi_{\text{л}}$ - світловий потік лампи, лм;

η - коефіцієнт використання світлового потоку;

S - площа приміщення, м²;

k - коефіцієнт запасу;

z - коефіцієнт нерівномірності освітлення.

При точкових джерелах світла і системі загального локалізованого освітлення горизонтальних робочих поверхонь, а також рівномірного освітлення похилих або вертикальних поверхонь використовують точковий метод розрахунку, застосовуючи формули:

$$E_p = \frac{\Phi_{\text{л}} \mu \sum_{i=1}^m e_i \mu_i}{1000k} \quad (2.18)$$

або

$$E_p = \frac{\Phi_{\text{л}} \mu \sum_{i=1}^m \varepsilon_i \psi_i}{1000kh^2} \quad (2.19)$$

де m - кількість світильників, що утворюють освітленість, яка не менше 5% від максимальної; інші величини, як у підрозділі 2.2.3. При трубчастих джерелах світла і системі загального рівномірного освітлення метод коефіцієнта використання (формула 2.17) можна застосовувати за умов:

- один світильник у приміщенні;

- світильники розташовані рядами з відстанню у ряді між ними $\lambda \geq 0,5h$;
- відношення довжини світильника до найкоротшої відстані між ним і розрахунковою точкою $\ell_c : r \leq 0,2$.

При недотриманні вказаних умов, а також у випадку довільно орієнтованих поверхонь для будь-якої системи освітлення використовують залежність:

$$E = \frac{Nn\Phi_{\lambda}\mu \sum_{i=1}^m \varepsilon_i \psi_i}{1000kh\ell_p} \quad (2.20)$$

де ℓ_p - довжина ряду (світлової лінії), м; якщо $\ell_p : h < 3$, тоді замість h беруть h^2 .

Якщо розрахована за перевірочним розрахунком освітленість менше нормованої, тоді необхідна реконструкція системи освітлення з виконанням проектного розрахунку.

1.4.2. Приклади розрахунків

Приклад 1.6.

Перевірити достатність загальної освітленості в приміщенні, що має довжину 10 м, ширину 6 м, висоту 3,6 м, і в якому встановлено 10 стельових дволампових світильників серії ЛПО-01 з лампами ЛД-40. Характеристика зорових робіт: найменший розмір об'єкту розрізнення - 0,4 мм, фон - світлий, контраст - великий. Висота робочої поверхні 0,8 м. Стіни і стеля - побілені, робоча поверхня середньої світлості. Світильники розташовані рядами, перпендикулярними довшій стороні приміщення, по два у кожному ряді.

Розв'язання.

1. Креслимо в масштабі план і розріз приміщення, позначаємо розташування світильників. Визначаємо висоту їх підвісу h , проставляємо необхідні розміри (рис. 2.4 та 2.5).

2. За табл. Д.2.3 лампа ЛД - 40 має номінальний світловий потік $\Phi_{\lambda}=2340$ лм; світильник ЛПО-01 відноситься до умовної групи 8.

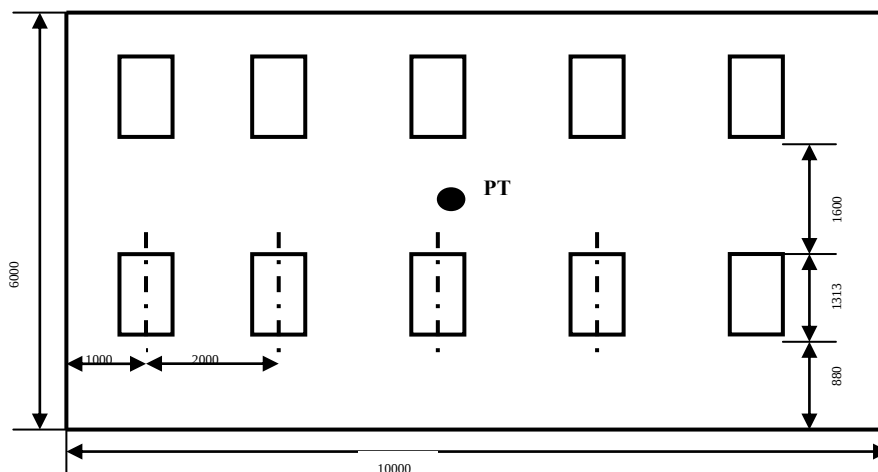
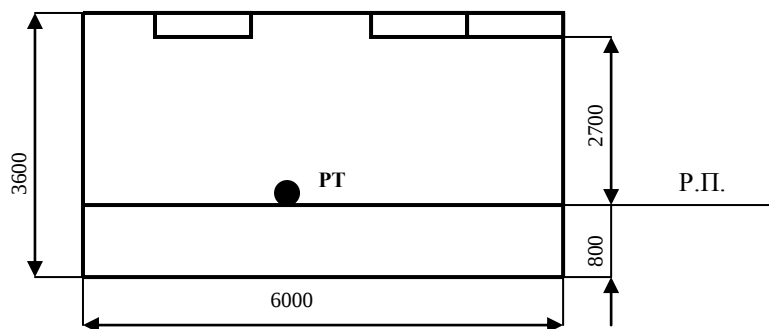


Рис. 4 Розташування світильників у планів



Рисю. 2.5. Поперечний розріз приміщення

3. Норма освітленості для загального освітлення за точністю виконуваної зорової роботи за табл. Д.2.7 становить 200 лк (ІІІ розряд, підрозряд "з").

4. Відстань між світильниками у ряді $\lambda = 1600$ мм, висота підвісу $h = 2700$ мм, $0,5h = 0,5 \cdot 2700 = 1350$ мм, тобто $\lambda > 0,5h$. За цієї умови для розрахунку горизонтальної освітленості можна, застосувати метод коефіцієнта використання світлового потоку (формула 2.17).

5. Коефіцієнти відбивної здатності ρ стелі, стін і робочої поверхні приймаємо відповідно 0,7; 0,5 та 0,3.

6. Індекс приміщення:

$$i = \frac{A \cdot B}{h(A + B)} = \frac{10 \cdot 6}{2,7(10 + 6)} = 1,38.$$

7. Коефіцієнт використання для світильників групи 8, прийнятих коефіцієнтів відбивання ρ і для індексу приміщення 1,38 становить $\eta = 0,47$ (табл. Д.2.9).

8. Приймаємо коефіцієнт запасу $k = 1,5$ (табл. Д.2.8), коефіцієнт нерівномірності $z = 1,1$.

9. Визначаємо фактичну мінімальну освітленість, лк:

$$E = \frac{Nn\Phi_{\lambda}\eta}{Skz} = \frac{10 \cdot 2 \cdot 2340 \cdot 0,47}{10 \cdot 6 \cdot 1,5 \cdot 1,1} = 222,18$$

10. Розрахункова фактична освітленість у приміщенні задовольняє вимогам норм за "СНиП" (перевищення становить лише 11%).

Приклад 1.7.

Виконати перевірочний розрахунок загальної освітленості у приміщенні розмірами: $A \times B \times H = 18 \times 9 \times 3,6$ (м $\times$ м $\times$ м), де встановлено 21 світильник серії ЛПО 02-2 $\times$ 40/П2 (група 10) з лампами ЛБ-40. Світильники розташовані у три ряди, паралельно довшій стороні приміщення. Відстань між рядами світильників становить $2p = 3$ м, між світильниками у ряді $\lambda = 1,7$ м. Висота робочої поверхні $h_p = 0,8$ м, висота звису $h_{\text{зв}} = 0,1$ м, висота підвісу $h = 2,7$ м. Виконуються зорові роботи найвищої точності з найменшим розміром об'єкта розрізнення - менше 0,15 мм на світлому фоні з середнім контрастом між об'єктом і фоном. Прийняти коефіцієнт запасу $k = 1,3$.

Розв'язання..

1. Перевіряємо можливість розрахунку методом КВ:

а) $\lambda : h = 1,27 : 2,7 = 0,47$, що менше 0,5;

б) $\lambda : r = \lambda : \sqrt{h^2 - p^2} = 1,27 : \sqrt{2,7^2 - 1,5^2} = 0,57$, що більше 0,2. Таким

чином, необхідно застосувати метод світлової лінії.

2. Розрахункову точку вибираємо посередині довшої сторони приміщення на рівних відстанях між першим і другим рядами. Тоді для першого і другого рядів:

$$p_I = \frac{B}{n_p \cdot 2} = \frac{9}{3 \cdot 2} = 1,5 \text{ м}$$

довжина напівряду: $\ell = \ell_p : 2 = 18 : 2 = 9 \text{ м}$;

для третього ряду: $p_{III} = B/n_p + p_I = 9/3 + 1,5 = 4,5 \text{ м}$,

$$\ell_{III} = \ell = 9 \text{ м}.$$

3. Відносні координати розрахункової точки:

$$p'_I = p_I / h = 1,5 / 2,7 = 0,56; \quad \ell' = \ell / h = 9 / 2,7 = 3,33; \quad p'_{III} = p_{III} / h = 4,5 / 2,7 = 1,67.$$

4. Для світильників умовної групи 10 лінійні ізолюкси відсутні, тому за табл. Д.2.12 знаходимо кут між напрямками вектору сили світла і вертикалю:

для $p'_I = 0,56$ $\alpha = 30^\circ$;

для $p'_{III} = 1,67$ $\alpha = 72^\circ$;

допоміжна функція для відносних координат напіврядів I і II рядів $f(p', \ell')_I = 0,53$, для напіврядів III ряду $f(p', \ell')_{III} = 0,07$.

5. Сила світла для лампи з $\Phi = 1000 \text{ лм}$ у світильнику групи 10 для $\alpha = 30^\circ$ становить $\ell_{aI} = 160 \text{ кд}$; для $\alpha = 72^\circ$ $\ell_{aIII} = 62 \text{ кд}$;

6. Відносна освітленість від чотирьох напіврядів I і II рядів: $\varepsilon_I = m \cdot f(p', \ell')_I \cdot I_{aI} = 4 \cdot 0,53 \cdot 160 = 339 \text{ (лк)}$; від двох напіврядів III ряду: $\varepsilon_{III} = m \cdot f(p', \ell')_{III} \cdot I_{aIII} = 2 \cdot 0,07 \cdot 62 = 8,6 \text{ (лк)}$, що становить:

$$\frac{\varepsilon_{III}}{\varepsilon_I} \cdot 100\% = \frac{8,6}{339} \cdot 100\% = 2,5\% < 5\%, \text{ тому ці напівряди при розрахунку } \varepsilon,$$

339 не враховуємо.

7. Світловий потік лампи ЛБ-40 $\Phi_{\lambda} = 3120 \text{ лм}$ (табл. Д.2.3), коефіцієнт μ приймаємо рівним 1.1.

8. Для розрахунку освітленості застосовуємо формулу (2.20), тому що ряди великої довжини ($\ell_p : h = 18 : 2,7 = 6,7 > 3$):

$$E_{\phi} = \frac{N n \Phi_{\lambda} \sum_{i=1}^m \varepsilon_i \psi_i}{1000 k h \ell_p} = \frac{21 \cdot 2 \cdot 3120 \cdot 339}{1000 \cdot 1,3 \cdot 2,7 \cdot 18} = 690 \text{ (лк)}$$

9. Нормована освітленість за умовами зорових робіт $E_H = 400 \text{ лк}$ (табл. Д.2.7). Розрахункова фактична освітленість $E_{\phi} > E_H$, тобто у даному приміщенні вимоги норм з освітленості виконуються.

1.5. Розрахунки загального і комбінованого освітлення для самостійної роботи студентів 21

Задача 1

Розрахувати загальне рівномірне освітлення класу (розміри приміщення за табл.) при напрузі освітлювальної мережі 220 В, світильниках з люмінесцентними лампами ЛПО 02-2х20/Н-02 (тип лампи за табл.), коефіцієнти відбивної здатності стелі, стін, робочої поверхні відповідно 0,7; 0,5; 0,16, коефіцієнт запасу $k = 1,3$, коефіцієнт нерівномірності освітлення $z = 1,1$. Висота робочої поверхні $h_{p.n.} = 0,8$, висота звису $h_{зв} = 0,1$ м. Виконувані зорові роботи відносяться до III розряду, підрозряду “б”.

№ з/п	Розміри приміщення А×В×Н, м	Тип ламп	№ з/п	Розміри приміщення А×В×Н, м	Тип ламп
1.	6×11×3,3	ЛТБ 20	9.	4×6×3,3	ЛБ 20
2.	5×10×3,3	ЛДЦ 20	10.	5×12×3,3	ЛД 20
3.	6×8×3,3	ЛД 20	11.	8×8×3,3	ЛХБ 20
4.	7×8×3,3	ЛХБ 20	12.	10×12×3,3	ЛДЦ 20
5.	6×9×3,3	ЛБ 20	13.	9×10×3,3	ЛД 20
6.	9×8×3,3	ЛДЦ 20	14.	6×10×3,3	ЛТБ 20
7.	5×11×3,3	ЛЕЦ 20	15.	7×11×3,3	ЛХБ 20
8.	7×9×3,3	ЛДЦ 20	16.	10×11×3,3	ЛБ 20

Задача 2

Розрахувати місцеве освітлення для столів шкільної майстерні, де учні виконують роботу з деталями. Найменший розмір розрізнення 0,5 мм при фоні середньої світлості і малому контрасті об'єкту розрізнення з фоном. Світильники для місцевого освітлення МЛ-2×80 (тип лампи за табл.), відстань розташування над столами за табл.; відстань між розрахунковою точкою, що знаходиться в площині, яка проходить через середину світильника і проекцією світильника на робочу поверхню $p = 0,5$ м. Прийняти коефіцієнт запасу $k = 1,4$; коефіцієнт $\mu = 1$.

№ з/п	Висота підвісу h , м	Тип лампи	№ з/п	Висота підвісу h , м	Тип лампи
1.	0,7	ЛД 80	9.	1,0	ЛБ 80
2.	0,7	ЛДЦ 80	10.	0,9	ЛД 80
3.	1,0	ЛД 80	11.	1,0	ЛТБ 80
4.	1,0	ЛХБ 80	12.	0,9	ЛДЦ 80
5.	0,7	ЛБ 80	13.	0,8	ЛТБ 80
6.	0,7	ЛТБ 80	14.	0,8	ЛД 80
7.	0,8	ЛХБ 80	15.	1,0	ЛДЦ 80
8.	0,8	ЛДЦ 80	16.	1,0	ЛБ 80

Задача 3

Перевірити достатню освітленість шкільного класу (розміри за табл.), в якому встановлено 10 стельових світильників ЛПО 02-2×40/П-02 (тип ламп за табл.) при такій характеристиці зорових робіт: найменший розмір об'єкту розрізнення – 0,5 мм, фон – середній, контраст – середній. Висота робочої поверхні – 0,8 м. Стіни і стеля побілені, робоча поверхня – середньої світлості. Світильники розташовані рядами, перпендикулярними довшій стороні класу, по два у кожному ряді.

№ з/п	Розміри приміщення А×В×С	Тип лампи	№ з/п	Розміри приміщення А×В×С	Тип лампи
1.	6×11×3,3, м	ЛХЕЦ 40	9.	8×8×3,3	ЛД 40
2.	5×10×3,3	ЛТБЦ 40	10.	5×12×3,3	ЛДЦ 40
3.	6×8×3,3	ЛХЕЦ 40	11.	8×10×3,3	ЛТБЦ 40
4.	7×8×3,3	ЛЕЦ 40	12.	10×12×3,3	ЛХЕЦ 40
5.	6×9×3,3	ЛДЦУ 40	13.	9×10×3,3	ЛЕЦ 40
6.	6×10×3,3	ЛТБ 40	14.	6×10×3,3	ЛДЦУ 40
7.	5×11×3,3	ЛБ 40	15.	7×11×3,3	ЛТБ 40
8.	7×9×3,3	ЛХБ 40	16.	10×11×3,3	ЛБ 40

Методичне забезпечення для проведення практичного заняття на тему "Розрахунок заземлення та занулення електроустановок"

Тема заняття: Розрахунок заземлення та занулення електроустановок.

Мета заняття: Навчитися практично проводити розрахунок захисного заземлення та занулення електроустановок.

План

1. Загальні відомості.
2. Методика розрахунку захисного заземлення.
3. Методика розрахунку занулення.
4. Приклади розрахунку занулення.
5. Розрахунки занулення для самостійної роботи студентів.

1. Загальні відомості

Через пошкодження ізоляції електроустановок на їх металевих конструкціях може з'явитися напруга, що створить небезпеку ураження людей електрострумом [2, 6, 8, 9]. Для запобігання електротравматизму при пошкодженні електрообладнання застосовують: захисне заземлення, занулення, захисне відмикання, малу напругу, подвійну ізоляцію та ін.

Захисне заземлення – навмисне електричне з'єднання металевих неструмоведучих частин електроустановки, які можуть опинитися під напругою, із заземлюючим пристроєм (рис. 2.4).

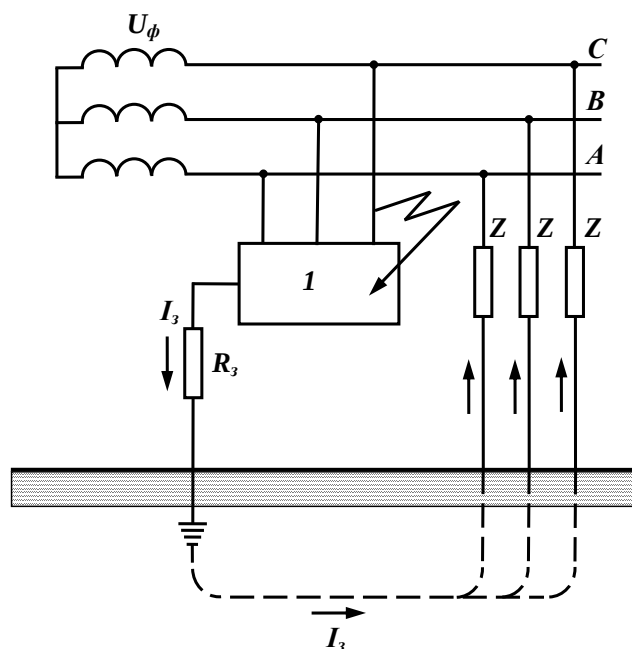


Рис. 2.4. Принципова схема захисного заземлення:

1 – корпус електроустановки;

Z – опір ізоляції фаз відносно землі;

R_3 – опір заземлення корпусу електроустановки;

I_3 – струм замикання на землю.

Сполучення металевих частин корпусів електроустановок із землею здійснюється за допомогою заземлювачів – металевих провідників, що знаходяться у безпосередньому контакті із землею. Заземлювачі бувають штучні (металеві стержні, штаби) і природні (металоконструкції будинків, споруд, залізобетонні фундаменти, деякі комунікації). Опір заземлення R_3 у багато разів менший опору тіла людини $R_{\text{л}}$. Тому у разі замикання на корпус практич-

но весь струм замкнеться на землю через заземлювач. Напруга на корпусі відносно землі: $U_k = I_z R_z$, де I_z – струм замикання на землю. Напруга доторкання до корпусу у найнесприятливішому випадку $U_o \cong U_k$, тоді струм через людину $I_{\text{л}} = 3U_{\phi} / (3R_{\text{л}} + Z + R_{\text{л}} \cdot Z / R_z)$, звідси видно, то струм через людину буде тим менший, чим менший R_z і чим більші $R_{\text{л}}$ і опір ізоляції Z .

Захисне заземлення згідно з "Правилами устроювання електроустановок (ПУЭ-86)" застосовується, в основному, в мережах із ізолюваною від землі нейтраллю в особливо небезпечних умовах (шахти, рудники, кар'єри, торфодобування тощо) при обов'язковому постійному надійному контролю стану ізоляції.

Максимально допустимий опір захисного заземлення визначається умовами виробництва, напругою, значенням сили струму короткого замикання на землю. Згідно "ПУЭ-86" опір заземлення електроустановки напругою до 1000 В не повинен перевищувати 4 Ом (при потужності джерел струму до 250 кВ·А – не більше 10 Ом), в установках напругою вище 1000 В – не більше 0,5 Ом. На відкритих гірничих роботах максимальний допустимий опір заземлення становить 4 Ом. на підземних гірничих роботах – 2 Ом.

Занулення – навмисне електричне з'єднання з нульовим захисним провідником електромережі металевих неструмоведучих частин електроустановки, які можуть опинитися під напругою в разі пошкодження ізоляції (рис. 2.5).

Нульовий захисний провідник з'єднує корпус установки з глухо заземленою нульовою точкою обмотки джерела струму (генератора або трансформатора). При пробиванні ізоляції на корпус виникає електричне коло однофазного короткого замикання з малим опором. Оскільки при цьому сила струму буде значною, відбудеться розплавлення плавких запобіжників або спрацювання автоматичних вимикачів, що призведе до вимикання пошкодженого обладнання.

Занулення застосовують у найбільш розповсюджених трифазних чотирипроводних мережах напругою до 1000 В з глухозаземленою нейтраллю джерела живлення як основний захист від ураження електричним струмом при можливому дотиканні до металевих частин електрообладнання, на яких може з'явитися напруга. Заземлення нейтралі називають робочим заземленням, на відміну від захисного.

Нульовий провід заземлюють у джерела струму і на вводах до будинку (до того ж на повітряних лініях ще й через кожні 200 м). Повторні заземлення необхідні для зменшення небезпеки при обриві нульового проводу щоб зменшити напругу дотику до моменту спрацювання захисту. Опір заземлюючого пристрою, до якого приєднана нейтраль (нульова точка) джерела струму, згідно "ПУЭ-86", має бути не більшим ніж 2, 4, 8 Ом відповідно до лінійних напруг джерела трифазного струму 660, 380, 220 В, а опір кожного повторного заземлювача має бути не більшим ніж 15, 30, 60 Ом відповідно тих самих напруг.

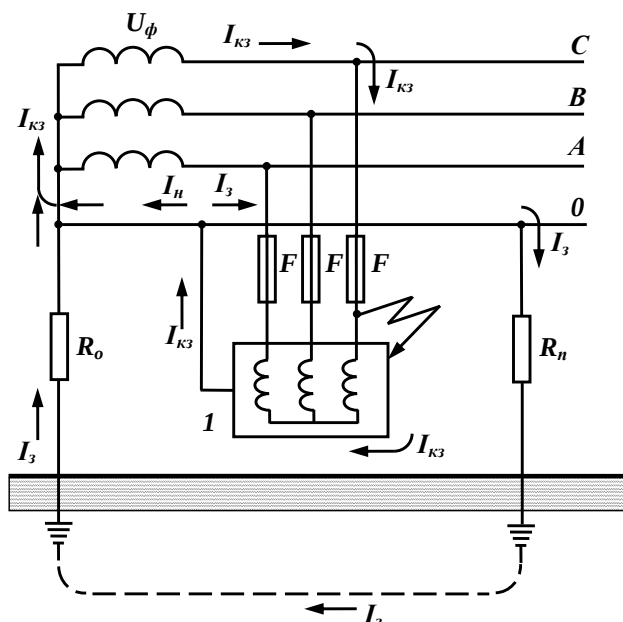


Рис. 2.5. Принципова схема занулення:

1 – корпус електроустановки; **F** – запобіжники;
2 – апарати для захисту від струмів короткого замикання
(плавкі запобіжники, автомати і т.п.):

R_0 , R_n – опори заземлення відповідно нейтралі і повторного заземлення нейтралі;

I_k – струм короткого замикання;

I_z – частина струму короткого замикання, що протікає через землю;

I_n – частина струму короткого замикання, що протікає через нульовий захисний провідник.

У мережах, де застосовують занулення, не можна заземлювати корпуси електроустановок без їх занулення, оскільки у випадку замикання фази на корпус заземленої, але не зануленої установки, під напругою з'являться усі корпуси інших занулених електроустановок.

Водночас додаткове заземлення занулених електроустановок не забороняється, воно підвищує надійність заземлення нульового проводу.

Заземлюючий пристрій звичайно розташовують по периметру виробничого приміщення (контурний), що більш ефективно, або збоку (виносний). Він являє собою сукупність заземлювачів – забитих у ґрунт металевих стержнів або труб, з'єднаних між собою зварюванням з горизонтальною шиною або круглим провідником, переріз якого не менший 100 мм^2 (рис. 2.6.). Глибина траншеї має бути більшою за глибину промерзання ґрунту у даній місцевості. До корпусів електрообладнання провідники занулення (заземлення) прикріплюються болтами з контргайками.

а

б

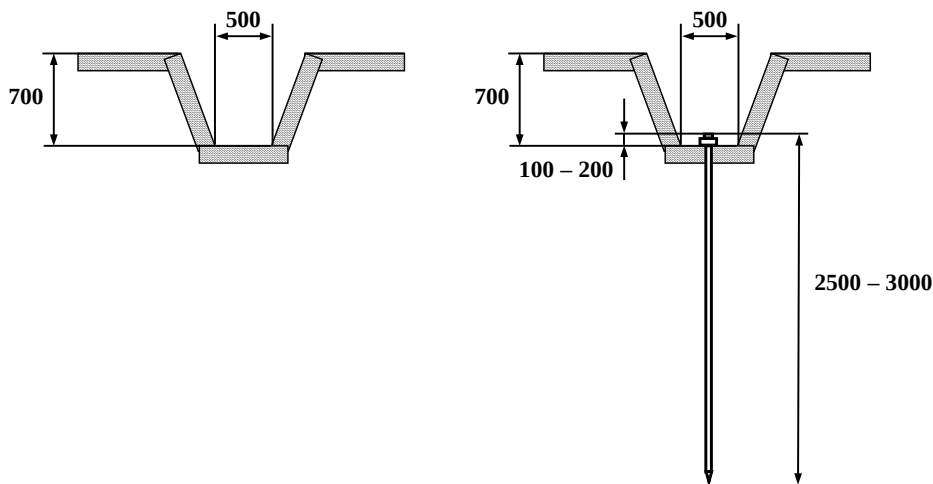


Рис. 2.6. Встановлення вертикального заземлювача в траншеї:

- а) траншея;
- б) розміщення електрода у ґрунті.

Відповідно до "ГОСТ 12.1.030-81" зануленню (або захисному заземленню) підлягають усі електроустановки напругою змінного струму > 380 В (постійного – ≥ 440 В), а також напругою > 42 В змінного струму, що працюють в умовах підвищеної небезпеки і особливо небезпечних щодо ураження електрострумом, та всі електроустановки у вибухонебезпечних зонах.

2. Методика розрахунку захисного заземлення

Розрахунок заземлення здійснюється у такій послідовності [10]:

- а) визначають розрахунковий питомий опір ґрунту;
- б) розраховують опір розтіканню струму одного вертикального заземлювача;
- в) визначають необхідну кількість заземлювачів та орієнтовне їх розташування по периметру приміщення з визначенням відстані між ними;
- г) розраховують опір розтіканню з'єднувальної шини;
- д) розраховують загальний опір заземлюючого пристрою з урахуванням з'єднувальної шини.

Порядок розрахунку

1. Розрахунковий питомий опір ґрунту (Ом·м) визначають за формулою:

$$\rho_p = \rho \cdot \varphi,$$

де ρ – питомий опір ґрунту за вимірами або орієнтовно за таблицею 2.5;

φ – кліматичний коефіцієнт, що залежить від характеру ґрунту та його вологості під час вимірів (табл. 2).

2. Опір розтіканню струму одного вертикального стержневого (трубчастого) заземлювача, верх якого заглиблений на h м, Ом:

$$R_{od} = \frac{\rho_p}{2\pi\ell} \left(\ln \frac{2\ell}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t + \ell}{4t - \ell} \right) \text{ або}$$

$$R_{od} = \frac{0,366\rho_p}{\ell} \left(\lg \frac{2\ell}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t + \ell}{4t - \ell} \right)$$

де ℓ – довжина заземлювача, м;

d – діаметр заземлювача, м;

t – відстань від поверхні землі до середини заземлювача, м.

($t = \ell / 2 + h$)

Таблиця 2.5. Орієнтовні значення питомого опору ґрунтів ρ 27

Ґрунт	Питомий опір ρ , Ом·м	
	Можливі межі коливань	При вологості 10÷12% до маси ґрунту
Пісок	400 – 700	700
Супісок	150 – 400	300
Кам'янистий ґрунт	150 – 4000	–
Суглинок	40 – 150	100
Глина	8 – 70	40
Чорнозем	9 – 500	200
Садова земля	400 – 600	500
Торф	10 – 30	20

Таблиця 2.6. Кліматичні коефіцієнти ґрунтів φ

Ґрунт	φ_1	φ_2	φ_3
Пісок	2,4	1,6	1,2
Супісок	2,3	1,5	1,2
Кам'янистий ґрунт	1,5	1,3	1,2
Суглинок	2,0	1,5	1,4
Глина	2,4	1,4	1,2
Чорнозем	1,5	1,3	1,2
Садова земля	2,0	1,5	1,2
Торф	1,4	1,1	1,0

Примітка: φ_1 , приймається, якщо виміри виконувались при великій вологості ґрунту; φ_2 – при середній вологості ґрунту; φ_3 – при сухому ґрунті.

При застосуванні заземлювача з труб довжиною $\ell = 2,5$ м, діаметром $d_{\text{зовн}} = 0,06$ м ($d_{\text{вн}} = 2''$) і розташуванні верхнього кінця труб нижче рівня землі па 0,7 м (для зменшення впливу річних температурних коливань на опір заземлювача) $R_{\text{од}} = 0,308\rho_p$.

3. Орієнтовна кількість вертикальним заземлювачів, шт.:

$$n' = R_{\text{од}} / R_z$$

де R_z – найбільший допустимий опір заземлюючого пристрою згідно з "Правилами устроюства електроустановок".

4. Шляхом розташування отриманої кількості заземлювачів на плані визначають орієнтовно відстань між ними та коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів за таблицею 2.7 залежно від кількості стержнів і відношення відстані між ними до їх довжини.

Таблиця 2.7. Коефіцієнт використання заземлювачів, η_{cm}

Відношення відстані між трубами (стержнями) до їх довжини	При розташуванні в ряд		При розташуванні по контуру	
	Кількість заземлювачів	η_{cm}	Кількість заземлювачів	η_{cm}
1	2	0,84 – 0,87	4	0,66 – 0,72
	3	0,76 – 0,80	6	0,58 – 0,65
	5	0,67 – 0,72	10	0,52 – 0,58

	10	0,56 – 0,62	20	0,44 – 0,50
	15	0,51 – 0,56	40	0,38 – 0,44
	20	0,47 – 0,50	60	0,36 – 0,42
2	2	0,90 – 0,92	4	0,76 – 0,80
	3	0,85 – 0,88	6	0,71 – 0,75
	5	0,79 – 0,83	10	0,66 – 0,71
	10	0,72 – 0,77	20	0,61 – 0,66
	15	0,66 – 0,73	40	0,55 – 0,61
	20	0,65 – 0,70	60	0,52 – 0,58
3	2	0,93 – 0,95	4	0,84 – 0,86
	3	0,90 – 0,92	6	0,78 – 0,82
	5	0,85 – 0,88	10	0,74 – 0,78
	10	0,79 – 0,83	20	0,68 – 0,73
	15	0,66 – 0,80	40	0,64 – 0,69
	20	0,74 – 0,79	60	0,62 – 0,67

5. Необхідна кількість заземлювачів з урахуванням коефіцієнта використання:

$$n = R_{\text{од}} / R_3 \cdot \eta$$

6. Опір розтіканню з'єднувальної шини з урахуванням коефіцієнта її використання $\eta_{\text{ш}}$ (таблиця 4), Ом:

$$R_{\text{ш}} = \frac{\rho_p}{2\pi L \eta_{\text{ш}}} \ln \frac{2L^2}{bh} \quad \text{або}$$

$$R_{\text{ш}} = 0,366 \frac{\rho_p}{L \eta_{\text{ш}}} \lg \frac{2L^2}{bh}$$

де L – довжина шини, м;

b – ширина шини, м;

h – глибина закладання шини, м.

Таблиця 2.8. Коефіцієнт використання шини, $\eta_{\text{ш}}$

Відношення відстані між заземлювачами до їх довжини	Кількість заземлювачів					
	4	8	10	20	30	50
1 2 3	При розташуванні шини в ряді стержня					
	0,77	0,67	0,62	0,42	0,31	0,21
	0,89	0,79	0,75	0,66	0,46	0,36
	0,92	0,85	0,82	0,68	0,58	0,49
1 2 3	При розташуванні шини по контуру					
	0,45	0,36	0,34	0,27	0,24	0,21
	0,55	0,43	0,40	0,32	0,30	0,23
	0,70	0,60	0,56	0,45	0,41	0,37

7. Опір заземлюючого пристрою, що має n стержнів, без урахування опору шини, Ом:

$$R = \frac{R_{\text{ст}} \cdot R_{\text{ш}}}{R_{\text{ст}} + R_{\text{ш}}} \leq R_3$$

8. Загальний опір складного заземлюючого пристрою, Ом:

$$R = \frac{R_{ct} \cdot R_{ui}}{R_{ct} + R_{ui}} \leq R_3$$

3. Методика розрахунку занулення

Розрахунок занулення (рис. 2.5) полягає у визначенні, окрім необхідної кількості заземлювачів і загального опору заземлюючого пристрою (рис. 2.6), ще додатково потрібну площу перерізу нульового проводу шляхом визначення необхідного його опору, за яким електроустаткування вимкнеться при виникненні струму короткого замикання у випадку пошкодження ізоляції та замиканні на корпус [10].

Порядок розрахунку

1. Визначають опір робочого заземлення нульової точки трансформатора (генератора).
2. Сила струму короткого замикання при замиканні фази на корпус, А:

$$I_k \geq 3I_{ном}$$

де $I_{ном}$ – номінальний струм плавкої вставки запобіжника або струм спрацювання автомату.

3. Необхідний опір (найбільший) нульового провідника, при якому електрообладнання вимкнеться при появі струму короткого замикання, можна визначити із спрощеної формули для визначення сили струму короткого замикання, А:

$$I_k = U_\phi / (R_\phi + R_n + R_{тр}), \text{ А}$$

де U_ϕ – фазна напруга в мережі, В;

R_n і $R_{тр}$ – відповідно опір фазного і нульового провідників, Ом (якщо прийняти площі їх перерізу однаковими, то $R_n = R_\phi$ і $R_\phi + R_n = 2R_n$;

$R_{тр}$ – активний опір трансформатора, Ом (за довідковими даними відповідно до типу трансформатора).

Розв'язуючи цю формулу відносно опору нульового провідника, отримуємо:

$$R_n = \frac{U_\phi - I_k R_{тр}}{2I_k} \text{ Ом.}$$

4. Потрібна площа перерізу нульового провідника, мм²:

$$S = \rho_n \ell_{\Pi} / 2R_n$$

де ρ_n – питомий опір провідників, Ом·мм²/м (мідних – 0,018, алюмініюваних – 0,028);

ℓ_{Π} – довжина петлі фаза-нуль, м.

4. Приклад розрахунку занулення

Приклад 1.

Виконати розрахунок занулення для наступних умов: розташування вертикальних заземлювачів у прямокутнику $A \times B = 20 \times 8$ (м); заземлювачі – сталеві труби довжиною $\ell = 2,0$ м і зовнішнім діаметром $d = 0,06$ м, з'єднувальна шина шириною $b = 0,04$ м; ґрунт – суглинок при середній вологості; глибина закладання заземлюючого пристрою $h = 0,7$ м; внутрішня електромережа приміщен-

ня – чотирипроводова з лінійною напругою 380 В і нульовим захисним провідником, площа перерізу S фазних і нульового провідників прийнята однаковою, матеріал – мідь, трансформатор з активним опором $R_{mp} = 0,2$ Ом. Номінальний струм плавкої вставки запобіжника $I_{ном} = 50$ А, довжина петлі фаза-нуль становить $\ell_n = 90$ м.

Розв'язання:

1. Приймаємо питомий опір суглинку за таблицею 2.5 $\rho = 100$ Ом·м. Кліматичний коефіцієнт при середній вологості за таблицею 2.6 для суглинку $\varphi_2 = 1,5$, тоді розрахунковий питомий опір ґрунту:

$$\rho_p = \rho \cdot \varphi_2 = 100 \cdot 1,5 = 150 (\text{Ом} \cdot \text{м})$$

2. Відстань від поверхні землі до середини заземлювача $t = 1/2 + h = 2/2 + 0,7 = 1,7$ м; опір розтіканню струму однієї вертикальної труби :

$$R_{od} = \frac{\rho_p}{2\pi\ell} \left(\ln \frac{2\ell}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t + \ell}{4t - \ell} \right) = \frac{150}{2\pi \cdot 2,0} \left(\ln \frac{2 \cdot 2,0}{0,06} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 1,7 + 2,0}{4 \cdot 1,7 - 2,0} \right) = 53,8 (\text{Ом})$$

Найбільший допустимий опір заземлюючого пристрою при фазовій напрузі 220 В відповідно з "ПУЭ-86" становить **4 Ом**. Орієнтовна кількість вертикальних заземлювачів:

$$n' = R_{od} / R_3 = 53,8 / 4 = 13,45; \quad \text{приймаємо } n' = 14.$$

При розташуванні заземлюючого пристрою по контуру приміщення орієнтовна відстань між трубами :

$$a = (2A + 2B) / n' = (2 \cdot 20 + 2 \cdot 8) / 14 = 4 (\text{м}).$$

4. Коефіцієнт використання стержневих заземлювачів при відношенні $a / \ell = 2$ за таблицею 2.7 приймаємо $\eta = 7$.

5. Необхідна кількість заземлювачів з урахуванням коефіцієнта використання:

$$n = R_{od} / R_3 \cdot \eta_{cm} = 53,8 / 4 \cdot 0,7 = 19,2; \quad \text{приймаємо } n = 20.$$

Опір розтіканню струму з'єднувальної шини з урахуванням коефіцієнта використання (за таблицею 2.8 $\eta_{ш} = 0,35$):

$$R_{ш} = \frac{\rho_p}{2\pi\ell\eta_{ш}} \ln \frac{2L^2}{bh} = \frac{150}{2\pi \cdot 56 \cdot 0,35} \ln \frac{2 \cdot 56^2}{0,04 \cdot 0,7} = 15 (\text{Ом})$$

Опір заземлюючого пристрою без урахування опору шини:

$$R_{cm} = R_{od} / (n \cdot \eta_{cm}) = 53,8 / (20 \cdot 0,7) = 3,84 (\text{Ом})$$

Загальний опір складного заземлюючого пристрою:

$$R = \frac{R_{cm} \cdot R_{ш}}{R_{cm} + R_{ш}} = \frac{3,84 \cdot 15}{3,84 + 15} = 3,06 (\text{Ом})$$

що менше $R_3 = 4$ Ом.

Сила струму короткого замикання :

$$I_K = 3 \cdot I_{ном} = 3 \cdot 50 = 150 (\text{А}).$$

Найбільший можливий опір нульового провідника:

$$R_n = \frac{U_\phi - I_K R_{mp}}{2I_K} = \frac{220 - 150 \cdot 0,2}{2 \cdot 150} = 0,633 (\text{Ом})$$

Найменша необхідна площа перерізу нульового провідника:

$$S = \frac{\rho_n \ell_n}{2R_n} = \frac{0,018 \cdot 90}{2 \cdot 0,633} = 1,28 \text{ (мм}^2\text{)}$$

5. Розрахунки занулення для самостійної роботи студентів

Задача 1

Розрахувати занулення при розташуванні вертикальних заземлювачів у прямокутнику $A \times B = 15 \times 6$ (м), де заземлювачами є сталеві труби довжиною $\ell = 1,5$ м, зовнішній діаметр їх становить $d = 0,04$ м, з'єднувальна шина шириною $b = 0,03$ м; ґрунт і його вологість вибрати за таблицею 2.9; глибина закладання заземлюючого пристрою $h = 0,6$ м; внутрішня електромережа приміщення – чотирипроводова з лінійною напругою 380 В і нульовим захисним провідником, площа перерізу S фазних і нульового провідників прийнята однаковою, матеріал – мідь, трансформатор з активним опором $R_{mp} = 0,2$ Ом. Номінальний струм плавкої вставки запобіжника $I_{ном} = 50$ А, довжина петлі фаза-нуль становить $\ell_n = 45$ м.

Таблиця 2.9

№ варіанта	Ґрунт	Вологість ґрунту
1	Садова земля	середній
2	Чорнозем	вологий
3	Торф	вологий
4	Супісок	середній
5	Садова земля	вологий
6	Пісок	сухий
7	Суглинок	вологий
8	Глина	вологий
9	Чорнозем	сухий
10	Суглинок	сухий
11	Чорнозем	середній
12	Торф	сухий
13	Супісок	сухий
14	Садова земля	сухий
15	Пісок	вологий
16	Суглинок	середній

Тема заняття: Розрахунок вентиляції виробничих приміщень

Мета заняття: Навчитися практично проводити розрахунок вентиляції виробничих приміщень

План

- 1.1. Загальнообмінна вентиляція
 - 1.1.1. Загальні відомості
 - 1.1.2. Розрахунок повітрообміну за шкідливими речовинами
 - 1.1.3. Розрахунок повітрообміну за надлишками тепла
 - 1.1.4. Розрахунок повітрообміну за волого виділеннями
 - 1.1.5. Розрахунок повітрообміну залежно від кількості працюючих
 - 1.1.6. Розрахунок повітрообміну за його кратністю
 - 1.1.7. Приклади розрахунків повітрообміну при загальній вентиляції
- 1.2. Місцева витяжна вентиляція
 - 1.2.1. Загальні відомості
 - 1.2.2. Витяжні шафи
 - 1.2.3. Витяжні зонти
 - 1.2.4. Панелі рівномірного всмоктування
 - 1.2.5. Інші пристрої витяжної вентиляції
 - 1.2.6. Приклади розрахунків місцевої витяжної вентиляції
- 1.3. Розрахунок повітропроводів, вибір вентиляторів і електродвигунів
 - 1.3.1. Методика аеродинамічного розрахунку і вибору вентилятора та електродвигуна
 - 1.3.1.1. Аеродинамічний розрахунок повітря
 - 1.3.1.2. Вибір вентилятора
 - 1.3.1.3. Вибір електродвигуна
 - 1.3.2. Приклад розрахунку вентиляційної установки
- 1.4. Розрахунки повітрообміну при загальній та місцевій витяжній вентиляції для самостійної роботи студентів

1.1. Загальнообмінна вентиляція

1.1.1. Загальні відомості

Повітрообмін – процес заміни відпрацьованого і забрудненого повітря у виробничому приміщенні свіжим за допомогою природної (або) механічної вентиляції. Величина обміну повітря, м³/год, - один з головних показників, необхідних для проектування будь-якої з систем вентиляції виробничого приміщення.

Вентиляційні системи загально обмінної механічної вентиляції бувають витяжними, припливними і припливно-витяжними.

Обмін повітря повинен розраховуватись так, щоб концентрація шкідливостей (пари, гази, волога, пил або аерозолі та ін.) в приміщенні під час роботи вентиляції не перевищувала допустимих рівнів концентрації (ГДК). ГДК деяких шкідливих речовин наведені у таблиці Д 1.1.

Кількість повітря, що надходить у приміщення для забезпечення необхідних метрологічних умов та якості повітря робочої зони, визначають

відповідно до існуючих будівельних норм. Розрахунок здійснюють за такими чинниками: шкідливі речовини, надлишки теплоти, надлишки вологи, за кількістю працюючих. Якщо у приміщенні мають місце одночасно декілька шкідливих чинників, розрахунок ведуть за кожним із них і більше з отриманих значень приймають за розрахункове.

1.1.2. Розрахунок повітрообміну за шкідливими речовинами.

Необхідний об'єм повітря для розбавлення шкідливих речовин до допустимих концентрацій розраховують за формулою, м³/год:

$$L_m = \frac{kG}{q - q_0}, \quad (1.1)$$

де k - коефіцієнт нерівномірності розподілу шкідливої речовини у приміщенні (приймають

1,2÷2,0 залежно від висоти приміщення та особливостей технологічних процесів);

G - кількість шкідливої речовини, що виділяється у приміщенні за годину, мг/год;

$G q$ - концентрація шкідливої речовини у повітрі, яке видаляється ($\leq$ ГДК), мг/м³;

q_0 - концентрація шкідливої речовини у повітрі, яке подається в приміщенні ($\leq$ ГДК), мг/м³.

За наявності місцевої вентиляції необхідну кількість повітря визначають за формулою м³/год:

$$L_m = L_M + \frac{kG - L_M(q_m - q_0)}{q - q_0} \quad (1.2)$$

де L_M - кількість повітря, що видаляється з приміщення місцевою вентиляцією, м³/год;

q_m - вміст шкідливих речовин у повітрі, яке виділяється з робочої зони або зони, що обслуговується, мг/м³;

q - вміст шкідливих речовин у повітрі, яке виділяється з приміщення за межами робочої зони або зони, що обслуговується, мг/м³.

При одночасному надходженні у повітря приміщення кількох шкідливих речовин односпрямованої дії об'єми повітря, необхідні для розбавлення кожної речовини окремо, сумують, а при речовинах різноспрямованої дії – допускається приймати найбільш з розрахованих об'ємів.

Наприклад при одночасному випаровуванні кількох розчинників (ацетону, спиртів, оцтової кислоти) чи подразнюючих газів (сірчаного чи сірчистого ангідриду, хлористого чи фтористого водню та аб.) розрахунок кількості повітря для загальної обмінної вентиляції слід виконувати, сумуючи обсяги його, потрібні для розбавлення до норми окремо кожного з розчинників чи подразнюючих газів.

При одночасному виділенні кількох газів і парів, окрім розчинників і подразнюючих газів, кількість повітря при розрахунку вентиляції приймається за тією шкідливістю, яка потребує найбільшого розбавлення.

1.1.3. Розрахунок повітрообміну за надлишками тепла.

Робота технологічного устаткування та виробничі процеси звичайно супроводжуються виділенням тепла. Це може призвести до перевищення допустимої температури повітря у приміщенні, особливо у теплий період року.

Необхідну кількість повітря, м³/год, для відведення надлишків тепла розраховують за формулою:

$$L_Q = \frac{kQ_{\text{над}}}{c(t_e - t_n)\gamma}, \quad (1.3)$$

а за наявності місцевої вентиляції – за формулою:

$$L_Q = L_M + \frac{kQ_{\text{над}} - L_M(t_M - t_n)}{c(t_e - t_n)\gamma} \quad (1.4)$$

де k - коефіцієнт нерівномірності розподілу надлишків тепла (1,1÷1,5);

$Q_{\text{над}}$ - надлишки кількості тепла, кДж/год (різниця між кількістю теплоти, що надходить у приміщення, і витратами тепла через його зовнішні огороження);

c - масова питома теплоємність повітря, яка дорівнює 1,0 кДж/(кг°С);

t_e - температура повітря, що видаляється, °С;

t_n - температура повітря, що подається в приміщення, °С;

γ - густина повітря, кг/м³ (при температурі повітря 20 °С $\gamma = 1,2$);

L_M - кількість повітря, що видаляється з приміщення місцевою вентиляцією, м³/год;

t_M - температура повітря, яке видаляється з робочої зони місцевою вентиляцією, °С.

Температуру повітря, яке видаляється, визначають за формулою:

$$t_e = t_{p.z.} + \Delta t(h - h_{p.z.}) \quad (1.5)$$

де $t_{p.z.}$ - температура повітря в робочій зоні, яка не повинна перевищувати допустиму за нормами (табл. Д.1.2), тобто $t_{p.z.} \leq t_{\text{дон}}$;

Δt - температурний градієнт у приміщенні по вертикалі,

$\Delta t = 0,5 \div 1,5^\circ \text{C} / \text{м}$;

h - відстань від підлоги до центру витяжних отворів, м;

$h_{p.z.}$ - висота робочої зони, м, за держстандартом $h_{p.z.} = 2 \text{ м}$.

Допускається перевищення температури в робочій зоні відносно температури зовнішнього повітря не більше на 5÷8°С.

1.1.4. Розрахунок повітрообміну за вологовиділеннями.

У повітря виробничих приміщень може надходити волога від технологічного обладнання і виробничих процесів та від працюючих людей (випаровування поту та видихання повітря). За гігієнічними нормами вологість повітря не повинна перевищувати 75% в холодний період року, а в теплий період – залежно від температури повітря (див. табл. Д.1.2).

Обмін повітря, м³/год, виходячи з допустимого вмісту в повітрі приміщення парів води, визначають за формулою:

$$L_w = \frac{Wm}{(d_e - d_s)\gamma}, \quad (1.6)$$

де W - надлишки вологи у приміщенні, що утворюються протягом години, г/год;

d_6, d_3 - вологовміст відповідно внутрішнього і зовнішнього припливного повітря, у грамах на 1 кг сухого повітря (табл. Д.1.3);

γ - густина повітря, кг/м³, при температурі приміщення;

m - коефіцієнт, що залежить від висоти приміщення H : при $H > 5$ м $m = 0,6 \div 0,8$; при $H = 5 \div 3,5$ м $m = 0,8 \div 0,9$, при $H < 3,5$ м $m = 1$.

Виділення вологи від людей наведені у табл.Д.1.4 залежно від температури повітря і важкості роботи, що виконується.

Для випадку, коли приміщення необхідно одночасно відводити надлишки тепла і вологи, обмін повітря розраховують графоаналітичним способом за допомогою $I-d$ діаграми для вологого повітря.

1.1.5. Розрахунок повітрообміну залежно від кількості працюючих

Для виробничих приміщень, у яких внаслідок технологічних процесів не виділяються шкідливості, необхідну кількість повітря для вентиляції, м³/год, визначають з урахуванням кількості працюючих за формулою:

$$L_N = NL_1 \quad (1.7)$$

де N - чисельність працюючих;

L_1 - нормативна кількість повітря на одного працюючого, м³/(год.люд.), яка залежить від питомого об'єму приміщення V_m м³/люд. ($V_n = VIN$, де V - вільний об'єм приміщення м³).

L_1 Якщо $V_n \leq 20$ м³/люд., то $L_1 \geq 30$ м³/(год.люд.), а якщо $V_n > 20$ м³/люд., то $L_1 \geq 20$ м³/(год.люд.).

1.1.6. Розрахунок повітрообміну за його кратністю

Іноді якість вентиляції оцінюють за показником кратності повітрообміну, 1/год:

$$K = L/V$$

де V - вільний об'єм приміщення.

Показник кратності повітрообміну показує, скільки разів за годину повітря у приміщенні повністю змінюється свіжим.

Розрахунок повітрообміну за значенням показника ведуть таким чином. Спочатку визначають, скільки шкідливої речовини надходить у повітря приміщення та фактичну її концентрацію, що утворюється у приміщенні протягом однієї години q_ϕ , мг/(м³·год):

$$q_\phi = G/V \quad (1.8)$$

де G - фактичне надходження шкідливої у повітря приміщення за годину, мг/год;

V - вільний об'єм приміщення, м³.

Потім визначають значення K , 1/год, за яким шкідлива речовина буде розбавлена до допустимої концентрації:

$$K = q_\phi / q_{ГДК} \quad (1.9)$$

де $q_{ГДК}$ - ГДК шкідливої речовини у повітрі робочої зони, мг/м³.

Необхідну кількість повітря, м³/год, для видалення надлишків шкідливої речовини визначають за формулою:

$$L_K = K \cdot V \quad (1.10)$$

1.1.7. Приклади розрахунків повітрообміну при загальній вентиляції

Приклад 1.1.

Визначити потрібний повітрообмін та його кратність для цеху, який має довжину 60 м, ширину 12 м, висоту 6 м. Вільний об'єм приміщення становить 85%. У повітря цеху виділяється пил у кількості $G=100$ г/год, ГДК якого 4 мг/м³. Прийнято, що концентрація пилу у робочій зоні $q_{p.з.} = 3,5$ мг/м³, концентрація пилу у повітрі, яке подається у приміщення, $q_o = 0,2$ мг/м³. Пил рівномірно розподілений у повітрі приміщення.

Розв'язання

1. Коефіцієнт нерівномірності приймаємо $k=1,0$, тоді концентрація пилу у повітрі, що видаляється, буде дорівнювати концентрації його у робочій зоні ($q = q_{p.з.}$).

2. Потрібний повітрообмін, м³/год:

$$L_u = \frac{kG}{q - q_o} = \frac{1,0 \cdot 10000}{3,5 - 0,2} = 30303$$

3. Вільний об'єм цеху:

$$V = A \cdot B \cdot C \cdot 0,85 = 60 \cdot 12 \cdot 6 \cdot 0,85 = 3672 \text{ (м}^3\text{)}$$

4. Кратність повітрообміну у цеху:

$$K = L_u / V = \frac{30303}{3672} = 8,25 \text{ (1/год)}$$

тобто за 1 годину повітря в цеху має обмінюватися 8,25 раз.

Приклад 1.2.

За даними прикладу 1.1. визначити необхідний повітрообмін у цеху та кратність повітрообміну, якщо місцевими відсмоктувачами відбирається з робочої зони $L_m = 2000$ м³/год повітря, яке містить $q_m = 20$ мг/м³ пилу.

Розв'язання

1. Кількість пилу, що видаляється місцевою вентиляцією протягом години, мг/год:

$$G_m = q_m \cdot L_m = 20 \cdot 2000 = 40000$$

2. Кількість пилу, що надходить у повітря цеху протягом години, г:

$$G' = G - G_m = 100 - 40 = 60$$

3. Потрібний повітрообмін, м³/год:

$$L'_u = L_m + \frac{kG' - L_m(q - q_o)}{q - q_o} = 2000 + \frac{1 \cdot 60000 - 2000(20 - 0,2)}{3,5 - 0,2} = 8180$$

4. Кратність повітрообміну у цеху:

$$K = L'_u / V = 8180 / 3672 = 2,2 \text{ (1/год)}$$

5. Співвідношення повітрообмінів в цеху тільки при загальній вентиляції до потрібного повітрообміну при загальній та наявності місцевої вентиляції становитиме:

$$L_u / L'_u = 30303 / 8180 = 3,7$$

тобто влаштування місцевої вентиляції дає змогу зменшити загальний повітрообмін у 3,7 раз.

Приклад 1.3.

У термічному відділку цеху, вільний об'єм якого $V=500 \text{ м}^3$, працюють $n=4$ електропечі, кожна потужністю $N=5 \text{ кВт}$. Вентиляційні отвори витяжної вентиляції розташовані на висоті $h=5 \text{ м}$, температура зовнішнього повітря $t_n=+22^\circ\text{C}$, температура у робочій зоні ($t_{p.z.}$) повинна бути не вищою 26°C . Температурний градієнт $\Delta t=1,2^\circ\text{C/м}$. Масова ізобарна теплоємність повітря $c=1 \text{ кДж/(кг·град.)}$, його густина $\gamma=1,2 \text{ кг/м}^3$. Коефіцієнт нерівномірності розподілу тепла у приміщенні $k=1,2$. На нагрівання повітря йде 70% потужності електропечі. Втрати тепла через зовнішні огороження становлять 5%. Визначити необхідний повітрообмін та його кратність в приміщенні, якщо місцева вентиляція відсутня.

Розв'язання

1. Визначаємо загальну кількість тепловиділень за годину:

$$Q = n \cdot N \cdot 0,7 \cdot 3600 = 4 \cdot 5 \cdot 0,7 \cdot 3600 = 50400 \text{ (кДж)}.$$

2. Надлишки тепла:

$$Q_{над} = Q \cdot 0,95 = 50400 \cdot 0,95 = 47880 \text{ (кДж)}.$$

3. Температура повітря, що видаляється:

$$t_e = t_{p.z.} + \Delta t(h - h_{p.z.}) = 26 + 1,2(5 - 2) = 29,6 (^\circ\text{C})$$

4. Необхідна кількість повітря:

$$L_Q = \frac{kQ_{над}}{c(t_e - t_n)\gamma} = \frac{1,2 \cdot 47880}{1,0 \cdot (29,6 - 22) \cdot 1,2} = 6300 \text{ (м}^3/\text{год)}$$

5. Кратність повітрообміну:

$$K = \frac{L_Q}{V} = \frac{6300}{500} = 12,6 \text{ (1/год)}$$

Приклад 1.4.

Визначити необхідний обмін повітря та кратність його обміну для випадку, вказаного у прикладі 1.3, за умови, що від кожної печі надходить $G_I = 25 \text{ г}$ чадного газу за годину. Гранично допустима концентрація чадного газу у робочій зоні $q_{ГДК}=20 \text{ мг/м}^3$. Прийняти концентрацію газу у повітрі, що видаляється з приміщення, 20 мг/м^3 ($0,02 \text{ г/м}^3$), в припливному повітрі $q_0 = 0,005 \text{ г/м}^3$, коефіцієнт нерівномірності $k=1,2$.

Розв'язання

1. Загальна кількість чадного газу, що надходить у повітря приміщення:

$$G = G_I \cdot n = 25 \cdot 4 = 100 \text{ (г/год)}.$$

2. Необхідна кількість повітря для розбавлення чадного газу у робочій зоні до рівня ГДК:

$$L_{ин} = \frac{kG}{q - q_0} = \frac{1,2 \cdot 100}{0,02 - 0,005} = 8000 \text{ (м}^3/\text{год)}$$

3. Кількість повітря, яке необхідно подати для збалансування тепла (з прикладу 1.3), становить $6300 \text{ м}^3/\text{год}$. Остаточню приймаємо більший з двох розрахованих для різних видів шкідливостей об'ємів повітря, тобто:

$$L_{розр} = L_{ин} = 8000 \text{ м}^3/\text{год}$$

4. Кратність обміну повітря становитиме:

$$K = \frac{L_{ин}}{V} = \frac{8000}{500} = 16 \text{ (1/год)}$$

Приклад 1.5.

У виробничому приміщенні в повітря з технологічного обладнання надходить волога у кількості $W_1=2600$ г/год. Розміри приміщення, м: $A \cdot B \cdot H=12 \cdot 8 \cdot 4$. Працюючих (n) - 12 чоловік. Робота, що виконується, середньої важкості. Вологомісткість повітря, що видаляється, ($d_e=20$ г/кг, зовнішнього - $d_s=18$ г/кг. Температура повітря $t=20^\circ\text{C}$. Густина повітря $\gamma=1,2$ кг/м³. Визначити необхідний повітрообмін і кратність обміну повітря.

Розв'язання

1.3 табл. Д. 1.4 кількість вологовиділень від людини W' при температурі повітря 20°C та середньої важкості виконуваної роботи становить 160 г/год.

2. Кількість виділеної вологи від працюючих за годину: .

$$W_2 = n \cdot W' = 12 \cdot 160 = 1920 \text{ (г/год)}$$

3. Сумарна кількість виділення вологи:

$$W = W_1 + W_2 = 2600 + 1920 = 4520 \text{ (г/год)}$$

4. При висоті приміщення 4 м приймаємо коефіцієнт, що враховує висоту, $m=0,85$.

5. Необхідна кількість повітря для видалення надлишкової вологи:

$$L_w = \frac{W \cdot m}{(d_e - d_s) \gamma} = \frac{4520 \cdot 0,85}{(20 - 18) \cdot 1,2} = 1620 \text{ (м}^3\text{/год)}$$

6. Кратність обміну повітря:

$$K = \frac{L_w}{V} = \frac{1620}{12 \cdot 8 \cdot 4} = 4,22 \text{ (1/год)}$$

Приклад 1.6.

У приміщенні, де відсутні джерела виділення шкідливостей, працюють одночасно $N=18$ чоловік. Розміри приміщення у метрах $A \cdot B \cdot H=10 \cdot 6 \cdot 3,2$, меблі та виробниче устаткування займають 15 % об'єму. Визначити найменшу необхідну кількість повітря для вентиляції та кратність повітрообміну.

Розв'язання.

1. Вільний об'єм приміщення:

$$V = V_{\text{б.в.д.}} \cdot 0,85 = 10 \cdot 6 \cdot 3,2 \cdot 0,85 = 163,2 \text{ (м}^3\text{)}.$$

1. Питомий вільний об'єм приміщення, м³/люд.:

$$V_n = V / N = 163,2 / 18 = 9,07 < 20$$

3. Нормована кількість повітря на одну людину при $V < 20$ м³/люд. становить:

$$L_t \geq 30 \text{ м}^3\text{/(год. люд.)}$$

4. Найменша необхідна кількість повітря для вентиляції:

$$L_N = N \cdot L_t = 18 \cdot 30 = 540 \text{ (м}^3\text{/год)}$$

5. Кратність повітрообміну:

$$K = L_N / V = 540 / 163,2 = 3,3 \text{ (1/год)}.$$

Приклад 1.7.

В малярному цеху, вільний об'єм якого (V) - 1800 м³, виконується покриття деталей фарбою, основним розчинником якої є бензол. При висиханні фарби за годину випаровується 120 г розчинника. Коефіцієнт нерівномірності $k=1$. Концентрація бензолу у зовнішньому повітрі $q_0=0,05$ мг/м³. Визначити кількість повітря, яку необхідно подати у приміщення, щоб концентрація парів

бензолу q не перевищувала гранично допустимої, двома методами: точним і спрощеним (за кратністю обміну повітря). Порівняні кратність обміну за цими розрахунками.

Розв'язання 1

1. Гранично допустима концентрація бензолу:

$$q_{ГДК} = 5 \text{ мг/м}^3 \text{ (табл. Д.1.1)}$$

2. Необхідна кількість повітря за формулою 1.1:

$$K = \frac{k \cdot G}{q - q_0} = \frac{1 \cdot 120000}{5 - 0,05} = 24242 \text{ (м}^3\text{/год)}$$

3. Кратність обміну повітря:

$$K = L_{\text{в}} / V = 24242 / 1800 = 13,5 \text{ (1/год)}.$$

Розв'язання 2

1. Фактична концентрація бензолу, яка утворюється у приміщенні протягом години:

$$q_{\phi} = G / V = 120 / 1800 = 0,067 \text{ (г/м}^3\text{)}.$$

2. Необхідна кратність обміну повітря:

$$K = q_{\phi} / q_{ГДК} = 67 / 5 = 13,4 \text{ (1/год)}.$$

3. Кількість повітря за необхідної кратності обміну:

$$L = K \cdot V = 13,4 \cdot 1800 = 234000 \text{ (м}^3\text{/год)}$$

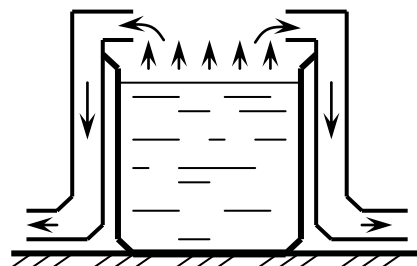
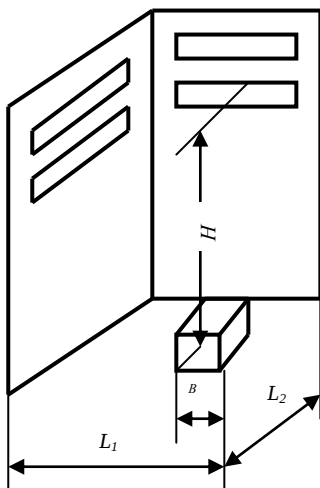
4. Остаточню приймаємо $L = L_{\text{в}} = 24242 \text{ (м}^3\text{/год)}$ як більшу з двох розрахованих.

1.2. Місцева витяжна вентиляція

1.2.1. Загальні відомості

Місцева витяжна вентиляція призначена для вловлення та видалення шкідливостей безпосередньо з місць їх виділення чи утворення, щоб запобігти їх поширенню у зону дихання працюючих і в повітря виробничого приміщення.

Місцева вентиляція може виконуватись за допомогою різних відсмоктуючих пристроїв, а саме: закритих приймачів, витяжних зонтів, витяжних шаф, всмоктувачів панелей, бортових відсмоктувачів, спеціальних кожухів, вбудованих в обладнання відсмоктувачів, вітринних відсмоктувачів, укриттів, боксів та ін. Принципові схеми деяких з них наведені на рис. 1.2.



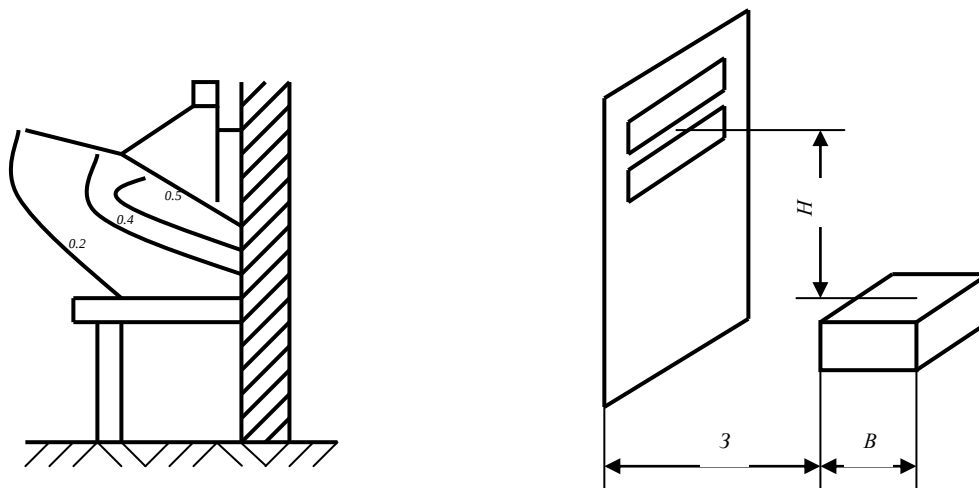


Рис. 2. Схеми пристроїв місцевої витяжної вентиляції:
г — двосторонній бортовий відсмоктувач; *д* - одностороння всмоктуюча панель; *с* -
 кутова всмоктуюча панель; *с* – похила панель.

Головною характеристикою будь-якого пристрою витяжної вентиляції є швидкість повітря у відкритих прорізах чи отворах, через які засмоктується повітря. Розрахункова швидкість повітря у цих отворах приймається залежно від типу витяжного пристрою, характеру шкідливостей, виду операцій в укрітті, тепловиділень та Ін. Вона має бути такою, щоб гарантувати ненадходження у зону дихання шкідливостей у концентрації, більшої ГДК чи допустимого рівня.

1.2.2. Витяжні шафи

Витяжні шафи різних конструкцій застосовують у хімічних лабораторіях, у приміщеннях для заряджання акумуляторів, при розважуванні та розфасовуванні сипучих матеріалів, термічній і гальванічній обробці деталей, фарбуванні виробів, роботах з полімерами, паяльних роботах тощо. Шафи можуть бути з верхнім, нижнім і комбінованим відсмоктуванням та спеціальні - для лабораторій (рис. 1.3).

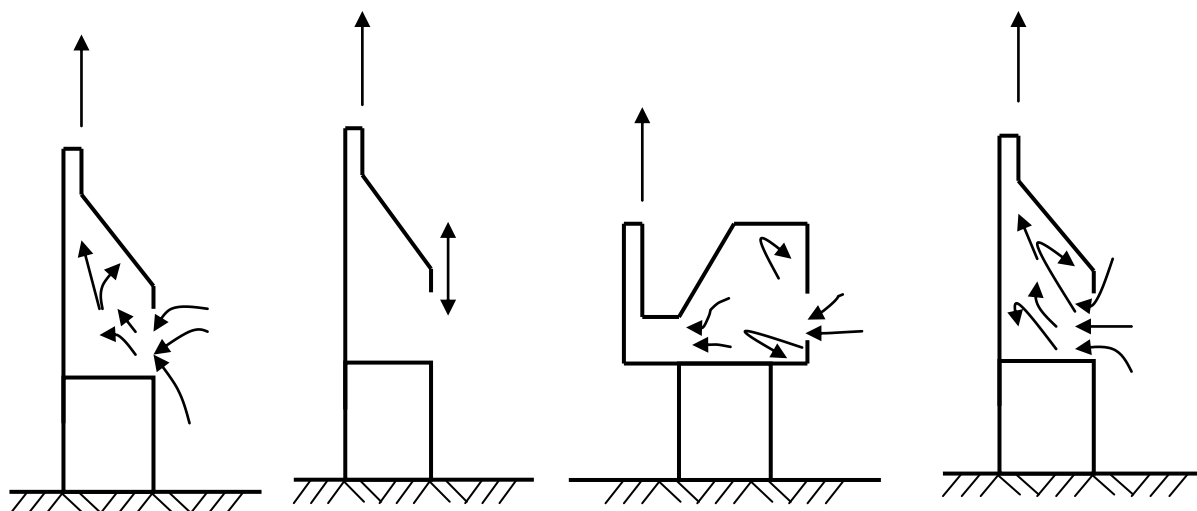


Рис. 3. Витяжні шафи:
а, б-з верхнім; *в*-з нижнім; *г*-з комбінованим відсмоктуванням;

Кількість повітря, що відсмоктується ($\text{м}^3/\text{год}$), необхідну для запобігання виходу шкідливих речовин у приміщення через робочий отвір шафи, визначають за формулою:

$$L = 3600 F v,$$

де F - площа робочого отвору шафи, м^2 ;

v — середня швидкість повітря в робочому отворі, м/с (для холодних малотоксичних речовин $v = 0,5 \div 0,7$; для гарячих процесів $0,5 \div 1,0$; високо небезпечних - $1,0 \div 1,5$; для видалення пилю - $0,8 \dots 1,5$). За наявності у шафі джерел тепловиділень необхідну кількість повітря, що відсмоктується, можна розрахувати за формулою, ($\text{м}^3/\text{год}$):

$$L_t = 123 \sqrt[3]{Q h F^2}$$

де Q - ті тепловиділення у шафі, що йдуть на нагрів повітря в ній, $\text{Вт} \cdot \text{год}$ (орієнтовно приймають 50 - 70% від повної теплопродуктивності джерела);

h - висота робочого отвору;

123 - перевідний коефіцієнт.

Остаточні приймають більше з визначених значень.

1.2.3. Витяжні зонти

Витяжні зонти, найчастіше у вигляді пірамід, широко застосовуються на робочих місцях паяння, при роботах з виділенням шкідливих речовин у невеликих кількостях, зварювальних роботах, у ковальських горнах. Габарити зонти (рис. 1.4) приймають, враховуючи нижченаведене.

1. Висота підвісу зонти від рівня підлоги приймається 1,6 - 1,8 м.

2. Для надійної роботи зонти вертикальна відстань між кромкою зонти і поверхнею джерела шкідливостей h повинна бути мінімальною.

3. Розміри прямокутного зонти у плані визначаються за виразами:

$$A = a + 0,8h; \quad B = b + 0,8h \quad (1.11)$$

де a і b - довжини та ширина джерела надходжень шкідливостей ($B \geq 0,5A$).

4. Кут розкриття зонти ϕ слід приймати не більше 60° (у такому випадку осьова швидкість у нижньому перерізі зонти близька до середньої швидкості по всьому перерізу).

5. Повна висота зонти, м:

$$H = \frac{A - D}{2 \tan \phi / 2} + h_6 \quad (1.12)$$

де D - діаметр витяжної труби, м;

h_6 - висота борту, м (береться 0,1-0,3 м).

Кількість повітря ($\text{м}^3/\text{год}$), що видаляється витяжкою від зонти, може бути розрахована за формулою:

$$L = 3600 \cdot F \cdot v_0 \quad (1.13)$$

де F - площа розрахункового перерізу, м^2 (за площу розрахункового перерізу приймають добуток периметра зонти на його відстань від джерела виділення шкідливості: $F = 2(A + B)h$;

v_0 - середня швидкість повітря у розрахунковому перерізі зонти, м/с ; значення v_0 приймають: а) для токсичних виділень: $1,2 \div 1,05$ для зонти,

відкритого з чотирьох боків; $1,05 \div 0,9$ - з трьох боків; $0,9 \div 0,75$ - з двох боків; $0,75 \div 0,5$ - з одного боку; б) для нетоксичних виділень - $0,15 \div 0,25$

Розрахунок зонта типу СЮП

Ефективність роботи витяжних зонтів багато в чому залежить від рухливості повітря в робочому приміщенні. Збільшення рухливості повітря звужує галузь застосування традиційних зонтів. В такому випадку більш доцільно застосування конструкції зонта з активним центром (зворотним конусом) - витяжного зонта СЮП, розробленого Свердловським інститутом охорони праці, в якому використовується ефект налипання висхідних конвекційних потоків на зворотний наскрізний конус. Конвекційний потік вловлюється переважно нижнім отвором зворотного конуса, друга частина потоку, яка може вибитись внаслідок рухливості повітря в приміщенні, налипає на зовнішню поверхню зворотного конуса і вловлюється верхньою кільцевою щілиною.

Додаткові вихідні дані для розрахунку: рухливість повітря в приміщенні; коефіцієнт місцевого опору зонта.

Розрахунок зонта слід вести в наступній послідовності:

1. Вибирається мінімально можлива з конструктивних міркувань висота розташування зонта h , м;
2. Визначається еквівалентний діаметр джерела шкідливих виділень, м:

$$D_{\text{екв}} = \sqrt{a_{\text{дж}}^2 + b_{\text{дж}}^2}$$

де $a_{\text{дж}}$ та $b_{\text{дж}}$ - довжина та ширина джерела виділень, м.

3. Обчислюється d_1 , - діаметр нижньої кромки зворотного конуса, м:

$$d_1 = 0,1h + D_{\text{екв}}$$

4. Підбираються з урахуванням конструктивних можливостей геометричні розміри зонта:

- а) h_k - висота зворотного конуса, м:

$$h_k = (1,0 - 1,5)d_1;$$

- б) d_2 - діаметр верхньої кромки зворотного конуса, м:

$$d_1 \leq d_2 \leq d_1 + h_k;$$

- в) δ - ширина кільцевої щілини (м) приймається, враховуючи те, що площа її має становити приблизно 30% від площі нижнього перерізу зворотного конуса;

- г) розмір b приймається не менше 4δ .

- д) кут розкриття зонта приймається не більше 60° .

При підборі геометричних розмірів належить розміри d_2 та b вибирати найбільш можливими.

5. Визначається безрозмірна величина V , що характеризує стійкість конвекційного потоку.

6. Залежно від стійкості конвекційного потоку і рухливості повітря визначається поправочний коефіцієнт "П" на рухливість повітря в приміщенні.

7. Обчислюється витрата повітря ($\text{м}^3/\text{год}$), що відсмоктується від зонта:

$$L = v\Pi \cdot 3600 \cdot FV_0$$

Випробування зонта показали, що при його розрахунковій продуктивності з урахуванням рухливості повітря в приміщенні відбувається повне вловлювання конвекційного потоку.

1.2.4. Панелі рівномірного всмоктування

Панелі рівномірного всмоктування являють собою прямокутні зони, відкрита частина яких розташовується вертикально або похило з частково перекритим перерізом. Панелі бувають з вертикальним і горизонтальним розташуванням щілин, з верхнім і нижнім відсмоктуванням, стаціонарні і поворотні, односторонні і двосторонні (див. рис. 1.2), а також похилі (рис. 1.6). Застосовуються на малогабаритних робочих місцях - при паянні, електро-, газозварюванні, роботах з полімерними матеріалами, видуванні скла тощо, де присутні теплові струмені, відсутня можливість повного укриття джерела шкідливостей або встановлення витяжної шафи. Спектри всмоктування похилих панелей без козирка та з козирком наведені на рис. 1.7, які свідчать, що наявність козирка набагато поліпшує ефективність вловлювання шкідливості.

Маючи звичайно однакову висоту (645 мм), панелі різняться одна від одної довжиною приймального перерізу: 600, 750, 900 мм. Площа живого перерізу панелі (щілин) $f_{жс} = 0,23 f_z$,

де f_z - площа габаритного перерізу. Панель здійснює видалення шкідливостей за принципом "від робітника".

Кількість повітря ($\text{м}^3/\text{год}$), що видаляється вертикальною чи горизонтальною панеллю, може бути визначена за формулою:

$$L = 3600 \cdot v \cdot f_{жс}, \quad (1.15)$$

де $f_{жс}$ - площа живого перерізу, м^2 ;

v - швидкість повітря у живому перерізі, $\text{м}/\text{с}$.

Рекомендовано наступні швидкості руху повітря у живому перерізі панелі ($\text{м}/\text{с}$):

- для шкідливих випарів та газів — $2 \div 3,5$;
- для газових потоків у суміші з горючим дисперсним пилом - $3,5 \div 4,5$;
- для інтенсивного газового потоку з великим вмістом дисперсного пилу - $5 \div 8$.

Для похилих панелей потрібну кількість повітря визначають за формулою:

$$L = L_1 S, \quad (1.16)$$

де L_1 - питома витрата повітря, $\text{м}^3/(\text{год} \cdot \text{м}^2)$, яку приймають: при розташуванні панелі біля стіни - 3200, на віддаленості від стіни - 5000 - 7000;

S - сумарна площа всмоктуючих щілин панелі, м^2 .

1.2.5. Інші пристрої витяжної вентиляції

Місцеві відсмоктувачі у вигляді прямокутних або круглих отворів звичайно установлюють при паянні, зварюванні тощо. Розрізняють відсмоктувачі з приймальними отворами у вертикальній панелі, у площині

стола і над столом. Спектри всмоктування отворів з гострими краями наведені на рис. 1.9. З цих графіків видно, що повітроприймальні отвори мають бути максимально наближені до джерела шкідливих виділень, тому що утворювана ними рухливість повітря спадає приблизно обернено пропорційно квадрату відстані між ними. Більша сторона E прямокутного всмоктуючого отвору визначається розміром зони паяння, а менша b - визначається залежно від оптимального співвідношення між сторонами b і E , за яким кількість повітря, що видаляється, буде мінімальною при забезпеченні швидкості повітря на місцях паяння не менше 0,6 м/с.

Потім визначається площа забірного отвору і потрібна кількість повітря.

Кількість повітря (м³/год), що відбирається повітрозабірним пристроєм прямокутного перерізу (з гострими кромками) визначається за формулою:

$$L = 3600(F + 7,7E^{0,63}x^{1,4})V_x \quad (1.17)$$

де F - площа забірного отвору, м;

E - більша сторона отвору, м;

x - відстань від площини забірного отвору до зони паяння, м;

V_x - осьова швидкість повітря у зоні паяння, м/с (приймають не менше 0,6 м/с).

Формула 1.17 справедлива у межах значень $b/E = 0,01 \div 1,0$.

За круглого отвору необхідна кількість повітря (м³/год) для забезпечення видалення шкідливостей визначається за виразом:

$$L = 3600 \frac{\pi}{4} (d^2 + 9,1d^{0,6}x^{1,4})V_x \quad (1.18)$$

де d - діаметр повітрозабірного отвору, м.

За наявності у всмоктуючому патрубку фланця затухання осьової швидкості відбувається повільніше. У такому випадку вважають, що «далекобійність» забірного отвору збільшується у два рази, тобто спектр всмоктування збільшується, і таким чином зменшується, теж у два рази, необхідна кількість повітря, що відбирається забірником з фланцем.

Кількість повітря (м³/год), що видаляється відсмоктувачем з приймальним отвором над столом (рис. 8, в), визначається за формулою:

$$L = 6800\pi V_x \frac{(x^2 + h^2)^{\frac{3}{2}}}{x}$$

де h - висота центра забірного отвору над поверхнею стола, м;

x - відстань від заданої точки на поверхні стола до проекції на неї центра забірного отвору, м.

За значенням L визначають площу забірного отвору F_0 , м², та діаметр забірної трубки d_0 , м.

$$F_0 = \frac{L}{3600V_0}; \quad d_0 = \sqrt{\frac{4F_0}{\pi}}$$

де V_0 - швидкість у забірному отворі.

Вбудовані забірники застосовують, наприклад, при паяльних роботах. Вбудовані в інструмент (паяльники) забірники можуть бути «кільцевими» або верхніми. Верхній забірник являє собою металеву трубку, забірний отвір якої розташований над кінцем паяльного стержня.

Кількість повітря, що виводиться від паяльника при діаметрі стержня до 6

мм, становить 3 м³/год. Приєднання відсмоктувача до інструмента забезпечує максимально можливе наближення всмоктуючого отвору до зони шкідливих виділень. Це дає змогу зменшити витрати на вентиляцію у 9 разів.

Для кільцевого відсмоктувача паяльника необхідну кількість повітря, м³/год, визначають за формулою:

$$L = 3600 \cdot 4\pi\ell^2 v, \quad (1.19)$$

де ℓ - довжина частини стержня паяльника, що виступає за кільцевий отвір, м;

v - швидкість повітряного потоку біля кінця стержня, м/с, (приймаються не менше 0,3).

Для видалення повітря від відсмоктувачів паяльників слід використовувати гумові вакуумні трубки з внутрішнім діаметром 6÷8 мм і довжиною 1÷1,5 м. Магістральний повітропровід виконується із сталеві або пластмасові труби, прокладеної під конвеєром.

Витяжними кожухами обладнують шліфувальні, полірувальні та заточувальні верстати. Кількість повітря, м³/год, для видалення пилю від таких верстатів обчислюють за формулою:

$$L = 1000AD \quad (1.20)$$

де D - діаметр робочого круга, м; A - коефіцієнт пропорційності (2 - при $D \leq 0,25$ м; 1,8 - при $D = 0,25 \div 0,60$ м; 1,6 - при $D > 0,60$ м).

Спеціальні кабінки і камери слід застосовувати при фарбуванні деталей машин. Кратність обміну повітря в них повинна становити 30÷100 залежно від виду розчинників фарб.

1.2.6. Приклади розрахунків місцевої витяжної вентиляції

Приклад 1.8.

У витяжній шафі, об'єм якої $V=0,8$ м³, проводяться роботи із застосуванням епоксидної смоли. Площа робочого отвору шафи $\Gamma=0,2$ м². Визначити кількість повітря, яке необхідно видаляти з шафи для запобігання виходу випарів смоли у приміщення через робочий проріз, та кратність повітрообміну у шафі.

Розв'язання

1. Для видалення високотоксичних шкідливих речовин, до яких належать епоксидні смоли, приймаємо середню швидкість повітря у робочому прорізі шафи:

$$v = 1,5 \text{ м/с.}$$

2. Кількість повітря, яку необхідно видаляти з шафи:

$$L = 3600 \cdot F \cdot v = 3600 \cdot 0,2 \cdot 1,5 = 1080 \text{ (м}^3\text{/год)}.$$

3. Кратність повітрообміну:

$$K = L/V = 1080/0,8 = 1350 \text{ (1/год)}$$

Приклад 1.9.

Визначити необхідну кількість повітря для випадку прикладу 1.8, коли у шафі проводяться ті ж роботи, але додатково виділяється тепло $Q=600$ Вт за годину. Висота робочого отвору шафи $h=0,4$ м.

Розв'язання

1. Об'єм повітря, необхідний для видалення надлишкового тепла від витяжної шафи:

$$L_T = 123 \sqrt[3]{QhF^2} = 123 \cdot Q^{\frac{1}{3}} \cdot h^{\frac{1}{3}} \cdot F^{\frac{2}{3}} = 123 \cdot 600^{\frac{1}{3}} \cdot 0,4^{\frac{1}{3}} \cdot 0,2^{\frac{2}{3}} = (\text{м}^3/\text{год}).$$

$$= 123 \cdot 8,43 \cdot 0,74 \cdot 0,34 = 261$$

2. Остаточно приймаємо $L = 1080 \text{ м}^3/\text{год}$, що забезпечить видалення і шкідливих речовин, і надлишків тепла.

Приклад 1.10.

Робоче місце електрозварника необхідно обладнати витяжним зонтом прямокутної форми, відкритим з трьох сторін. Довжина зони шкідливих виділень $a = 0,44 \text{ м}$, висота розташування зонти над деталями, що зварюється, $h = 0,7 \text{ м}$. Визначити розміри зонти та кількість повітря, що буде ним видалятися.

Розв'язання

1. Розмір більшої сторони зонти:

$$A = a + 0,8h = 0,44 + 0,8 + 0,7 = 1,0 \text{ (м)}.$$

2. Розмір меншої сторони:

$$B = 0,5 \cdot A = 0,5 \cdot 1,0 = 0,5 \text{ (м)}.$$

3. Приймаємо: висота підвісу зонти $H = 1,7 \text{ м}$, кут розкриття зонти $\varphi = 60^\circ$, діаметр витяжної труби $D = 0,3 \text{ м}$, висота борти $h_b = 0,1 \text{ м}$.

4. Повна висота зонти:

$$H = \frac{A - D}{2 \operatorname{tg}(\varphi / 2)} + h_b = \frac{1,0 - 0,3}{2 \operatorname{tg} 30^\circ} + 0,1 = 0,7 \text{ (м)}$$

5. Площа розрахункового перерізу:

$$F = 2(A + B)h = 2(1,0 + 0,5)0,7 = 2,1 \text{ (м}^2\text{)}.$$

6. Приймаємо середню швидкість повітря у розрахунковому перерізі зонти $v_0 = 1,0 \text{ м/с}$.

7. Кількість повітря, що буде видалятися витяжним зонтом:

$$L = 3600 F v_0 = 3600 \cdot 2,1 \cdot 1,0 = 7560 \text{ (м}^3/\text{год)}.$$

Приклад 1.11.

Визначити кількість повітря, що видаляється стаціонарною панеллю (висота $b = 645 \text{ мм}$, довжина $E = 900 \text{ мм}$) при веденні робіт, під час яких виділяються випари другого класу небезпечності.

Розв'язання

1. Площа габаритного перерізу панелі:

$$f_e = b \cdot E = 0,645 \cdot 0,900 = 0,58 \text{ (м}^2\text{)}.$$

2. Площа живого перерізу:

$$f_{ж} = 0,23 \cdot f_e = 0,23 \cdot 0,58 = 0,134 \text{ (м}^2\text{)}.$$

3. Швидкість потоку повітря у живому перерізі панелі при випарах другого класу небезпечності приймаємо $v = 3,0 \text{ м/с}$.

4. Кількість повітря, що видаляється панеллю:

$$L = 3600 \cdot v \cdot f_{ж} = 3600 \cdot 3,0 \cdot 0,134 = 1447,2 \text{ (м}^3/\text{год)}$$

Приклад 1.12.

Визначити необхідний об'єм повітря для вловлювання випарів при паяльних роботах місцевим повітрязбірним пристроєм з отвором прямокутного перерізу з гострими кряями. Довжина більшої сторони отвору $E = 0,4 \text{ м}$, меншої $b = 0,2 \text{ м}$. Відстань від площини всмоктуючого отвору до зони пайки $x = 0,25 \text{ м}$.

1. Площа всмоктуючого отвору:

$$F = E \cdot b = 0,4 \cdot 0,2 = 0,08 \text{ (м}^2\text{)}.$$

2. Осьову швидкість повітря у зоні паяння приймаємо

$$V_x = 0,7 \text{ м/с}.$$

3. Необхідний об'єм повітря :

$$L = 3600(F + 7,7E^{0,63}x^{1,4})V_x = 3600 \cdot (0,08 + 7,7 \cdot 0,4^{0,63} \cdot 0,25^{1,4}) \cdot 0,7 = 1800 \text{ (м}^3\text{/год)}.$$

1.3. Розрахунок повітропроводів, вибір вентиляторів і електродвигунів

1.3.1. Методика аеродинамічного розрахунку і вибору вентилятора та електродвигуна

1.3.1.1. Аеродинамічний розрахунок повітропроводів

Після визначення необхідної кількості обмінного повітря вибирається схема повітропроводів з розташуванням вентиляційного обладнання. Визначаються конструктивні розміри повітропроводів і втрати тиску повітря в них.

Розрахунок починається з найдовшої і найбільш навантаженої гілки розгалуження, а в ній - з самої далекої ділянки. При розрахунку необхідно дотримуватись умови, за якої швидкість повітря на ділянках повітря на ділянках повинна більш-менш плавно зростати у міру наближення до вентилятора. Тиск витрачається на лінійні та місцеві опори. Втрати тиску в послідовно розташованих ділянках складаються.

У випадку розгалуженої схеми повітропроводів, визначивши втрати тиску повітря в одній гілці, розраховують в другій. Якщо різниця втрати тиску в гілках перевищує 10%, тоді на одній з них потрібно змінити переріз однієї чи декількох ділянок. Втрати тиску повітря в опустах та паралельних ним ділянках мають бути по змозі рівними.

Необхідність дотримання рівності втрат тиску в паралельних ділянках пояснюється тим, що повітря виходить з точки розгалуження на кожен з них з одним і тим же тиском. Якщо, наприклад, тиск в якомусь з опустів при розрахунку не витрачатиметься повністю, це означає, що по цій гілці повітропроводу повітря піде більше, ніж потрібно згідно з розрахунком. Навпаки, коли тиск при розрахунку перевитрачатиметься, повітря через опуст піде менше потрібного.

Якщо нев'язка щодо втрат тиску перевищує 10%, змінюють перерізи опустів. Перерахунок витрат повітря L і діаметра повітропроводу d з метою пов'язування втрат тиску у двох порівнюваних ділянках проводиться за формулами:

$$L_2 = L \sqrt{p_2 / p_1} \text{ (м}^3\text{/год)} \quad d_2 = d \sqrt[4]{p_1 / p_2} \text{ (м)} \quad (1.21)$$

У тих випадках, коли при наявності надлишку тиску зміною перерізу опусту не вдається досягнути бажаного результату, можна цей надлишок погасити за допомогою засувки або дросель-клапана, визначивши розрахунком рівень їх відкриття.

За методом питомих втрат втрати тиску визначаються за формулою:

$$p = \sum_{i=1}^n (p_{тер} \ell_i + Z_j) \text{ (Н/м}^2\text{)} \quad (1.22)$$

де $p_{тер}$ - питомі втрати тиску на тертя повітряного потоку на 1 лінійний метр довжини i -тої ділянки повітропроводу, Н/м²;

ℓ_i - довжина i -тої ділянки повітропроводу, м;

Z_j - втрати тиску на місцеві опори на ділянці, Н/м²:

$$Z_j = \sum_{i=1}^m \xi p_o \quad (1.23)$$

де ξ - коефіцієнт місцевого опору (скорочено КМО). Значення КМО елементів повітропроводів (коліна, припливного отвору, трійника та ін.) визначаються дослідним шляхом і подаються у довідниках у готовому вигляді;

p_o - динамічний тиск, Н/м² ($p_o = \rho v^2 / 2$).

Аеродинамічний розрахунок повітропроводів виконується за допомогою таблиць або номограм. В них пов'язуються величини, $L, d, p_{тер}, v, p_o$ (див. номограму на рис. 1.10).

Знаючи витрату повітря і та задаючись його швидкістю v , за номограмою (або таблицею) знаходять діаметр повітропроводу d , питомі втрати тиску на тертя $p_{тер}$ та динамічний тиск p_o . Таблиці та номограми складені для сталевих повітропроводів круглого перерізу. Якщо застосовуються повітропроводи з інших матеріалів чи іншої форми перерізу, необхідно робити відповідні перерахунки.

При розрахунку систем механічної вентиляції швидкості повітря, м/с, приймають такими:

Тип повітропроводів	В адміністративно-побутових будинках	В промислових будинках
Магістральні	5÷8	8÷12
Відгалуження	1÷5	2÷6

Підрахувавши лінійні і місцеві втрати тиску повітря для кожної ділянки, сумують їх і отримують загальні (повні) втрати.

1.3.1.2. Вибір вентилятора

Технічними показниками ефективності роботи вентилятора є:

- 1) кількість повітря, що переміщується за одиницю часу (або продуктивність) L , м³/год;
- 2) повний тиск p , Н/м²;
- 3) діаметр колеса d_k , дм;
- 4) число обертів колеса за хвилину n , об/хв;
- 5) коефіцієнт корисної дії (ККД) η ;
- 6) потужність, що споживається, N , кВт.

Промисловістю випускаються різні типи осьових і відцентрових вентиляторів різних розмірів (номерів). Номер вентилятора показує розмір діаметра робочого колеса в дециметрах. При виборі типу і номера вентилятора необхідно надавати перевагу тому вентилятору, у якого найбільший ККД,

відносно невелика окружна швидкість колеса, а число обертів дозволяє здійснити сполучення з електродвигуном на одному валу.

Для будь-якого вентилятора L , p і N знаходяться у прямій залежності від числа обертів колеса. Вибір осьових вентиляторів роблять за графіками та таблицями, а відцентрових — за аеродинамічними характеристиками. Ці характеристики виражають у графічній формі залежність між L , p, n, η і N (рис. 11).

Для вибору вентилятора необхідно знати потрібну продуктивність L_6 і тиск p . Продуктивність приймається з урахуванням витоків чи підсмоктування повітря в повітропроводах:

$$L_6 = k \cdot L, \text{ м}^3/\text{год}, \quad (1.24)$$

де k - коефіцієнт, що враховує витоків або підсмоктування повітря;

L - розрахункова кількість повітря для вентиляції, $\text{м}^3/\text{год}$.

Коефіцієнт k для сталевих, азбоцементних та пластикових повітропроводів довжиною до 50 м приймають 1,1, а в інших випадках - 1,15.

На графіки, які зображають робочі характеристики вентиляторів різних марок та типорозмірів, наноситься точка, що відповідає потрібним значенням продуктивності і тиску для даної вентиляційної системи, а потім вибирається типорозмір вентилятора, який працює на заданому режимі з найбільшим ККД та встановлюється робоче число обертів ротора вентилятора. Якщо ця точка не потрапляє на криву стандартного числа обертів, тоді слід вибирати найближче, переважно більше, число обертів або інтерполяцією визначити точне число обертів з наступною підстройкою приводного механізму вентилятора на ці оберти.

1.3.1.3. Вибір електродвигуна

Необхідна потужність на валу електродвигуна визначається за формулою:

$$N = \frac{L_6 \cdot p}{3600 \cdot \eta_6 \cdot \eta_n \cdot 1000}, \text{ кВт}, \quad (1.25)$$

де L_6 - продуктивність вентилятора, $\text{м}^3/\text{год}$;

p - тиск, що утворюється вентилятором, $\text{Н}/\text{м}^2$;

$\eta_6 \cdot \eta_n$ - ККД відповідно вентилятора і передачі.

Установча потужність електродвигуна N_y визначається з урахуванням коефіцієнта запасу : $N_y = k_z \cdot N$, кВт. Значення k_z приймають залежно від потужності на валу і типу вентилятора (табл. Д.1.5).

Між робочими характеристиками вентилятора: продуктивністю L_6 , числом обертів n , тиском p , що утворює вентилятор, та потужністю N , що він споживає, існують обумовлені подібністю потоків повітря на різних режимах роботи вентилятора залежності:

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{n_1}{n_2}; \quad \frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^2; \quad \frac{N_1}{N_2} = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^3 \quad (1.26)$$

а також залежності між робочими характеристиками вентилятора і діаметром ротора d :

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{d_1}{d_2}; \quad \frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2; \quad \frac{N_1}{N_2} = \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2 \quad (1.27)$$

Ці залежності можна використовувати для розрахунку робочих характеристик вентилятора при зміні продуктивності, тиску або швидкості обертання ротора, а також при зміні діаметра ротора (у межах 0,95÷1,05 d). Таким чином, роботу витяжного пристрою можна регулювати найбільш економічним способом - зміною режиму роботи вентилятора.

1.3.2. Приклад розрахунку вентиляційної установки

Приклад 1.13.

Вибрати вентилятор та електродвигун для місцевої витяжної вентиляційної установки при необхідній кількості аспіраційного повітря $L=3000$ м³/год при температурі +20°C відповідно до наведеної схеми вентиляції з трьома однаковими витяжними пристроями. Повітропроводи сталеві круглого перерізу. В схемі присутня уловлювальна камера.

Розв'язання.

1. Приймаємо довжину ділянок вентиляційної мережі ℓ_i ; $\ell_1 = 6$ м; $\ell_2 = 3$ м; $\ell_3 = 3$ м; $\ell_4 = 3$ м; $\ell_5 = 10$ м; $\ell_6 = 6$ м.

2. Приймаємо кількість аспіраційного повітря (м³/год) на ділянках 1, 2 і 4 - 1000, на ділянці 3 - 2000, на ділянках 5 та 6 - 3000.

3. Приймаємо швидкість повітряного потоку v на ділянках 1, 2 та 4-6 м/с, на ділянці 3-8 м/с, на ділянках 5 та 6 - 12 м/с.

4. Відповідно до кількості повітря, що має протікати через окремі ділянки, та швидкості його руху визначаємо необхідні значення перерізів повітропроводів, використовуючи відому формулу $L = 3600Fv$, розв'язуючи її відносно d для круглого перерізу:

$$d = 0,19\sqrt{L/v}, \text{ дм } (L - \text{у м, } v - \text{у м/с}).$$

Для ділянок 1,2 та 4 $d = 0,19\sqrt{1000/6} = 2,4$ (дм);

для ділянки 3 й $d = 0,19\sqrt{2000/8} = 3,0$ (дм);

для ділянок 5 та 6 $d = 0,19\sqrt{3000/12} = 3,0$ (дм).

5. Визначаємо питомі втрати тиску (Н/м²) на тертя на 1 лінійний метр на ділянках за номограмою рис. 1.10:

$$p_{\text{тер}1,2,3} = 1,9; \quad p_{\text{тер}3} = 2,3; \quad p_{\text{тер}5,6} = 5,4.$$

6. Визначаємо втрати тиску в мережі за рахунок тертя повітряного потоку в повітропроводах:

$$\begin{aligned} p_{\text{тер}} &= p_{\text{тер}1} \cdot \ell_1 + p_{\text{тер}2} \cdot \ell_2 + p_{\text{тер}4} \cdot \ell_4 + p_{\text{тер}3} \cdot \ell_3 + p_{\text{тер}5} \cdot \ell_5 + p_{\text{тер}6} \cdot \ell_6 = \\ &= p_{\text{тер}1} \cdot (\ell_1 + \ell_2 + \ell_4) + p_{\text{тер}3} \cdot \ell_3 + p_{\text{тер}5} \cdot (\ell_5 + \ell_6) = \\ &= 1,9(6 + 3 + 3) + 2,3 \cdot 3 + 5,4(10 + 6) = 116,1 \text{ (Н/м}^2\text{)} \end{aligned}$$

7. Визначаємо коефіцієнти місцевих опорів: на ділянці 1 - повітрозабірник з $\xi = 1,0$; дуга 90° п'яти сегментна з $\xi = 0,2$; дифузор (перехід до більшого діаметру) $\xi = 0,44$;

на ділянках 2 та 4 місцеві опори аналогічні ділянці 1;

на ділянці 3 місцеві опори відсутні;

на ділянці 5 - дві дуги з $\xi = 2 \cdot 0,2$; вловлююча камера $\xi = 1,5$;

на ділянці 6 - дуга 90° з $\xi = 0,2$; ковпак над трубою з $\xi = 0,23$.

8. Визначаємо динамічний тиск (швидкісний напір) на ділянках мережі за формулою $p_o = \rho v^2 / 2$ при $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$.

Динамічний тиск на ділянках 1, 2 та 4 буде однаковим і становитиме:

$$p_o = 1,2 \cdot 6^2 / 2 = 21,6 \quad (\text{Н/м}^2);$$

на ділянці 3: $p_o = 1,2 \cdot 8^2 / 2 = 38,4 \text{ (Н/м}^2\text{)}$;

на ділянці 3: $p_o = 1,2 \cdot 8^2 / 2 = 38,4 \text{ (Н/м}^2\text{)}$;

на ділянках 5 і 6: $p_o = 1,2 \cdot 12^2 / 2 = 86,4 \text{ (Н/м}^2\text{)}$.

9. Визначаємо втрати тиску на місцеві опори за формулою 1.23:

на ділянках 1, 2 і 4 (на кожній з них):

$$Z_1 = (1,0 + 0,2 + 0,44) \cdot 21,6 \cdot 3 = 106,27 \text{ (Н/м}^2\text{)};$$

на ділянці 5: $Z_5 = (2 + 0,2 + 1,5) \cdot 86,4 = 319,68 \text{ (Н/м}^2\text{)}$;

на ділянці 6: $Z_6 = (0,2 + 0,23 + 0,44) \cdot 86,4 = 37,15 \text{ (Н/м}^2\text{)}$.

10. Загальні втрати тиску на місцеві опори:

$$Z = 3Z_1 + Z_5 + Z_6 = 106,27 + 319,68 + 37,15 = 463,1 \text{ (Н/м}^2\text{)}$$

11. Загальний потрібний напір вентилятора:

$$p = p_{\text{тер}} + Z = 116,1 + 463,1 \cong 480 \text{ (Н/м}^2\text{)}$$

12. Потрібна продуктивність вентилятора:

$$L_g = k \cdot L = 1,1 \cdot 3000 = 3300 \text{ м}^3/\text{год}$$

13. За діаграмою типової робочої характеристики відцентрового вентилятора марки Ц4-70 №4 визначаємо, що даний вентилятор з числом обертів 1560 об/хв є найбільш придатним для даного випадку, тому що його ККД при цьому $\eta = 0,78$.

14. Необхідна потужність на валу вентилятора:

$$N = \frac{L_g \cdot p}{3600 \cdot \eta_g \eta_n \cdot 1000} = \frac{3300 \cdot 580}{3600 \cdot 0,78 \cdot 0,9 \cdot 1000} = 0,76 \text{ (кВт)}$$

15. Коефіцієнт запасу потужності за табл. Д.1.5. $k_z = 1,3$, тоді потужність на валу електродвигуна:

$$N_y = k_z \cdot N = 1,3 \cdot 0,76 = 0,98 \text{ (кВт)};$$

приймаємо електродвигун потужністю 1,0 кВт.

1.4. Розрахунки повітрообміну при загальній та місцевій витяжній вентиляції для самостійної роботи студентів

Задача 1

Визначити необхідний повітрообмін і кратність обміну повітря у виробничому приміщенні в повітря якого з технологічного обладнання надходить волога у кількості $W_t = 2600 \text{ г/год}$. Розміри приміщення $A \cdot B \cdot H$, температура t , густина повітря γ , кількість працюючих (n) і робота заданої важкості взяти з таблиці. Вологомісткість повітря, що видаляється, $d_g = 20 \text{ г/кг}$, зовнішнього - $d_z = 18 \text{ г/кг}$.

№	Важкість роботи	$A \times B \times H$ m	t $^{\circ}C$	γ $кг/м^3$	(n)
1.	Спокій	$5 \times 4 \times 4$	30	1,2	10
2.	Легка робота	$8 \times 5 \times 4$	25	1,2	10
3.	Робота середньої важкості	$8 \times 6 \times 4$	20	1,2	8
4.	Важка робота	$10 \times 7 \times 4$	15	1,2	7
5.	Спокій	$6 \times 6 \times 4$	35	1,2	12
6.	Легка робота	$11 \times 5 \times 4$	30	1,2	11
7.	Робота середньої важкості	$8 \times 5 \times 4$	25	1,2	10
8.	Важка робота	$9 \times 8 \times 4$	20	1,2	8
9.	Спокій	$6 \times 3 \times 4$	25	1,2	9
10.	Важка робота	$9 \times 6 \times 4$	25	1,2	6
11.	Робота середньої важкості	$5 \times 4 \times 4$	35	1,2	10
12.	Важка робота	$8 \times 5 \times 4$	30	1,2	8
13.	Спокій	$8 \times 6 \times 4$	25	1,2	7
14.	Легка робота	$10 \times 7 \times 4$	20	1,2	12
15.	Робота середньої важкості	$6 \times 6 \times 4$	25	1,2	10
16.	Легка робота	$11 \times 5 \times 4$	25	1,2	9

Задача 2

У витяжній шафі проводяться роботи із виділенням пилу. Об'єм шафи V ($м^3$), швидкість повітря у її робочому прорізі v ($м/с$) та площа робочого отвору F ($м^2$) наведені в таблиці. Визначити кількість повітря, яке необхідно видаляти з шафи для запобігання виходу пилу у приміщення.

№ з/п	V ($м^3$),	v ($м/с$)	F ($м^2$)	№ з/п	V ($м^3$),	v ($м/с$)	F ($м^2$)
1.	0,8	0,9	0,2	9.	0,7	1,0	0,4
2.	0,7	1,3	0,1	10.	0,8	1,3	0,2
3.	0,6	0,8	0,3	11.	0,6	1,2	0,1
4.	0,5	1,5	0,4	12.	0,5	1,3	0,4
5.	0,8	1,0	0,1	13.	0,4	1,2	0,3
6.	0,7	0,9	0,3	14.	0,7	1,2	0,2
7.	0,5	1,2	0,2	15.	0,8	1,2	0,3
8.	0,4	1,5	0,1	16.	0,6	0,9	0,1

1. Гогіташвілі Г.Г., Лапін В.М. Основи охорони праці. Навч. посібник. – Львів: “Новий світ - 2000”, 2004. – 232 с.
2. Жидецький В.Ц., Джигирей В.С., Мельников О.В. Основи охорони праці. – “Афіша”: 2001. – 349 с.
3. Жидецький В.Ц., Джигирей В.С., Мельников О.В. Основи охорони праці. Підручник. – Вид. 5-е, доп. – Львів: Афіша, 2002. – 350 с.
4. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці. Підручник. – Львів: “Афіша”, 2002. – 317 с.
5. Р.С.Грабовський, І.М.Фартушок, Т.М.Горб’як. Основи охорони праці: тексти лекцій для студентів заочної форми навч. – Дрогоби:ДДПУ ім.І.Франка, 2004. – 50с.
6. Катренко Л.А., Кіт Ю.В., Пістун І.П. Охорона праці. Підручник. – Суми, 2004. – 495 с.
7. Охорона праці / Навч. посібник за загальною редакцією Я.І. Бедрія. – ЦУЛ, 2002. – 321 с.
8. Мота Я-В.В, Федевич О.Є. та ін. Основи охорони праці. – Львів: “Ліга-Прес“, 2006. – 216 с.
9. Охрана труда в машиностроении / Под ред. Е.Я.Юдина, С.В.Белова. – М.: “Машиностроение”, 1983. – 432 с.
10. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках. – М.: “Энергоатомиздат”, 1985. – 376 с.