

ФАКУЛЬТЕТ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСАМИ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Кафедра охорони праці та навколишнього середовища

РОЗРАХУНОК СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦІЇ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до дипломного проектування

Харків – 2014

Методичні вказівки розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри охорони праці та навколишнього середовища 27 лютого 2012 р., протокол № 2 .

Рекомендовано для студентів усіх спеціальностей та форм навчання.

Укладач

асист. А.В. Гончаров

Рецензент

доц. О.С. Крашенінін

РОЗРАХУНОК СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦІЇ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до дипломного проектування

Відповідальний за випуск Гончаров А.В.

Редактор Буранова Н.В.

Підписано до друку 26.04.12 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 1,25. Тираж 100. Замовлення №

Видавець та виготовлювач Українська державна академія залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейєрбаха, 7.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2874 від 12.06.2007 р.

**УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО
ТРАНСПОРТУ**

ФАКУЛЬТЕТ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСАМИ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Кафедра охорони праці та навколишнього середовища

«РОЗРАХУНОК СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦІЇ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до дипломного проектування

Завідувач кафедри ОП і НС проф.

М.І. Ворожбіян

*Методичні вказівки розглянуті і одобрені методичною
комісією ф-ту УПП*

протокол № від р.

Голова МК ф-ту УПП доц.

С.М. Продащук

Декан факультету УПП доц.

Д.І. Мкртичьян

Автори

асист.

А.В. Гончаров

Харків 2012

Методичні вказівки розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри «Охорона праці та навколишнього середовища» 27 лютого 2012 р., протокол № 2 .

Рекомендовано для студентів усіх спеціальностей та форм навчання.

Укладач

асист. А.В. Гончаров

Рецензент

доц. О.С. Крашенінін

ЗМІСТ

1	Аеродинамічний розрахунок мережі повітроводів.....	4
1.1	Теоретичні основи.....	4
1.2	Приклад прямої задачі аеродинамічного розрахунку.....	10
2	Аеродинамічний розрахунок аерації цеху.....	22
2.1	Теоретичні основи.....	22
2.2	Приклад розв'язання зворотної задачі аерації.....	27
2.3	Приклад розв'язання прямої задачі аерації.....	29
	Список літератури.....	33
	ДОДАТКИ.....	Ошибка! Закладка не определена.
	Додаток А Довідкові матеріали до практичних занять.....	34
	Додаток Б Інтерполяція та екстраполяція табличних даних... ..	43
	Додаток В Розв'язання рівнянь шляхом ітерацій.....	47

1 АЕРОДИНАМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК МЕРЕЖІ ПОВІТРОВОДІВ

1.1 Теоретичні основи

У системах механічної вентиляції спонукою руху повітря у повітроводах є вентилятор. Повітроводи в більшості випадків виконуються з металу. У сучасному будівництві використовуються не тільки повітроводи з оцинкованої сталі, але й гнучкі гофровані повітроводи. Вони зручні для монтажу, не потребують використання відводів тощо. Проте аеродинамічний опір цих повітроводів більший приблизно в 4 рази і сильно залежить від кривини їхньої осі. Під час експлуатації вони можуть бути зсунуті, що призводить до значної зміни їхнього опору та розрегулювання системи. Тому використання таких повітроводів має бути обґрунтовано.

У системах місцевої витяжної вентиляції від обладнання тип повітроводів приймається за умов відсутності корозії агресивними речовинами та вибухо-пожежної безпеки.

Основним параметром руху повітря у повітроводі є середня швидкість повітря v_c , яка приймається у метрах за секунду. Оскільки ані осьова швидкість, ані локальні швидкості при розрахунку не використовуються, то індекс усереднення не вживається, а використовується позначення v . Розміри перерізів повітроводів приймаються у міліметрах згідно зі СНиП 2.04.05–91, але площа поперечного перерізу повітроводів A береться у квадратних метрах. Об'єм повітря, що проходить за одиницю часу крізь переріз повітроводу, називається **об'ємною витратою повітря** L . Цю величину прийнято використовувати у кубічних метрах за годину. Зв'язок між цими величинами у прийнятих одиницях вимірювання має вигляд:

$$L = 3600 A v \quad (0)$$

При русі повітря у повітроводах виникають втрати енергії і відповідні втрати тиску. Втрати тиску прийнято закладати у розрахунки вентиляційних систем у паскалях. Розрізняють два види втрат тиску: втрати тиску за довжиною Δp_ℓ для прямих

повітроводів і на місцеві опори Δp_m у фасонних елементах (трійники, відводи, конфузори та дифузори тощо) та регулювальних пристроях. Загальні втрати тиску визначаються за залежністю, Па,

$$\Delta p = \Delta p_\ell + \Sigma \Delta p_m. \quad (0)$$

Втрати тиску за довжиною визначаються за формулою Дарсі, Па,:

$$\Delta p_\ell = \lambda \frac{\ell \rho v_c^2}{d} = \lambda \frac{\ell}{d} p_\partial, \quad (0)$$

де λ – коефіцієнт опору тертя або коефіцієнт Дарсі; ℓ – довжина повітроводу, м; d – діаметр, м; ρ – густина повітря, кг/м³; p_∂ – динамічний тиск, Па.

Коефіцієнт опору тертя визначається за формулою Альтшуля:

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{k_e}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}, \quad (0)$$

де k_e – **еквівалентна шорсткість** стінок повітроводу, тобто така висота штучних рівномірно-зернистих виступів шорсткості, які створюють ефект опору, що дорівнює дійсному опору, м; Re – число Рейнольдса:

$$Re = v d / \nu, \quad (0)$$

де ν – коефіцієнт кінематичної в'язкості повітря. Фізичний зміст числа Рейнольдса – відношення сил інерції та в'язкості в потоку.

Втрати тиску на місцевий опір визначаються за формулою Вейсбаха:

$$\Delta p_m = \xi \rho v_c^2 / 2 = \xi p_\partial, \quad (0)$$

де ξ – коефіцієнт місцевого опору.

Підстановка формул (0) та (0) до рівняння (0) дає формулу Дарсі-Вейсбаха, що застосовується при аеродинамічних

розрахунках:

$$\Delta p = \left(\lambda \frac{\ell}{d} + \Sigma \xi \right) \frac{\rho v^2}{2}, \quad (0)$$

де $\Sigma \xi$ – сума всіх місцевих опорів на ділянці мережі повітроводів.

Розрізняють п'ять груп місцевих опорів.

Група 1. Зміна напрямку потоку. До цієї групи належать повороти потоку, які називаються відводами.

Група 2. Зміна швидкості повітряного потоку. Пристрої, в яких переріз зменшується, а швидкість зростає, називаються конфузорами. Пристрої, в яких переріз зростає, а швидкість зменшується, називаються дифузорами. **Коефіцієнт місцевого опору таких пристроїв віднесений до швидкості потоку з меншим перерізом.** До цієї групи належать і діафрагми, тобто встановлені у повітровід пластини з отворами, меншими за переріз повітроводу. **Коефіцієнт місцевого опору діафрагм віднесений до швидкості потоку у повітроводі, а не в отворі діафрагми.**

Група 3. Вихід повітря з мережі повітроводів. До цієї групи належать: для припливних систем – повітророзподільники, а для витяжних систем – зонти, факельні викиди тощо.

Група 4. Вхід повітря до мережі повітроводів. Для припливних систем вентиляції це – повітрозабірні пристрої (шахти, решітки), а для витяжних – витяжні решітки, місцеві відсмоктувачі тощо.

Група 5. Розділення та злиття потоків. У цій групі розглядаються трійники та хрестовини. Ця група є найскладнішою, адже режим роботи трійника (хрестовини) залежить від співвідношення витрат та перерізів одразу трьох (чи чотирьох для хрестовини) потоків.

Один і той самий трійник, що працює у припливній системі (на нагнітанні) та у витяжній (на всмоктуванні), має різні коефіцієнти місцевих опорів. Трійник має такі частини: **стовбур** – частина з максимальною витратою повітря; **прохід** – частина трійника, що є продовженням стовбура, та **відгалуження** – частина, що розташована під кутом до стовбура (рисунк 1, а).

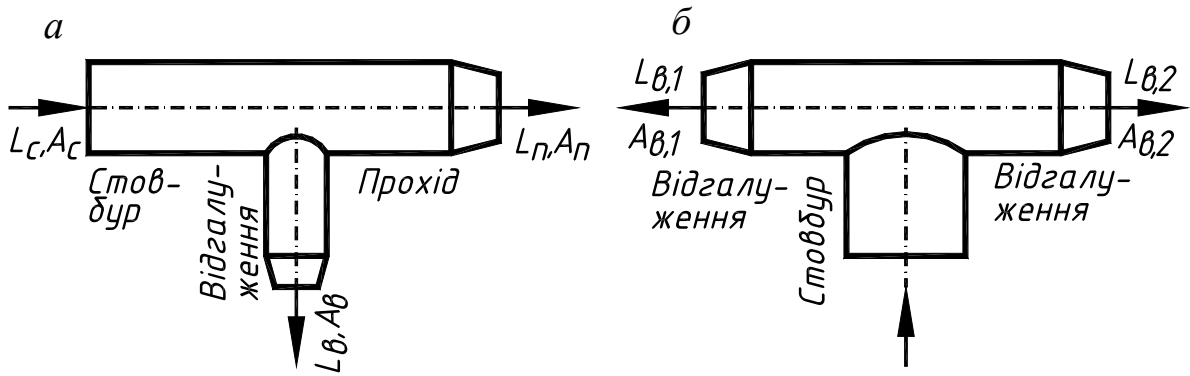


Рисунок 1 – Трійники:
на прохід і відгалуження (а); на розгалуження (б)

Трійник може бути приєднаний так, що повітря входить до частини, яка розташована під кутом до двох інших (рисунок 1, б). Це – **трійник на розгалуження**. На всмоктуванні такий трійник називається **трійником на злиття**. Такий трійник має два відгалуження і не має проходу.

Для ділянки на проході трійника останній називається **трійником на прохід**, а для ділянки на відгалуженні – **трійником на відгалуження**.

Місцевий опір трійника на стовбурі ніколи не враховується.

У витяжних трійниках можлива ежекція потоку у відгалуженні потоком у проході. Тоді місцевий опір відгалуження є від’ємним.

Втрати тиску у мережах повітроводів визначаються при аеродинамічному розрахунку. Є дві задачі аеродинамічного розрахунку. **Пряма задача** виконується при проектуванні системи вентиляції: за відомими витратами повітря та схемою повітроводів визначити перерізи повітроводів, втрати тиску повітря у системі та окремих її ділянках та ув’язати втрати тиску у відгалуженнях. **Зворотна задача** розв’язується при реконструкції: за відомими схемою та перерізами повітроводів, а також вентиляційним обладнанням обчислити фактичні витрати повітря.

При аеродинамічних розрахунках мережа повітроводів ділиться на ділянки.

Ділянка – це частина мережі з незмінним перерізом і витратою повітря.

Межею ділянок є трійники, хрестовини, повітророзподільники чи повітрозабірні пристрої, конфузори чи дифузори, вентилятор. Якщо конфузор чи дифузор розташований одразу за повітророзподільником чи повітрозабірним пристроєм, то окрему ділянку між ними не розглядають, а приєднують його до ділянки з меншим перерізом. Переходи від одного перерізу до іншого, в т.ч. конфузори та дифузори перед або після вентилятора, приєднують до ділянки відповідно до чи після вентилятора незалежно від перерізів.

Аеродинамічні розрахунки базуються на вищенаведених формулах (1), (4), (5) та (7). Але розраховувати безпосередньо за цими формулами досить складно. Тому використовують різні методи аеродинамічного розрахунку, основні залежності яких одержані шляхом перетворення цих рівнянь.

Метод питомих втрат тиску передбачає таке перетворення формули Дарсі-Вейсбаха (0):

$$\Delta p = \frac{\lambda}{d} \frac{\rho v^2}{2} \ell + \Sigma \xi \frac{\rho v^2}{2} = R\ell + Z, \quad (0)$$

де $R = \lambda \rho v^2 / 2d$ – питомі втрати тиску; $Z = \Sigma \xi \rho v^2 / 2$ – втрати тиску на місцеві опори. Розрахунок виконується за таблицями $R(d, v)$.

Переваги залежності (0) – висока швидкість підбору перерізів повітровою та визначення втрат тиску. Недоліки методу – великий обсяг довідникових матеріалів (таблиця $R(d, v)$ налічує до двох десятків сторінок) та значні складнощі при розв’язанні зворотної задачі.

Цих недоліків не має **метод характеристик опору**. Метод передбачає інше перетворення формули Дарсі-Вейсбаха (0):

$$\Delta p = \xi_{np} \frac{\rho(L/3600A)^2}{2} = \xi_{np} \frac{\rho}{2(3600A)^2} L^2 = \xi_{np} \frac{\rho}{2g_v^2} L^2 = \xi_{np} A_{num} L^2 = SL^2. \quad (0)$$

У формулі (0) введені поняття, які наведені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Основні поняття методу характеристик опору

Поняття	Формула	Фізичний зміст
Приведений коефіцієнт опору ділянки	$\xi_{np} = \lambda(\ell/d) + \Sigma\xi$ (0)	Коефіцієнт умовного місцевого опору, який дає такі ж втрати тиску, що і реальна ділянка, при тих самих швидкості та перерізі
Питома витрата повітря, м ² с/год	$g_v = L/v = 3600A$ (0)	Витрата повітря у повітроводі при швидкості 1 м/с
Питомий швидкісний тиск, Па·год ² /м ⁶	$A_{num} = \rho / 2g_v^2$ (0)	Динамічний тиск повітря у повітроводі при витраті 1 м ³ /год
Характеристика опору, Па·год ² /м ⁶	$S = \xi_{np} A_{num}$ (0)	Втрати тиску повітря у повітроводі при витраті 1 м ³ /год

Швидкість повітря за формулою (0) становить, м/с:

$$v = L/g_v. \quad (0)$$

Питомий швидкісний тиск залежить від розмірів перерізу повітроводу (що регламентується СНиП 2.04.05–91) та величини густини повітря. Остання залежить від температури. З достатньою для інженерних розрахунків точністю замість формули (0) застосовується формула:

$$S = \xi' A^*, \quad (0)$$

де A^* – питомий швидкісний тиск при $t = 20$ °С, що залежить лише від розмірів перерізу повітроводу і заноситься до таблиці типоряду повітроводів (таблиця А.2); ξ' – приведений коефіцієнт опору ділянки, перерахований на густину повітря при нормальних умовах:

$$\xi' = k_1 k_\Delta k_v (\lambda_1 / d) + k_2 \Sigma\xi, \quad (0)$$

де λ_1 – коефіцієнт опору тертя негофрованого сталевого повітроводу того ж перерізу, що і розрахункова ділянка, при швидкості повітря 1 м/с; k_1 і k_2 – поправки на температуру

повітря; k_{Δ} – поправка на шорсткість стінок повітроводу; k_v – поправка на швидкість повітря.

У більшості випадків температура повітря близька до 20 °С. Тоді поправки на температуру $k_1 = k_2 = 1$. Для сталевих негофрованих повітроводів поправка на шорсткість стінок повітроводу $k_{\Delta} = 1$. Поправка на швидкість повітря k_v для швидкостей $v > 1$ м/с приймається за таблицею А.3. Вона залежить тільки від величини швидкості повітря.

Швидкості повітря на ділянках не повинні перевищувати максимально допустимі (таблиця 2). Максимальні швидкості наведені з урахуванням обмеження рівня аеродинамічного шуму у повітроводах, що виникає при турбулентному русі повітря і зростає при зростанні швидкості. Для зменшення аеродинамічного опору мережі швидкість має повільно зростати в напрямку до вентилятора.

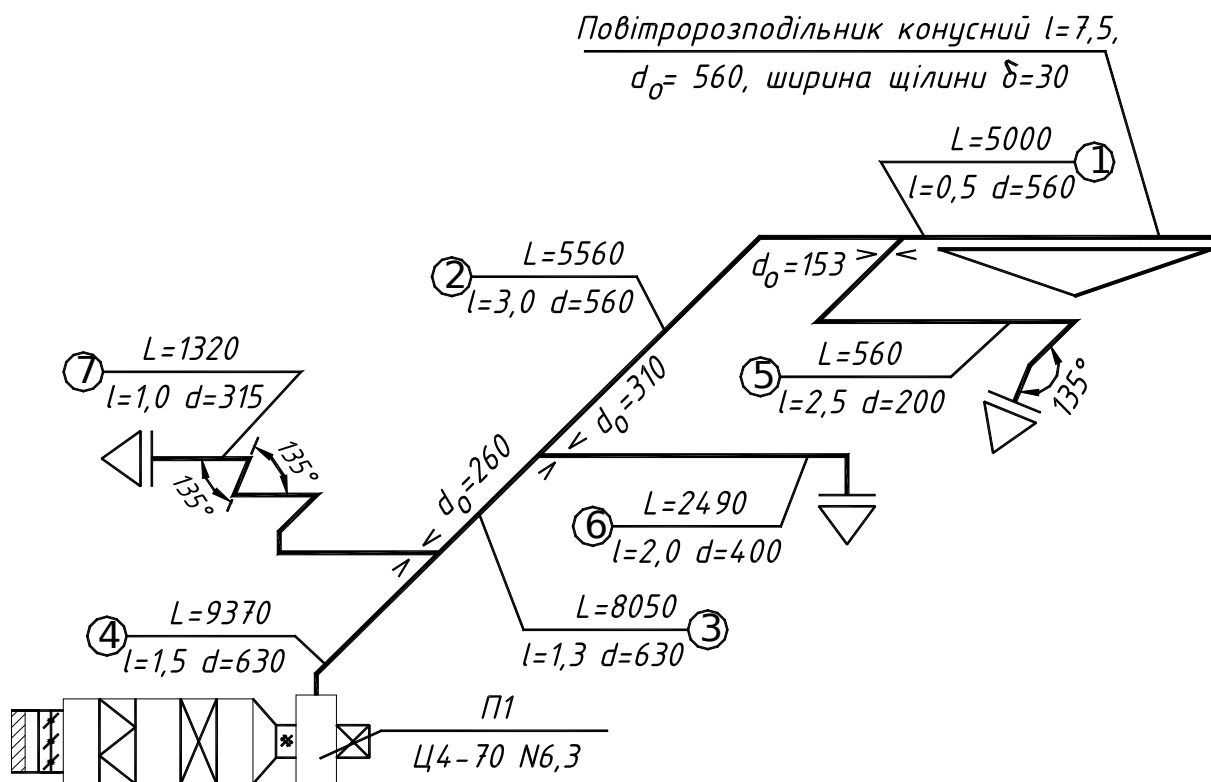
Таблиця 2 – Максимальні швидкості повітря

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

Форма таблиці аеродинамічного розрахунку наведена у таблиці А.9.

1.2 Приклад прямої задачі аеродинамічного розрахунку

Дано мережу повітроводів з оцинкованої сталі, схему якої наведено на рисунку 2, при температурі повітря 15...25 °С.



Випуски повітря здійснюються крізь конусний повітророзподільник та циліндричні патрубки без зміни перерізу. Припливна камера обладнана жалюзійною повітрязабірною решіткою (втрати тиску $\Delta p_p=4,8$ Па), утепленим клапаном (втрати тиску $\Delta p_y=20$ Па), фільтром (втрати тиску $\Delta p_\phi=60$ Па) і калорифером (втрати тиску $\Delta p_k=60$ Па).

Послідовність аеродинамічного розрахунку така:

1 Мережу розбиваємо на ділянки з незмінною витратою і перерізом. Межі ділянок – трійники, повітророзподільники (повітрязабірні пристрої) і вентилятор.

2 Вибираємо магістраль, тобто найдовший і найбільш навантажений шлях повітря. У даній мережі найбільш довгий від вентилятора шлях повітря не є найбільш навантаженим (рисунок 2). Тому магістраль слід вибрати між найдовшим і найбільш навантаженим шляхом за власним досвідом. Приймемо найбільш навантажений шлях – до конусного повітророзподільника.

3 Нумеруємо ділянки. Починаємо нумерувати ділянки від кінця магістралі до її початку, а потім відгалуження в такому ж напрямку. Номери ділянок виставляються у колах на кінцях виносок від кожної ділянки.

4 Визначаємо 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 $L_2=5000+560=5560$ м³/год. Витрата повітря на ділянці 3 становить суму витрат повітря на ділянках 2 та 6 або $L_3=5560+2490=8050$ м³/год. Одержані числа наносимо на схему (рисунок 2).

5 Креслимо таблицю аеродинамічного розрахунку (таблиця 3) і переносимо дані з рисунку 2 – у стовпчики 1, 2 і 3.

6 Задаємось швидкостями повітря на ділянках (таблиця 2). Приймаємо на ділянках-відгалуженнях 1, 5, 6 і 7 швидкості $v' = 6$ м/с, а на магістральних ділянках 2, 3 і 4, відповідно, $v' = 7, 8, 10$ м/с.

7 Розраховуємо потрібну питому витрату на кожній ділянці за формулою (0) шляхом ділення витрати повітря L (стовпчик 2) на попередньо прийняту швидкість v' (стовпчик 4) і заносимо до стовпчика 5. Округлювати слід до двох знаків після коми.

Зайва записана цифра є такою ж грубою помилкою, як і неправильно записана цифра.

8 За таблицею А.2 вибираємо 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).

Таблиця 3 – Таблиця аеродинамічного розрахунку мережі повітроводів

14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
$\lambda l/d = k_1 \times k_2 \times k_3 \times k_4 \times (\lambda_{\square} / d)$	Сумарний коефіцієнт опору $\sum \xi$	Приведений коефіцієнт опору $\xi' = \lambda l/d + \sum \xi k_2$	Питоми швидкісний тиск $A \times 10^6, \text{ Па} \times \text{год}^2 / \text{м}^6$	Характеристика опору $S = A \xi' \times 10^6, \text{ Па} \text{ год}^2 / \text{м}^6$	$\Delta P_i = \xi \rho v^2 / 2$ Відносна втрата тиску на відстані $\Delta P_{\text{вд}}$	Сумарні втрати тиску на відстані $\Delta P_{\text{сум}}$	Відносна втрата тиску на відстані $\Delta P_{\text{вд}} / \Delta P_{\text{сум}}$	Відносна втрата тиску на відстані $\xi = 100 \times \Delta P_{\text{вд}} / \Delta P_{\text{сум}}$	Потрібний опір діафрагми $\xi' = \Delta P / (\rho \times v^2 / 2)$	Діаметр отвору мм діафрагми d_0	
0,014	3,66	3,674	0,765	2,811	70,3	70,3	—	—	—	—	—
0,079	0,56	0,639	0,765	0,489	15,1	85,4	—	—	—	—	—
0,028	0,15	0,178	0,475	0,085	5,5	90,9	—	—	—	—	—
0,032	0,85	0,882	0,475	0,419	36,8	127,7	—	—	—	—	—
М А Г І С Т Р А Л Ї											
В І Д Г А Л У Ж Е Н Н Я											
0,251	2,25	2,501	46,955	117,434	36,8	70,3	36,8	33,5			
0,083	2,54	2,623	2,916	7,649	47,4	85,4	47,4	38			
0,063	4,37	4,433	12,24	54,26	94,5	90,9	94,5	-3,6			

Одразу виписуємо всі потрібні характеристики перерізу.

На ділянці 1 потрібна швидкість приймалася як максимальна, тобто значення g_v слід приймати найближчим більшим до $g'_v = 833,33 \text{ с}\cdot\text{м}^2/\text{год}$. За таблицею А.2 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, приймаємо цей діаметр. Записуємо 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.2 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 у напрямку від вентилятора до повітророзподільника діаметр буде зростати. Отже, слід приймати діаметр повітроводу, що відповідає ділянці 1 – 560 мм.

Аналогічно вибираємо діаметри інших ділянок.

9 Розраховуємо швидкості повітря v на ділянках за формулою (0) діленням витрати повітря L (стовпчик 2) на прийнятну питому витрату повітря g_v (стовпчик 6). Одержані результати заносимо до стовпчика 8 із округлюванням до одного знака після коми. Більш точно швидкість повітря у вентиляційних системах підтримувати неможливо.

10 Приймаємо поправки.

Поправки на температуру k_1 та k_2 дорівнюють одиниці, оскільки температура повітря близька до $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Також для оцинкованої сталі **поправка на шорсткість** k_Δ дорівнює одиниці. Тобто у стовпчиках 10, 11 і 13 занесемо до всіх рядків одиниці.

Поправка на швидкість k_v повітря береться за таблицею А.3. Вона розташована 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 поправку k_v візьмемо за таблицею А.3 на перетині рядка 5 та стовпця 0,6. Тобто до стовпчика 12 таблиці аеродинамічного розрахунку заносимо $k_v = 0,6501$.

11 Визначаємо $\lambda \ell / d = k_1 k_v k_\Delta (\lambda_1 / d) \ell$. Для цього множимо значення у стовпчиках 10, 12, 13, 9 і 3, а результат заносимо до стовпчика 13 із округлюванням до трьох знаків після коми.

12 Визначаємо коефіцієнти місцевих опорів та їхню суму на ділянках (рисунок 3).

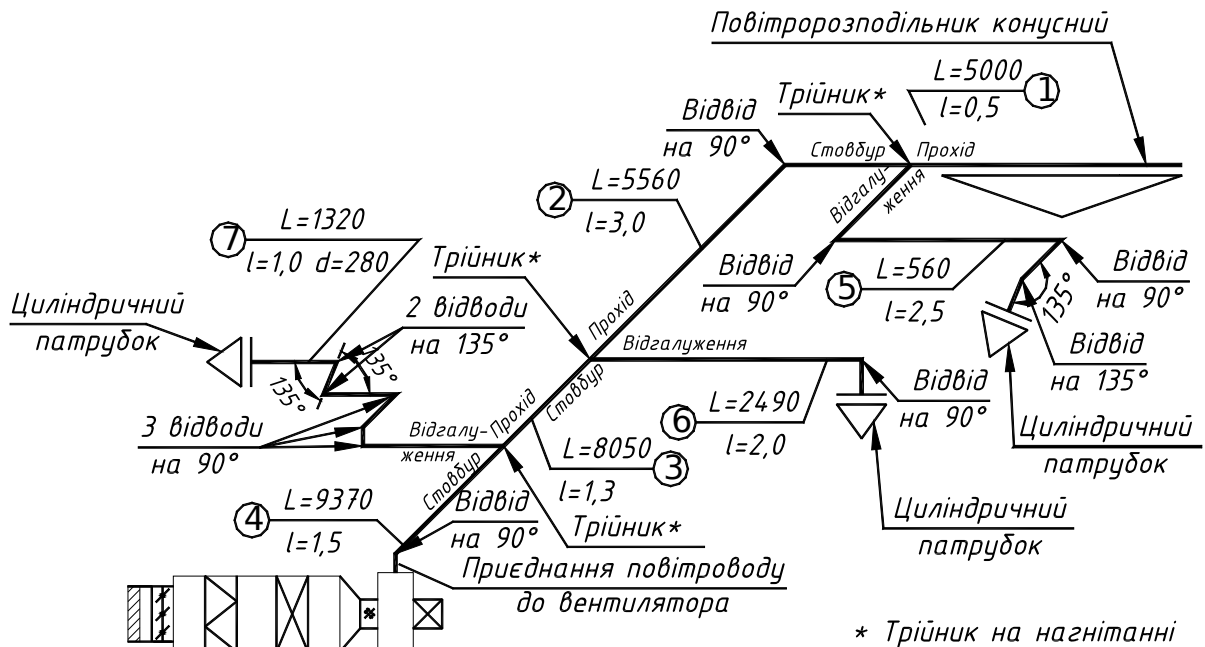


Рисунок 3 – Місцеві опори

Розрахунок наводимо за такою формою:

Ділянка 1

1 Повітророзподільник конусний (таблиця А.7).

При коефіцієнті витрати щілини $\mu = 0,7$, початковій швидкості повітря $\omega_n = 5,6$ м/с (швидкість повітря на ділянці 1), початковій витраті повітря $L = 5000$ м³/год, коефіцієнті нерівномірності розподілення на початку $r_n = 0,3$ та початковій швидкості виходу

$$v_n = (1 + r_n)L/3600\ell\delta = (1 + 0,3) \cdot 5000/3600 \cdot 7,5 \cdot 0,05 = 4,81 \text{ м/с.}$$

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

2 Трійник на прохід (рисунок 4; таблиця А.5):

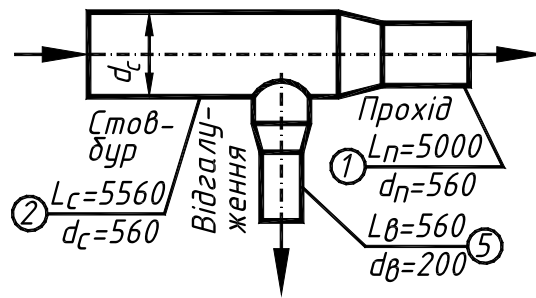


Рисунок 4 – Трійник

$$\text{При } L_\beta / L_c = 560/5560 = 0,1 \text{ та } A_n / A_c = (d_n / d_c)^2 = (560/560)^2 = 1$$

$$\xi = 0,15$$

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

Аналогічно наводимо втрати тиску на ділянках 2 та 3. Усі коефіцієнти місцевого опору округлюються до двох знаків після коми. Коефіцієнт місцевого опору трійника визначаємо інтерполяцією або екстраполяцією (додаток Б). На ділянці 4 є місцевий опір приєднання повітроводу до вентилятора. Вид його залежить від площі перерізу вихідного патрубка 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 – конфузур (звуження). Відношення довжини до діаметра l/d та кут розкриття α приймаються за завданням викладача. Якщо $A_0 < A_1$, то це – дифузур за радіальним вентилятором. Кут розкриття α приймається за завданням викладача.

Ділянка 4

1 Відвід на 90° (таблиця А.4). $\xi = 0,35$.

2 Приєднання повітроводу до вентилятора (таблиця А.4).

При розмірах вихідного патрубка вентилятора 350×350 мм (таблиця 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 дифузур (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 (таблиця А.4) $\xi = 1,1$.

- 2 Два відводи на 90° (таблиця А.4) $\xi = 2 \cdot 0,35 = 0,7$.
 3 Відвід на 135° (таблиця А.4) $\xi = 0,25$.
 4 Трійник на відгалуження ((рисунок 5); таблиця А.5):

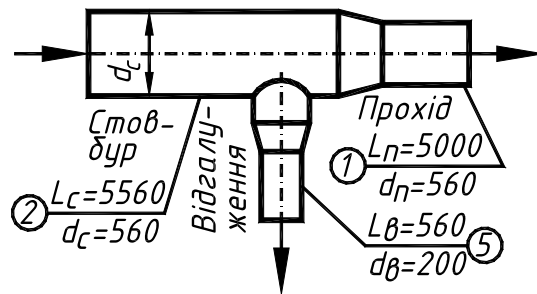


Рисунок 5 – Трійник

При $L_2 / L_c = 560/5560 = 0,1$ та $A_2 / A_c = (d_2 / d_c)^2 = (200/560)^2 = 0,13$, $\xi = 0,2$, $\Sigma\xi = 1,1+0,7+0,25+0,2 = 2,25$.

Аналогічно наводимо розрахунок місцевих опорів на ділянках 6 та 7. Одержані сумарні коефіцієнти місцевого опору $\Sigma\xi$ заносимо до стовпчика 15 таблиці 3.

13 Визначаємо приведені коефіцієнти опору ξ' за формулою (0), тобто додаванням значення зі стовпчика 14 до добутку значень стовпчиків 15 та 11.

14 Обчислюємо питому характеристику опору $S, \times 10^6 \text{ Па} \cdot \text{год}^2 / \text{м}^6$ кожної ділянки мережі повітроводів за формулою (0), тобто множенням даних стовпчиків 16 і 17 таблиці аеродинамічного розрахунку. Розмірності не переводимо. Округлюємо до трьох знаків після коми. Одержаний результат заносимо до стовпчика 18 тієї ж таблиці. Для ділянки 1 занесемо до стовпчика 18 $S = 3,674 \cdot 0,765 = 2,811 [\times 10^6 \text{ Па} \cdot \text{год}^2 / \text{м}^6]$.

15 Визначаємо втрати тиску $\Delta p_i, \text{ Па}$, на кожній ділянці за формулою (0), 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.

$$\Delta p = S(L \cdot 10^{-3})^2. \quad (0)$$

Для ділянки 1 за формулою (0)

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

Для ділянки 2 за формулою (0)

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

Втрати тиску округлюємо до одного знака після коми.

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

Втрати тиску від повітророзподільника магістралі до трійника ділянки 1 дорівнюють втратам тиску на ділянці 1, тобто до стовпчика 20 перенесемо 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 занесемо суму $\Delta p_{мг,2} = \Delta p_{мг,1} + \Delta p_2 = 70,3 + 15,1 = 85,4 \text{ Па.}$

Для ділянок 3 і 4 – аналогічно.

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

$$\Delta p_{мг,i} = \begin{cases} \Delta p_1 & \text{при } i = 1, \\ \Delta p_{мг,i-1} + \Delta p_i & \text{при } i > 1. \end{cases}$$

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

18 Заносимо до стовпчика 21 таблиці аеродинамічного розрахунку втрати тиску у відгалуженнях $\Delta p_{в,i}$. У нашому простому випадку, коли немає відгалужень від відгалужень, $\Delta p_{в,i} = \Delta p_i$. Тобто на ділянках відгалужень переносимо дані зі стовпчика 19 до стовпчика 21.

19 Визначаємо потрібні втрати тиску на відгалуженнях. Втрати тиску у кожному відгалуженні мають 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 занесемо 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 занесемо 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 Визначаємо 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 мають 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. Змінюємо діаметр ділянки 7 на 315 і перераховуємо кроки 12...15 (стовпці 15–19) тільки для ділянки 7 (таблиця 4). При цьому слід перерахувати місцевий опір відповідного трійника на відгалуження (його опір на прохід залишиться незмінним).

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

22 На відгалуженнях, де відносна нев'язка перевищує 10 %, встановлюємо діафрагми. Визначаємо їхні потрібні коефіцієнти місцевого опору. З формули Вейсбаха (0) маємо: $\xi = \Delta p_i / (\rho v^2 / 2)$, де ρ – густина повітря, яка приймається $1,2$ кг/м³; v – швидкість повітря на відгалуженні, м/с (стовпчик 8), а Δp_i – абсолютна нев'язка у паскалях (стовпчик 22).

Таблиця 4 – Таблиця аеродинамічного розрахунку мережі повітроводів

Поправка на		тем-пературу	швидкість	шви-рор-ді-ткість	Су-мар-рний ко-еф-іці-єнт міс-це-во-го оп-ору $\sum \xi$	Приве-дений коєфіцієнт - опору $\xi^1 = \lambda l/d + \sum \xi k_2$	Пито-мий швид-кісний тиск $A^* \times 10^6, \text{ Па} \times \text{год}^2 / \text{м}^6$	Харак-терис-тика /об'єму $S = A^* \xi^1 \times 10^6, \text{ Па} \text{ год}^2 / \text{м}^6$	Втрати тиску на ділянці $\Delta P_f = S(L \times 10^{-3})^2, \text{ Па}$	Су-марні втра-ти тиску магі-стра-лі $\Delta P_{\text{мг},i}$	Втрати тиску на відга-лу же-нні $\Delta P_{\text{вс}}, \text{ Па}$	Аб-со-лю-т-на не-в'яз-ка $\Delta p_{\text{вс}} = \Delta p_i =$	Від-носна не-в'язка $\xi = 100 \times \Delta p / \Delta P_{\text{мг}}$	Пог-рб-ний міс-цевий опір діаф-рагми $\xi = \Delta P / (\rho \times v^2 / 2)$	Діа-метр от-вору діа-фра-гми $d_0, \text{ мм}$	
k_1	k_2															1011
1	1	0,6501	1	0,014	3,66	3,674	0,765	2,811	70,3	70,3	—	—	—	—	—	—
1	1	0,6312	1	0,079	0,56	0,639	0,765	0,489	15,1	85,4	—	—	—	—	—	—
1	1	0,6105	1	0,028	0,15	0,178	0,475	0,085	5,5	90,9	—	—	—	—	—	—
1	1	0,5892	1	0,032	0,85	0,882	0,475	0,419	36,8	127,7	—	—	—	—	—	—
М А Г І С Т Р А Л Ь																
1	1	0,6688	1	0,251	2,25	2,501	46,955	117,434	36,8	70,3	36,8	33,5	47,7	2,23	153	
1	1	0,6530	1	0,083	2,54	2,623	2,916	7,649	47,4	85,4	47,4	38	44,5	2,09	310	
1	1	0,6792	1	0,058	5,46	5,518	7,610	41,992	73,2	90,9	73,2	17,7	19,5	1,34	260	
В І Д Г А Л У Ж Е Н Н Я																

№ ділянки	Виділяється протягом $L, \text{ м}$	Довжина	Потрібна швидкість $v', \text{ м/с}$	$= \text{Ділянка}$ швидкість $g' =$	Принятая питома температура $g' > g'_{\text{пр}} \frac{\text{с. м}^2}{\text{год}}$	Принятая питома температура $g' > g'_{\text{пр}} \frac{\text{с. м}^2}{\text{год}}$	Принятая питома температура $g' > g'_{\text{пр}} \frac{\text{с. м}^2}{\text{год}}$	Фактична швидкість $v = L/g'$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	5000	0,5	6	833,33	885,6	560	5,6	0,04154	
2	5560	3	7	794,29	885,6	560	6,3	0,04154	
3	8050	1,3	8	1006,25	1123,2	630	7,2	0,03585	
4	9370	1,5	10	937	1123,2	630	8,3	0,03585	
5	560	2,5	6	93,33	113	200	5	0,1504	
6	2490	2	6	415	453,6	400	5,5	0,06326	
7	1320	1	6	220	280,8	315	4,7	0,08527	

23 Вибираємо діаметр отвору діафрагми d_o , мм, за таблицею А.6 на перетині стовпця, що відповідає діаметру повітроводу, та рядка, що відповідає потрібному коефіцієнту місцевого опору або найближчому меншому до нього значенню. Результат записуємо до стовпця 25 таблиці аеродинамічного розрахунку.

Ділянка 5. Діаметр ділянки 200 мм (стовпчик 7 таблиці аеродинамічного розрахунку), а потрібний коефіцієнт місцевого опору становить 2,23 (стовпчик 24). У таблиці А.6 найближчий менший коефіцієнт опору діафрагми становить $\xi=2,2$. На перетині стовпчика, що відповідає $d = 200$ мм, та рядка, який відповідає $\xi=2,2$, знаходимо значення $d_o = 153$ мм, яке заноситься до стовпчика 25 таблиці аеродинамічного розрахунку (таблиця 4).

24 Наносимо одержані дані на схему (рисунок 2). Діафрагми позначаємо на відгалуженнях біля трійників і записуємо діаметр отвору діафрагми d_o , мм, зі стовпця 25 таблиці аеродинамічного розрахунку. Розмірності не пишемо. Також під виносками ділянок записуємо діаметри ділянок зі стовпця 7 цієї таблиці.

25 Підраховуємо загальні втрати тиску у системі вентиляції Δp , Па, які є сумою втрат тиску, Па, у припливній камері (припливній решітці Δp_p утепленому клапані Δp_y , фільтрі Δp_ϕ і калорифері Δp_k) та магістралі мережі повітроводів $\Delta p_{мг}$. Останні втрати тиску дорівнюють сумарним втратам тиску на магістралі $\Sigma \Delta p_{мг,4}$ до початку ділянки 4 (у таблиці аеродинамічного розрахунку виділені жирною рамкою та жирним великим шрифтом). Одержаний результат множимо на коефіцієнт запасу 1,1.

$$\Delta p = 1,1(\Delta p_p + \Delta p_y + \Delta p_\phi + \Delta p_k + \Delta p_{мг}) = 1,1 \cdot (4,8 + 20 + 60 + 60 + 127,7) = 299,8 \text{ Па.}$$

2 АЕРОДИНАМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК АЕРАЦІЇ ЦЕХУ

2.1 Теоретичні основи

Аерацією будівлі (рисунок 6) називається організований регульований природний повітрообмін приміщень через прорізи вікон 1,4 та аераційного ліхтаря 2,3. Повітрообмін у приміщенні регулюється ступенем відкриття стулок залежно від температури зовнішнього повітря, швидкості та напрямку вітру.

Аерацію широко застосовують у промислових будівлях з технологічними процесами, що мають значні тепловиділення, – це котельні, ТЕЦ, ливарні цехи, кузні та багато інших.

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 із законом Архімеда наявний гравітаційний тиск між двома отворами становить

$$\Delta p_{н,г} = (\rho_{ext} - \rho_{вн})gH, \quad (0)$$

де $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння; 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.

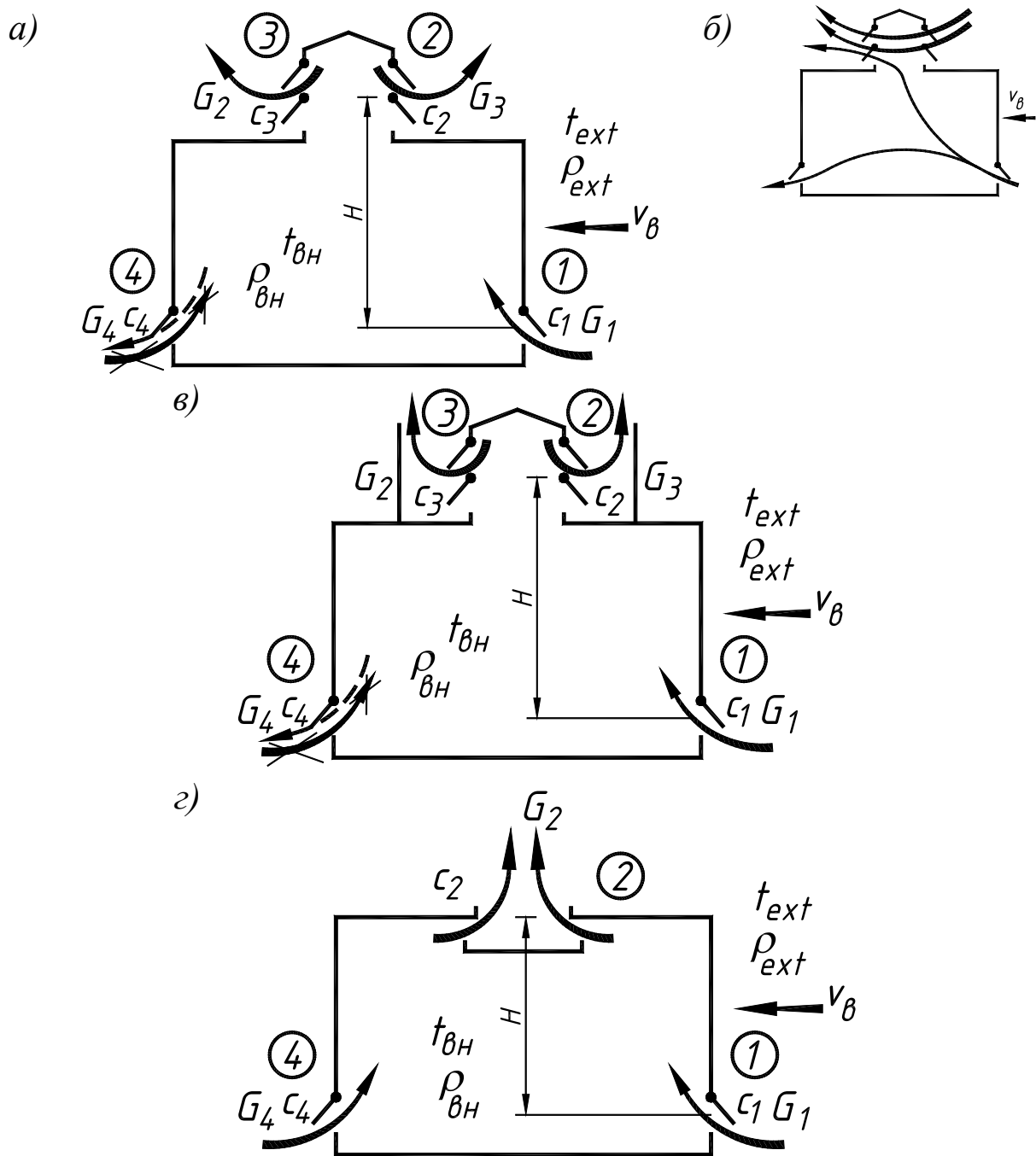


Рисунок 6 – Схема аерації промислової будівлі:
 з П-подібним ліхтарем (а); те ж, схема задування ліхтаря (б);
 з незадувним ліхтарем, що має вітровідбійні щити (в);
 з незадувним щілинним ліхтарем (з)

На поверхнях будівлі частка кінетичної енергії (динамічного тиску $p_{d,v}$) 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:

$$C_{e,i} = \Delta p_{c,i} / p_{0,e} = \Delta p_{c,i} / (\rho v_e^2 / 2). \quad (0)$$

Аеродинамічний коефіцієнт у 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 (0) наявний вітровий тиск між отворами i та j :

$$\Delta p_{n,e,i-j} = (C_{e,i} - C_{e,j}) p_{0,e} = (C_{e,i} - C_{e,j}) (\rho v_e^2 / 2). \quad (0)$$

Наявний тиск між отворами i та j при сукупній дії сил Архімеда та вітрового потоку за залежностями (0) та (0):

$$\begin{aligned} \Delta p_{n,i-j} &= \Delta p_{n,z,i-j} + \Delta p_{n,e,i-j} = (\rho_{ext} - \rho_{вн}) g H_{i-j} + (C_{e,i} - C_{e,j}) p_{0,e} = \\ &= (\rho_{ext} - \rho_{вн}) g H_{i-j} + (C_{e,i} - C_{e,j}) (\rho v_e^2 / 2), \end{aligned} \quad (0)$$

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 (0).

3 Вважають, 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 перелічених 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 (рисунок 6, 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:

$$\begin{cases} \Delta p_{1-2} = \Delta p_1 \pm \Delta p_2 \pm \dots \\ \Delta p_{1-n} = \Delta p_1 \pm \Delta p_n \pm \dots \end{cases} \quad (0)$$

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 (0) знак «+» приймається для різнойменних отворів (припливного і витяжного), а «-» – однойменних (припливного і припливного або витяжного і витяжного). З рівнянь (0) отримуємо перепади тисків у отворах

$$\begin{cases} \Delta p_2 = \pm (\Delta p_{1-2} - \Delta p_1) \pm \dots \\ \dots \\ \Delta p_n = \pm (\Delta p_{1-n} - \Delta p_1) \pm \dots \end{cases} \quad (0)$$

Наявні перепади тисків ΔP_{i-j} визначаємо за формулою (0). Таким чином, у системі рівнянь (0) кількість невідомих (втрат тиску в отворах) на одиницю більша за кількість рівнянь. Для визначення перепаду тиску у зв'язковому отворі Δp_1 до системи долучається рівняння балансу маси повітря: сума масових витрат повітря у припливних отворах ΣG_{in} , кг/с, дорівнює сумі масових витрат повітря у витяжних отворах ΣG_e , кг/с:

$$\Sigma G_{in} = \Sigma G_{\ell}. \quad (0)$$

Масові витрати повітря визначають з рівняння витікання повітря з отворів:

$$G_i = \mu_i A_i \sqrt{2\rho_i \Delta p_i}, \quad (0)$$

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

$$\mu_i = 1/\sqrt{\xi_i}; \quad (0)$$

A_i – площа отвору, м²; ρ_i – густина повітря, яке перебуває безпосередньо в отворі. Якщо отвір припливний, то в нього затікає зовнішнє повітря та $\rho_i = \rho_{ext}$. Якщо отвір витяжний, то крізь нього витікає внутрішнє повітря, тобто $\rho_i = \rho_{вн}$.

Далі попередньо задаємося значенням Δp_i , що забезпечує додатність усіх підкоренових виразів. Після цього методом ітерацій знаходимо таке значення Δp_i , щоб нев'язка між лівою та правою частинами рівняння (0) не перевищувала 5 %.

У процесі розв'язання рівняння певний підкореновий вираз рівняння (0) може набути від'ємного значення. Це означає, що у даному отворі був неправильно вибраний напрямок руху повітря (рисунок 6, а). Для подальшого розрахунку змінюємо напрямок руху потоку повітря у відповідному отворі: виносимо знак «-» з-під кореня і змінюємо значення густини повітря. Зміна знаку може відбутися під час розрахунку не один раз.

Коли значення Δp_i знайдено, з системи рівнянь (0) визначаємо перепади тисків у решті отворів і за рівнянням (0) розраховуємо витрати повітря в кожному отворі. Правильність розрахунків перевіряємо за рівнянням (0).

Якщо у результаті розрахунку нижній отвір опиняється витяжним, то схема аерації задовільна (рисунок 6, а). Якщо один з отворів ліхтаря опинився припливним, то ліхтар задувається – і така схема руху повітря не задовольняє потреби вентиляції (рисунок 6, 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 (рисунок 6, в). Професор А.Я. Ткачук запропонував просту і надійну конструкцію незадувного ліхтаря – щілинний ліхтар (рисунок 6, з). Він складається з щілини в покрівлі, обладнаної піддоном для опадів. Відомі й інші конструкції (таблиця А.11). У разі задування ліхтаря у контрольній роботі має бути наведений відповідний висновок з пропозицією щодо зміни конструкції ліхтаря.

2.2 Приклад розв'язання зворотної задачі аерації

Вихідні дані: промислова будівля однопрогонна (рисунок 6, 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 дорівнюють: $\zeta_1 = \zeta_4 = 5,2$; $\zeta_2 = \zeta_3 = 9,2$; аеродинамічні коефіцієнти будівлі у площині 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 $t_{вн} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$, температура повітря ззовні $t_{ext} = 5 \text{ }^\circ\text{C}$ і відповідні їм густини повітря $\rho_p = 1,185 \text{ кг/м}^3$, $\rho_{ext} = 1,27 \text{ кг/м}^3$; перепад рівнів між верхніми та нижніми прорізами $H = 20 \text{ м}$; швидкість вітрового потоку $v_в = 8 \text{ м/с}$.

Необхідно визначити повітрообмін у приміщенні, який виникає від сукупної дії гравітаційних (архімедових) сил та вітрового потоку.

Послідовність розв'язання зворотної задачі аерації

1 Задаємо схему повітрообміну приміщення: нижні прорізи працюють на приплив, а верхні – на видалення повітря (рисунок 6, а).

2 З урахуванням прийнятих напрямків руху повітря та

рівнянь (0) і (0) складаємо рівняння зв'язку:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{---} \\ \text{---} \\ \text{---} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{---} \\ \text{---} \\ \text{---} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{---} \\ \text{---} \\ \text{---} \end{array} \right\}$$

або

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{---} \\ \text{---} \\ \text{---} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{---} \\ \text{---} \\ \text{---} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{---} \\ \text{---} \\ \text{---} \end{array} \right\} \quad (0)$$

3 За рівнянням (0) знаходимо наявні перепади тисків:

$$\begin{aligned} \Delta p_{1-4} &= 0 + (0,7+0,35) \times 1,27 \times 8^2 / 2 = 42,67 \text{ Па}; \\ \Delta p_{1-2} &= (0,7+0,6) \times 1,27 \times 8^2 / 2 + (1,27-1,185) \times 9,81 \times 20 = 69,51 \text{ Па}; \\ \Delta p_{1-3} &= (0,7+0,4) \times 1,27 \times 8^2 / 2 + (1,27-1,185) \times 9,81 \times 20 = 61,38 \text{ Па}. \end{aligned}$$

4 За вибраною схемою повітрообміну складаємо рівняння повітряного балансу (0) $G_1 + G_4 = G_2 + G_3$, або з урахуванням рівняння (0) та системи рівнянь (0)

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

яке має вигляд після підстановки відомих значень

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

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

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 (0) знаходимо масові витрати повітря у прорізах

$$\begin{aligned} G_1 &= 0,44 \times 150 \times (2 \times 1,27 \times 40)^{1/2} = 665,3 \text{ кг/с}; \\ G_2 &= 0,33 \times 100 \times (2 \times 1,185 \times (69,51 - 40))^{1/2} = 276,0 \text{ кг/с}; \\ G_3 &= 0,33 \times 100 \times (2 \times 1,185 \times (61,38 - 40))^{1/2} = 234,9 \text{ кг/с}; \\ G_4 &= 0,44 \times 150 \times (2 \times 1,27 \times (42,67 - 40))^{1/2} = 166,0 \text{ кг/с}. \end{aligned}$$

6 Визначаємо невязку

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

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.

2.3 Приклад розв’язання прямої задачі аерації

Вихідні дані: промислова будівля однопрогонна (рисунок 6, а). Температура повітря у приміщенні $t_{вн} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$, температура повітря ззовні $t_{ext} = 5 \text{ }^\circ\text{C}$ і відповідні їм густини повітря $\rho_p = 1,185 \text{ кг/м}^3$, $\rho_{ext} = 1,27 \text{ кг/м}^3$; перепад рівнів між верхніми та нижніми прорізами $H = 20 \text{ м}$. Потрібний повітрообмін становить $665,3 \text{ кг/с}$. Коефіцієнти місцевого опору дорівнюють: $\xi_1 = \xi_4 = 5,2$; $\xi_2 = \xi_3 = 9,2$.

Необхідно визначити площі перерізу аераційних отворів, якщо повітрообмін відбувається: *а* – під дією лише сил Архімеда, *б* – під дією сили Архімеда і вітру, швидкість якого становить $v_в = 8 \text{ м/с}$, а аеродинамічні коефіцієнти будівлі у площині стулок становлять:

$$C_{e,1} = 0,7; C_{e,4} = -0,35; C_{e,2} = -0,6; C_{e,3} = -0,4.$$

Послідовність розв’язання прямої задачі без урахування дії вітру (варіант а)

1 Задаємо схему повітрообміну приміщення: нижні прорізи працюють на приплив, а верхні – на видалення повітря (рисунок 6, а).

2 З урахуванням прийнятих напрямків руху повітря та рівнянь (0) і (0) складаємо рівняння зв’язку:

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho_{ext} V_{1-2} = \rho_{ext} V_{2-3} = \rho_{ext} V_{3-4} \\ \rho_p V_{1-2} = \rho_p V_{2-3} = \rho_p V_{3-4} \end{array} \right.$$

3 За рівнянням (0) знаходимо наявні перепади тисків:

$$\Delta p_{1-4} = 0; \Delta p_{1-2} = \Delta p_{1-3} = (1,27-1,185) \times 9,81 \times 20 = 16,68 \text{ Па.}$$

4 Приймаємо, що нижні прорізи 1 та 4 однакові, площею $A=A_1=A_4$. Прорізи ліхтаря 2 та 3 однакові, а $A_{\text{ліхт}} = A_2 = A_3$. Умова надійної роботи аерації: $\Sigma(\mu A)=1,2\dots 1,3\Sigma(\mu A)_{\text{ліхт}}$ або $(\mu A)_{\text{ліхт}} = 0,8(\mu A)$.

5 За вибраною схемою повітрообміну складаємо рівняння повітряного балансу (0) $G_1 + G_4 = G_2 + G_3 = G$. Оскільки задача повністю симетрична, то $G_1 = G_4, G_2 = G_3$, або з урахуванням рівняння (0) та системи рівнянь зв'язку

$$2 \mu_1 A_1 (2\rho_{\text{ext}} \Delta p_1)^{1/2} = 2\mu_2 A_2 (2\rho_p (\Delta p_{1-2} - \Delta p_1))^{1/2} = G,$$

яке має вигляд після підстановки відомих значень:

$$\begin{aligned} & 2 \times (\mu A) \times (2 \times 1,27 \Delta p_1)^{1/2} = \\ & = 2 \times 0,8 \times (\mu A) \times (2 \times 1,185 (16,68 - \Delta p_1))^{1/2} = 665,3. \end{aligned}$$

Спочатку прирівнюємо ліву та середню частину рівняння. Скорочуємо на $2(\mu A)$ і підносимо до квадрата:

$$2,540 \Delta p_1 = 1,517 \times (16,68 - \Delta p_1); \quad \Delta p_1 = 6,237 \text{ Па};$$

Підставляємо до рівняння і маємо:

$$7,960 \times (\mu A) = 7,960 \times (\mu A) = 665,3.$$

Тоді $\mu A = 83,58$. Отже, $A_1 = A_4 = (\mu A) / \xi_1^{1/2} = 83,58 \cdot 5,2^{1/2} = 191 \text{ м}^2$;
 $A_2 = A_3 = 0,8(\mu A) / \xi_2^{1/2} = 0,8 \cdot 83,58 \cdot 9,2^{1/2} \approx 203 \text{ м}^2$.

Відповідь. Площі нижніх отворів $A_1 = A_4 = 191 \text{ м}^2$. Площі отворів ліхтаря $A_2 = A_3 = 203 \text{ м}^2$.

Послідовність розв'язання прямої задачі з урахуванням дії вітру (варіант б)

1 Задаємо схему повітрообміну приміщення: нижні прорізи працюють на приплив, а верхні – на видалення повітря (рисунок 6, а).

2 З урахуванням прийнятих напрямків руху повітря та рівнянь (0) і (0) складаємо рівняння зв'язку:

$$\left\{ \begin{array}{l} \overrightarrow{p_1} = \overrightarrow{p_2} - \overrightarrow{p_3} \\ \overrightarrow{p_2} = \overrightarrow{p_1} - \overrightarrow{p_3} \\ \overrightarrow{p_3} = \overrightarrow{p_1} - \overrightarrow{p_2} \end{array} \right.$$

3 За рівнянням (0) знаходимо наявні перепади тисків:

$$\begin{aligned} \Delta p_{1-4} &= 0 + (0,7+0,35) \times 1,27 \times 8^2 / 2 = 42,67 \text{ Па}; \\ \Delta p_{1-2} &= (0,7+0,6) \times 1,27 \times 8^2 / 2 + (1,27-1,185) \times 9,81 \times 20 = 69,51 \text{ Па}; \\ \Delta p_{1-3} &= (0,7+0,4) \times 1,27 \times 8^2 / 2 + (1,27-1,185) \times 9,81 \times 20 = 61,38 \text{ Па}. \end{aligned}$$

4 Приймаємо, що нижні прорізи 1 та 4 однакові, площею $A = A_1 = A_4$. Прорізи ліхтаря 2 та 3 однакові, а $A_{\text{ліхт}} = A_3 = A_4$. Умова надійної роботи аерації: $\Sigma(\mu A) = 1,2 \dots 1,3 \Sigma(\mu A)_{\text{ліхт}}$ або $(\mu A)_{\text{ліхт}} = 0,8(\mu A)$.

5 За вибраною схемою повітрообміну складаємо рівняння повітряного балансу (0) $G_1 + G_4 = G_2 + G_3$, або з урахуванням рівняння (0) та системи рівнянь зв'язку:

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

яке має вигляд після підстановки відомих значень:

$$\begin{aligned} (\mu A) \times (2 \times 1,27 \Delta p_1)^{1/2} + (\mu A) \times (2 \times 1,27 (\Delta p_1 - 42,67))^{1/2} = \\ = 0,8 \times (\mu A) \times (2 \times 1,185 (69,51 - \Delta p_1))^{1/2} + \\ + 0,8 \times (\mu A) \times (2 \times 1,185 (61,38 - \Delta p_1))^{1/2} = 665,3. \end{aligned}$$

Розв'язуємо рівняння. Прирівнюємо ліву та середню частину зі скороченням на (μA) . Шляхом ітерацій $\Delta p_1 = 43$ Па (нев'язка 2,24 %). При цьому знаки жодного члена рівняння не були змінені. Підставляємо отримане значення Δp_1 :

$$\begin{aligned} (\mu A) \times (2 \times 1,27 \times 43)^{1/2} + (\mu A) \times (2 \times 1,27 (43 - 42,67))^{1/2} \approx \\ \approx 0,8 \times (\mu A) \times (2 \times 1,185 (69,51 - 43))^{1/2} + \end{aligned}$$

$$+0,8 \times (\mu A) \times (2 \times 1,185(61,38 - 43))^{1/2} \approx 665,3;$$

$$11,366 (\mu A) \approx 11,621(\mu A) \approx 665,3.$$

Маємо: $(\mu A) = 58,53 \text{ м}^2$ та $\mu A = 57,25 \text{ м}^2$. Вибираємо більше значення $\mu A = 58,53 \text{ м}^2$. $A_2 = A_3 = A_4 = 0,7 \cdot 150 = 105 \text{ м}^2$. Тоді

$$A_1 = A_4 = (\mu A) \xi_1^{1/2} = 58,53 \cdot 5,2^{1/2} = 133 \text{ м}^2.$$

$$A_1 = A_4 = 0,8 (\mu A) \xi_1^{1/2} = 0,8 \cdot 58,53 \cdot 9,2^{1/2} = 142 \text{ м}^2.$$

Відповідь. Площі нижніх отворів $A_1 = A_4 = 133 \text{ м}^2$. Площі отворів ліхтаря $A_2 = A_3 = 142 \text{ м}^2$. На приплив працюють отвори 1; 4. На витяжку – 2; 3.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1 Матушкин, С.Д. Методические указания к выполнению расчетной части раздела «безопасность жизнедеятельности» в дипломном проектировании [Текст] / С.Д. Матушкин. – Новочеркасск: Южно-Российский государственный технический университет, 2002. – 20 с.












2 Егель, А.Э. Расчет естественной вентиляции [Текст] / А.Э. Егель, В.М. Воронова, М.Н. Шарипова. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2003. – 10 с.

3 Комкин, А.С. В.С. Спиридонов. Расчет систем механической вентиляции [Текст] / А.С. Комкин. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2077. – 182 с.

ДОДАТОК А

Довідкові матеріали до практичних занять

Таблиця А.1 – 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.2 – Дані для розрахунку круглих повітроводів

Діа- метр d ,мм	Питома витрата g_v , $\text{с}\cdot\text{м}^2$	λ_1/d , м^{-1}	Питомий динамічний тиск $A^*\cdot 10^6$, $\text{Па}\cdot\text{год}^2$	Діа- метр d ,мм	Питом а витрат а g_v , $\text{с}\cdot\text{м}^2$	λ_1/d , м^{-1}	Питомий динамічний тиск $A^*\cdot 10^6$, $\text{Па}\cdot\text{год}^2$
	год		м^6		год		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	0,0852 7	7,610	1600	7236,0	0,01095	0,011
355	356,4	0,0734 4	4,724	1800	9180,0	0,009652	0,0072
400	453,6	0,0632 6	2,916	2000	11304	0,008461	0,0047
450	572,4	0,0546	1,832	–	–	–	–

Таблиця А.3 – Поправки k_v на швидкість повітря v , м/с, у повітроводі

v	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	0,8591	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 головці – дробова. На перетині відповідного рядка і стовпчика знаходиться відповідне значення k_v .





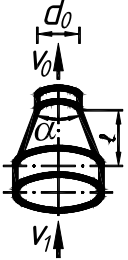

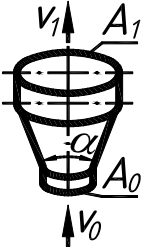



Приклади:

При $v=5,6$ м/с $k_v = 0,6501$.

Ключ показано на таблиці пунктирними лініями.

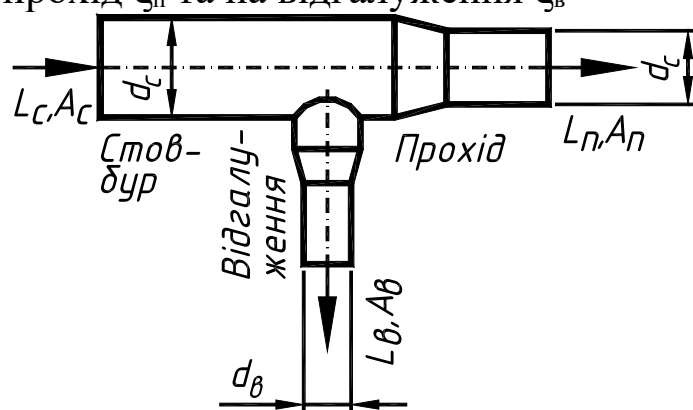
При $v = 0,5$ м/с $k_v = 1,1891$.

Таблиця А.4 – Коефіцієнти місцевих опорів

Місцевий опір	Рисунок		Коефіцієнт місцевого опору									
	Креслення	Позначення										
Група 1 Зміна напрямку потоку												
Відвідна 90°			$\xi = 0,35$									
Те ж на 135°			$\xi = 0,25$									
Група 2 Зміна швидкості потоку. (ξ □ 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	
			A_1	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 радіальним вентилятором			A_0	ξ_1 віднесено до швидкості в більшому перерізі 1 при куті α								
			—	10°	15°	20°	25°	30°				
			A_1	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 таблиці А.7												
Група 4 Вхід повітря до мережі повітроводів												
Решітка жалюзійна			$\xi = 0,5$. (При $v=4$ м/с $\Delta p = \xi \rho v^2 / 2 = 0,5 \cdot 1,2 \cdot 4^2 / 2 = 4,8$ Па)									
Група 5 Розділення та злиття потоків												

Трійник	Таблиця А. 5	T	Таблиця А.5
---------	-----------------	----------	-------------

Таблиця А.5 – Місцевий опір трійника круглого перерізу на нагнітанні на прохід $\xi_{п}$ та на відгалуження $\xi_{в}$



L_b/L_c	ξ_n при $A_n/A_c = (d_n/d_c)^2$				ξ_b при $A_b/A_c = (d_b/d_c)^2$					
	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.

Таблиця А.6 – Діаметр отворів діафрагм d_o , мм, для круглих повітроводів

ξ	Діаметр повітроводу d , мм														
	10	11	12	14	16	18	20	22	25	28	31	35	40	45	500
0,3	91	10 0	11 4	12 8	14 6	16 4	18 3	20 5	22 8	25 6	28 7	32 4	36 5	41 1	456
0,5	88	97	11 0	12 4	14 1	15 9	17 7	19 9	22 1	24 7	27 8	31 4	35 3	39 7	442
0,7	86	95	10 8	12 0	13 8	15 5	17 2	19 4	21 5	24 1	27 1	30 5	34 4	38 7	430
0,9	84	93	10 5	11 8	13 5	15 2	16 8	18 9	21 0	23 6	26 5	29 9	33 7	37 9	421
1,1	83	91	10 3	11 6	13 2	14 9	16 5	18 6	20 7	23 1	26 0	29 3	33 0	37 2	413
1,4	81	89	10 1	11 3	12 9	14 5	16 1	18 1	20 2	22 6	25 4	28 6	32 2	36 3	403
1,6	79	87	99	11 1	12 7	14 3	15 9	17 9	19 9	22 2	25 0	28 2	31 8	35 7	397
1,8	78	86	98	11 0	12 5	14 1	15 7	17 6	19 6	21 9	24 7	27 8	31 4	35 3	392
2	77	85	97	10 8	12 4	13 9	15 5	17 4	19 4	21 7	24 4	27 5	31 0	34 8	387
2,2	77	84	96	10 7	12 2	13 8	15 3	17 2	19 1	21 4	24 1	27 2	30 6	34 4	383
2,4	76	83	95	10 6	12 1	13 6	15 1	17 0	18 9	21 2	23 9	26 9	30 3	34 1	379
2,8	74	82	93	10 4	11 9	13 4	14 8	16 7	18 6	20 8	23 4	26 4	29 7	33 4	371
3,2	73	80	91	10 2	11 7	13 1	14 6	16 4	18 2	20 4	23 0	25 9	29 2	32 8	365
3,6	72	79	90	10 0	11 5	12 9	14 4	16 1	17 9	20 1	22 6	25 5	28 7	32 3	359
4	71	78	88	99	11 3	12 7	14 1	15 9	17 7	19 8	22 3	25 1	28 3	31 8	354
4,5	70	76	87	97	11 1	12 5	13 9	15 6	17 4	19 5	21 9	24 7	27 8	31 3	348

5,5	67	74	84	94	10 8	12 1	13 5	15 2	16 9	18 9	21 2	23 9	27 0	30 4	337
6,5	66	72	82	92	10 5	11 8	13 1	14 8	16 4	18 4	20 7	23 3	26 3	29 6	329
7,5	64	71	80	90	10 3	11 6	12 8	14 4	16 1	18 0	20 2	22 8	25 7	28 9	321
8,5	63	69	79	88	10 1	11 3	12 6	14 2	15 7	17 6	19 8	22 3	25 2	28 3	315
9,5	62	68	77	86	99	11 1	12 3	13 9	15 4	17 3	19 4	21 9	24 7	27 8	309
10	61	67	77	86	98	11 0	12 2	13 8	15 3	17 1	19 3	21 7	24 5	27 5	306
11	60	66	75	84	96	10 8	12 0	13 5	15 1	16 9	19 0	21 4	24 1	27 1	301
12	59	65	74	83	95	10 7	11 9	13 3	14 8	16 6	18 7	21 0	23 7	26 7	296
13	58	64	73	82	94	10 5	11 7	13 2	14 6	16 4	18 4	20 8	23 4	26 3	292
14	58	63	72	81	92	10 4	11 5	13 0	14 4	16 2	18 2	20 5	23 1	26 0	288
15	57	63	71	80	91	10 3	11 4	12 8	14 2	15 9	17 9	20 2	22 8	25 6	285

Продовження таблиці А.6

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

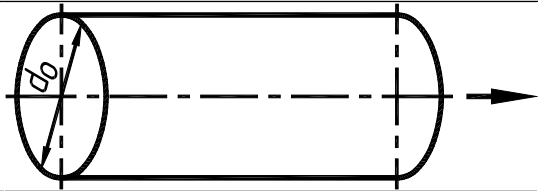
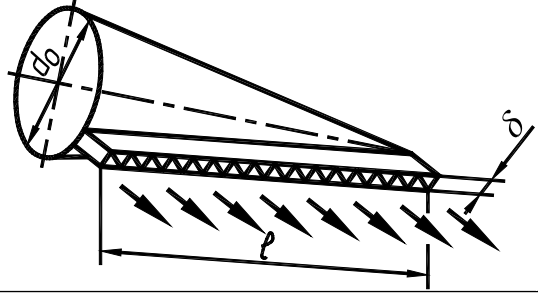
Таблиця А.6 розрахована за формулою:

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

або

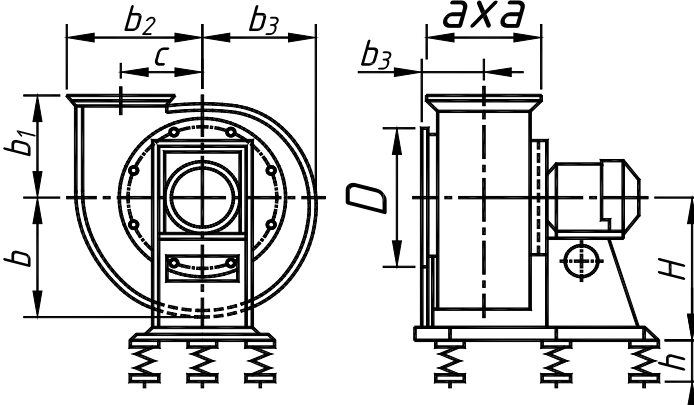
$$d_o = d \sqrt{1 - \left(\frac{\sqrt{\sqrt{\xi}(\sqrt{\xi} + 1) + 0,125} - 0,3535}{\sqrt{\xi} + 1} \right)^2}$$

Таблиця А.7 – Характеристики повітророзподільників

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

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

Таблиця А.8 – Геометричні розміри патрубок вентиляторів Ц4-70 № 5 та № 6,3

Креслення	Номер	Розмір вихідного патрубка a , мм	Діаметр вхідного патрубка D , мм
	5	350	500
	6,3	441	630

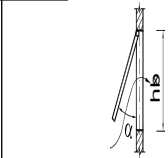
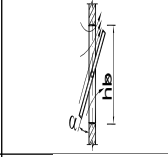
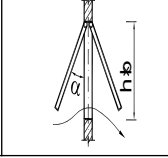
Таблиця А.9 – Таблиця аеродинамічного розрахунку мережі

	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Сумарний коефіцієнт місцевого опору $\sum \xi$	При-веде-ний до діаметру $\xi = \frac{F_{\text{опору}}}{\rho \cdot v^2 \cdot d}$	Питомий тиск $A^* \times 10^4$	Характеристика опору $S = \frac{F_{\text{опору}}}{\rho \cdot v^2}$	Втрати тиску на ділянці $\Delta P_f = \frac{\rho \cdot v^2}{2} \cdot \lambda \cdot \frac{L}{d}$	Сумарні втрати тиску магстралі $\Delta P_{\text{ме,б}}$	Втрачені відгалуженні $\Delta P_{\text{бс}}$ Па	Абсолютна невязка $\Delta p_i = \Delta P_{\text{ме}} - \Delta P_{\text{бс}}$ Па	Відносна невязка $\epsilon = \frac{\Delta p_i}{\Delta P_{\text{ме}}}$	Потрібний місцевий опір $\xi_{\text{міс}} = \frac{\Delta P_{\text{міс}}}{\rho \cdot v^2 \cdot d}$ діафрагми	Діаметр отвору d , мм	
М А Г І С Т Р А Л Ї											
В І Д Г А Л У Ж Е Н Н Я											

ПОВІТРОВОДІВ														
№ ділянки	Витрата год, тис. м ³	Довжина ділянки І, м	Потрібна швидкість v', м/с	Потрібна витрата год, тис. м ³	Прийнята витрата год, тис. м ³	Прийнята швидкість v, м/с	Фактична витрата год, тис. м ³	М ⁻¹ λ ₁ /d ₁	температура	Поправка на швидкість k _v		Поправка на шорт-кість k _Δ		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	

Таблиця А.10 – Припливні аераційні отвори

Тип стулок	Конструкція	h/b	Значення ξ при куті α				
			15°	30°	45°	60°	90°
		0,0	30,8	9,2	5,2	3,5	3,6

1 Одиарна верхньопідвісна		0,5	20,6	6,9	4,0	3,2	3,6
		1,0	16,0	5,7	3,7	3,1	-
2 Одиарна середньопідвісна		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 верхньопідвісна		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.11 – 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	

ДОДАТОК Б

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 $y = ax + b$, яке задовольняють точки (x_1, y_1) та (x_2, y_2) , то (рисунок Б.1) з нього можна знайти y , яке відповідає x . Формула лінійної інтерполяції та екстраполяції:

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

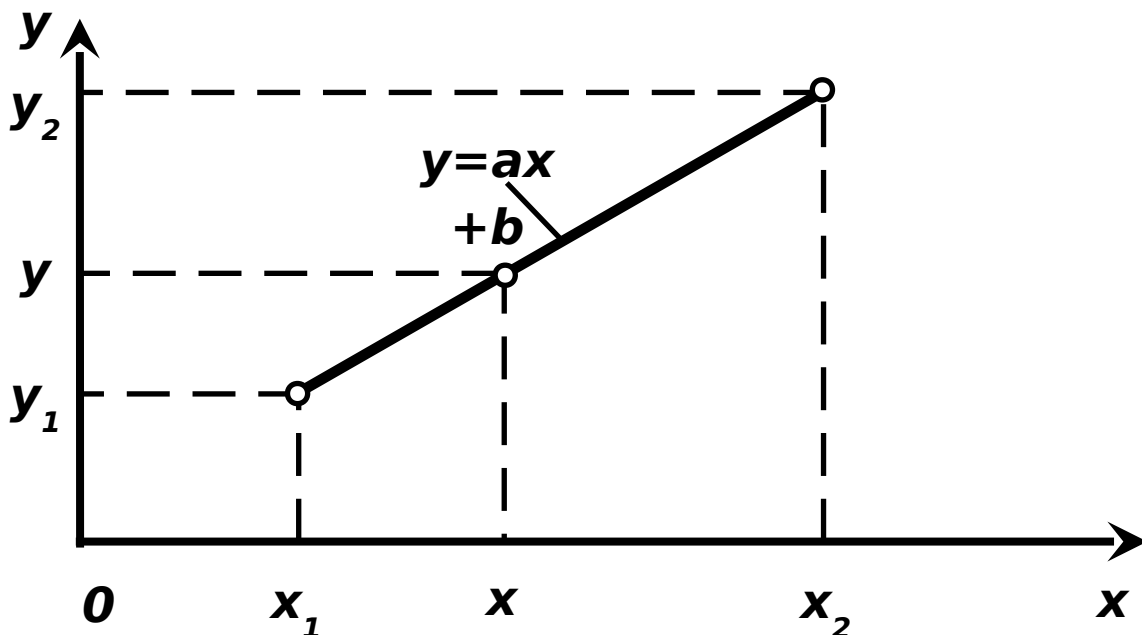


Рисунок Б.1 – Лінійна інтерполяція

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 $L_6/L_c=0,138$ та $A_6/A_c = 0,2$. Звернемо увагу, що $A_6/A_c = 0,2$ – це табличне значення (таблиця А.5), а $x = L_6/L_c=0,138$ у таблиці відсутнє. Розглянемо фрагмент таблиці А.5 з двома значеннями $x_i=L_6/L_c$, між якими знаходиться 0,2 (таблиця Б.1).

Таблиця Б.1 – 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	
$x_1=0,1$	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 . Підставляємо 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.

Приймаємо значення місцевого опору із округлюванням 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 така сама.

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 параметрів не змінює результат.

ПРИКЛАД 2

Наприклад, необхідно визначити коефіцієнт місцевого опору трійника на відгалуження при $L_6/L_c=0,138$ та $A_6/A_c = 0,161$. Звернемо увагу, що значення $L_6/L_c=0,138$ лежить у 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 (оскільки інтерполяція) знаходяться $L_6/L_c=0,138$, та сусідніми значеннями A_6/A_c , найближчими (оскільки екстраполяція) до $A_6/A_c = 0,161$ (таблиця 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

Інтерполюємо 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 $\xi_6 = 1,816$ (таблиця Б.3). Далі інтерполюємо за параметром L_6/L_c при фіксованому $A_6/A_c = 0,2$. При цьому $x_1=0,1$, $x_2=0,2$, $y_1=4,1$, $y_2=0,95$. Підставляємо значення до формули (Б.1).

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

Одержуємо, що при $A_6/A_c = 0,25$ інтерполяційне значення становить $\xi_6 = 2,903$. Для зручності зведемо одержані значення до

таблиці Б.3.

Таблиця Б.3 – Результати інтерполяції за L_B/L_C

A_g/A_c	$x_1=0,2$	$x_2=0,25$
ξ_g	$y_1=1,816$	$y_2=2,903$

Тепер екстраполюємо за параметром A_g/A_c за формулою (Б.1):

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

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

Примітки:

1 Якщо спочатку екстраполювати за A_g/A_c , а потім інтерполювати за L_B/L_C , то результат не зміниться.

2 Якщо взяти $x_2=0,2$, $y_2=1,816$, $x_1=0,25$ та $y_1=2,903$, то результат буде той самий. 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.

ДОДАТОК В

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).

Задаємось довільним значенням $\Delta p_1 = 50$ Па. Ліва частина рівняння становить 1028,6, права частина – 395,8 Па. Похибка

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

Похибка за модулем перевищує 5 %.

Задаємось другим наближенням $\Delta p_1 = 60$ Па. Ліва частина рівняння становить 1252,7, права частина – 216,3 Па. Похибка

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

Похибка за модулем перевищує 5 %.

Задаємось третім наближенням. Оскільки збільшення Δp_1 призвело до зростання похибки, то зменшуємо Δp_1 . Третє наближення беремо найменше, що задовольняє всі члени рівняння – $\Delta p_1 = 42,67$ Па. Ліва частина рівняння становить 687,1, права частина – 482,9 Па. Похибка

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

Похибка за модулем перевищує 5 %.

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

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

Переносимо 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. 6, а), тобто через цей проріз повітря видаляється.

Задаємось четвертим наближенням $\Delta p_1 = 40$ Па. Ліва частина рівняння становить 665,3, права частина – 676,9 Па. Похибка

$$\eta = \frac{1028,6 - 395,8}{1028,6} 100 = -1,75\%.$$

Похибка за модулем не перевищує 5 %.

Отже, $\Delta p_1 = 40$ Па. Похибка становить 1,75 %.

