

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Київський національний університет будівництва і архітектури

АЕРОДИНАМІКА ВЕНТИЛЯЦІЇ

Методичні вказівки
до виконання курсової роботи
для студентів спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія»
спеціалізації «Теплогазопостачання та вентиляція»

Київ 2017

УДК 697.92
ББК 38.762.2
А33

Укладачі: В.Б. Довгалюк, канд. техн. наук, професор;
В.О. Мілейковський, канд. техн. наук, доцент;
Е.І. Дмитроченкова, канд. техн. наук, доцент

Рецензент О.В. Задоянний, канд. техн. наук, доцент

Відповідальний за випуск В.Б. Довгалюк, канд. техн. наук, професор

*Затверджено на засіданні кафедри теплогазопостачання і
вентиляції, протокол № 10 від 12 квітня 2017 року.*

Видається в авторській редакції.

Аеродинаміка вентиляції: методичні вказівки до виконання курсової
А33 роботи / уклад.: В.Б. Довгалюк, В.О. Мілейковський,
Е.І. Дмитроченкова. – К.: КНУБА, 2017. – 64 с.

Наведено методики виконання окремих розділів курсової роботи, довідкові матеріали, необхідні для розв'язання задач. Значну увагу приділено аеродинамічним розрахункам систем вентиляції.

Призначено для студентів спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» спеціалізації «Теплогазопостачання і вентиляція».

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Курсову роботу з дисципліни «Аеродинаміка вентиляції» студенти виконують з метою закріплення знань з відповідного курсу та набуття навиків виконання розрахунків бортових відсмоктувачів як елементів місцевої механічної витяжної вентиляції, аеродинамічного розрахунку мереж повітропроводів, припливних струмин та аерації промислової будівлі.

У процесі виконання курсової роботи студенти повинні використовувати навчальні посібники, підручники, нормативно-технічну літературу.

ЗАВДАННЯ ТА ОБСЯГ РОБОТИ

Курсова робота виконується за індивідуальним завданням, яке видається студенту із зазначенням строку виконання, і складається з пояснювальної записки та графічної частини.

Графічна частина роботи містить в собі:

- план поверху промислової будівлі на відм. 0.000 в масштабі 1:100 із нанесенням систем місцевої витяжної вентиляції та загальнообмінної припливної вентиляції, які забезпечують нормовані параметри повітряного середовища;

- гальванічну ванну з лініями течії конвективного потоку;
- схему припливної механічної загальнообмінної системи вентиляції;
- схему вільної струмини;

Розрахунково – пояснювальна записка складається в певній послідовності і повинна вміщувати наступні основні відомості:

- вихідні дані до розрахунків;
- розрахунок бортових відсмоктувачів;
- аеродинамічний розрахунок системи припливної механічної загально обмінної системи вентиляції;
- розрахунок вільної струмини;
- розрахунок аерації цеху з урахуванням дисбалансу механічної вентиляції.

1. РОЗРАХУНОК БОРТОВИХ ВІДСМОКТУВАЧІВ

1.1. Теоретичні основи

У гальванічних цехах відбуваються процеси нанесення покриттів на вироби в ціаністих розчинах, а також їх обробка в розчинах азотної та соляної кислот.

Основним обладнанням гальванічних відділень є ванни, які заповнені хімічно агресивним електролітом, що нагрівається за рахунок електричного струму. Над ванною встановлюється конвективний потік, що спрямований вертикально вгору (рис.1.1). Цей потік виносить пари електроліту, які є небезпечними для працівників та обладнання.

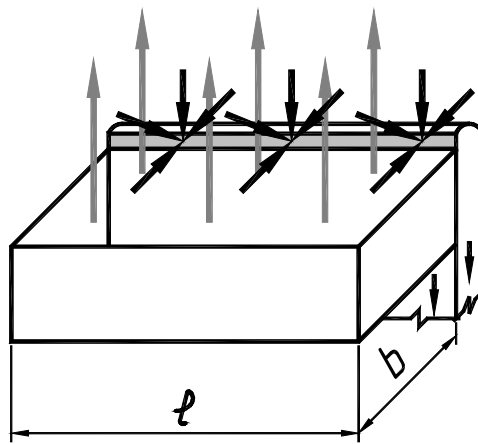


Рис. 1.1. Гальванічна ванна з бортовим відсмоктувачем

Для захисту повітря у цеху на ванній встановлюється бортовий відсмоктувач – вентиляційний пристрій, призначений для локалізації та вловлювання парогазових сумішей (п.г.с), які утворюються над ваннами. Бортові відсмоктувачі відносяться до систем місцевої витяжної вентиляції. Це – повітровід рівномірного всмоктування, який встановлюється вздовж одного або двох бортів ванни над поверхнею рідини. Задача проектування відсмоктувача – забезпечити, щоб усі частинки конвективного потоку п.г.с. були захоплені відсмоктувачем.

Витрата на початку конвективного потоку (в його розгінній ділянці) визначається за дослідною формулою Ельтермана, m^2/s :

$$L_1 = 32,5 d_e^{5/3} Q^{1/3} / 3600, \quad (1.1)$$

де $d_e = 2\ell b / (\ell + b)$ – еквівалентний діаметр ванни:

$$d_e = 2\ell b / (\ell + b); \quad (1.2)$$

ℓ – довжина ванни, b – ширина ванни, Q – надходження теплоти від ванни, Вт.

Поверхневі витрати конвективного потоку

$$L_{\ell,1} = L_1 / \ell, \quad (1.3)$$

а швидкість

$$v_1 = L_1 / \ell b. \quad (1.4)$$

Ванна з одним бортовим відсмоктувачем може розташовуватися вільно (рис. 1.2, а). У такому випадку бортовий відсмоктувач забирає 1/3 частину забрудненого повітря над ванною та 2/3 чистого повітря з навколишнього середовища.

Щоб підвищити ефективність роботи відсмоктувача дві ванни розташовуються поруч (рис. 1.2, б). Тоді все повітря, яке забирається відсмоктувачем, є забрудненим. Той ж результат досягається, якщо розташувати окрему ванну біля стіни або встановити захисну стінку (рис. 1.2, в).

Підвищення ефективності відсмоктування досягається встановленням двох всмоктувальних щілин на протилежних бортах ванни (рис. 1.3). Таке рішення називається двобортовим відсмоктувачем. Для двобортових відсмоктувачів з достатньою точністю вважається, що кожна щілина працює тільки на свою половину ванни.

Витрата повітря бортового відсмоктувача (стоку) визначається з умови, що найвіддаленіша частинка п.г.с. у точці C на рис. 1.2 або рис. 1.3 повинна потрапити в бортовий відсмоктувач, тобто в точку O .

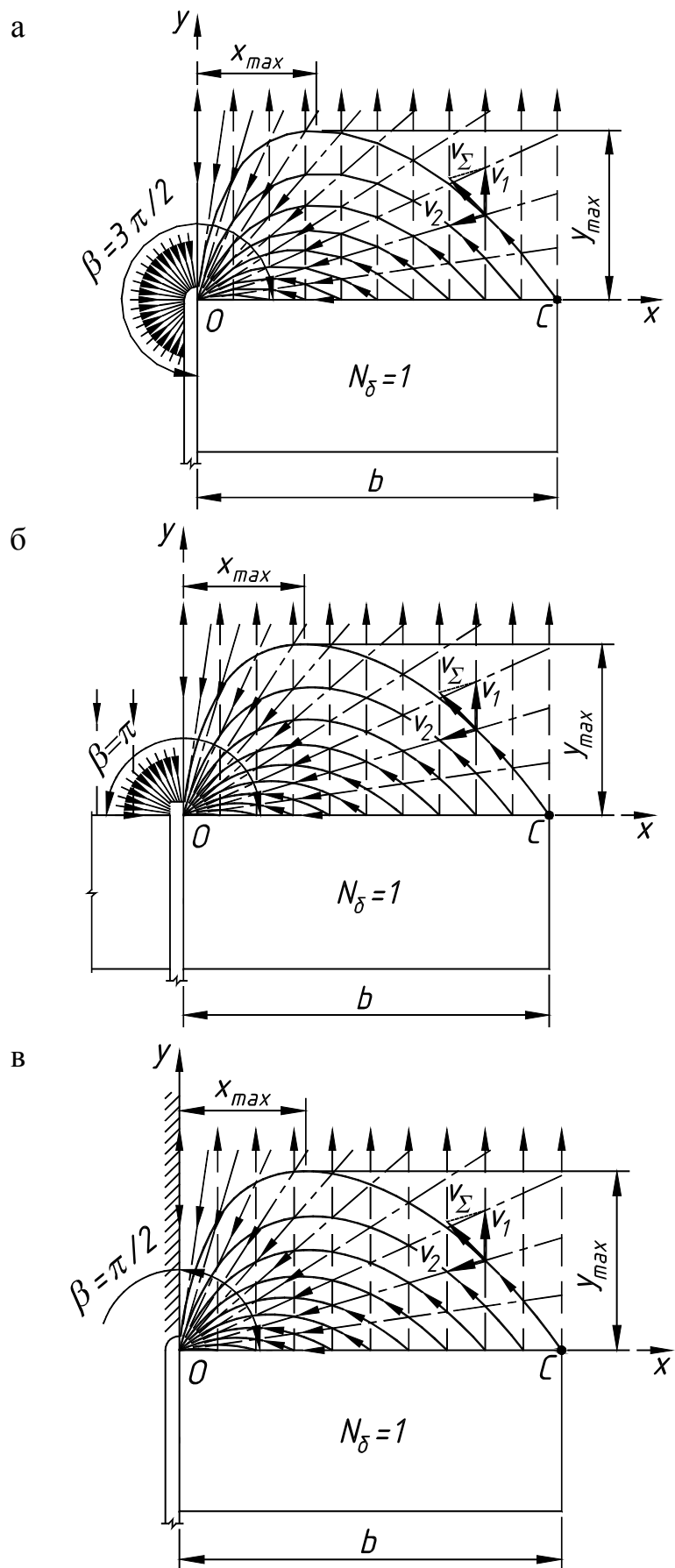


Рис. 1.2. Гальванічна ванна з однобортним відсмоктувачем:
a – вільно розташована, *б* – поруч з іншою ванною; *в* – біля стінки

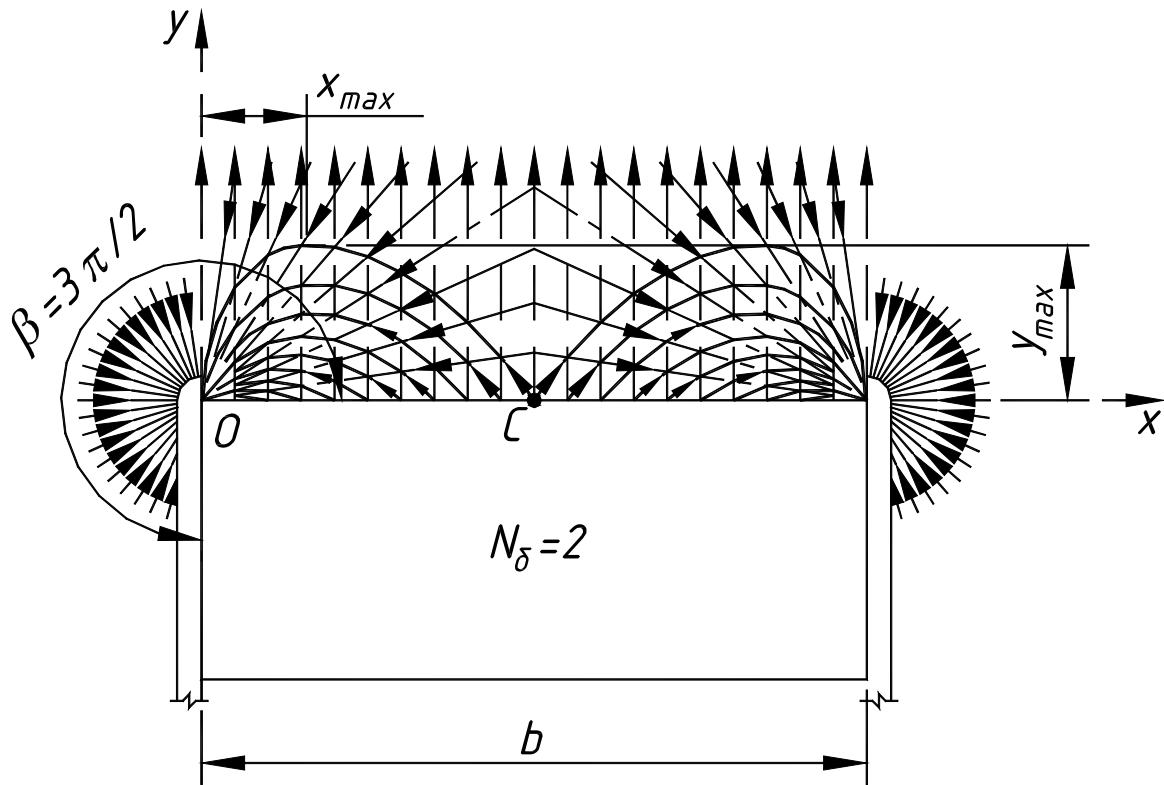


Рис. 1.3. Гальванічна ванна з двобортовим відсмоктувачем

Координати точки O для однобортного відсмоктувача: $x=b, y=0$, – а для двобортного відсмоктувача – $x=b/2, y=0$.

$$L_{\ell,1}/N_{\delta} < L_{\ell,2} \pi / 2 \beta, \quad (1.5)$$

звідки

$$L_{\ell,2} > (L_{\ell,1}/N_{\delta}) (2 \beta / \pi), \quad (1.6)$$

де N_{δ} – кількість щілин у відсмоктувачі: для однобортного $N_{\delta}=1$, а для двобортного $N_{\delta}=2$.

При $L_{\ell,2} < (L_{\ell,1}/N_{\delta}) (2 \beta / \pi)$ частина потоку п.г.с. спрямується в нескінченність і не буде уловлена (а).

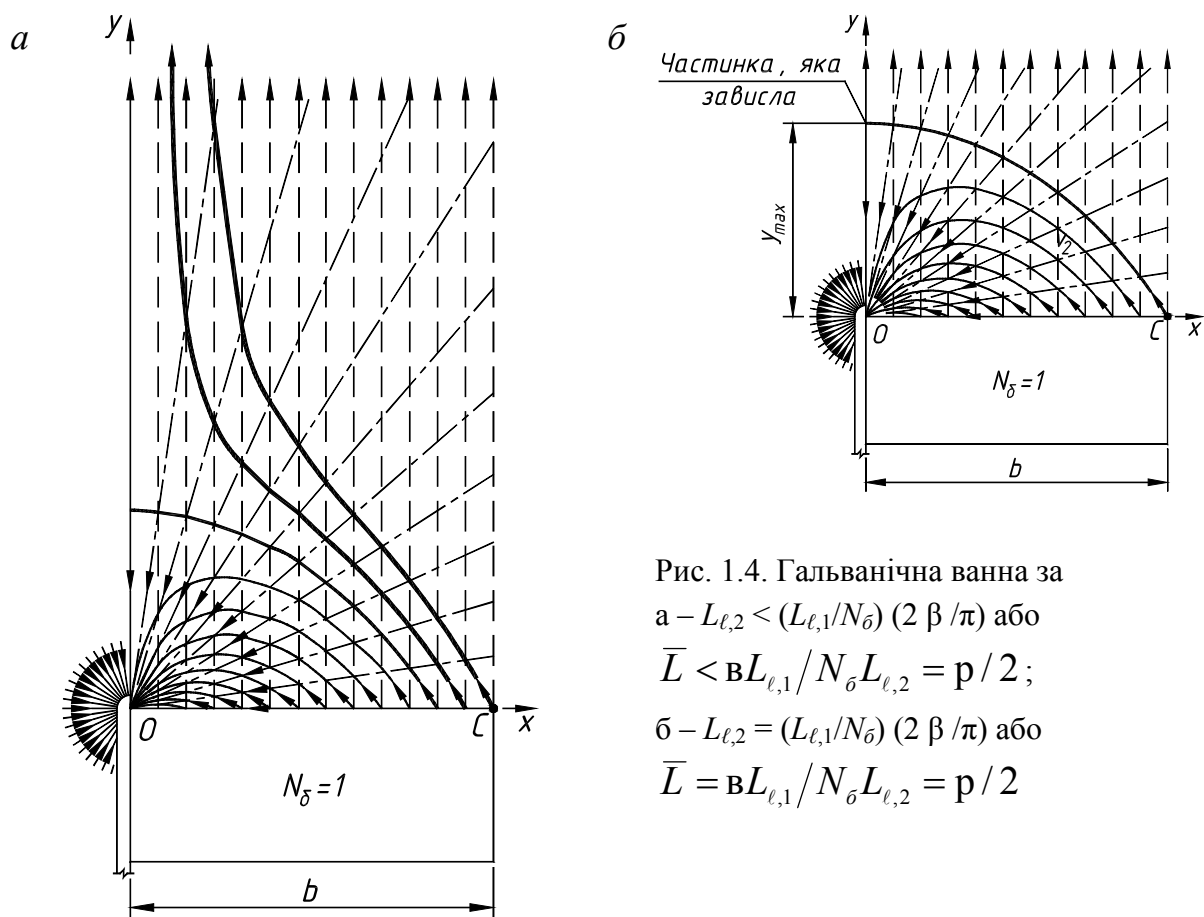


Рис. 1.4. Гальванічна ванна за
а – $L_{\ell,2} < (L_{\ell,1}/N_{\delta}) (2 \beta / \pi)$ або
 $\bar{L} < v L_{\ell,1} / N_{\delta} L_{\ell,2} = p / 2$;
б – $L_{\ell,2} = (L_{\ell,1}/N_{\delta}) (2 \beta / \pi)$ або
 $\bar{L} = v L_{\ell,1} / N_{\delta} L_{\ell,2} = p / 2$

При $L_{\ell,2} = (L_{\ell,1}/N_{\delta}) (2 \beta / \pi)$ частинка, що вийшла з точки C , при $x=0$ зависне і не буде уловлена (б). Тому витрату повітря у відсмоктувачі слід брати з запасом. Налагоджування системи вентиляції повинно виконуватися з похибкою не більше 10%. Тому для гарантованого уловлення частинки в точці C слід взяти витрату повітря у відсмоктувачі з запасом мінімум 10%:

$$L_{\ell,2} = 1,1 (L_{\ell,1}/N_{\delta}) (2 \beta / \pi). \quad (1.7)$$

Обчислити найбільшу висоту підйому частинок п.г.с. Визначаємо параметр (див. рис. 1.4)

$$(L_{\ell,1} / N_{\delta} L_{\ell,2}) (2 \beta / \pi) \quad (1.8)$$

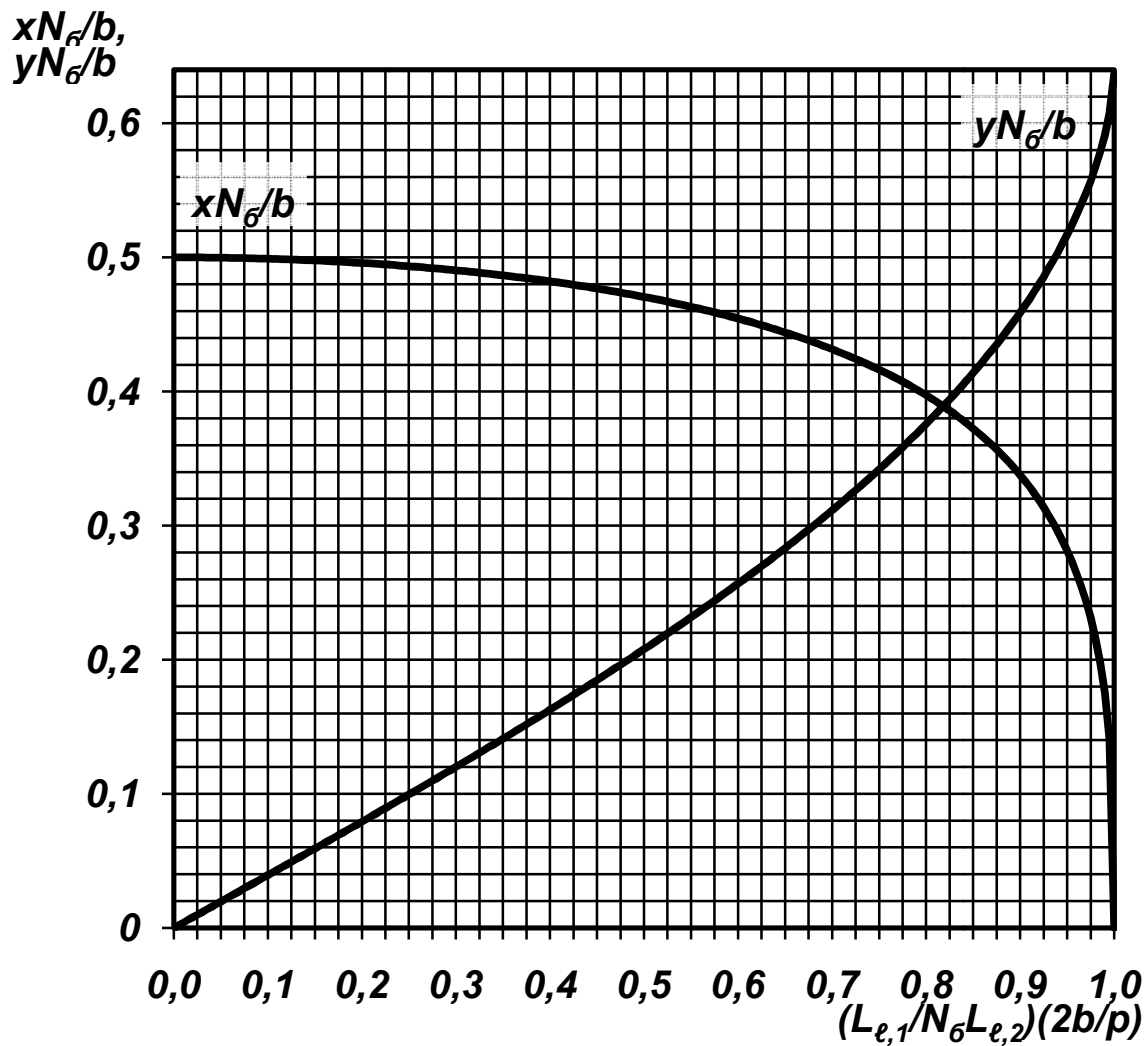


Рис. 1.4. Графік для визначення найбільшого підйому частинки п.г.с.

$$x = x_{\max} b / N_{\sigma}, \quad y = y_{\max} b / N_{\sigma}. \quad (1.9)$$

Вихідні дані для виконання розрахунків приймаються з додатку А (таблиця А.1).

Побудова ліній течії здійснюється таким чином:

1. Приймається кількість смуг n_1 конвективного потоку і визначають кількість секторів стоку.

$$n_2 = n_1 L_{e,2}/L_{e,1}. \quad (1.10)$$

Для забезпечення похибки побудови на рівні 10% рекомендується, щоб у зоні дії конвективного потоку ($x>0, y>0$) знаходилося не менше 10 ліній конвективного потоку та 10 ліній стоку. Для підвищення точності побудови в зоні дії конвективного потоку мають бути тільки цілі сектори.

Кількість n_2 за формулою (1.10) повинно бути точним цілим числом (без заокруглення), кратним кількості вільних для стоку квадрантів $\beta/(\pi/2)$. За умови (1.7):

$$n_1=10 N_{\phi}. \quad (1.11)$$

За потреби приймається більшу кількість, кратну $10N_{\phi}$: $n_1=20N_{\phi}$, $n_1=30N_{\phi}$, $n_1=40N_{\phi}$, ... Це підтверджується підстановкою формул (1.7) та (1.11) до залежності (1.10);

2. У масштабі будується гальванічна ванна (при цьому глибина ванни відображають довільно або обрізають). Згідно з завданням, при необхідності, креслиться фрагмент другої ванни або стінка;

3. Над ванною будуються лінії течії конвективного потоку так, щоб вони поділили простір над ванною на n_1 однакових смуг;

4. На одному з країв ванни відмічається точка стока O та будуються лінії течії стоку (стоків) так, щоб вони розбили вільний навколо точки O простір на n_2 однакових секторів. Якщо відсмоктувач двобортний, то рекомендується проводити лінії течії стоку лише до лінії середини ванни.

5. Якщо відсмоктувач двобортний, то повторюється п.4. для іншого краю ванни.

6. За діагоналями чотирикутників будуються лінії течії сумарного потоку.

7. Всі лінії течії мають потрапляти до точки O .

8. Показуються осі x та y . Виставляється координата x кожної лінії течії. Відмічаються координати x та y максимального підняття частинки п.г.с. (див. приклади). Наноситься кут β .

9. Показується принцип суперпозиції (рис. 1.2). Для цього вибирається точка на будь-якому перетині ліній течії усіх потоків. Будуються вектори швидкостей на всю довжину двох суміжних з вибраною точкою сторонах чотирикутника, утвореного лініями течії плоско-паралельного потоку та стоку. Добудовуються вектори до паралелограма. На всю довжину діагоналі паралелограма, що виходить з вибраної точки, будується вектор сумарного потоку. Якщо всі побудови здійснені правильно, то вектор сумарного потоку повинен бути дотичним до ліній течії сумарного потоку.

1.2. Приклади побудови ліній течії

Вихідні дані: вільно розташована ванна завдовжки $\ell = 3$ м і завширшки $b = 0,9$ м обладнана однобортним відсмоктувачем, нижня кромка щілини якого встановлена над поверхнею розчину. Кількість конвективної теплоти від поверхні рідини $Q = 3500$ Вт.

Послідовність розрахунку і побудови ліній течії.

Еквівалентний діаметр ванни за формулою (1.2):

$$d_e = 2\ell b / (\ell + b) = 2 \cdot 3 \cdot 0,9 / (3 + 0,9) = 1,385 \text{ м.}$$

Витрати повітря $L_{\ell,1}$, м²/с, на початку (розгінній ділянці) конвективної струмини за формулою Ельтермана (1.1):

$$L_1 = 32,5(d_e^{5/3} Q^{1/3} / 3600 = 32,5 \cdot 1,385^{5/3} \cdot 3500^{1/3} / 3600 = 0,2359 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Поверхневі витрати та швидкість конвективного потоку за формулами (1.3) та (1.4):

$$L_{\ell,1} = L_1 / \ell = 0,2359 / 3 = 0,07863 \text{ м}^2/\text{с},$$
$$v_1 = L_1 / \ell b = 0,2359 / 3 \cdot 0,9 = 0,0874 \text{ м/с.}$$

При вільно розташованій ванні (рис. 1.2, а) кут вільного простору для стоку $\beta = 3\pi/2$ рад. Кількість бортів, обладнаних щілиною, для однобортного відсмоктувача $N_\theta = 1$. Поверхневі витрати стоку за формулою (1.7):

$$L_{\ell,2} = 1,1 \frac{L_{\ell,1}}{N_\theta} \frac{2\beta}{\pi} = 1,1 \frac{0,07863}{1} \frac{2 \cdot (3\pi/2)}{\pi} = 1,1 \frac{0,07863}{1} \cdot 3 = 0,2595 \text{ м}^2/\text{с.}$$

Обчислюється найбільша висота підйому частинок п.г.с. Визначаємо параметр (див. рис. 1.4)

$$(L_{\ell,1} / N_\theta L_{\ell,2})(2\beta / \pi) = (0,07863 / 1 \cdot 0,2595)(2 \cdot (3 \cdot \pi/2) / \pi) = 0,909.$$

За рис. 1.4 точка максимального підйому частинок п.г.с. має такі координати: $xN_\theta/b = 0,328$ та $yN_\theta/b = 0,469$, звідки

$$x = 0,328 \cdot b / N_\theta = 0,328 \cdot 0,9 / 1 = 0,30 \text{ м,}$$

$$y = 0,469 \cdot b / N_\theta = 0,469 \cdot 0,9 / 1 = 0,42 \text{ м.}$$

Будуються лінії течії над ванною.

Кількість смуг n_1 конвективного потоку за формулою (1.11)

$$n_1 = 10N_\theta = 10 \cdot 1 = 10.$$

Визначається кількість секторів стоку за залежністю (1.10):

$$n_2 = n_1 L_{\ell,2} / L_{\ell,1} = 10 \cdot 0,2595 / 0,07863 = 33,00 = 33.$$

У масштабі будується гальванічна ванна (

рис. 1.5). Над ванною будуються лінії течії конвективного потоку так,

щоб вони поділили простір над ванною на $n_1=10$ однакових смуг. На лівому краї ванни відмічають точку стоку O та будують лінії течії стоку так, щоб вони розбили вільний навколо точки O простір на 33 однакових секторів. За діагоналями чотирикутників будуються лінії течії сумарного потоку. Всі лінії течії потрапляють до точки O .

Показуються осі x та y . Встановлюємо координату x кожної лінії течії та точки максимального підняття частинки п.г.с. Наноситься кут β .

Застосовується принцип суперпозиції. Для цього вибирається точку на будь-якому перетині трьох ліній течії усіх потоків. Будується вектори швидкостей на всю довжину двох суміжних з вибраною точкою сторонах чотирикутника, утвореного лініями течії плоско-паралельного потоку та стоку. Добудовуються вектори до паралелограма. На всю довжину діагоналі паралелограма, що виходить з вибраної точки, будується вектор сумарного потоку. Якщо всі побудови здійснені правильно, то вектор сумарного потоку повинен бути дотичним до ліній течії сумарного потоку.

На графічній частині курсової роботи зображується гальванічна ванна з лініями конвективного потоку (рис.1.6).

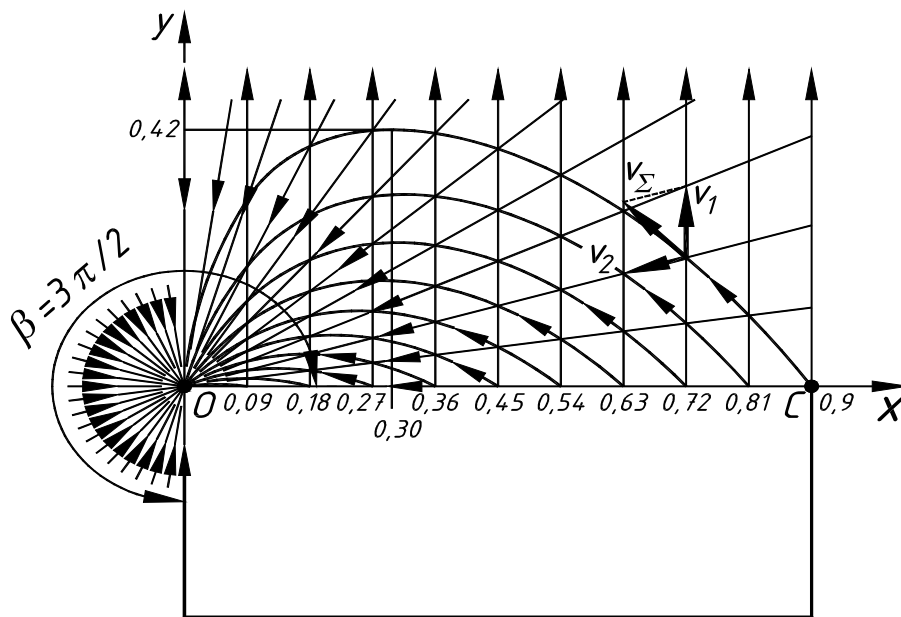


Рис. 1.5. Креслення до прикладу

2. АЕРОДИНАМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК МЕРЕЖІ ПОВІТРОВОДІВ

2.1. Теоретичні основи

Для повної компенсації повітря, яке видаляється місцевою витяжною вентиляцією (бортовими відсмоктувачами), для гальванічних відділень промислових підприємств проектується припливна загальнообмінна вентиляція. Основний обсяг повітря подається в верхню зону розсіяно за допомогою повітророзподільників. Система вентиляції приймається механічною.

Основною задачею цього етапу виконання курсової роботи є запроектувати систему загальнообмінної вентиляції для гальванічного відділення, виходячи з результатів розрахунків кількості повітря, що видаляється бортовими відсмоктувачами, виконати аеродинамічний розрахунок системи повітропроводів.

На практиці при виконанні аеродинамічного розрахунку механічної вентиляційної системи можлива постановка задачі в одному з варіантів:

- при заданих витратах повітря необхідно визначити розміри поперечного перерізу повітропроводів, а також втрати тиску на окремих ділянках та у системи в цілому (так звана пряма задача розрахунку, яка характерна при проектуванні нових мереж повітропроводів);

- при відомих розмірах каналів та відомому перепаді тисків у системі необхідно визначити витрати повітря у мережі (зворотна задача, яка виникає при розрахунку системи з метою її реконструкції).

В даній курсовій роботі має місце пряма задача аеродинамічного розрахунку, в якій втрати тиску розраховуються як сума втрат тиску за довжиною Δp_ℓ для прямих повітропроводів та на місцеві опори Δp_m у фасонних елементах (трійники, відводи, кон- та дифузори тощо) та регулювальних пристроях:

$$\Delta p = \Delta p_\ell + \Delta p_m. \quad (2.1)$$

1.3. Методика виконання аеродинамічного розрахунку на прикладі прямої задачі

Дана мережа повітропроводів з оцинкованої сталі, схема якої наведена на рис. 2.1 за температури повітря 15...25°C.

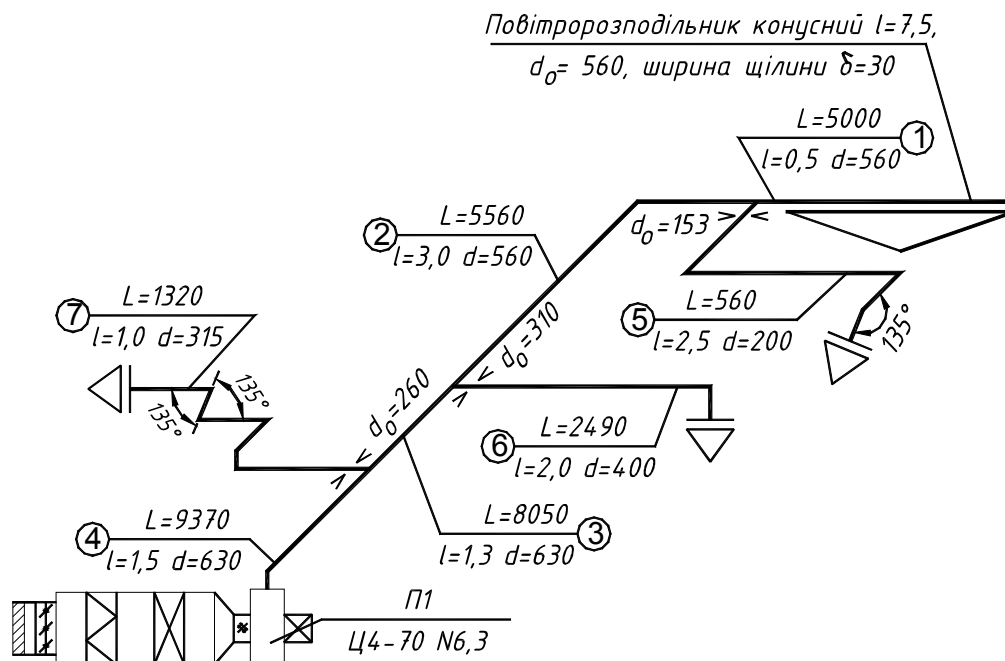


Рис. 2.6. Схема мережі повітроводів

Випуски повітря здійснюються крізь конічний повітророзподільник та циліндричні патрубки без зміни перерізу. Припливна камера обладнана жалюзійною повітрязабірною решіткою (втрати тиску $\Delta p_p=4,8$ Па), утепленого клапана (втрати тиску $\Delta p_y=20$ Па), фільтра (втрати тиску $\Delta p_\phi=60$ Па) і калорифера (втрати тиску $\Delta p_k=60$ Па).

Послідовність аеродинамічного розрахунку така:

1. Мережа розбивається на ділянки з незмінною витратою і перерізом. Межі ділянок – трійники, повітророзподільники (повітрязабірні пристрої) і вентилятор;
2. Вибирається магістраль, тобто найдовший і найбільш навантажений шлях повітря. У даній мережі найбільш довгий від вентилятора шлях повітря не є найбільш навантаженим (рис.2.1). Тому магістраль слід вибрати між найдовшим і найбільш навантаженим шляхом за власним досвідом. В даному випадку приймається найбільш навантажений шлях – до конічного повітророзподільника;
3. Нумеруються ділянки починаючи від кінця магістралі до її початку, а потім відгалуження в такому ж напрямку. Нумери ділянок виставляються у колах на кінцях виносів від кожної ділянки.
4. Визначаються витрати повітря на магістральних ділянках, тобто ділянках без повітророзподільників (не плутати з магістраллю). Для кожної такої ділянки витрата повітря становить суму витрат потоків, на які розділяється потік даної ділянки (або для витяжних систем – суму витрат потоків, що з'єднуються у даній ділянці). Потік повітря на ділянці 2

розділяється на потоки повітря на ділянках 1 та 5. Тобто витрата повітря на ділянці 2 становить суму витрат повітря на ділянках 1 та 5 або $L_2=5000+560=5560 \text{ м}^3/\text{год}$. Витрата повітря на ділянці 3 становить суму витрат повітря на ділянках 2 та 6 або $L_3=5560+2490=8050 \text{ м}^3/\text{год}$. Одержані числа заносяться на схему (рис.2.1);

5. В таблицю аеродинамічного розрахунку (табл.2.1) переносяться дані з (рис.2.1) у стовпчики 1,2 та 3;

6. Приймаються швидкості повітря на ділянках (табл.2.2): на ділянках-відгалуженнях 1,5,6 і 7 швидкості $v'=6 \text{ м/с}$, а на магістральних ділянках 2,3 і 4, відповідно, $v' = 7,8,10 \text{ м/с}$.

Таблиця 2.2

Максимальні швидкості повітря

Ділянка	Будівля	
	промислова	громадська
Магістральна ділянка – без повітророзподільних (повітрозабірних) пристроїв	12	8
Ділянка-відгалуження – з повітророзподільними (повітрозабірними) пристроями	6	5

7. Розраховується потрібна питома витрата на кожній ділянці за формулою

$$g_v=L/v'==3600A \quad (2.2)$$

і заноситься до стовпчика 5. Округлювати слід до двох знаків після коми.

8. За таблицею А.4 вибирається діаметр повітроводу кожної ділянки так, щоб питома витрата g_v була найближчою більшою за потрібну g'_v . Якщо швидкість v' прийнята меншою за максимальну, то можна приймати найближче значення g_v . Але у напрямку від вентилятора до повітророзподільника (повітрозабірного пристрою) діаметр не повинен зменшуватися, а швидкість не повинна зростати (може зрости на 0,1...0,3 м/с).

Одразу виписуються всі потрібні характеристики перерізу.

На ділянці 1 потрібна швидкість приймалася за максимальною, тобто значення g_v слід приймати найближчим більшим до $g'_v = 833,33 \text{ с} \cdot \text{м}^2/\text{год}$. За таблицею А.4 діаметру 500 мм відповідає значення питомої витрати $g_v = 705,6 \text{ с} \cdot \text{м}^2/\text{год}$, що менше за потрібну питому витрату. Наступному діаметру 560 мм відповідає більше за потрібне значення – $g_v = 885,6 \text{ с} \cdot \text{м}^2/\text{год}$. Отже приймається цей діаметр. Записується значення $g_{v,1} = 885,6$ до стовпчика 6, значення діаметра – $d_1=560$ – до стовпчика 7; $\lambda_1/d = 0,04154$ – до стовпчика 9, а значення питомого швидкісного тиску $A^*_1 = 0,765 [\times 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{год}^2/\text{м}^6]$ – до стовпчика 17.

На ділянці 2 швидкість приймалася менша за потрібну, тобто можна брати найближче значення g_v до $g'_v = 794,29 \text{ с} \cdot \text{м}^2/\text{год}$. За таблицею А.4 діаметрам 500 мм та 560 мм відповідають значення питомої витрати $g_v = 705,6$ та $885,6 \text{ с} \cdot \text{м}^2/\text{год}$. Значення діаметра 500 мм менше за значення діаметра d_1 на ділянці 1. Тобто при $d_2=500$ мм в напрямку від вентилятора до повітророзподільника діаметр буде зростати. Отже, слід приймати діаметр повітроводу, що відповідає ділянці 1 – 560 мм.

Аналогічно вибираються діаметри інших ділянок;

9. Розраховуються швидкості повітря v на ділянках за формулою

$$v = L/g_v. \quad (2.3)$$

Одержані результати заносяться до стовпчика 8 з заокругленням до одного знака після коми. Більш точно швидкість повітря у вентиляційних системах підтримувати неможливо;

10. Приймаються поправки:

поправки на температуру k_1 та k_2 дорівнюють одиниці, оскільки температура повітря близька до 20°C . Також для оцинкованої сталі **поправка на шорсткість** k_Δ дорівнює одиниці. Тобто у стовпчиках 10, 11 і 13 заносяться до всіх рядків одиниці.

Поправка на швидкість k_v повітря береться за таблицею А.5. Вона знаходиться на перетині рядка, що відповідає цілій частині швидкості повітря, та стовпчика, що відповідає дробовій.

На першій ділянці швидкість повітря становить 5,6 м/с. Тому поправка k_v береться з таблиці А.5 на перетині рядка 5 та стовпця 0,6. Тобто до стовпчика 12 таблиці аеродинамічного розрахунку заноситься $k_v = 0,6501$.

11. Визначається $\lambda\ell/d = k_1 k_v k_\Delta (\lambda_1/d)\ell$. Для цього множиться значення у стовпчиках 10, 12, 13, 9 і 3, а результат заноситься до стовпчика 13 з заокругленням до трьох знаків після коми.

12. Визначаються коефіцієнти місцевих опорів та їхня сума на ділянках. Розрахунок наводиться за такою формою:

Ділянка 1

1. Повітророзподільник конусний (додаток А, табл. А.9).

При коефіцієнті витрати щілини $\mu = 0,7$, початковій швидкості повітря $\omega_n = 5,6$ м/с (швидкість повітря на ділянці 1), початковій витраті повітря $L = 5000 \text{ м}^3/\text{год}$, коефіцієнті нерівномірності розподілення на початку $v_n = (1 + r_n)L/3600\ell\delta = (1 + 0,3) \cdot 5000/3600 \cdot 7,5 \cdot 0,05 = 4,81 \text{ м/с}$.

$$\xi = (v_n/\mu\omega_n)^2 + 1 = (4,81/0,7 \cdot 5,6)^2 + 1 = 3,51$$

2. Трійник на прохід (рис.2.2; додаток А, табл. А.7):

Таблиця 1.1

Таблиця аеродинамічного розрахунку мережі повітроводів

№ ділянки	Витрата $L, \frac{м^3}{год}$	Довжина ділянки $l, м$	Потрібна швидкість $v', м/с$	Потрібна витрата $g'_v = \frac{L}{v'}, \frac{с \cdot м^2}{год}$	Прийнята витрата $g_v > g'_v, \frac{с \cdot м^2}{год}$	Прийнятий діаметр повітроводу $d, мм$	Фактична швидкість повітря $v = \frac{L}{g_v}, м/с$	$\lambda_l/d, м^{-1}$	Поправка на				$\lambda_l/d = k_1 \times k_v \times k_\Delta \times (\lambda_l/d) \cdot 1$	Сумарний коефіцієнт $\sum \xi$	Приведений коефіцієнт опору $\xi' = \lambda_l/d + \sum \xi k_2$	Питома швидкість $A^* \times 10^6, Па \times год^2/м^6$	Характеристика опору $S = A^* \xi' \times 10^6, Па \cdot год^2/м^6$	Втрати тиску на ділянці $\Delta P_l = S(L \times 10^{-3})^2, Па$	Сумарні втрати тиску $\Delta P_{\Sigma}, Па$	Втрати тиску на відгалуженні $\Delta P_e, Па$	Абсолютна невязка $\Delta p_l = \Delta p_{\Sigma} - \Delta p_e, Па$	Відносна невязка $\varepsilon = 100 \times \frac{\Delta p_l}{\Delta p_{\Sigma}}, \%$	Потрібний місцевий опір діфрагми $\xi' = \frac{\Delta P_l}{\rho \times v'^2/2}$	Діаметр отвору $d_o, мм$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
М А Г І С Т Р А Л Ь																								
1	5000	0,5	6	833,33	885,6	560	5,6	0,0415	1	1	0,6501	1	0,014	3,66	3,674	0,765	2,811	70,3	70,3	—	—	—	—	—
2	5560	3	7	794,29	885,6	560	6,3	0,0415	1	1	0,6312	1	0,079	0,56	0,639	0,765	0,489	15,1	85,4	—	—	—	—	—
3	8050	1,3	8	1006,25	1123,2	630	7,2	0,0358	1	1	0,6105	1	0,028	0,15	0,178	0,475	0,085	5,5	90,9	—	—	—	—	—
4	9370	1,5	10	937	1123,2	630	8,3	0,0358	1	1	0,5892	1	0,032	0,85	0,882	0,475	0,419	36,8	127,7	—	—	—	—	—
В І Д Г А Л І У Ж Е Н Н Я																								
5	560	2,5	6	93,33	113	200	5	0,1504	1	1	0,6688	1	0,251	2,25	2,501	46,955	117,434	36,8	70,3	36,8	33,5			
6	2490	2	6	415	453,6	400	5,5	0,0632	1	1	0,6530	1	0,083	2,54	2,623	2,916	7,649	47,4	85,4	47,4	38			
7	1320	1	6	220	221,4	280	6	0,0988	1	1	0,6390	1	0,063	4,37	4,433	12,24	54,26	94,5	90,9	94,5	-3,6			

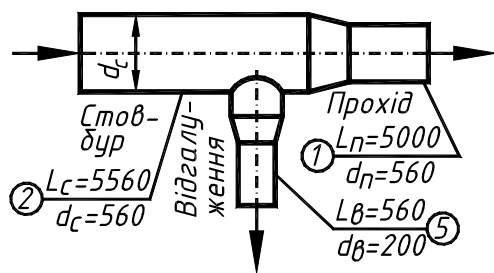


Рис. 2.2. Трійник

При $L_b / L_c = 560/5560 = 0,1$ та $A_n / A_c = (d_n / d_c)^2 = (560/560)^2 = 1$

$$\xi = 0,15$$

$$\Sigma \xi = 3,51 + 0,15 = 3,66$$

Аналогічно визначаються втрати тиску на ділянках 2 та 3. Усі коефіцієнти місцевого опору заокруглюються до двох знаків після коми. Коефіцієнт місцевого опору трійника визначається інтерполяцією або екстраполяцією (додаток Б). На ділянці 4 є місцевий опір приєднання повітроводу до вентилятора. Вид його залежить від площі перерізу вихідного патрубку вентилятора A_0 та повітроводу A_1 . Якщо $A_0 \approx A_1$, то це – перехід з прямокутного на круглий переріз ($\xi \approx 0$). Якщо $A_0 > A_1$, то це – конфузور (звуження). Відношення довжини до діаметра ℓ/d та кут розкриття α приймаються за завданням викладача. Якщо $A_0 < A_1$, то це – дифузор за радіальним вентилятором. Кут розкриття α приймається за завданням викладача.

Ділянка 4

1. Відвід на 90° (додаток А, табл. А.6) $\xi = 0,35$

2. Приєднання повітроводу до вентилятора (додаток А, табл. А.6).

При розмірах вихідного патрубка вентилятора 350×350 мм (додаток А табл. А.8), його площі $A_0 = 0,35 \cdot 0,35 = 0,123$, діаметрі повітроводу $d = 630$ мм, площі його перерізу $A_1 = 3,14 \cdot 0,63^2 / 4 = 0,312 \text{ м}^2 > A_0$ маємо дифузор (розширення) за радіальним вентилятором. При куті розкриття $\alpha = 20^\circ$ та $A_1/A_0 = 0,312 / 0,123 = 2,54$

$$\xi = 0,50$$

$$\Sigma \xi = 0,35 + 0,50 = 0,85$$

Ділянка 5

1. Циліндричний патрубок (додаток А, табл. А.6) $\xi = 1,1$

2. 2 відводи на 90° (додаток А, табл. А.6) $\xi = 2 \cdot 0,35 = 0,7$

3. Відвід на 135° (додаток А, табл. А.6) $\xi = 0,25$

4. Трійник на відгалуження (рис. 2.3.3; додаток А, табл. А.7):

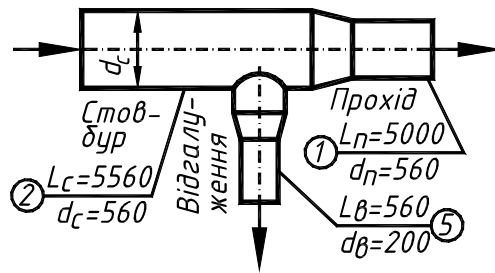


Рис. 2.3. Трійник

При $L_b / L_c = 560/5560 = 0,1$ та $A_b / A_c = (d_b / d_c)^2 = (200/560)^2 = 0,13$

$$\xi = 0,2$$

$$\Sigma \xi = 1,1 + 0,7 + 0,25 + 0,2 = 2,25$$

Аналогічно виконується розрахунок місцевих опорів на ділянках 6 та 7. Одержані сумарні коефіцієнти місцевого опору $\Sigma \xi$ заносяться до стовпчика 15 табл. 1.

13. Визначається приведений коефіцієнт опору ξ' за формулою

$$\xi' = k_1 k_\Delta k_v (\lambda_1 / d) + k_2 \Sigma \xi, \quad (2.4)$$

тобто додаванням значення зі стовпчика 14 до добутку значень стовпчиків 15 та 11;

14. Обчислюється питома характеристика опору $S, \times 10^6 \text{ Па} \cdot \text{год}^2 / \text{м}^6$ кожної ділянки мережі повітроводів

$$S = \xi_{\text{пр}} A_{\text{num}} \quad (2.5)$$

тобто множенням даних стовпчиків 16 і 17 таблиці аеродинамічного розрахунку. Розмірності не переводяться. Результат округлюється до трьох знаків після коми і заносяться до стовпчика 18 тієї ж таблиці. Для ділянки 1 - до стовпчика 18 $S = 3,674 \cdot 0,765 = 2,811 [\times 10^6 \text{ Па} \cdot \text{год}^2 / \text{м}^6]$;

15. Визначаються втрати тиску $\Delta p_i, \text{ Па}$, на кожній ділянці, причому для узгодження одиниць вимірювання (питома характеристика опору у стовпчику 18 таблиці аеродинамічного розрахунку взята з коефіцієнтом 10^6) витрату повітря беремо в 1000 разів меншою.

$$\Delta p = S (L \cdot 10^{-3})^2. \quad (2.6)$$

Для ділянки 1

$$\Delta p_1 = 2,811 \cdot (5000 \cdot 10^{-3})^2 = 2,811 \cdot 5^2 = 70,3 \text{ Па},$$

Для ділянки 2

$$\Delta p_2 = 0,481 \cdot (5560 \cdot 10^{-3})^2 = 0,489 \cdot 5,56^2 = 15,1 \text{ Па}.$$

Втрати тиску заокруглюються до одного знака після коми.

16. Визначаються втрати тиску за магістраллю $\Delta p_{мг}$ від її повітророзподільника на ділянці 1 до трійника (разом з останнім) кожної ділянки і заносяться до стовпця 20.

Втрати тиску від повітророзподільника магістралі до трійника ділянки 1 дорівнюють втратам тиску на ділянці 1, тобто до стовпчика 20 переносяться значення втрат тиску на ділянці 1 зі стовпчика 19: $\Delta p_{мг,1} = \Delta p_1 = 70,3 \text{ Па}$.

Втрати тиску від повітророзподільника магістралі до трійника ділянки 2 дорівнюють сумі втрат тиску від початку магістралі до кінця ділянки 1 $\Delta p_{мг,1}$ та втрат тиску на ділянці 2 Δp_2 . До стовпчика 20 заноситься сума $\Delta p_{мг,2} = \Delta p_{мг,1} + \Delta p_2 = 70,3 + 15,1 = 85,4 \text{ Па}$.

Для ділянок 3 і 4 – аналогічно.

У загальному випадку для розрахунку втрат тиску від початку магістралі до кінця i -ї ділянки використовується формула:

$$\Delta p_{мг,i} = \begin{cases} \Delta p_i & \text{при } i = 1 \\ \Delta p_{мг,i-1} + \Delta p_i & \text{при } i > 1 \end{cases} \quad (2.7)$$

17. У стовпчики 21–25 на ділянках магістралі заносяться rischi.

18. Заносяться до стовпчика 21 таблиці аеродинамічного розрахунку втрати тиску у відгалуженнях $\Delta p_{в,i}$. У даному випадку, коли нема відгалужень від відгалужень, $\Delta p_{в,i} = \Delta p_i$. Тобто на ділянках відгалужень переносяться дані зі стовпчика 19 до стовпчика 21.

19. Визначаються потрібні втрати тиску на відгалуженнях. Втрати тиску у кожному відгалуженні повинні дорівнювати втратам тиску від початку магістралі (ділянка 1) до точки приєднання відгалуження. Ці потрібні втрати заносяться до стовпчика 21.

Ділянка 5 приєднується до магістралі після ділянки 1. Тому до стовпчика 21 на ділянці 5 заноситься значення втрат тиску від початку магістралі до кінця ділянки 1, тобто $\Sigma \Delta p_{мг,5} = \Sigma \Delta p_{мг,1} = 70,3$ Па.

Ділянка 6 приєднується після ділянки 2 магістралі. Тобто до стовпчика 21 на ділянці 6 заносяться втрати тиску від початку магістралі до кінця ділянки 2, а саме, $\Sigma \Delta p_{мг,6} = \Sigma \Delta p_{мг,2} = 85,4$ Па.

20. Визначаються абсолютні нев'язки втрат тисків. Точної рівності втрат тиску на магістралі та у відгалуженнях при розрахункових витратах досягти неможливо. Але при роботі системи ця рівність буде абсолютно точною. Досягатиметься це тим, що витрати повітря відрізнятимуться від розрахункових: більше повітря піде шляхом з меншим опором. Якщо абсолютна нев'язка втрат тиску не перевищує 10% від втрат тиску магістралі, то таке розрегулювання системи не буде відчутним. Абсолютна нев'язка визначається як різниця між втратами тиску на магістралі до точки приєднання відгалуження та втратами тиску у відгалуженні $\Delta p_i = \Delta p_{мг,i} - \Delta p_{в,i}$. Тобто до стовпчика 22 таблиці аеродинамічного розрахунку заноситься різниця даних у стовпчиках 20 і 21. Нев'язки повинні бути додатними. Якщо на відгалуженні одержано від'ємну нев'язку, то необхідно зменшити на ньому втрати тиску шляхом збільшення діаметра повітроводу. На відгалуженні 7 одержано від'ємну нев'язку – мінус 3,6 Па. Змінюється діаметр ділянки 7 на 315 і перераховуються кроки з 12 по 15 (стовпці 15–19) тільки для ділянки 7 (табл. 2.2). При цьому слід перерахувати місцевий опір відповідного трійника на відгалуження (його опір на прохід залишиться незмінним);

21. Визначаються відносні нев'язки втрат тисків у відсотках: $\varepsilon = 100 \Delta p_{в,i} / \Delta p_{мг,i}$. Тобто до стовпчика 23 таблиці заносяться відношення даних у стовпчиках 22 і 20, помножене на 100%.

На відгалуженнях, де відносна нев'язка перевищує 10%, встановлюються діафрагми. Визначаються їхні потрібні коефіцієнти місцевого опору за формулою

$$\xi = \Delta p_i / (\rho v^2 / 2), \quad (2.8)$$

де ρ – густина повітря, яка приймається $1,2 \text{ кг/м}^3$, v – швидкість повітря на відгалуженні, м/с (стовпчик 8), а Δp_i – абсолютна нев'язка у паскалях (стовпчик 22).

22. Вибирається діаметр отвору діафрагми d_o , мм, за табл. А.8 додатку А на перетині стовпця, що відповідає діаметру повітроводу, та рядка, що відповідає потрібному коефіцієнту місцевого опору або найближчому меншому до нього значенню. Результат записується до стовпця 25 таблиці аеродинамічного розрахунку.

Ділянка 5. Діаметр ділянки 200 мм (стовпчик 7 таблиці аеродинамічного розрахунку), а потрібний коефіцієнт місцевого становить 2,23 (стовпчик 24). У табл. А.8 додатку А найближчий менший коефіцієнт опору діафрагми становить $\xi=2,2$. На перетині стовпчика, що відповідає $d = 200$ мм, та рядка, який відповідає $\xi=2,2$, знаходиться значення $d_o = 153$ мм, яке заноситься до стовпчика 25 таблиці аеродинамічного розрахунку (табл. 2.2).

23. Наносяться одержані дані на схему (рис.2.1). Діафрагми позначаються на відгалуженнях біля трійників і записується діаметр отвору діафрагми d_o , мм, зі стовпця 25 таблиці аеродинамічного розрахунку. Розмірності не пишуться. Також під виносками ділянок записуються діаметри ділянок зі стовпця 7 цієї таблиці;

24. Підраховуються загальні втрати тиску у системі вентиляції Δp , Па, які є сумою втрат тиску, Па, у припливній камері $\Delta p_{пк}$ та магістралі мережі повітроводів $\Delta p_{маг}$. Останні втрати тиску дорівнюють сумарним втратам тиску на магістралі $\Sigma \Delta p_{маг,4}$ до початку ділянки 4 (у таблиці аеродинамічного розрахунку виділені жирною рамкою та жирним крупним шрифтом). Одержаний результат множиться на коефіцієнт запасу 1,1.

$$\Delta p = 1,1(\square \Delta p_{пк} + \Delta p_{маг}) = 1,1 \cdot (150 + 127,7) = 305,47 \text{ Па.}$$

На графічній частині проекту на плані будівлі зображується розводка повітропроводів із зазначенням розмірів ділянок, а також аксонометрична схема запроектованої системи із зазначенням витрати повітря та діаметрів ділянок.

23

3. РОЗРАХУНОК ВІЛЬНИХ СТРУМИН

3.1. Класифікація повітряних струмин

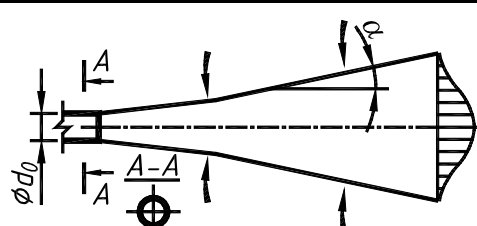
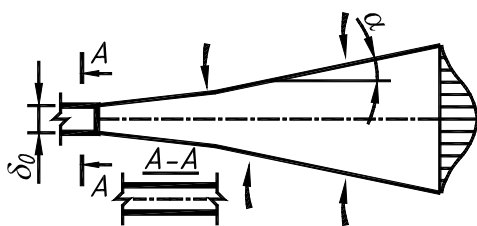
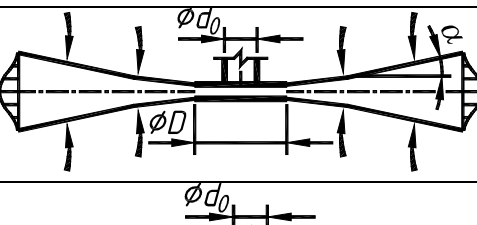
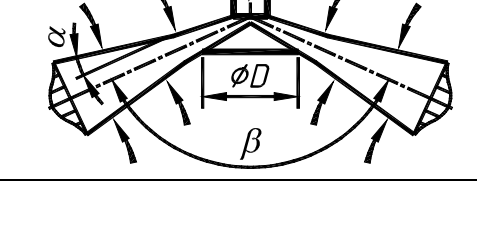
В залежності від запроектованої в попередньому розділі загально - обмінної системи вентиляції і прийнятих повітророзподільників виконується розрахунок струмини. Вихідні дані для розрахунків приймаються за додатком А (таблиця А.11). Втрата повітря через повітророзподільник визначається по ділянці 1 запроектованої системи П1.

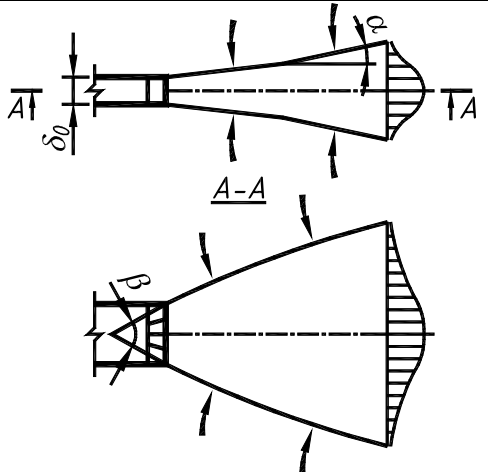
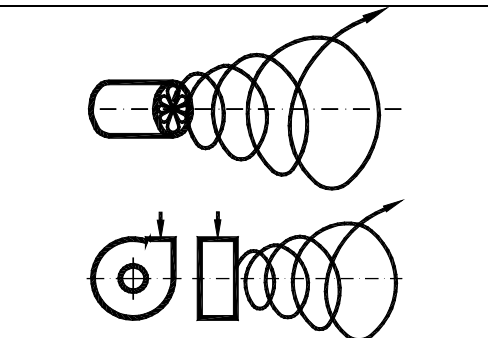
Струмини класифікуються за формою, температурою, перешкодами для розвитку тощо.

Класифікація струмин за формою наведена у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Класифікація струмин за формою

Стру- мина	Креслення	Повітровипуск- ний отвір	Форма та властивос- ті
Ком- пактна		Круглий	Вісесимет- рична
		Квадратний чи прямокутний	Стає вісе- симетрич- ною
Плоска		Щілина завдовж- ки $\ell \geq 20\delta$,	Овальна, на відстані 6ℓ стає ві- сесимет- ричною
Віяло- ва		Кільцевий	
Коніч- на		Круглий, перед яким встановлено диск	При $\beta < 120^\circ$ може утво- ритися компактна

Непов- на вія- лова		Решітка з напрям- ними пластинами	
Закру- чена		Повітророзпо- дільник з закру- чувальними ло- патками або з тангенціальним підводом повітря	

Основою для класифікації струмини за температурою повітря у ній є різниця температур її повітря t та повітря навколишнього середовища t_{∞} , яка називається надлишковою температурою Δt .

Якщо ця температура близька до нуля, то струмина називається ізотермічною. Якщо ж різниця температур суттєво відрізняється від нуля, то струмина називається неізотермічною (нагрітою, або охолодженою).

Густина повітря у неізотермічній струмині ρ відрізняється від густини ρ_{∞} повітря навколишнього середовища. Тому на струмину діють гравітаційні сили Архімеда.

Якщо сили Архімеда не створюють значного впливу на розвиток струмини, то така струмина називається слабконеізотермічною. Якщо гравітаційні сили суттєво викривлюють струмину, то ця струмина називається сильнонеізотермічною.

За наявністю перешкод розвитку струмини поділяються на вільні (безперешкодний розвиток), обмежені (якщо існують перешкоди розвитку струмини) та напівобмежені. Останніми є струмини, які випущені біля твердої поверхні приблизно за дотичною до неї. Такі струмини настилаються на тверду поверхню

Вентиляційні струмини завжди турбулентні. Завдяки турбулентному перемішуванню частинок струмини з навколишнім середовищем останні захоплюються струминою. При цьому струмина розширюється, збільшує витрату, а її швидкість зменшується.

3.2. Теоретичні основи розрахунку вільних ізотермічних повітряних струмин

Схему вільної ізотермічної струмини наведено на рис. 3.1, а.

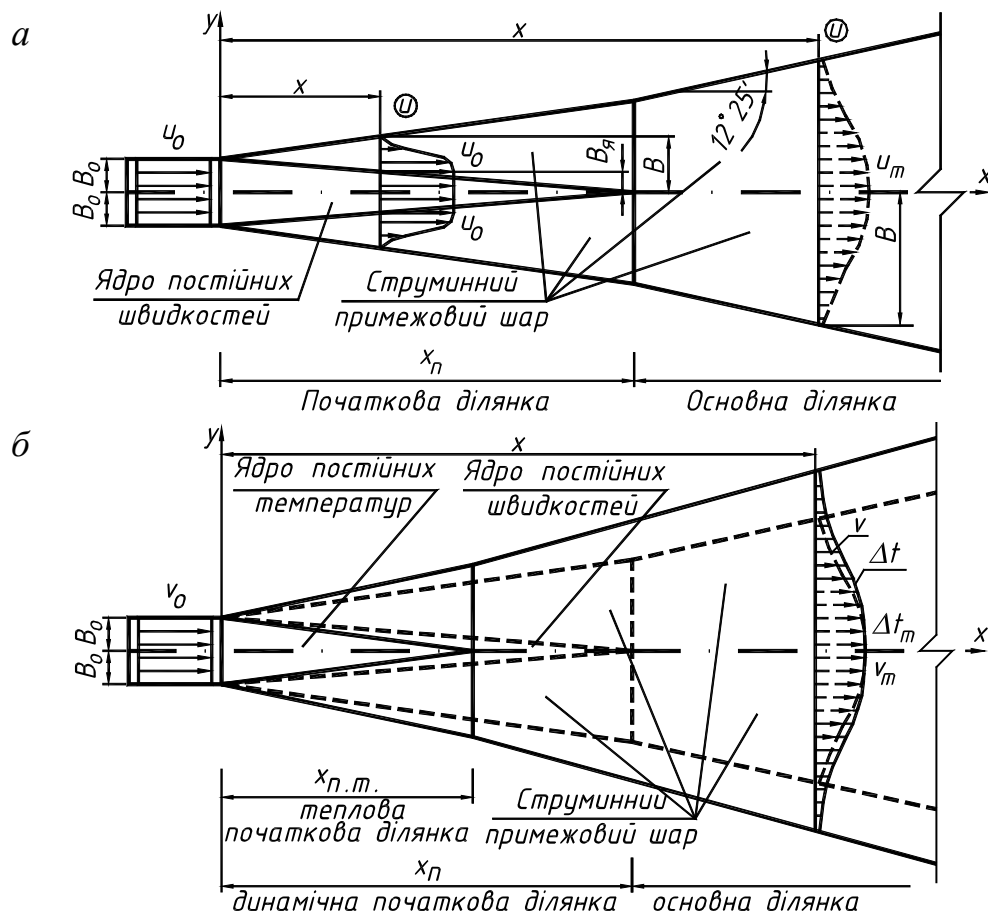


Рис. 3.1. Схема вільної струмини:

а – ізотермічної, б – слабконеізотермічної

Якщо профіль швидкості повітря у повітровипускному отворі рівномірний, то після виходу струмини він зберігається у **ядрі постійних швидкостей** струмини. У цьому ядрі швидкість повітря дорівнює швидкості повітря у повітровипускному отворі u_0 . На межах ядра постійних швидкостей утворюється **струминний примежовий шар**. Цей шар поступово витісняє ядро струмини.

У динамічному перехідному перерізі ядро зникає. Далі струмина складається тільки з примежового шару. Частина струмини, що містить лише примежовий шар називається **основною ділянкою**. Частина струмини від початку до перехідного перерізу називається **динамічною початковою ділянкою** (або початковою ділянкою).

У струмин з нерівномірним початковим профілем швидкості ядра струмини немає. На початковій ділянці йде переформування вихідного профілю швидкості до профілю струминного примежового шару.

Введемо систему декартових координат, яку прив'яжемо до центра повітровипускного отвору. Вісь x спрямуємо вздовж осі струмини, а вісь y – перпендикулярно до неї.

Розглянемо основну ділянку струмини. Профілі швидкості у ній подібні. Максимальна швидкість повітря у перерізах струмини u_m спостерігається на осі струмини. Вздовж осі струмини ця швидкість згасає.

Існують дві основні теорії струминного примежового шару. Так звана, «стара теорія» вважає, що на межі струмини швидкість повітря дорівнює нулю. Відомий теоретичний профіль швидкостей Шліхтинга:

$$\bar{u} = \left(1 - \bar{y}^{3/2}\right)^2, \quad (3.1)$$

де $\bar{u}$ – безрозмірна швидкість повітря:

$$\bar{u} = u/u_m, \quad (3.2)$$

$\bar{y}$ – безрозмірна ордината:

$$\bar{y} = y/B, \quad (3.3)$$

а B – відстань у перерізі від осі до межі струмини (половина ширини або радіус струмини). Кут розширення струмини (між віссю та межею) становить $\alpha = 12^\circ 25'$, а тангенс цього кута $\operatorname{tg}(\alpha) = 0,22$.

Перетин меж струмини називається її полюсом. За дослідними даними можна вважати, що полюс струмини знаходиться приблизно в площині повітровипускного отвору. Тобто радіус або половина ширини струмини

$$B = x \operatorname{tg} \alpha = 0,22 x. \quad (3.4)$$

За дослідними даними висловлена, так звана, «нова теорія»: швидкість повітря наближається до нуля асимптотично. Відомий експоненційний профіль швидкостей Рейхарда:

$$\bar{u} = e^{-0,5(y/cx)^2}, \quad (3.5)$$

де x – абсциса перерізу, а $c = 0,082$ дослідний коефіцієнт.

Різновидом експоненційного профілю є формула Гримітліна:

$$\bar{u} = e^{-0,7(\bar{y}_r)^2}, \quad (3.6)$$

де $\bar{y}_r$ – безрозмірна ордината:

$$\bar{y}_r = y/x \operatorname{tg}(\alpha_{1/2}) \approx y/0,1x, \quad (3.7)$$

а $\alpha_{1/2}$ – кут між віссю та лінією, на якій швидкості повітря дорівнюють половині осьової. Для всіх видів струмин $\operatorname{tg} \alpha_{1/2} = 0,1$.

Професор кафедри теплогазопостачання і вентиляції Київського національного університету будівництва і архітектури А.Я.Ткачук запропонував теоретичний експоненційний профіль швидкості:

$$\bar{u} = e^{-0,5,9\bar{y}^2}. \quad (3.8)$$

При використанні експоненційних профілів швидкості динамічна межа струмини приймається за лінією, де швидкість повітря становить 5% осьової. Безрозмірна швидкість повітря дорівнює

$$\bar{u}_{\text{меж}} = 0,05. \quad (3.9)$$

Усі профілі швидкості практично однакові. Різниця лежить в межах похибки дослідів (рис. 3.2)

М.Й.Гримітлін запропонував визначення швидкості повітря на осі струмин за допомогою коефіцієнта згасання швидкості m .

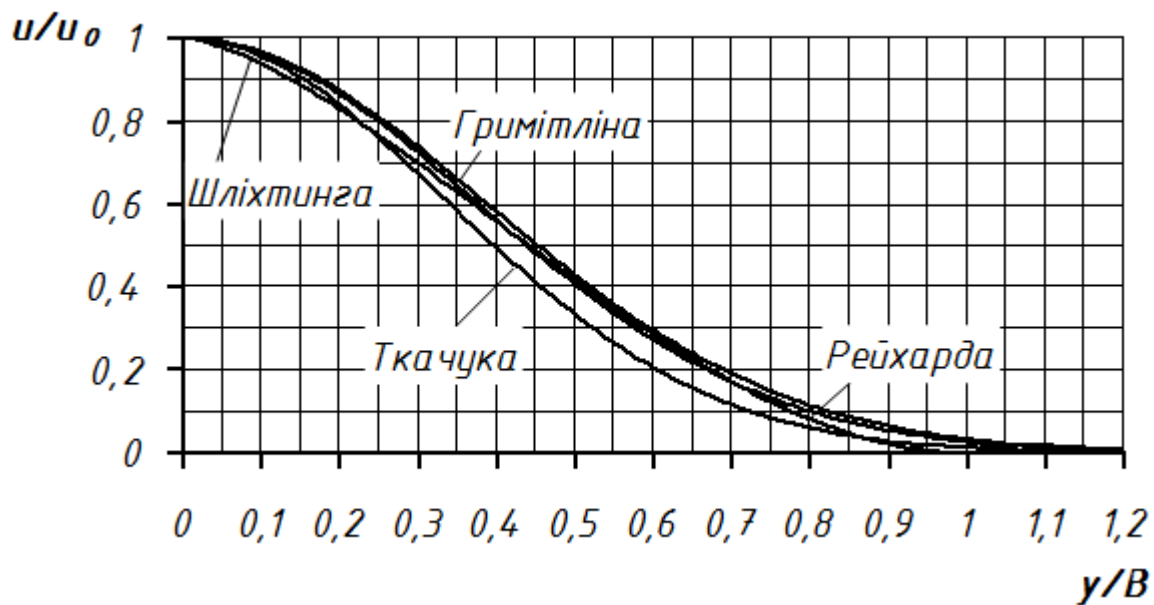


Рис. 3.2. Профілі швидкості в струміні

Для компактних, віялових і конічних струмин

$$v_m = m v_0 \sqrt{A_0/x}, \quad (3.10)$$

де v_0 – швидкість повітря у повітровипускному отворі становить

$$v_0 = L_0 / A_0; \quad (3.11)$$

L_0 – початкова витрата повітря, а A_0 – площа цього отвору. Для круглого отвору діаметром d_0 площа $A_0 = \pi d_0^2/4$.

Для плоских струмин

$$v_m = m v_0 \sqrt{d/x}, \quad (3.12)$$

де за формулою

$$v_0 = L_0 / 3600 \ell \delta; \quad (3.13)$$

ℓ – довжина щілини, а δ – ширина щілини.

Значення коефіцієнта m для повітророзподільників наведені у додатку А (таблиця А.9).

Якщо розглядати початкову ділянку струмини, то її довжина x_n знаходиться за умови, що максимальна швидкість повітря у перехідному перерізі $u_{m,n}$ дорівнює швидкості повітря на виході з повітровипускного отвору u_o . За формулами (3.10) і (3.12) після підстановки $v_{m,n} = v_o$ та $x = x_n$: $v_o = m v_o \sqrt{A_o} / x_n$ та $v_o = m v_o \sqrt{d} / x_n$.

Для компактних, кільцевих і конічних струмин:

$$x_n = m \sqrt{A_o}. \quad (3.14)$$

Для плоских струмин

$$x_n = m^2 \delta. \quad (3.15)$$

3.3. Теоретичні основи розрахунку вільних неізотермічних струмин

Характеристикою неізотермічності струмини є безрозмірний комплекс – критерій Архімеда. Початковий критерій Архімеда на виході з повітровипускного отвору для компактних і віялових струмин

$$Ar_0 = \frac{g \sqrt{A_o} \Delta t_0}{v_o^2 (273 + t_\infty)}, \quad (3.16)$$

а для плоских струмин

$$Ar_0 = \frac{g d \Delta t_0}{v_o^2 (273 + t_\infty)}, \quad (3.17)$$

де $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння, t_∞ – температура навколишнього середовища, а Δt_0 – надлишкова температур повітря у повітровипускному отворі:

$$\Delta t_0 = t_0 - t_\infty. \quad (3.18)$$

Критерій Архімеда показує відношення сил виштовхування Архімеда та інерційних сил.

Для довільного перерізу це відношення характеризує плинний критерій Архімеда. Для компактних і віялових струмин

$$Ar_x = \frac{n}{m^2} Ar_o \left(\frac{x}{\sqrt{A_o}} \right)^2, \quad (3.19)$$

а для плоских струмин

$$Ar_x = \frac{n}{m^2} Ar_o \left(\frac{x}{D} \right)^{3/2}. \quad (3.20)$$

Слабконеізотермічною є струмина, для якої плинний критерій Архімеда менший за критичне значення: для компактних і віялових струмин $Ar_x < 0,1$, а для плоских – $Ar_x < 0,15$. Схема слабконеізотермічної струмини наведена на рис.8, б.

Швидкості повітря у слабконеізотермічних струминах розраховуються як для ізотермічних. Надлишкові температури

$$\Delta t = t - t_{\infty}. \quad (3.21)$$

розподіляються аналогічно до швидкостей повітря. При рівномірному профілі температур на виході з повітровипускного отвору маємо **ядро постійних температур**, що звужується до зникнення у тепловому перехідному перерізі. Від початку струмини до теплового перехідного перерізу знаходиться **теплова початкова ділянка**. Теплова межа струмини визначається аналогічно до динамічної. На тепловій межі струмини перепад температур $\Delta t_{\text{меж}}$ дорівнює 5% перепаду температур на осі струмини Δt_m .

Перепад температур на осі струмини Δt_m вздовж осі основної ділянки згасає.

Теоретичний профіль температур Тейлора описується залежністю: $\overline{Dt} = \bar{u}^{0,5}$, де $\overline{Dt}$ – безрозмірна надлишкова температура:

$$\overline{Dt} = Dt / Dt_m. \quad (3.22)$$

Проте досліді показали, що показник степеня є більшим. За дослідями М.Й.Гримітліна:

$$\overline{Dt} = \bar{u}^{0,7} = e^{-0,49(\bar{y}_r)^2}. \quad (3.23)$$

Для визначення осьового перепаду температур на основній ділянці струмини Δt_m та довжини теплової початкової ділянки $x_{n,m}$ одержано формули, аналогічні до залежностей (3.10), (3.12), (3.14) та (3.15).

М.Й.Гримітлін запропонував визначати перепад температур Δt_m на осі основної ділянки струмини за допомогою коефіцієнта згасання перепаду температур n . Формули аналогічні (3.10) і (3.12). Для компактних та віялових струмин

$$\Delta t_m = \Delta t_o n \sqrt{A_o} / x, \quad (3.24)$$

а для плоских струмин

$$\Delta t_m = \Delta t_o n \sqrt{d/x}. \quad (3.25)$$

Довжина теплової початкової ділянки струмини $x_{n,m}$ визначається аналогічно до довжини динамічної початкової ділянки (3.14) (3.15).

Для компактних, кільцевих і конічних струмин:

$$x_{n,m} = n \sqrt{A_o}. \quad (3.26)$$

Для плоских струмин:

$$x_{n,m} = n^2 \delta. \quad (3.27)$$

Перенос теплоти в струмині є більш інтенсивним ніж перенос кількості руху. Інтенсифікують теплоперенос великомасштабні вихрові утворення – клуби. Тому ядро постійних температур звужується швидше, ніж ядро постійних швидкостей ($x_n > x_{n,m}$). Температурна (теплова) ширина струмини більша ніж динамічна.

Для вільних сильнонеізотермічних струмин розрахунок ведеться за тими ж формулами з уведенням поправочних коефіцієнтів на дію сил Архімеда. Також розраховується траєкторія осі струмини.

3.4. Приклад розрахунку струмини

Треба знайти параметри струмини на відстані 1 м від повітророзподільника рівномірного розподілу, який встановлений на ділянці 1 мережі повітроводів (рис. 2.1), розглянутий у прикладі аеродинамічного розрахунку (розділ 2). Витрата повітря на вході до повітророзподільника дорівнює витраті повітря на ділянці 1, тобто за табл. 2.3, $L_0=5000 \text{ м}^3/\text{год}$.

Розміри щілини за схемою мережі повітроводів на рис.2.1 становлять: $1 \times \delta=7500 \times 30 \text{ мм}$ або $7,5 \times 0,03 \text{ м}$.

Температура повітря на виході зі щілини становить $t_0=24^\circ\text{C}$, а температура навколишнього середовища становить $t_\infty=18^\circ\text{C}$. Необхідно побудувати профіль швидкості повітря за формулою а – Шліхтінга, б – Рейхарда.

Послідовність розрахунку

1. Визначаємо перепад температур на виході зі щілини за формулою (3.18):

$$\Delta t_0 = t_0 - t_\infty = 24 - 18 = 6^\circ\text{C};$$

2. Визначаємо швидкість виходу повітря зі щілини за формулою (3.13):

$$v_0 = L / 3600 \ell \delta = 5000 / 3600 \cdot 7,5 \cdot 0,03 = 6,17 \text{ м/с};$$

3. Виписуємо за довідниковими даними коефіцієнти згасання m і n . Для конічного повітророзподільника (таблиця А.9 додатку А) $m = 2,5$, а $n = 2,0$.
4. Знаходимо критерій Архімеда на виході зі щілини за формулою (3.17):

$$Ar_o = \frac{g \ell \Delta t_o}{v_o^2 (273 + t_\infty)} = \frac{9,81 \cdot 0,03 \cdot 6}{6,17^2 (273 + 18)} = 0,0001594;$$

5. Знаходимо плинний критерій Архімеда на відстані $x = 1 \text{ м}$ за формулою (3.20):

$$Ar_x = \frac{n}{m^2} Ar_o \left(\frac{x}{\delta} \right)^{3/2} = \frac{2,0}{2,5^2} 0,0001594 \left(\frac{1}{0,03} \right)^{3/2} = 0,009816;$$

6. Робимо висновок про клас струмини. Оскільки $Ar < 0,15$, то струмина слабконеізотермічна. Дією сил Архімеда нехтуємо;

7. Знаходимо довжину початкової динамічної x_n та $x_{n,m}$ теплової ділянок. За формулами (3.15) і (3.27)

$$x_n = m^2 \delta = 2,5^2 \cdot 0,03 = 0,188 \text{ м},$$

$$x_{n,m} = n^2 \delta = 2,0^2 \cdot 0,03 = 0,120 \text{ м};$$

8. Визначаємо належність розрахункового перерізу до початкових чи основних динамічної та теплової ділянок.

$$x = 1 \text{ м} > x_n = 0,188 \text{ м},$$

$$x = 1 \text{ м} > x_{n,m} = 0,120 \text{ м}.$$

Розрахунковий переріз знаходиться на основній ділянці;

9. Визначаємо швидкість та надлишкову температуру на осі струмини у розрахунковому перерізі за формулами (3.12) і (3.25):

$$v_m = m v_o \sqrt{\delta/x} = 2,5 \cdot 6,17 \sqrt{0,03/1} = 2,67 \text{ м/с},$$

$$\Delta t_m = \Delta t_o n \sqrt{\delta/x} = 6 \cdot 2 \cdot \sqrt{0,03/1} = 2,08^\circ\text{C};$$

10. Визначаємо розрахункову половину ширини перерізу за динамічними межами (формула (3.4))

$$B = 0,22 x = 0,22 \cdot 1 = 0,220 \text{ м};$$

11. Розраховуємо профілі швидкості та надлишкової температури повітря. Розрахунки зведемо до таблиці (табл. 6) для формули Шліхтинга, табл. 3 для формули Рейхарда). Розбиваємо переріз на частини з кроком 0,1 м;

11.1. Визначаємо безрозмірну ординату. Якщо задано розрахувати профіль швидкості за формулою Шліхтинга (3.1) або А.Я.Ткачука (3.8), то у кожній точці визначаємо безрозмірну ординату за залежністю (3.3). Якщо задана формула Рейхарда (3.5), то безрозмірну ординату не визначаємо, а ставимо «—». Якщо задана формула Гримітліна (3.6), то безрозмірну ординату розраховуємо за залежністю (3.7);

11.2. Розраховуємо профіль швидкості за формулою, що наведена у завданні. Якщо задано формулу Шліхтинга (3.1), то розрахунок ведемо до точки з безрозмірною ординатою $\bar{y} = 1$. Якщо задано експоненціальні формули, то розрахунок продовжуємо до першої точки, де значення безрозмірної швидкості повітря $\bar{u}$ менше або дорівнює 0,05;

11.3. Розраховуємо швидкості повітря у м/с. З формули (3.2) маємо:

$$u = u_m \bar{u}; \quad (3.28)$$

11.4. Визначаємо безрозмірну ординату за формулою (3.7);

11.5. Розраховуємо профіль різниць температур за формулою (3.23). Розрахунок продовжується до першої точки, де безрозмірна різниця температур повітря $\overline{\Delta t}$ стає не більшою ніж 0,05;

11.6. Визначаємо надлишкові температур повітря у °С з формули (3.22):

$$\Delta t = \Delta t_m \overline{\Delta t}. \quad (3.29)$$

Таблиця 6

Таблиця профілю швидкостей та різниці температур.

Використано формулу Шліхтинга

$y, \text{м}$	Профіль швидкості			Профіль температури		
	$\bar{y}(\bar{y}_r)$	$\bar{u}$	$u, \text{м/с}$	$\bar{y}_r$	$\overline{\Delta t}$	$\Delta t, ^\circ\text{C}$
0,000	0,000	1,000	2,67	0,000	1,000	2,08
0,100	0,455	0,481	1,28	1,000	0,613	1,27
0,200	0,909	0,018	0,05	2,000	0,141	0,29
0,220	1,000	0,000	0,00	2,200	0,093	0,19
0,300	—	—	—	3,000	0,012	0,03

Таблиця профілю швидкостей та різниці температур.**Використано формулу Рейхарда**

$y, \text{м}$	Профіль швидкості			Профіль температури		
	$\bar{y}(\bar{y}_r)$	$\bar{u}$	$u, \text{м/с}$	$\bar{y}_r$	$\overline{\Delta t}$	$\Delta t, ^\circ\text{C}$
0,000	—	1,000	2,67	0,000	1,000	2,08
0,100	—	0,475	1,27	1,000	0,613	1,27
0,200	—	0,050	0,13	2,000	0,141	0,29
0,300	—	—	—	3,000	0,012	0,03

Послідовність побудови схеми струмнини

Побудована схема струмнини наведена на рис. 3.3.

1. Приймається масштаб схеми струмнини. Креслиться припливний патрубок;
2. До центра повітровипускного отвору (полюса струмнини) прив'язується початок декартової системи координат. Вісь x спрямовується в напрямку виходу повітря;
3. Будуються лінії перехідних перерізів перпендикулярно до осі струмнини при $x = x_n$ та $x = x_{n,m}$;
4. Креслиться ядро постійних швидкостей сполученням прямими лініями меж повітровипускного отвору з точкою $x = x_n, y=0$;
5. Будується ядро постійних температур сполученням прямими лініями меж повітровипускного отвору з точкою $x = x_{n,m}, y=0$;
6. Будуються епюри (графіки) швидкостей повітря:
 - 6.1. Креслиться лінія розрахункового перерізу струмнини перпендикулярно до осі струмнини при значенні абсциси x (в даній задачі $x=1 \text{ м}$);
 - 6.2. На цій лінії відмічаються точки з вибраним кроком (0,1 м) в обидва боки від осі;
 - 6.3. Обирається масштаб швидкості повітря;
 - 6.4. Від кожної відміченої точки кресляться відрізки в напрямку руху повітря (осі x), зі стрілкою на кінцях, довжина яких (від початку до кінця стрілки) дорівнює відповідній швидкості повітря у прийнятому масштабі. Стрілки вказують напрямок швидкості повітря;
 - 6.5. Сполучаються кінці стрілок плавною лінією;

7. Будуються епюри (графіки) різниці температур повітря:
 - 7.1. На лінії розрахункового перерізу відмічаються точки з вибраним кроком (0,1 м) в обидва боки від осі;
 - 7.2. Обирається масштаб різниці температур повітря;
 - 7.3. Від кожної відміченої точки кресляться або продовжуються відрізки в напрямку руху повітря (осі x), довжина яких (від лінії перерізу до кінця) відповідає різниці температур з прийнятим масштабом. Стрілки не ставляться, адже температура не має напрямку;
 - 7.4. Сполучаються вільні кінці відрізків плавною лінією;
8. Будуються динамічні межі струмини на динамічній основній ділянці. Для цього сполучаються точки, що відповідають динамічній межі струмини у розрахунковому перерізі, з полюсом струмини у центрі повітровипускного отвору;
9. Будуються динамічні межі струмини на динамічній початковій ділянці. Для цього береться точки перетину динамічних меж на основній ділянці з лінією динамічного перехідного перерізу. Ці точки сполучаються з відповідними кромками патрубку;
10. Будуються теплові межі струмини на тепловій основній ділянці. Для цього сполучаються точки, що відповідають тепловим межам струмини у розрахунковому перерізі, з полюсом струмини у центрі повітровипускного отвору;
11. Будуються теплові межі струмини на тепловій початковій ділянці. Для цього беремо точки перетину теплових меж на основній ділянці з лінією теплового перехідного перерізу. Ці точки сполучаємо з відповідними кромками патрубку.

На графічній частині курсової роботи зображується схема струмини (рис. 3.3) в прийнятому масштабі.

4. АЕРОДИНАМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК АЕРАЦІЇ ЦЕХУ

4.1. Теоретичні основи

Для здійснення повітрообміну в ковальському відділенні, яке характеризується значними тепловиділеннями, проектується система аерації.

Аерацією будівлі (рис. 4.1) називається організований регульований природний повітрообмін приміщень через прорізи вікон 1,4 та аераційного ліхтаря 2,3. Повітрообмін у приміщенні регулюється ступенем відкриття стулок у залежності від температури зовнішнього повітря, швидкості та напрямку вітру. Існує пряма та зворотня задачі. Завданням є розрахунок зворотної задачі, яка вирішується при реконструкції існуючих систем аерації.

Рух повітря обумовлений дією двох сил: сили Архімеда (виштовхування) та вітрового потоку. Внутрішнє повітря цеху нагрівається теплонадлишками. Середня густина внутрішнього повітря $\rho_{вн}$ стає меншою за густину зовнішнього ρ_{ext} . Як відомо, легке повітря в будівлі виштовхується більш важким повітрям ззовні, що призводить до появи повітрообміну.

Згідно з законом Архімеда наявний гравітаційний тиск між двома отворами становить

$$\Delta p_{н,г} = (\rho_{ext} - \rho_{вн})gH, \quad (4.1)$$

де $g=9,81\text{м/с}^2$ – прискорення вільного падіння, а H – вертикальна відстань між центрами цих двох отворів. Для отворів, що розташовані на однаковому рівні, $H=0$, тобто наявний гравітаційний тиск відсутній ($\Delta p_{н,г}=0$).

Крім гравітаційних (Архімедових) сил повітрообмін обумовлюють сили вітрового потоку.

При набіганні вітру на будівлю у навітряній частині створюється додатний надлишковий статичний тиск. У завітряній частині утворюється розрідження.

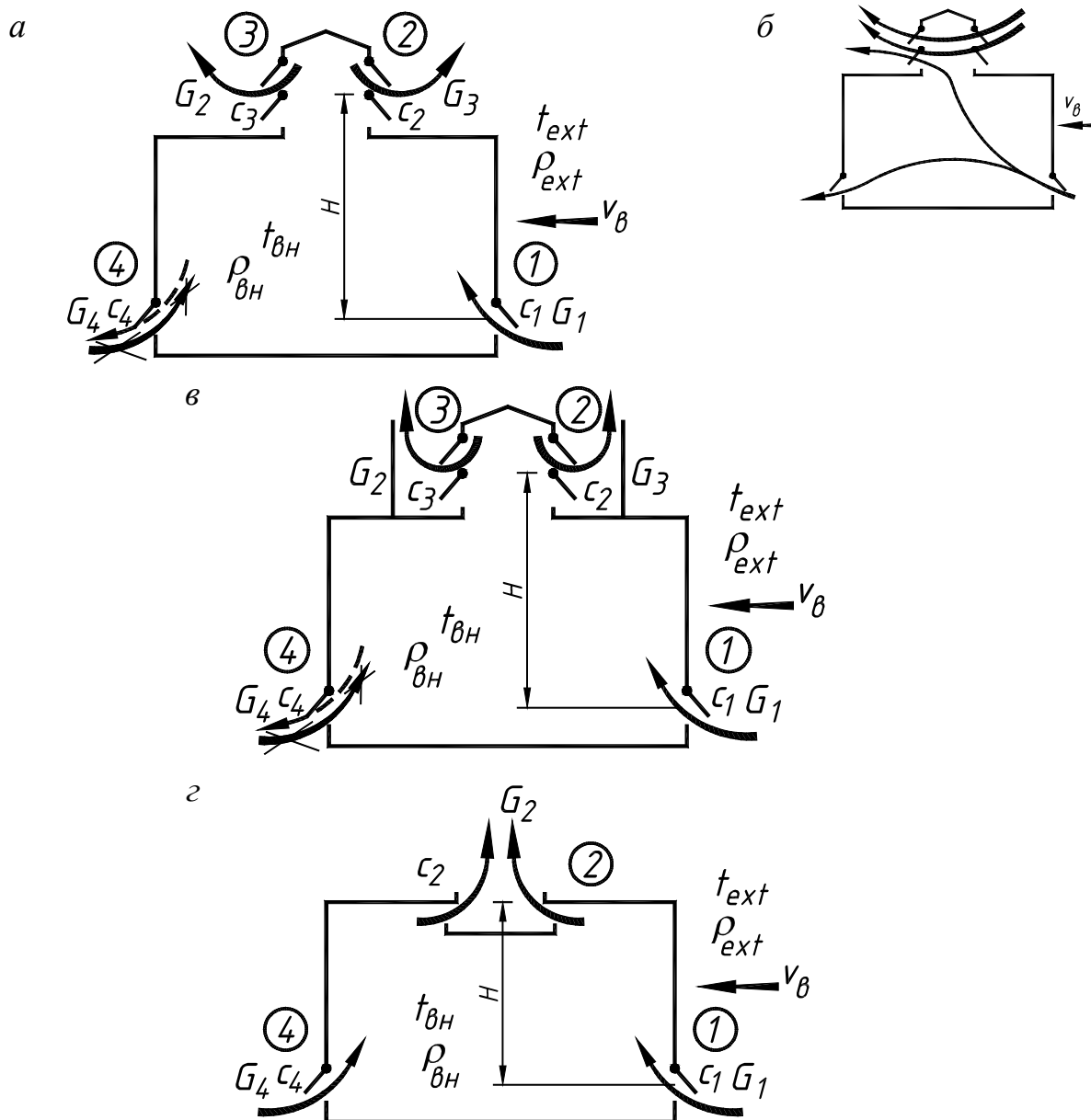


Рис. 4.1. Схема аерації промислової будівлі:

a – з П-подібним ліхтарем;

б – те ж, схема задування ліхтаря;

в – з незадувним ліхтарем, що має вітровідбійні щити;

г – з незадувним щілинним ліхтарем

На поверхнях будівлі частка кінетичної енергії (динамічного тиску $p_{\partial, \theta}$) вітрового потоку перетворюється у потенціальну (надлишковий статичний тиск $\Delta p_{c, i}$). Ця частка називається аеродинамічним коефіцієнтом $C_{e, i}$. **Аеродинамічний коефіцієнт** – це відношення статичного тиску на поверхні будівлі до динамічного тиску вітрового потоку:

$$C_{e, i} = \Delta p_{c, i} / p_{\partial, \theta} = \Delta p_{c, i} / (\rho v_{\theta}^2 / 2). \quad (4.2)$$

Аеродинамічний коефіцієнт в різних i -х точках поверхні будівлі різний. Він може бути додатним (з навітряного боку), від'ємним та нульовим. Він сильно залежить від форми будівлі, кута набігання (атаки) вітрового потоку та взаємного розташування і форми навколишніх об'єктів (будівлі, дерева тощо). З формули (4.2) наявний вітровий тиск між отворами i та j :

$$\Delta p_{n,e,i-j} = (C_{e,i} - C_{e,j}) p_{\partial,e} = (C_{e,i} - C_{e,j}) (\rho v_e^2 / 2). \quad (4.3)$$

Наявний тиск між отворами i та j при сукупній дії сил Архімеда та вітрового потоку за залежностями (4.1) та (4.3):

$$\begin{aligned} \Delta p_{n,i} &= \Delta p_{n,e,i-j} + \Delta p_{n,e,i-j} = (\rho_{ext} - \rho_{in}) g H_{i-j} + (C_{e,i} - C_{e,j}) p_{\partial,e} = \\ &= (\rho_{ext} - \rho_{in}) g H_{i-j} + (C_{e,i} - C_{e,j}) (\rho v_e^2 / 2), \end{aligned} \quad (4.4)$$

де H_{i-j} – вертикальна відстань між центрами отворів i та j .
 $H_{1-2} = H_{1-3} = H$, $H_{1-4} = 0$.

Процеси, що відбуваються при аерації будівель, складні. Реальні аеродинамічні явища при аерації практично завжди нестационарні (навіть за умови постійних теплонадлишків) за рахунок постійної зміни швидкості та напрямку вітрового потоку. Тому застосовують наближені методи, які базуються на таких припущеннях:

1. Розглядають усталений процес, тобто приймають незмінними у часі всі фактори, які обумовлюють повітрообмін.
2. Температуру повітря у всьому приміщенні або у його вертикальних зонах приймають однаковою. У кожній горизонтальній площині приміщення тиск повітря вважають постійним, а зміна його Δp , Па, при переході від одного рівня до іншого підпорядкована гідростатичному закону (4.1):
3. Покладають, що всі припливні та конвективні струмини повністю затухають і не досягають витяжних отворів.
4. Не враховують неорганізований природний повітрообмін (інфільтрацію через нещільності огорожувальних конструкцій).
5. Аеродинамічні коефіцієнти на будівлі приймають за даними аеродинамічних досліджень обтікання вітром моделі будівлі (або промислового майданчика з будівлею) в аеродинамічній трубі.

Для визначення повітрообміну при сукупній дії перерахованих

чинників за існуючими методами розрахунку вводяться фіктивні умовні поняття «нейтральної зони» або «зони надлишкового тиску».

На відміну від таких підходів, професор А.Я.Ткачук запропонував метод на базі загальноприйнятих в аеродинамічних розрахунках понять наявного тиску та втрат тиску. Задаються (рис.4.1,а) напрямками руху повітря в отворах (припливний чи витяжний). Стверджується, що наявний тиск між отворами Δp_{i-j} , Па, складається з втрат тиску в них Δp_i та Δp_j , Па. Тобто мають місце рівняння зв'язку:

$$\begin{cases} \Delta p_{1-2} = \Delta p_1 \pm \Delta p_2 ; \\ \dots \\ \Delta p_{1-n} = \Delta p_1 \pm \Delta p_n , \end{cases} \quad (4.5)$$

У даній системі рівнянь Δp_1 називається зв'язковим перепадом тисків, оскільки він входить до кожного із рівнянь. Отвір 1 у цьому випадку теж називається зв'язковим. У рівняннях (4.5) знак «+» приймається для різнойменних отворів (припливного і витяжного), а «-» – однойменних (припливного і припливного або витяжного і витяжного). З рівнянь (4.5) отримуються перепади тисків у отворах

$$\begin{cases} \Delta p_2 = \pm (\Delta p_{1-2} - \Delta p_1) ; \\ \dots \\ \Delta p_n = \pm (\Delta p_{1-n} - \Delta p_1) . \end{cases} \quad (4.6)$$

Наявні перепади тисків Δp_{i-j} визначаються за формулою (4.4). Таким чином, у системі рівнянь (4.6) кількість невідомих (втрат тиску в отворах) на одиницю більша за кількість рівнянь. Для визначення перепаду тиску в зв'язковому отворі Δp_1 до системи долучаються рівняння балансу маси повітря: сума масових витрат повітря у припливних отворах ΣG_{in} , кг/с, дорівнює сумі масових витрат повітря у витяжних отворах ΣG_{ℓ} , кг/с:

$$\Sigma G_{in} = \Sigma G_{\ell}. \quad (4.7)$$

Масові витрати повітря визначають з рівняння витікання повітря з отворів:

$$G_i = m_i A_i \sqrt{2c_i \Delta p_i} , \quad (4.8)$$

де μ_i - коефіцієнт витрат повітря i -го отвору, який може бути визначений за коефіцієнтом місцевого опору отвору ξ_i :

$$\mu_i = 1/\sqrt{\xi_i}; \quad (4.9)$$

A_i – площа отвору, м^2 ; ρ_i – густина повітря, яке перебуває безпосередньо в отворі. Якщо отвір припливний, то в нього затікає зовнішнє повітря та $\rho_i = \rho_{\text{ext}}$. Якщо отвір витяжний, то крізь нього витікає внутрішнє повітря, тобто $\rho_i = \rho_{\text{вн}}$.

Далі попередньо задається значенням Δp_i , що забезпечує додатність усіх підкоренових виразів. Після цього методом ітерацій знаходиться таке значення Δp_i , щоб нев'язка між лівою та правою частинами рівняння (4.7) не перевищувала 5%.

У процесі розв'язання рівняння певний підкореновий вираз рівняння (4.8) може набути від'ємного значення. Це означає, що у даному отворі був неправильно вибраний напрямок руху повітря (рис. 4.1, а). Для подальшого розрахунку змінюється напрямок руху потоку повітря у відповідному отворі: виноситься знак «—» з-під кореня і змінюється значення густини повітря. Зміна знаку може відбутися під час розрахунку не один раз.

Коли значення Δp_i знайдено, з системи рівнянь (4.6) визначаються перепади тисків у решті отворів і за рівнянням (4.8) розраховуються витрати повітря в кожному отворі. Правильність розрахунків перевіряється за рівнянням (4.7).

Якщо у результаті розрахунку нижній отвір опиняється витяжним, то схема аерації задовільна (рис. 4.1,а). Якщо один з отворів ліхтаря опинився припливним, то ліхтар задувається – і така схема руху повітря не задовольняє потребам вентиляції (рис. 4.1, б). При цьому, припливне повітря у навітряному отворі ліхтаря одразу видаляється завітряним отвором ліхтаря і не вентилює нижню частину (робочу зону) цеху, де перебувають люди та технологічне обладнання і заради якої робиться аерація. Оскільки ліхтар працює «сам на себе», то повітрообмін нижньої частини цеху знижується. Для боротьби з цими негативними явищами встановлюються спеціальні незадувні конструкції ліхтарів, наприклад, з вітровідбійними щитами (рис. 4.1,в). Професор А.Я.Ткачук запропонував просту і надійну конструкцію незадувного ліхтаря – щільний ліхтар (рис. 4.1,г). Він складається з щілини в покрівлі, обладнаної піддоном для опадів. Відомі й інші конструкції (Додаток А табл. А.14). У разі задування ліхтаря у контрольній роботі має бути наведений відповідний висновок з пропозицією щодо зміни конструкції ліхтаря.

На графічній частині курсової роботи в прийнятому масштабі

зображується конструкція аераційного ліхтаря.

Послідовність розв'язання зворотної задачі

Вихідні дані: промислова будівля одно прогонна (рис.4.1 а) з аераційними прорізами площею $A_1=A_4=150 \text{ м}^2$ та $A_2=A_3=100 \text{ м}^2$, які обладнані верхньопідвісними стулками з кутом відкриття $\alpha=45^\circ$, коефіцієнти місцевого опору при цьому становлять $\zeta_1=\zeta_4=5,2$; $\zeta_2=\zeta_3=9,2$; аеродинамічні коефіцієнти будівлі у площі стулок становлять: $C_{e,1}=0,7$; $C_{e,4}=-0,35$; $C_{e,2}=-0,6$; $C_{e,3}=-0,4$; температура повітря у приміщенні $t_{in}=25^\circ\text{C}$; температури повітря ззовні $t_{ext}=5^\circ\text{C}$ і відповідні їм густини повітря $\rho_{in}=1,185 \text{ кг/м}^3$ та $\rho_{ext}=1,27 \text{ кг/м}^3$; перепад тисків між верхніми та нижніми прорізами $H=20 \text{ м}$; швидкість вітрового потоку $v_B=8 \text{ м/с}$.

1. Приймається схема повітрообміну приміщення: нижні прорізи працюють на приплив, а верхні - на видалення повітря (рис.4.1,а).

2. З урахуванням прийнятих напрямків руху повітря та формул (4.5) і (4.6) складається рівняння зв'язку:

$$\begin{cases} \Delta p_{1-4} = \Delta p_1 - \Delta p_4 ; \\ \Delta p_{1-2} = \Delta p_1 + \Delta p_2 ; \\ \Delta p_{1-3} = \Delta p_1 + \Delta p_3 , \end{cases}$$

або

$$\begin{cases} \Delta p_4 = \Delta p_1 - \Delta p_{1-4} ; \\ \Delta p_2 = \Delta p_{1-2} - \Delta p_1 ; \\ \Delta p_3 = \Delta p_{1-3} - \Delta p_1 . \end{cases} \quad (4.10)$$

3. За рівнянням (4.4) знаходяться наявні перепади тисків:

$$\Delta p_{1-4} = 0 + (0,7+0,35) \times 1,27 \times 8^2 / 2 = 42,67 \text{ Па};$$

$$\Delta p_{1-2} = (0,7+0,6) \times 1,27 \times 8^2 / 2 + (1,27-1,185) \times 9,81 \times 20 = 69,51 \text{ Па};$$

$$\Delta p_{1-3} = (0,7+0,4) \times 1,27 \times 8^2 / 2 + (1,27-1,185) \times 9,81 \times 20 = 61,38 \text{ Па}.$$

4. За вибраною схемою повітрообміну складається рівняння повітряного балансу (4.7) $G_1 + G_4 = G_2 + G_3$, або з урахуванням рівняння (4.8) та системи рівнянь (4.10)

$$\mu_1 A_1 (2\rho_{\text{ext}} \Delta p_1)^{1/2} + \mu_4 A_4 (2\rho_{\text{ext}} (\Delta p_1 - \Delta p_4))^{1/2} = \\ = \mu_2 A_2 (2\rho_p (\Delta p_{1-2} - \Delta p_1))^{1/2} + \mu_3 A_3 (2\rho_p (\Delta p_{1-3} - \Delta p_1))^{1/2},$$

яке має вигляд після підстановки відомих значень

$$0,44 \times 150 \times (2 \times 1,27 \Delta p_1)^{1/2} + 0,44 \times 150 \times (2 \times 1,27 (\Delta p_1 - 42,67))^{1/2} = \\ = 0,33 \times 100 \times (2 \times 1,185 (69,51 - \Delta p_1))^{1/2} + 0,33 \times 100 \times (2 \times 1,185 (61,38 - \Delta p_1))^{1/2},$$

де за формулою (4.9) $\mu_1 = \mu_4 = 1/(5,2)^{1/2} = 0,44$, $\mu_2 = \mu_3 = 1/(9,2)^{1/2} = 0,33$.

Розв'язання рівняння за допомогою ітерацій (див. додаток В) дає значення $\Delta p_1 = 40$ Па. Нев'язка становить $1,75\% < 5\%$.

5. За рівнянням (4.8) знаходяться масові витрати повітря у прорізах

$$G_1 = 0,44 \times 150 \times (2 \times 1,27 \times 40)^{1/2} = 665,3 \text{ кг/с};$$

$$G_2 = 0,33 \times 100 \times (2 \times 1,185 \times (69,51 - 40))^{1/2} = 276,0 \text{ кг/с};$$

$$G_3 = 0,33 \times 100 \times (2 \times 1,185 \times (61,38 - 40))^{1/2} = 234,9 \text{ кг/с};$$

$$G_4 = 0,44 \times 150 \times (2 \times 1,27 \times (42,67 - 40))^{1/2} = 166,0 \text{ кг/с}.$$

6. Визначається невязка

$$\eta = \frac{\sum G_{in} - \sum G_{\ell}}{\sum G_{in}} \times 100\% = \frac{665,3 - (276,0 + 234,9 + 166,0)}{665,3} \times 100 = 1,75\%$$

що знаходиться в допустимих межах $-5\% \leq \eta \leq 5\%$.

Висновок: отвір 1 працює на приплив, отвори 2,3 та 4 – на видалення. Ліхтар не задувається.

На графічній частині курсової роботи зображується прийнята схема аерації приміщення.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *ДБН В. 2.5 – 67:2013*. Опалення, вентиляція та кондиціонування». – К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово–комунального господарства України, 2013. – 113 с.
2. *Довгалюк В.Б.* Аеродинаміка вентиляції: навчальний посібник / В.Б. Догалюк. – ІВНВКП «Укртеліотех», 2015. – 366 с.
3. *Талиев В.Н.* Аэродинамика вентиляции / В.Н. Талиев. – М.: Стройиздат, 1979. – 295 с.
4. *Торговников Б.М.* Проектирование промышленной вентиляции. Справочник / Б.М. Торговников, В.Е. Табачник, Е.М. Ефанов – К.: Будівельник, 1983. – 256 с.
5. *Русланов Г.В.* Отопление и вентиляция жилых и гражданских зданий: Проектирование: справочник / Г.В. Русланов, М.Я. Розкин, Є.М. Ямпольский. – К.: Будівельник, 1983. – 272 с.

ДОДАТКИ

Додаток А

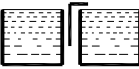
Таблиця А.1

Вихідні дані до розрахунку бортового відсмоктувача

Передостання цифра номера залікової книжки	Дов- жина ванни <i>a</i> , м	Остання цифра номера залікової книжки	Номер схеми ванни за табл. А.2	Ширина ванни <i>b</i> , м
1	2,0	1	4	1,0
2	1,8	2	2	1,1
3	1,9	3	1	0,8
4	2,1	4	3	0,9
5	1,8	5	2	1,0
6	1,9	6	4	0,8
7	2,0	7	1	1,1
8	2,1	8	3	0,9
9	2,0	9	4	1,0
0	1,9	0	2	0,9

Таблиця А.2

Схеми розташування гальванічних ванн

№	Найменування	Схема
1	Вільне розташування ванни з однобортним відсмоктувачем	
2	Розташування ванни з однобортним відсмоктувачем поруч з іншою ванною	
3	Розташування ванни з однобортним відсмоктувачем поруч з вертикальною стілкою	
4	Вільне розташування ванни з двохбортним відсмоктувачем	

Таблиця А.3

Позначення на схемах систем вентиляції за ДСТУ Б А.2.4-8-95

Назва елемента	Позначення
Повітровід	
Отвір (решітка) для забору повітря	
Отвір (решітка) для випускання повітря	
Повітророзподільник	
Місцева витяжка (відсмоктувач, укриття)	
Зонт	
Заслінка (клапан) вентиляційна	
Шибер	
Вентилятор радіальний	
Вставка амортизаційна	
Місце опору в трубопроводі (діафрагма)	

Таблиця А.4

Дані для розрахунку круглих повітроводів

Діа- метр $d, \text{мм}$	Питома витрата $\frac{g_{v,2}}{\text{с} \cdot \text{м}^2}$ год	$\lambda_1/d,$ м^{-1}	Питомий динаміч- ний тиск $A \cdot 10^6$ $\frac{\text{Па} \cdot \text{год}^2}{\text{м}^6}$	Діа- метр $d, \text{мм}$	Питома витрата $\frac{g_{v,2}}{\text{с} \cdot \text{м}^2}$ год	$\lambda_1/d,$ м^{-1}	Питомий динамічний тиск $A \cdot 10^6$ $\frac{\text{Па} \cdot \text{год}^2}{\text{м}^6}$
100	28,44	0,3578	741,809	500	705,6	0,04786	1,205
110	34,21	0,3176	512,978	560	885,6	0,04154	0,765
125	44,28	0,2707	304,108	630	1123,2	0,03585	0,475
140	55,44	0,2350	195,211	710	1425,6	0,03088	0,295
160	72,00	0,1989	115,741	800	1803,6	0,02660	0,184
180	91,80	0,1716	71,198	900	2286,0	0,02296	0,115
200	113,0	0,1504	46,955	1000	2826,0	0,02012	0,075
225	144,0	0,1299	28,935	1120	3546,0	0,01746	0,048
250	176,4	0,1138	19,283	1250	4428,0	0,01522	0,031
280	221,4	0,0988	12,240	1400	5544,0	0,01321	0,019
315	280,8	0,08527	7,610	1600	7236,0	0,01095	0,011
355	356,4	0,07344	4,724	1800	9180,0	0,009652	0,0072
400	453,6	0,06326	2,916	2000	11304	0,008461	0,0047
450	572,4	0,0546	1,832				

Таблиця А.5

Поправки k_v на швидкість повітря v у повітроводі

v , м/с	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0	-	1,7782	1,4953	1,3511	1,2574	1,1891	1,1362	1,0932	1,0573	1,0266
1	1,0000	0,9764	0,9554	0,9365	0,9193	0,9036	0,8891	0,8757	0,8633	0,8517
2	0,8409	0,8307	0,8211	0,8120	0,8034	0,7952	0,7873	0,7801	0,7730	0,7663
3	0,7598	0,7536	0,7477	0,7419	0,7364	0,7311	0,7260	0,7210	0,7162	0,7116
4	0,7071	0,7028	0,6985	0,6944	0,6503	0,6866	0,6828	0,6792	0,6756	0,6721
5	0,6688	0,6655	0,6622	0,6591	0,6560	0,6530	0,6501	0,6472	0,6444	0,6417
6	0,6390	0,6363	0,6338	0,6312	0,6287	0,6263	0,6239	0,6216	0,6193	0,6170
7	0,6148	0,6127	0,6105	0,6084	0,6064	0,6043	0,6023	0,6004	0,5984	0,5965
8	0,5947	0,5928	0,5910	0,5892	0,5875	0,5857	0,5840	0,5823	0,5807	0,5790
9	0,5774	0,5753	0,5745	0,5727	0,5712	0,5697	0,5682	0,5667	0,5653	0,5638
10	0,5624	0,5610	0,5596	0,5583	0,5569	0,5556	0,5543	0,5530	0,5517	0,5504
11	0,5492	0,5479	0,5467	0,5455	0,5443	0,5431	0,5419	0,5408	0,5396	0,5385
12	0,5374	0,5363	0,5352	0,5341	0,5330	0,5319	0,5309	0,5298	0,5288	0,5278
13	0,5267	0,5257	0,5247	0,5238	0,5228	0,5218	0,5208	0,5199	0,5189	0,5180
14	0,5171	0,5162	0,5153	0,5144	0,5135	0,5126	0,5117	0,5108	0,5100	0,5091
15	0,5083	0,5074	0,5066	0,5058	0,5049	0,5041	0,5033	0,5025	0,5017	0,5009
16	0,5001	0,4994	0,4986	0,4978	0,4971	0,4963	0,4956	0,4948	0,4941	0,4933
17	0,4926	0,4919	0,4912	0,4905	0,4898	0,4891	0,4984	0,4877	0,4870	0,4863
18	0,4856	0,4850	0,4843	0,4836	0,4830	0,4823	0,4817	0,4810	0,4804	0,4798
19	0,4791	0,4785	0,4779	0,4773	0,4767	0,4760	0,4754	0,4748	0,4742	0,4736

У боковику дана ціла частина швидкості, а у головку – дробова. На перетині відповідного рядка і стовпчика знаходиться відповідне значення k_v .

Приклади:

При $v=5,6$ м/с $k_v = 0,6501$.

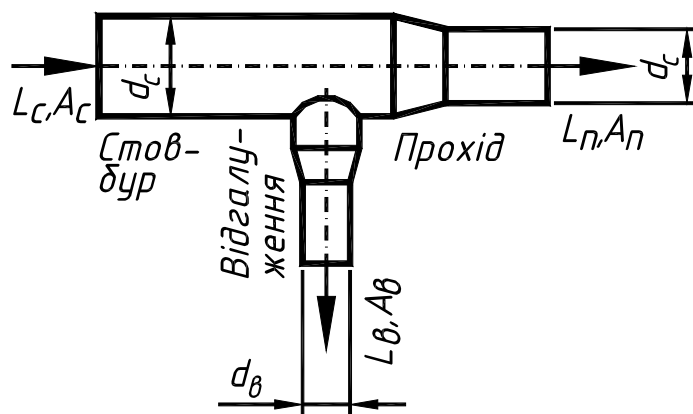
Ключ показано на таблиці пунктирними лініями.

При $v = 0,5$ м/с $k_v = 1,1891$.

Коефіцієнти місцевих опорів

Місцевий опір	Рисунок		Коефіцієнт місцевого опору								
	Креслення	позначення									
Група 1. Зміна напрямку потоку											
Відвід на 90°			$\xi = 0,35$								
Те ж на 135°			$\xi = 0,25$								
Група 2.Зміна швидкості потоку. (□ □ для меншого перерізу)											
Конфузор конічний			l/d_0	ξ_0 при куті розкриття α ,градус							
				10°	20°	30°	40°				
			0,1	0,41	0,34	0,27	0,24				
			0,15	0,39	0,29	0,22	0,18				
			0,6	0,29	0,20	0,15	0,13				
>0,6	0,10	0,10	0,10	0,10							
Дифузор конічний у мережі			A_0	ξ_0 при куті розкриття α ,градус							
			—	10	12	14	16	20	24	30	40
			0,2	0,12	0,14	0,17	0,19	0,25	0,32	0,43	0,61
			0,25	0,10	0,12	0,15	0,17	0,22	0,28	0,37	0,49
			0,3	0,09	0,11	0,13	0,15	0,20	0,25	0,33	0,42
			0,4	0,08	0,09	0,10	0,12	0,15	0,19	0,25	0,35
			0,5	0,06	0,07	0,08	0,09	0,11	0,14	0,18	0,25
			0,6	0,05	0,05	0,06	0,07	0,08	0,10	0,12	0,17
Дифузор за радіаль- ним венти- лятором			A_0	ξ_1 віднесено до швидкості в більшому перерізі 1 при куті α							
			—	10°	15°	20°	25°	30°			
			1,5	0,10	0,23	0,31	0,36	0,42			
			2,0	0,18	0,33	0,43	0,49	0,53			
			2,5	0,21	0,38	0,48	0,55	0,59			
			3,0	0,23	0,40	0,53	0,58	0,64			
			3,5	0,24	0,42	0,56	0,62	0,67			
			4,0	0,25	0,44	0,58	0,64	0,69			
Група 3.Вихід повітря з мережі повітроводів розглянутий у табл.А.7.											
Група 4. Вхід повітря до мережі повітроводів											
Решітка жалюзійна			$\xi=0,5$. (При $v=4\text{м/с}$ $\Delta p=\xi\rho v^2/2=0,5\cdot 1,2\cdot 4^2/2=4,8\text{Па}$)								
Група 5. Розділення та злиття потоків											
Трійник	Табл.А 5		Табл. А.5								

**Місцевий опір трійника круглого перерізу на нагнітанні
на прохід ξ_n та на відгалуження ξ**



L_θ/L_c	ξ_n при $A_n/A_c = (d_n/d_c)^2$				ξ_θ при $A_\theta/A_c = (d_\theta/d_c)^2$					
	1	0,8	0,65	0,5	0,65	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2
0,01	0,18	0,2	0,2	0,2	—	—	—	863	594	375
0,05	0,2	0,25	0,3	0,3	153	88,5	55	29,5	19,8	12
0,1	0,15	0,2	0,3	0,3	41,4	19,8	12	6,2	4,1	2,5
0,2	0,15	0,2	0,25	0,3	7,5	4,1	2,5	1,3	0,95	0,7
0,3	0,15	0,2	0,25	0,3	3	1,7	1,1	0,7	0,6	0,55
0,4	0,2	0,25	0,3	0,3	1,6	0,9	0,75	0,6	0,55	0,55
0,5	0,3	0,4	0,4	0,35	1	0,7	0,6	0,55	0,55	0,45
0,6	0,75	0,7	0,6	0,55	0,8	0,6	0,5	0,5	0,5	0,45
0,7	2,0	1,55	1,25	0,9	0,65	0,55	0,5	0,5	0,45	0,45
0,8	6,4	4,5	3,3	2,2	0,55	0,5	0,5	0,5	0,45	0,45
0,9	34,7	23,1	16	10	0,5	0,5	0,5	0,5	0,45	0,45
0,95	159	103	69,3	42,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,45	0,4

Місцевий опір трійника на стовбурі не враховується.

Діаметр отворів діафрагм d_0 , мм для круглих повітроводів

ξ	Діаметр повітроводу d , мм														
	100	110	125	140	160	180	200	225	250	280	315	355	400	450	500
0,3	91	100	114	128	146	164	183	205	228	256	287	324	365	411	456
0,5	88	97	110	124	141	159	177	199	221	247	278	314	353	397	442
0,7	86	95	108	120	138	155	172	194	215	241	271	305	344	387	430
0,9	84	93	105	118	135	152	168	189	210	236	265	299	337	379	421
1,1	83	91	103	116	132	149	165	186	207	231	260	293	330	372	413
1,4	81	89	101	113	129	145	161	181	202	226	254	286	322	363	403
1,6	79	87	99	111	127	143	159	179	199	222	250	282	318	357	397
1,8	78	86	98	110	125	141	157	176	196	219	247	278	314	353	392
2	77	85	97	108	124	139	155	174	194	217	244	275	310	348	387
2,2	77	84	96	107	122	138	153	172	191	214	241	272	306	344	383
2,4	76	83	95	106	121	136	151	170	189	212	239	269	303	341	379
2,8	74	82	93	104	119	134	148	167	186	208	234	264	297	334	371
3,2	73	80	91	102	117	131	146	164	182	204	230	259	292	328	365
3,6	72	79	90	100	115	129	144	161	179	201	226	255	287	323	359
4	71	78	88	99	113	127	141	159	177	198	223	251	283	318	354
4,5	70	76	87	97	111	125	139	156	174	195	219	247	278	313	348
5,5	67	74	84	94	108	121	135	152	169	189	212	239	270	304	337
6,5	66	72	82	92	105	118	131	148	164	184	207	233	263	296	329
7,5	64	71	80	90	103	116	128	144	161	180	202	228	257	289	321
8,5	63	69	79	88	101	113	126	142	157	176	198	223	252	283	315
9,5	62	68	77	86	99	111	123	139	154	173	194	219	247	278	309
10	61	67	77	86	98	110	122	138	153	171	193	217	245	275	306
11	60	66	75	84	96	108	120	135	151	169	190	214	241	271	301
12	59	65	74	83	95	107	119	133	148	166	187	210	237	267	296
13	58	64	73	82	94	105	117	132	146	164	184	208	234	263	292
14	58	63	72	81	92	104	115	130	144	162	182	205	231	260	288
15	57	63	71	80	91	103	114	128	142	159	179	202	228	256	285

ξ	Діаметр повітропроводу d, мм											
	560	630	710	800	900	1000	1120	1250	1400	1600	1800	2000
0,3	91	100	114	128	146	164	183	205	228	256	287	324
0,5	88	97	110	124	141	159	177	199	221	247	278	314
0,7	86	95	108	120	138	155	172	194	215	241	271	305
0,9	84	93	105	118	135	152	168	189	210	236	265	299
1,1	83	91	103	116	132	149	165	186	207	231	260	293
1,4	81	89	101	113	129	145	161	181	202	226	254	286
1,6	79	87	99	111	127	143	159	179	199	222	250	282
1,8	78	86	98	110	125	141	157	176	196	219	247	278
2	77	85	97	108	124	139	155	174	194	217	244	275
2,2	77	84	96	107	122	138	153	172	191	214	241	272
2,4	76	83	95	106	121	136	151	170	189	212	239	269
2,8	74	82	93	104	119	134	148	167	186	208	234	264
3,2	73	80	91	102	117	131	146	164	182	204	230	259
3,6	72	79	90	100	115	129	144	161	179	201	226	255
4	71	78	88	99	113	127	141	159	177	198	223	251
4,5	70	76	87	97	111	125	139	156	174	195	219	247
5,5	67	74	84	94	108	121	135	152	169	189	212	239
6,5	66	72	82	92	105	118	131	148	164	184	207	233
7,5	64	71	80	90	103	116	128	144	161	180	202	228
8,5	63	69	79	88	101	113	126	142	157	176	198	223
9,5	62	68	77	86	99	111	123	139	154	173	194	219
10	61	67	77	86	98	110	122	138	153	171	193	217
11	60	66	75	84	96	108	120	135	151	169	190	214
12	59	65	74	83	95	107	119	133	148	166	187	210
13	58	64	73	82	94	105	117	132	146	164	184	208
14	58	63	72	81	92	104	115	130	144	162	182	205
15	57	63	71	80	91	103	114	128	142	159	179	202

Таблиця розрахована за формулою:

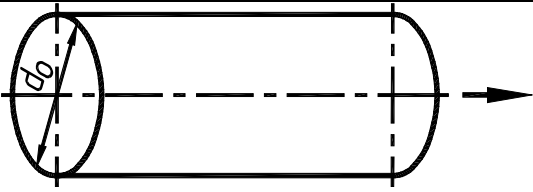
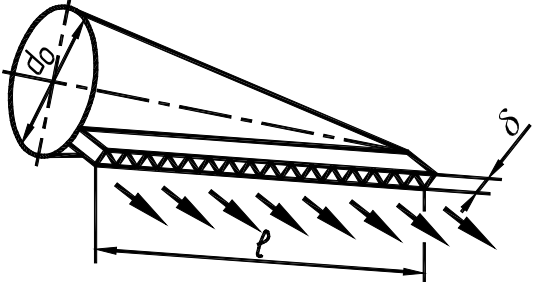
$$o = \left(1 + \frac{0,707}{\sqrt{1 - (d_o / d)^2}} \right)^2 \left((d / d_o)^2 - 1 \right)^2$$

або

$$d_o = d \sqrt{1 - \left(\frac{\sqrt{o}(\sqrt{o} + 1) + 0,125 - 0,3535}{\sqrt{o} + 1} \right)^2}$$

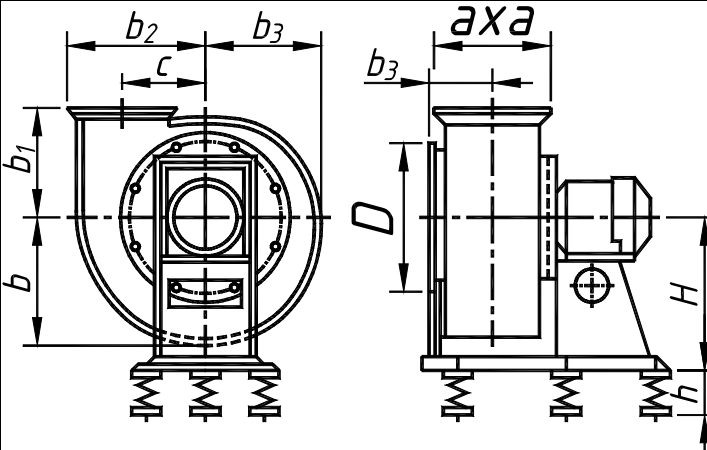
Таблиця А.9

Характеристики повітророзподільників

Тип повітророзподільника	Рисунок	m_1	n_1	ξ
Циліндричний патрубок		6,8	4,8	1,1
Повітророзподільник конусний з щілиною сталої ширини		2,5	2,0	$(v_n/\mu\omega)^2 + 1^*$

Таблиця А.10

Геометричні розміри патрубків вентиляторів Ц4-70 №5 та №6,3

Креслення	Но- мер	Розмір ви- хідного па- трубка a , мм	Діаметр вхідного патрубка, D , мм
	5	350	500
	6,3	441	630

* Швидкість виходу повітря на початку щілини $v_n = (1 + r_n)L/3600\ell\delta$, де r_n – коефіцієнт нерівномірності розподілу повітря. ω – швидкість повітря у початковому перерізі повітророзподільника. У даній роботі приймається $r_n = -0,2 \dots -0,4$. Коефіцієнт витрати $\mu = 0,7$.

Таблиця А.11

Вихідні дані до розрахунку віялової струмини

Перед- остання цифра номера залікової книжки	Відстань між випуском повітря та входом до робочої зони, х, м	Остання цифра номера залікової книжки	Розрахункова залежність розподілу швидкості повітря у перерізі	Темпе- ратура приплив- ного повітря, $t_{in}, ^\circ\text{C}$	Температура внут- рішнього повітря, $t_{вн}, ^\circ\text{C}$
1	6,5	1	Шліхтинга	23	16
2	6,0	2	Гримітліна	25	18
3	7,0	3	Ткачука	22	15
4	5,5	4	Рейхарда	22	12
5	4,5	5	Ткачука	21	15
6	7,5	6	Гримітліна	24	18
7	6,0	7	Ткачука	23	16
8	5,0	8	Рейхарда	25	18
9	5,5	9	Шліхтинга	23	16
0	4,5	0	Ткачука	25	15

Таблиця А.12

Вихідні дані до аеродинамічного розрахунку аерації цеху

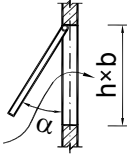
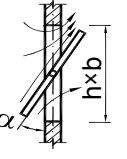
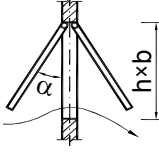
Перед- остання цифра номера залікової книжки	Припливні отвори					Різниця від- міток отворів H , м	Темпе- ратура внутріш- нього повітря, $t_{\text{вн}}$, °C	
	Тип сту- лок за табл. А.13	Відно- шення розмі- рів h/b	Кут роз- крит- тя α , град.	Пло- ща $A_1 =$ $=A_4$, м^2	Аероди- намі- чний коефі- цієнт отворів			
					1-го			4-го
					C_{e1}			C_{e4}
1	1	0,0	30	150	0,60	-0,30	6	32
2	2	1,0	15	140	0,65	-0,40	8,5	33
3	3	0,5	60	160	0,70	-0,35	10	34
4	1	0,5	45	170	0,75	-0,40	7,5	32
5	2	0,0	30	140	0,80	-0,35	9	33
6	3	0,5	15	180	0,75	-0,30	8	34
7	1	1,0	60	150	0,70	-0,40	10,5	32
8	2	0,0	45	170	0,65	-0,30	6,5	33
9	3	0,5	30	140	0,60	-0,40	9,5	34
0	2	0,0	60	180	0,80	-0,30	7	32

Вихідні дані до аеродинамічного розрахунку аерації цеху

Перед-остання цифра номера залікової книжки	Остання цифра номера	Ліхтар							Параметри зовнішнього повітря	
		Тип за табл. А.14	Відношення розмірів		Кут розкриття α , гр.	Площа $A_2 = A_3$, м ²	Аеродинамічний коефіцієнт отворів		Швидкість вітру v_B , м/с	Температура t_{ext} , °C
			A/h	α/h			2-го c_{e2}	3-го c_{e3}		
1	1	4	—	—	90	100	-0,50	—	1,5	25
2	2	1	4,0	1,1	40	110	-0,45	-0,40	6,0	22
3	3	2	3,3	—	45	110	-0,50	-0,35	3,2	23
4	4	3	3,3	1,5	55	120	-0,55	-0,40	1,2	21
5	5	4	-	-	75	110	-0,45	—	5,3	24
6	6	3	3,3	1,5	45	110	-0,60	-0,35	4,0	26
7	7	2	3,3	-	55	130	-0,45	0,45	5,8	20
8	8	4	-	-	90	120	-0,55	—	1,3	26
9	9	3	3,3	2,0	45	130	-0,55	-0,30	3,5	22
0	0	4	-	-	45	130	-0,50	—	4,4	20

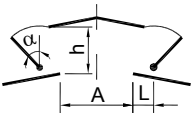
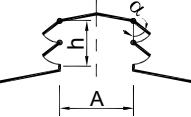
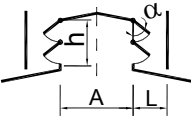
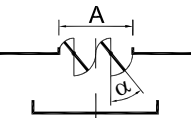
Таблиця А.13

Припливні аераційні отвори

Тип ступок	Конструкція	h/b	Значення ξ при куті α				
			15°	30°	45°	60°	90°
1.Одинарна верхньо-підвісна		0,0	30,8	9,2	5,2	3,5	3,6
		0,5	20,6	6,9	4,0	3,2	3,6
		1,0	16,0	5,7	3,7	3,1	-
2. Одинарна середньо-підвісна		0,0	59,0	13,6	6,6	3,2	2,7
		1,0	45,3	11,1	5,2	3,2	2,4
3. Подвійна верхньо-підвісна		0,5	30,8	9,8	5,2	3,5	2,4
		1,0	14,8	4,9	3,8	3,0	2,4

Таблиця А.14

Витяжні ліхтарі

№	Тип ліхтаря	Конструкція	A/h	L/h	α	ξ
1	Незадувний конструкції КТИС		4,0	1,1	40°	2,6
2	П-подібний без вітрозахисних щитів		3,3	-	35°	8,9
					45°	5,9
					55°	3,8
3	П-подібний з вітрозахисними щитами		3,3	1,5	35°	11,5
					45°	9,2
					55°	7,1
					70°	5,8
				2,0	35°	9,4
					45°	6,2
					55°	5,1
4	Щілинний		-	-	45°	4,3
					75°	3,0
					90°	2,8

Інтерполяція та екстраполяція табличних даних

Б.1. Однопараметрична таблиця

Будь-яка однопараметрична таблиця – це форма запису функції $y=f(x)$, в якій певним значенням x_i відповідають значення y_i . Більшість таблиць побудовані за дослідними даними, тобто формула для підрахунку $y=f(x)$ невідома або дуже складна. Якщо необхідно знайти значення $y=f(x)$, а x не дорівнює жодному x_i , то користуються лінійною інтерполяцією або екстраполяцією. Для цього беруть два сусідніх табличних значення x_1 та x_2 , між якими знаходиться x . З таблиці вибирають відповідні значення y_1 та y_2 . Якщо визначити лінійне рівняння $y=ax+b$, якому задовольняють точки (x_1, y_1) та (x_2, y_2) , то (рис. Б.1) з нього можна знайти y , яке відповідає x . Формула лінійної інтерполяції та екстраполяції:

$$y = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}(x - x_1) + y_1 = y_2 - \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}(x_2 - x). \quad (\text{Б.1})$$

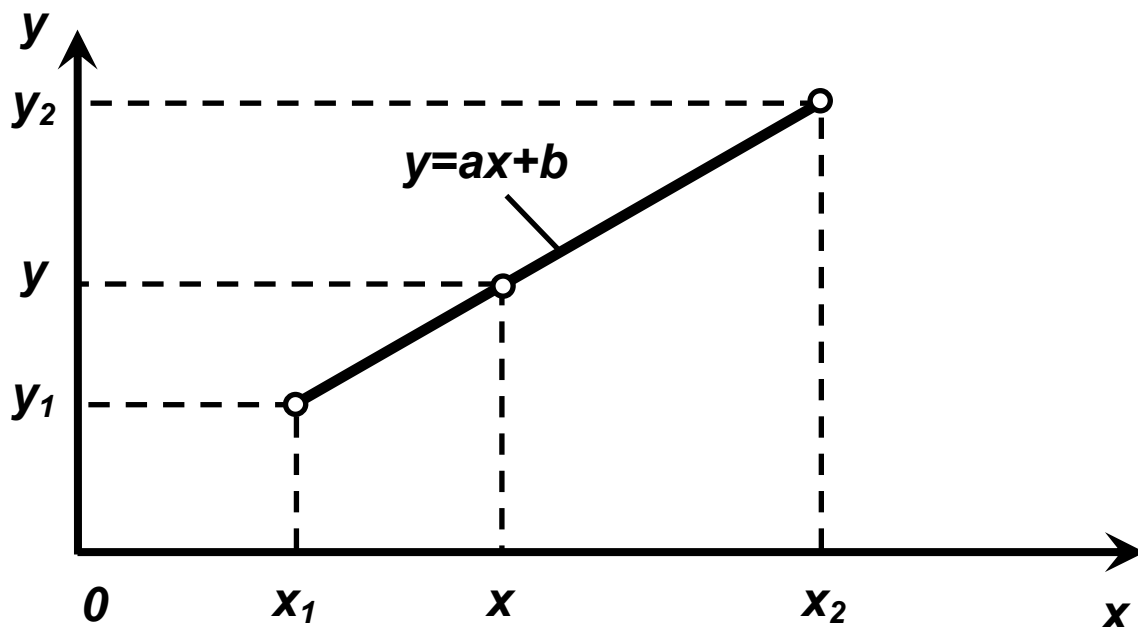


Рис. Б.1. Лінійна інтерполяція

Обидві форми залежності (Б.1) дають однаковий результат. Якщо поміняти місцями одночасно x_1 з x_2 та y_1 з y_2 , то результат не зміниться. Але відповідність x_1 до y_1 та x_2 до y_2 порушувати не можна!

ПРИКЛАД 1

Наприклад, необхідно визначити коефіцієнт місцевого опору трийника на відгалуження при $L_g/L_c=0,138$ та $A_g/A_c = 0,2$. Необхідно звернути увагу, що $A_g/A_c = 0,2$ – це табличне значення (табл. А.5), а $x=L_g/L_c=0,138$ у таблиці відсутнє. Розглянемо фрагмент таблиці А.5 з двома значеннями $x_i=L_g/L_c$, між якими знаходиться 0,2 (табл. Б.1).

Таблиця Б.1

Фрагмент таблиці А.5

L_g/L_c	ξ_n при $A_n/A_c = (d_n/d_c)^2$				ξ_g при $A_g/A_c = (d_g/d_c)^2$					
	1	0,8	0,65	0,5	0,65	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2
0,01	0,18	0,2	0,2	0,2	—	—	—	863	594	375
0,05	0,2	0,25	0,3	0,3	153	88,5	55	29,5	19,8	12
$x_1=0,1$	0,15	0,2	0,3	0,3	41,4	19,8	12	6,2	4,1	$y_1=2,5$
$x_2=0,2$	0,15	0,2	0,25	0,3	7,5	4,1	2,5	1,3	0,95	$y_2=0,7$
0,3	0,15	0,2	0,25	0,3	3	1,7	1,1	0,7	0,6	0,55

Важливо не порушити відповідність x_1 до y_1 та x_2 до y_2 .

Підставляються значення до формули (Б.1):

$$y = \frac{0,7 - 2,5}{0,2 - 0,1} (0,138 - 0,1) + 2,5 = \frac{-1,8}{0,1} \times 0,038 + 2,5 = -0,684 + 2,5 = 1,816$$

У процесі розрахунку слід бути уважними, щоб не втратити знак мінус.

Приймається значення місцевого опору з заокругленням до двох знаків після коми, тобто $\xi_n=1,82$.

При екстраполяції слід брати два найближчих до x значення x_1 та x_2 . А далі послідовність дій точно така ж.

Б.2. Двопараметрична таблиця

Лінійна інтерполяція та екстраполяція даних за двопараметричною таблицею зводиться до однопараметричної. Спочатку інтерполюють або

екстраполюють за першим параметром при фіксованих значеннях другого параметра, а потім – за другим з використанням формули (Б.1). Перестановка місцями першого і другого параметра не змінює результат.

ПРИКЛАД 2

Наприклад, необхідно визначити коефіцієнт місцевого опору трийника на відгалуження при $L_6/L_c=0,138$ та $A_6/A_c = 0,161$. Необхідно звернути увагу, що значення $L_6/L_c=0,138$ лежить в діапазоні табличних значень (інтерполяція), а значення $A_6/A_c = 0,161$ – за межами діапазону (екстраполяція). Розглянемо фрагмент таблиці А.5 з сусідніми значеннями L_6/L_c , між якими (тому що інтерполяція) знаходяться $L_6/L_c=0,138$ та сусідніми значеннями A_6/A_c , найближчими (тому що екстраполяція) до $A_6/A_c = 0,161$ (табл. Б.2).

Таблиця Б.2

Фрагмент таблиці А.5

L_6/L_c	ξ_n при $A_n/A_c=(d_n/d_c)^2$				ξ_6 при $A_6/A_c=(d_6/d_c)^2$					
	1	0,8	0,65	0,5	0,65	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2
0,01	0,18	0,2	0,2	0,2	—	—	—	863	594	375
0,05	0,2	0,25	0,3	0,3	153	88,5	55	29,5	19,8	12
0,1	0,15	0,2	0,3	0,3	41,4	19,8	12	6,2	4,1	2,5
0,2	0,15	0,2	0,25	0,3	7,5	4,1	2,5	1,3	0,95	0,7
0,3	0,15	0,2	0,25	0,3	3	1,7	1,1	0,7	0,6	0,55

Інтерполяція здійснюється за параметром L_6/L_c при фіксованому $A_6/A_c = 0,2$. Це точно відповідає прикладу 1. Інтерполяційне значення при $A_6/A_c = 0,2$ становить $\xi_6 = 1,816$. (табл. Б.3) Далі інтерполюємо за параметром L_6/L_c при фіксованому $A_6/A_c = 0,2$. При цьому, $x_1=0,1$, $x_2=0,2$, $y_1=4,1$, $y_2=0,95$. Підставляється значення до формули (Б.1).

$$y = \frac{0,95 - 4,1}{0,2 - 0,1} (0,138 - 0,1) + 4,1 = 2,903$$

В результаті при $A_6/A_c = 0,25$ інтерполяційне значення становить $\xi_6 = 2,903$. Для зручності одержані значення зводяться до табл. Б.3.

Результати інтерполяції за L_6/L_c

A_6/A_c	$x_1=0,2$	$x_2=0,25$
ξ_6	$y_1=1,816$	$y_2=2,903$

Тепер екстраполяція здійснюється за параметром A_6/A_c за формулою (Б.1):

$$y = \frac{2,903 - 1,816}{0,25 - 0,2} (0,161 - 0,2) + 1,816 = 0,96814$$

Приймається значення місцевого опору з заокругленням до двох знаків після коми, тобто $\xi_n=0,97$.

Примітки.

Якщо спочатку екстраполювати за A_6/A_c , а потім інтерполювати за L_6/L_c , то результат не зміниться.

Якщо взяти $x_2=0,2$, $y_2=1,816$, $x_1=0,25$ та $y_1=2,903$, то результат буде той же. Якщо помилково порушити відповідність x_i та y_i , наприклад, $x_1=0,2$ та $y_1=2,903$, $x_2=0,25$, $y_2=1,816$ то результат буде зовсім іншим і помилковим.

Розв'язання рівнянь шляхом ітерацій

При розв'язанні зворотної задачі аерації одержано рівняння:

$$0,44 \times 150 \times (2 \times 1,27 \Delta p_1)^{1/2} + 0,44 \times 150 \times (2 \times 1,27 (\Delta p_1 - 42,67))^{1/2} = \\ = 0,33 \times 100 \times (2 \times 1,185 (69,51 - \Delta p_1))^{1/2} + 0,33 \times 100 \times (2 \times 1,185 (61,38 - \Delta p_1))^{1/2}.$$

Розв'язують це рівняння шляхом ітерацій (у проектах систем теплогазопостачання і вентиляції кроки розв'язання рівнянь не наводяться. У даній роботі вони наводяться тільки за вимогою викладача).

Приймається довільне значення $\Delta p_1 = 50$ Па. Ліва частина рівняння становить 1028,6, права частина – 395,8 Па. Нев'язка

$$z = \frac{1028,6 - 395,8}{1028,6} 100 = +61,52\% > 5\%.$$

Задаються другим наближенням $\Delta p_1 = 60$ Па. Ліва частина рівняння становить 1252,7, права частина – 216,3 Па. Нев'язка

$$z = \frac{1252,7 - 216,3}{1252,7} 100 = +82,73\% > 5\%.$$

Задаються третім наближенням. Оскільки збільшення Δp_1 призвело до зростання невязки, то зменшуємо Δp_1 . Третє наближення береться найменшим, що задовольняє всі члени рівняння – $\Delta p_1 = 42,67$ Па. Ліва частина рівняння становить 687,1, права частина – 482,9 Па. Нев'язка

$$z = \frac{687,1 - 482,9}{687,1} 100 = +29,71\% > 5\%.$$

Оскільки невязка зменшилася, то необхідне подальше зменшення Δp_1 . Це призведе до недійсності кореня у другому члені лівої частини рівняння. Другий доданок лівої частини рівняння було замінено знак «+» на «-», а під коренем замінено значення густини повітря ρ_{ext} на $\rho_{вн}$:

$$0,44 \times 150 \times (2 \times 1,27 \Delta p_1)^{1/2} - 0,44 \times 150 \times (2 \times 1,185 (42,67 - \Delta p_1))^{1/2} = \\ = 0,33 \times 100 \times (2 \times 1,185 (69,51 - \Delta p_1))^{1/2} + 0,33 \times 100 \times (2 \times 1,185 (61,38 - \Delta p_1))^{1/2}.$$

Переноситься змінений член у праву частину:

$$0,44 \times 150 \times (2 \times 1,27 \Delta p_1)^{1/2} = 0,44 \times 150 \times (2 \times 1,185 (42,67 - \Delta p_1))^{1/2} + \\ + 0,33 \times 100 \times (2 \times 1,185 (69,51 - \Delta p_1))^{1/2} + 0,33 \times 100 \times (2 \times 1,185 (61,38 - \Delta p_1))^{1/2}.$$

Ці операції означають зміну напрямку руху повітря у четвертому прорізі (див. пунктирну стрілку рис. ,а), тобто через цей проріз видаляється повітря.

Задається четверте наближення $\Delta p_1 = 40$ Па. Ліва частина рівняння становить 665,3, права частина – 676,9 Па. Нев'язка

$$\varepsilon = \frac{1028,6 - 395,8}{1028,6} 100 = -1,75\% < 5\%$$

Отже, $\Delta p_1 = 40$ Па. Нев'язка становить 5%

Навчально-методичне видання

АЕРОДИНАМІКА ВЕНТИЛЯЦІЇ

Методичні вказівки
до виконання курсової роботи
для студентів спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія»
спеціалізації «Теплогазопостачання та вентиляція»

Укладачі ДОВГАЛЮК Володимир Борисович
МІЛЕЙКОВСЬКИЙ Віктор Олександрович
ДМИТРОЧЕНКОВА Елла Ігорівна

Комп'ютерне верстання *А.П. Морозюк*

Підписано до друку Формат 60 × 84_{1/16}

Ум. друк. арк. 3,72 Обл.-вид. арк. 4,0

Електронний документ. Вид. № 33/III-17

Видавець і виготовлювач

Київський національний університет будівництва і архітектури

Повітрофлотський проспект, 31, Київ, Україна, 03680

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів

Видавничої справи ДК № 808 від 13.02.2002 р.