

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Київський національний університет будівництва і архітектури

АЕРОДИНАМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ПОВІТРОВОДІВ

Методичні вказівки
до практичних занять, курсового проектування та виконання
кваліфікаційних робіт
для студентів спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія»
ОПП «Теплогазопостачання і вентиляція»

Київ 2024

УДК 697.92

A33

Укладачі: В.О. Мілейковський, докт. техн. наук, професор;
В.Р. Вахула, асистент.

Рецензент В.П. Корбут, д-р. техн. наук, професор

Відповідальний за випуск К. М. Предун, д-р екон. наук,
професор

*Затверджено на засіданні кафедри теплогазопостачання та
вентиляції, протокол № 2 від 12 серпня 2024 року.*

В авторській редакції.

Аеродинамічний розрахунок повітроводів / уклад.:
A33 Мілейковський В.О., Вахула В. Р. – Київ: КНУБА, 2024. – 60 с.

Містять рекомендації до виконання аеродинамічного розрахунку повітроводів вентиляційних систем. Наведено основні теоретичні положення, розрахункові залежності та довідкові матеріали.

Призначено для студентів денної та заочної форми навчання спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» галузі знань 19 «Архітектура та будівництво».

© КНУБА, 2024

ЗМІСТ

Загальні положення.....	3
1. Методика аеродинамічного розрахунку повітроводів за методом питомих втрат тиску за довжиною.....	4
2. Алгоритм автоматизованого аеродинамічного розрахунку повітроводів.....	11
Література.....	17
ДОДАТКИ.....	18
Додаток А. Таблиці для розрахунку повітроводів за рівнянням Колбрука-Уайта, температура 20,0 °С.....	18
Додаток Б. Еквівалентна шорсткість матеріалів.....	40
Додаток В. Поправки на температуру.....	41
Додаток Г. Коефіцієнти місцевого опору.....	43
Додаток Д. Теоретичні основи аеродинамічного розрахунку повітроводів.....	55

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Вентиляція призначена для створення та підтримання нормативних параметрів повітряного середовища у приміщеннях будівель різного призначення. Системи вентиляції повинні подавати проектну витрату зовнішнього повітря або його суміші з рециркуляційним. Пряма задача аеродинамічного розрахунку, розглянута в даних методичних вказівках, полягає у визначенні потрібних типорозмірів ділянок мережі повітроводів, загальних втрат тиску в цій мережі для підбирання нагнітача та ув'язуванні тисків у відгалуженнях для забезпечення проектних витрат повітря за відомими конфігурацією мережі повітроводів і витратах повітря в повітророзподільних або витяжних пристроях.

У даних методичних розглянуто методом питомих втрат тиску за довжиною, а також безпосередній розрахунок за формулою Дарсі-Вейсбаха у системах електронних таблиць. Визначення коефіцієнта опору тертя Дарсі передбачено за загальновизнаним у світі рівнянням Колбрука-Уайта з використанням найточнішої на сьогодні апроксимації, яка отримана в КНУБА. При цьому оновлено таблиці для аеродинамічного розрахунку повітроводів відповідно до зазначеного рівняння, що доступні за посиланням <https://cutt.ly/Oel2o5im>.

1. МЕТОДИКА АЕРОДИНАМІЧНОГО РОЗРАХУНКУ ПОВІТРОВОДІВ ЗА МЕТОДОМ ПИТОМИХ ВТРАТ ТИСКУ ЗА ДОВЖИНОЮ

Перед розрахунком креслять розрахункову схему в аксонометрії в А4 у довільному мірилі. При цьому намагаються максимально зберегти мірило, але так, щоб не втратити наочність (схеми на кресленнях наводять суворо зі збереженням мірила, але на них не наносять усю розрахункову інформацію). Розрахункову схему обов'язково наводять у розрахунково-пояснювальній записці. Якщо мережа складна і розгалужена, її розрахункову схему наводять на форматі А3 і складають до А4, щоб її можна було легко розгорнути-згорнути. Далі починають розрахунок.

1. Мережу розбивають на ділянки з незмінною витратою і перерізом. Межі ділянок – трійники, повітророзподільники, витяжні пристрої й вентилятор;

2. Вибирають магістраль, тобто найдовший і найбільш навантажений шлях повітря;

3. Нумерують ділянки. Починають нумерувати ділянки від кінця магістралі до її початку, а потім відгалуження в такому ж напрямку. Відгалуження від відгалужень нумерують аналогічно в наступну чергу тощо. Номери ділянок виставляють у колах на кінцях виносок від кожної ділянки;

4. Визначають витрати повітря на магістральних ділянках, тобто ділянках без повітророзподільників і витяжних пристроїв (не плутати з магістраллю). Починають з ділянок біля ділянок-відгалужень (з повітророзподільниками або витяжними пристроями). Для кожної такої ділянки витрата повітря дорівнює сумі витрат потоків, на які розділяється потік даної ділянки (або для витяжних систем – суму витрат потоків, що з'єднуються у даній ділянці). Одержані числа наносять на схему у м³/год без зазначення розмірності та знака рівності (L1250, L3500). Також на схему наносять довжину кожної ділянки у метрах за тим же правилом з заокругленням до 0,1 м або 0,01 м (13,3, 11,0);

5. Створюють таблицю аеродинамічного розрахунку (табл. 1) і переносять дані з розрахункової схеми до неї;

Таблиця 1

**Таблиця аеродинамічного розрахунку за методом питомих втрат тиску
за довжиною з використанням діаграми або таблиці підбору
повітроводів**

1	Номер ділянки	
2	Витрата L , м ³ /год	
3	Довжина l , м	
4	Потрібна швидкість v' , м/с	
5	Фактична швидкість v , м/с	
6	Діаметр або еквівалентний діаметр D, d_e , м	
7	a , м	Розміри прямо- кутного перерізу*
8	b , м	
9	Питомі втрати тиску за довжиною R , Па/м	
10	Динамічний тиск, P_0 , Па	
11	k_1	Поправка на температуру
12	k_2	
13	Сума коефіцієнтів місцевих опорів (к.м.о) $\Sigma\zeta$	
14	Серед них відкритого регулювального пристрою (р.п.) $\zeta_{0,s}^{**}$	
15	Сума додаткових втрат тиску на місцевий опір $\Sigma\Delta p_s$, Па	
16	Втрати тиску за довжиною $R \cdot l \cdot k_1$, Па	
17	Втрати тиску на місцеві опори Z , Па	
18	Загальні втрати тиску Δp , Па	
19	Втрати тиску на магістралі $\Sigma\Delta p_{me}$, Па	
20	Втрати тиску на відгалуженні Δp_e , Па	
21	Абсолютна нев'язка $H = \Sigma\Delta p_{me} - \Delta p_e$	
22	Відносна нев'язка ε , %	
23	К. м.о. регулювального пристрою ζ_0	
24	Положення р.п., ° чи мм / діаметр отвору діафрагми, мм***	
Магістраль		
Відгалуження		

* Для круглого перерізу поставити риску

** Для діафрагми приймати нуль

*** Непотрібне викреслити або лишити лише потрібне

6. Задаються потрібною швидкістю повітря v' , м/с, на ділянках (табл. 1): на ділянках-відгалуженнях з повітророзподільними або повітрозабірними пристроями до 5 м/с, на магістральних ділянках без таких пристроїв – до 8 м/с. Швидкість має плавно згасати в напрямку від вентилятора. Це дозволяє зменшити втрати тиску в трійниках і хрестовинах;

7. За таблицею (додаток А чи <https://cutt.ly/Oel2o5im>) або номограмою визначають потрібний розмір перерізу повітроводу D , м, або $a \times b$, м, та еквівалентний діаметр d_e , м, фактичну швидкість v , м/с, динамічний тиск повітря P_d , Па та питомі втрати тиску за довжиною R , Па/м. Для неметалевих повітроводів використовують за наявності відповідну таблицю або вносять у таблицю на сторінці <https://cutt.ly/Oel2o5im> еквівалентну шорсткість з додатку Б. За таблицею (рис. 1) спочатку в першому стовпці знаходять потрібну швидкість і рухаються праворуч до найближчої більшої (якщо потрібна швидкість максимально допустима) або найближчої (якщо потрібна швидкість не є максимально допустимою) витрати. Далі рухаються, відповідно, вгору до досягнення найближчої більшої або вгору чи вниз до досягнення найближчої швидкості. З отриманої клітинки виписують питомі втрати тиску за довжиною до стовпця 9 табл. 1. З відповідного головки виписують розмір(и) перерізу повітроводу в стовпець 6 або 7 і 8, а з боковика – дійсну швидкість і динамічний тиск у стовпці 5 і 10 табл. 1;

8. При відхиленні температури повітря від 20 °С приймають за додатком В. поправки на температуру k_1 і k_2 . і заносять до стовпців 11 і 12;

9. Визначають коефіцієнти місцевих опорів за додатком Г та їхню суму на ділянках і заносять до стовпця 13. За наявності регулювального пристрою (шибер, дросель-клапан), на даному етапі його вважають повністю відкритим і враховують відповідний коефіцієнт місцевого опору ζ_{0s} . Якщо окремі місцеві опори мають номограми для визначення втрат тиску, а не коефіцієнт місцевого опору, то їхню суму $\Sigma \Delta p_{\zeta}$, Па, вносять до стовпця 15;

10. Підраховують втрати тиску за довжиною $R \cdot l \cdot k_1$, Па, і заносять до стовпця 16;

11. Підраховують втрати тиску на місцеві опори

$$Z = (\Sigma \zeta \cdot P_d + \Sigma \Delta P_{\zeta}) \cdot k_2, \text{ Па}, \quad (1)$$

Швид- кість, м/с, дин. тиск, Па	Витрата, м ³ /год (перший рядок), та питомі втрати тиску, Па/м (другий рядок), в повітроводах розмірами, мм (перший рядок), площею, 10 ³ м ² (другий рядок), і еквівалентним діаметром, мм (третій рядок)															
	Ø100	Ø112	Ø125	Ø140	Ø160	Ø180	Ø200	Ø224	Ø250	Ø280	Ø315	Ø355	Ø400	Ø450	Ø500	
4,6	7,85	9,85	12,3	15,4	20,1	25,4	31,4	39,4	49,1	61,6	77,9	99,0	126	159	196	
12,7	100	112	125	140	160	180	200	224	250	280	315	355	400	450	500	
4,6	130	163	203	255	333	421	520	653	813	1020	1291	1639	2081	2634	3252	
12,7	3,30	2,87	2,50	2,17	1,84	1,59	1,39	1,21	1,06	0,920	0,797	0,688	0,595	0,515	0,453	
4,7	133	167	208	260	340	431	532	667	831	1042	1319	1675	2126	2691	3322	
13,3	3,44	2,98	2,60	2,26	1,91	1,65	1,45	1,26	1,10	0,958	0,829	0,716	0,619	0,536	0,472	
4,8	136	170	212	266	347	440	543	681	848	1064	1347	1710	2171	2748	3393	
13,9	3,57	3,10	2,70	2,35	1,99	1,72	1,51	1,31	1,14	0,995	0,862	0,744	0,644	0,558	0,491	
4,9	139	174	216	272	355	449	554	695	866	1086	1375	1746	2217	2806	3464	
14,5	3,71	3,22	2,81	2,44	2,06	1,78	1,56	1,36	1,19	1,03	0,895	0,773	0,669	0,579	0,510	
5	141	177	221	277	362	458	565	709	884	1108	1403	1782	2262	2863	3534	
15,1	3,85	3,34	2,91	2,53	2,14	1,85	1,62	1,41	1,23	1,07	0,929	0,803	0,694	0,601	0,529	
5,1	144	181	225	283	369	467	577	724	901	1131	1431	1817	2307	2920	3605	
15,7	3,99	3,46	3,02	2,62	2,22	1,92	1,68	1,46	1,28	1,11	0,964	0,833	0,720	0,624	0,549	
5,2	147	184	230	288	376	476	588	738	919	1153	1459	1853	2352	2977	3676	
16,3	4,14	3,59	3,13	2,72	2,30	1,99	1,75	1,52	1,33	1,15	0,999	0,863	0,746	0,647	0,569	
5,3	150	188	234	294	384	486	599	752	937	1175	1487	1889	2398	3035	3746	
16,9	4,29	3,72	3,24	2,81	2,38	2,06	1,81	1,57	1,37	1,20	1,04	0,894	0,773	0,670	0,590	
5,4	153	192	239	299	391	495	611	766	954	1197	1515	1924	2443	3092	3817	
17,6	4,44	3,85	3,36	2,91	2,47	2,13	1,87	1,63	1,42	1,24	1,07	0,926	0,801	0,694	0,610	
5,5	156	195	243	305	398	504	622	780	972	1219	1543	1960	2488	3149	3888	
18,2	4,59	3,98	3,47	3,01	2,55	2,21	1,94	1,68	1,47	1,28	1,11	0,958	0,828	0,718	0,632	

12345 – потрібна швидкість 5 м/с є максимально допустимою; витрата повітря 2680 м³/год;
 ABCDE – потрібна швидкість 5,5 м/с не є максимально допустимою, витрата 3700 м³/год

Рис. 1. Ключ до таблиці аеродинамічного розрахунку:

12345 – потрібна швидкість 5 м/с є максимально допустимою; витрата повітря 2680 м³/год;

ABCDE – потрібна швидкість 5,5 м/с не є максимально допустимою, витрата 3700 м³/год

і заносять до стовпця 17;

12. Визначають втрати тиску Δp_i , Па, на кожній ділянці за формулою

$$\Delta P = R_0 \cdot k_1 \cdot l + Z, \text{ Па}, \quad (2)$$

і заносять до стовпця 18;

13. Обчислюють втрати тиску за магістраллю $\Delta p_{мг}$ від її повітророзподільника або повітрозабірного пристрою на ділянці 1: втрати тиску від кінцевого пристрою магістралі до трійника ділянки 1 дорівнюють втратам тиску на ділянці 1, а далі на кожній наступній ділянці додаються її втрати тиску:

$$\Delta P_{мг,i} = \begin{cases} \Delta P_i, & i=1; \\ \Delta P_i + \sum_{j=1}^i \Delta P_{мг,i-1}, & i>1. \end{cases}, \text{ Па}, \quad (3)$$

а результат заносять до стовпця 19;

14. У стовпці 20–24 на ділянках магістралі заносять rischi. Аналогічно розраховують кожен другорядну магістраль з відгалуженнями від відгалужень. Заносять до стовпця 20 втрати тиску у відгалуженнях;

15. Визначають 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 розрегулювання не буде відчутним. Абсолютну нев'язку визначають як різницю між втратами тиску на магістралі до точки приєднання відгалуження та втратами тиску у відгалуженні

$$\Delta P_i = \Delta P_{мг,i} - \Delta P_{в,i}, \text{ Па}, \quad (4)$$

і заносять до стовпця 21. Якщо нев'язка від'ємна, то збільшують діаметр відгалуження і перераховують відповідний рядок табл. 1;

16. Визначають відносні нев'язки втрат тисків у відсотках

$$\varepsilon = 100 \Delta P_{e,i} / \Delta P_{m2,i}, \% \quad (5)$$

і заносять до стовпця 22 табл. 1;

17. На відгалуженнях, де відносна нев'язка перевищує 10 %, визначають потрібний додатковий коефіцієнт місцевого опору регулювального пристрою (дросель-клапана, шибера або діафрагми) з урахуванням його значення $\zeta_{0,s}$ при повному відкритті (для діафрагм $\zeta_{0,s} = 0$):

$$\zeta_0 = \frac{\Delta P_i}{P_0} + \zeta_{0,s} \quad (6)$$

який вносять до стовпця 23;

18. Вибирають положення (налаштування) регулювального пристрою – дросель-клапана, шибера або отвору діафрагми за дод. В; Рекомендуються авторські апроксимаційні формули:

- для положення дросель-клапана (кута пластини відносно осі повітроводу) в круглому повітроводі в межах $0 \dots 90^\circ$ з відхиленням до $0,68^\circ$

$$\alpha = (19,5987 + 14,5792 \cdot \kappa) \cdot \kappa^2, \quad \kappa = \arctg((\zeta - 0,6)^{0,27}); \quad (7)$$

де \arctg – функція арктангенса, що повертає значення в радіанах;

- для положення дросель-клапана (кута пластини відносно осі повітроводу) в прямокутному повітроводі в межах $0 \dots 90^\circ$ з відхиленням до $0,68^\circ$

$$\alpha = \begin{cases} (23,553 + 9,7896 \cdot \kappa) \cdot \kappa^2, & \kappa \leq 1,45978; \\ (23,553 + 9,7896 \cdot \kappa) \cdot \kappa^2 + [3,8359 \cdot 10^{-11} \cdot (\kappa - 1,45978)^3], & \kappa > 1,45978; \end{cases}$$

$$\kappa = \arctg((\zeta - 0,04)^{0,3}), \quad (8)$$

де поправка у квадратних дужках враховує вплив нещільного примикання диска і вводиться при $\zeta \geq 1500$, що відповідає значенню κ у формулі (16);

- для положення шибера в круглому повітроводі як відношення висоти проходу до діаметра h/D з відхиленням до 1,93 % при $\zeta_0 \leq 35$ та $\zeta = \infty$

$$\begin{aligned} h/D &= 1 - (2.8157 + (0.95778 \cdot \kappa - 2.7434) \cdot \kappa) \cdot \kappa^2 / 1.03008, \\ \kappa &= 1 - (1 / (1 + \zeta_0^{0.45})); \end{aligned} \quad (9)$$

- для положення шибера в прямокутному повітроводі як відношення висоти проходу до довжини повного ходу (занурення) пластини h/b з відхиленням до 1,37 % при $\zeta_0 \leq 203$ та $\zeta = \infty$

$$\begin{aligned} h/d_e &= 1 - (0.005 + (4.7446 - 3.4351 \cdot \kappa) \cdot \kappa) \cdot \kappa^2 / 1.3145, \\ \kappa &= 1 - (1 / (1 + \zeta_0^{0.38})); \end{aligned} \quad (10)$$

- для відношення площі отвору діафрагми до площі перерізу повітроводу (розбіжність з табличними даними до 0,35 %)

$$\frac{f}{F} = \frac{\sqrt{8(\sqrt{\zeta_0+1})\sqrt{\zeta_0+1}+4\sqrt{\zeta_0+3}}}{4(\sqrt{\zeta_0+1})^2}, \quad (11)$$

а одержаний результат вносять до стовпця 24;

19. Наносять одержані дані на розрахункову схему.

Отримані налаштування є попередніми і вимагатимуть корекції при пусконаладжувальних роботах. Адже аеродинамічні та гідравлічні розрахунки є неточними через неврахування взаємодії місцевих опорів та сильної залежності втрат тиску в трійниках і хрестовинах від похибок виготовлення. На сьогодні у розгалужених мережах повітроводів переважно використовують дросель-клапани. На ділянці магістралі з кінцевим пристроєм теж встановлюють регулювальний пристрій для полегшення налаштування системи.

Теоретичні основи розрахунку наведено в додатку Д

2. АЛГОРИТМ АВТОМАТИЗОВАНОГО АЕРОДИНАМІЧНОГО РОЗРАХУНКУ ПОВІТРОВОДІВ

При використанні електронних таблиць розрахунок виконують без уведення поправок. Перед розрахунком також креслять розрахункову схему в аксонометрії в А4 у довільному мірлі. При цьому намагаються максимально зберегти мірло, але так, щоб не втратити наочність (схеми на кресленнях наводять суворо зі збереженням мірла, але на них не наносять усю розрахункову інформацію). Розрахункову схему також обов'язково наводять у розрахунково-пояснювальній записці. Якщо мережа дуже складна і розгалужена, її розрахункову схему теж можна навести на форматі А3 і скласти до А4, щоб її можна було легко розгорнути-згорнути. Далі починають розрахунок.

1. Мережу розбивають на ділянки з незмінною витратою і перерізом. Межі ділянок – трійники, повітророзподільники (повітрозабірні пристрої) й вентилятор;

2. Вибирають магістраль – найдовший і найбільш навантажений шлях;

3. Нумерують ділянки. Починають нумерувати ділянки від кінця магістралі до її початку, а потім відгалуження в такому ж напрямку. Відгалуження від відгалужень нумерують аналогічно в наступну чергу тощо. Нумери ділянок виставляють у колах на кінцях виносок від кожної ділянки;

4. Визначають 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). Одержані числа наносять на схему у м³/год без зазначення розмірності та знака рівності (L1250, L3500). Також на схему наносять довжину кожної ділянки у метрах за тим же правилом з заокругленням до 0,1 м або 0,01 м (13,3, 11,0);

5. У програмі електронних таблиць створюють таблицю аеродинамічного розрахунку (табл. 2) і переносять дані з розрахункової схеми до неї, при цьому вносять і температуру повітря;

6. Розраховують густину та коефіцієнт кінематичної в'язкості повітря в стовпцях 5 і 6 залежно від температури повітря t , °С, за формулами, відповідно:

Таблиця 2

Електронна таблиця аеродинамічного розрахунку за методом питомих втрат тиску за довжиною з використанням електронних таблиць

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1																
	Номер ділянки	Витрата L, м³/год	Довжина l, м	Температура, °C	Густина повітря ρ, кг/м³	Коеф. кінематичної в'язкості ν, м²/с	Потрібна швидкість v', м/с	Потрібна площа перерізу F', м²	Потрібний діаметр D', м	Фактичний діаметр D, м*	Розміри прямокутного перерізу**		Коефіцієнт еквівалентної шорсткості k_e, м	Площа F, м²	Еквівалентний діаметр d_e, м/с	Фактична швидкість v, м/с
2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
3	МАГІС															
4																
5																
6	ВІДГАЛ															
7																

* Для прямокутного перерізу поставити риску ("—")

** Для круглого перерізу поставити риску ("—")

Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG
17	Динамічний тиск, P_o , Па															
18	Число Рейнольдса Re															
19	Відносна еквівалентна шорсткість k_e/d															
20	a_0														Параметри апроксимації рівняння Колбрука-Уайта	
21	a_1															
22	Коефіцієнт опору тертя λ за рівнянням Колбрука-Уайта															
23	Поправка на температуру k_2															
24	Сума коефіцієнтів місцевих опорів (к.м.о.) $\Sigma\zeta$															
25	Серед них відкритого регулювального пристрою $\zeta_{0,0}$ (для діафрагми 0)															
26	Сума додаткових втрат тиску на місцевий опір $\Sigma\Delta p_\zeta$, Па															
27	Втрати тиску на ділянці Δp , Па															
28	Втрати тиску на магістралі $\Sigma\Delta p_{мз}$ Па															
29	Втрати тиску на відгалуженні $\Sigma\Delta p_v$ Па															
30	Абсолютна нев'язка H , Па															
31	Відносна нев'язка ε , %															
32	К.м.о. регулювального пристрою ζ_0															
33	Положення регулювального пристрою															
Якщо $\varepsilon > 10\%$																

Т Р А Л Ь																
У Ж Е Н Н Я																

$$\rho = \frac{353}{273,15+t}, \text{ кг/м}^3; \quad (12)$$

$$v = ((0,001275 t + 0,8852) t + 134,11) \cdot 10^{-7}, \text{ м}^2/\text{с}; \quad (13)$$

7. Задаються потрібною швидкістю повітря v' , м/с, на ділянках і заносять її до стовпця 7: на ділянках-відгалуженнях з повітророзподільними або повітрозабірними пристроями до 5 м/с, на магістральних ділянках без таких пристроїв – до 8 м/с. Швидкість має плавно згасати в напрямку від вентилятора. Це дозволяє зменшити втрати тиску в трійниках і хрестовинах;

8. У стовпцях 8 і 9 розраховують потрібну площу перерізу, м^2 , та потрібний діаметр, м, за відповідними формулами:

$$F' = \frac{L}{3600 \cdot v'}, \text{ м}^2; \quad (14)$$

$$D' = \sqrt{\frac{4 F'}{\pi}} = 1,128 \sqrt{F'}, \text{ м}; \quad (15)$$

9. З сортаменту повітроводів вибирають потрібний типорозмір D або $a \times b$, м, і заносять його до стовпця 10 або 11-12;

10. Уводять відповідний коефіцієнт еквівалентної шорсткості k_e , м, за додатком В до стовпця 13;

11. Визначають площу перерізу у стовпці 14. Для круглого і прямокутного перерізів, відповідно,

$$F = \frac{\pi \cdot D^2}{4}, \text{ м}; \quad (16)$$

$$F = a \cdot b, \text{ м}. \quad (17)$$

Для автоматизації вибору формули з головку можна скористатися функціями ЕСЛИ або IF та ЕЧИСЛО або ISNUMBER. Остання істинна якщо в клітині введено число.

12. Визначають еквівалентний діаметр у стовпці 15. Для круглого і прямокутного перерізів, відповідно,

$$d_e = D, \text{ м}; \quad (18)$$

$$d_e = \frac{2 \cdot a \cdot b}{a + b}, \text{ м}; \quad (19)$$

Для автоматизації вибору формули з головку можна скористатися тими ж функціями ЕСЛИ або IF та ЕЧИСЛО або ISNUMBER;

13. Визначають фактичну швидкість у повітроводі

$$v = \frac{L}{3600 \cdot F}, \text{ м/с}, \quad (20)$$

і заносять у стовпець 16;

14. У стовпці 17 підраховують число Рейнольдса

$$Re = \frac{v \cdot d_e}{\nu}; \quad (21)$$

15. У стовпці 18 підраховують динамічний тиск

$$P_\delta = \frac{\rho \cdot v^2}{2}, \text{ Па}; \quad (22)$$

16. У стовпці 19 підраховують відносну еквівалентну шорсткість k_e/d_e ;

17. У стовпцях 20 і 21 підраховують параметри апроксимації розв'язку рівняння Колбрука-Уайта

$$a_0 = -0,79638 \ln \left(\frac{k_e/d_e}{8,208} + \frac{7,3357}{Re} \right); \quad (23)$$

$$a_1 = Re \frac{k_e}{d_e} + 9,3120665 a_0; \quad (24)$$

18. У стовпці 22 визначають коефіцієнт опору тертя за апроксимацією розв'язку рівняння Колбрука-Уайта

$$\lambda = \left(\frac{8,128943 + a_1}{8,128943 a_0 - 0,86859209 a_1 \ln \left(\frac{a_1}{3,7099535 Re} \right)} \right)^2; \quad (25)$$

19. Визначають поправку на температуру для місцевих опорів k_2 за формулою (В.3) додатку В та заносять до стовпця 23;

20. Визначають суми коефіцієнтів місцевих опорів на ділянках і заносять до стовпця 24, а коефіцієнт місцевого опору регульовального пристрою окремо заносять до стовпця 25. Якщо для певних місцевих опорів надано номограми для визначення втрат тиску, їхню суму $\Sigma \Delta p_\zeta$, Па, заносять до стовпця 26;

21. Підраховують втрати тиску на кожній ділянці у стовпці 27 за формулою Дарсі-Вейсбаха з урахуванням додаткових втрат тиску

$$\Delta P = \left(\frac{\lambda}{d_e} \cdot l + \Sigma \zeta \right) \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2} + \Sigma \Delta p_\zeta \cdot k_2, \text{ Па}; \quad (26)$$

на випадок відсутності $\Sigma \Delta p_\zeta$ користуються функцією IF або ЕСЛИ та ISNUMBER або ЕЧИСЛО, щоб у випадку відсутності прийняти нуль;

22. Обчислюють втрати тиску за магістраллю Δp_{mg} від її повітродозподільника або повітрозабірною пристрою на ділянці 1: втрати тиску від кінцевого пристрою магістралі до трійника ділянки 1 дорівнюють втратам тиску на ділянці 1, а далі на кожній наступній ділянці додаються її втрати тиску відповідно до формули (3). Відповідні результати заносять до стовпця 28. Аналогічно розраховують кожен другорядну магістраль з відгалуженнями від відгалужень;

23. У стовпець 29 на ділянках магістралей заносять риси. У стовпці 30-33 можна або занести риси або ввести формули з використанням функцій ЕСЛИ або IF та ЕЧИСЛО або ISNUMBER для автоматичного відображення рисок за відсутності числових даних у стовпці 29;

24. Заносять до стовпця 29 таблиці аеродинамічного розрахунку втрати тиску у відгалуженнях (як посилання на відповідні клітинки);

25. Визначають потрібні втрати тиску на відгалуженнях. Втрати тиску у кожному відгалуженні повинні дорівнювати втратам тиску від кінця (повітророзподільного або витяжного пристрою) відповідної головної або другорядної магістралі до точки приєднання відгалуження. Ці потрібні втрати заносять до стовпчика 28 (як посилання на відповідну клітинку);

26. Визначають абсолютні та відносні нев'язки втрат тисків у стовпцях 30-31 за формулами (4) і (5);

27. На відгалуженнях, де відносна нев'язка перевищує 10 %, визначають потрібний додатковий коефіцієнт місцевого опору регульовального пристрою за формулою (6) та його положення за апроксимаційними формулами (7-11) або додатком Г і вносять до стовпців 32 і 33;

28. Наносять одержані дані на розрахункову схему.

Теоретичні основи розрахунку наведено в додатку Д.

ЛІТЕРАТУРА

1. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. - [Чинні від 2014-01-01]. Київ: Укрархбудінформ, 2014.- 149 с.
2. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Будівельна кліматологія. - [Чинні від 2011-10-10]. Київ: ДП „Укрархбудінформ”, 2011.- 123 с.
3. ДСТУ EN 16798-3:2019. Енергоефективність будівель. Вентиляція будівель. Частина 3. Вентиляція в нежитлових будівлях. Експлуатаційні вимоги до систем вентиляції та кондиціонування повітря в приміщенні [Чинні від 01.01.2020]. Київ: Укрархбудінформ, 2019. 142 с.
4. Tkachenko T., Mileikovskiy V. Precise Explicit Approximations of the Colebrook-White Equation for Engineering Systems. Proceedings of EcoComfort 2020. – Lecture Notes in Civil Engineering. 2021. – Vol. 100. – P.303-310. ISSN: 2366-2557. https://doi.org/10.1007/978-3-030-57340-9_37

ДОДАТКИ

Додаток А. Таблиці для розрахунку повітроводів за рівнянням Колбрука-Уайта, температура 20,0 °С

Таблиця А.1

Таблиця для розрахунку круглих сталевих повітроводів (еквівалентна шорсткість 0,1 мм)

v, м/с, P ₀ , Па	Витрата, м ³ /год (перший рядок) та питомі втрати тиску, Па/м (другий рядок) у повітроводах діаметром, мм																				
	100	112	125	140	160	180	200	224	250	280	315	355	400	450	500	560	630	710	800	900	1000
0,1 ,006	2,83 ,006	3,55 ,005	4,42 ,004	5,54 ,003	7,24 ,002	9,16 ,002	11,3 ,001	14,2 ,001	17,7 ,001	22,2 ,001	28,1 ,001	35,6 ,001	45,2 ,001	57,3 ,001	70,7 ,001	88,7 ,000	112 ,000	143 ,000	181 ,000	229 ,000	283 ,000
0,2 ,024	5,65 ,012	7,09 ,009	8,84 ,008	11,1 ,006	14,5 ,005	18,3 ,006	22,6 ,006	28,4 ,005	35,3 ,004	44,3 ,004	56,1 ,003	71,3 ,003	90,5 ,002	115 ,002	141 ,002	177 ,001	224 ,001	285 ,001	362 ,001	458 ,001	565 ,001
0,3 ,054	8,48 ,018	10,6 ,014	13,3 ,020	16,6 ,018	21,7 ,015	27,5 ,013	33,9 ,011	42,6 ,009	53,0 ,008	66,5 ,007	84,2 ,006	107 ,005	136 ,005	172 ,004	212 ,003	266 ,003	337 ,003	428 ,002	543 ,002	687 ,002	848 ,001
0,4 ,096	11,3 ,045	14,2 ,038	17,7 ,033	22,2 ,029	29,0 ,024	36,6 ,021	45,2 ,018	56,7 ,016	70,7 ,014	88,7 ,012	112 ,010	143 ,009	181 ,007	229 ,006	283 ,006	355 ,005	449 ,004	570 ,004	724 ,003	916 ,003	1131 ,002
0,5 ,151	14,1 ,065	17,7 ,056	22,1 ,049	27,7 ,042	36,2 ,035	45,8 ,030	56,5 ,027	70,9 ,023	88,4 ,020	111 ,017	140 ,015	178 ,013	226 ,011	286 ,009	353 ,008	443 ,007	561 ,006	713 ,005	905 ,005	1145 ,004	1414 ,004
0,6 ,217	17,0 ,089	21,3 ,077	26,5 ,067	33,3 ,058	43,4 ,048	55,0 ,042	67,9 ,036	85,1 ,032	106 ,027	133 ,024	168 ,020	214 ,018	271 ,015	344 ,013	424 ,011	532 ,010	673 ,009	855 ,007	1086 ,006	1374 ,006	1696 ,005
0,7 ,295	19,8 ,116	24,8 ,100	30,9 ,087	38,8 ,075	50,7 ,063	64,1 ,055	79,2 ,048	99,3 ,041	124 ,036	155 ,031	196 ,027	249 ,023	317 ,020	401 ,017	495 ,015	621 ,013	786 ,011	998 ,010	1267 ,008	1603 ,007	1979 ,006

v, м/с, P _{до} , Па	Витрата, м ³ /год (перший рядок) та питомі втрати тиску, Па/м (другий рядок) у повітроводах діаметром, мм																				
	100	112	125	140	160	180	200	224	250	280	315	355	400	450	500	560	630	710	800	900	1000
0,8 ,385	22,6 ,146	28,4 ,126	35,3 ,110	44,3 ,095	57,9 ,080	73,3 ,069	90,5 ,060	113 ,052	141 ,045	177 ,039	224 ,034	285 ,029	362 ,025	458 ,022	565 ,019	709 ,017	898 ,014	1140 ,012	1448 ,011	1832 ,009	2262 ,008
0,9 ,488	25,4 ,180	31,9 ,155	39,8 ,135	49,9 ,117	65,1 ,098	82,4 ,085	102 ,074	128 ,064	159 ,056	200 ,048	252 ,042	321 ,036	407 ,031	515 ,027	636 ,024	798 ,020	1010 ,018	1283 ,015	1629 ,013	2061 ,011	2545 ,010
1,0 ,602	28,3 ,216	35,5 ,187	44,2 ,162	55,4 ,140	72,4 ,118	91,6 ,102	113 ,089	142 ,077	177 ,067	222 ,058	281 ,050	356 ,043	452 ,037	573 ,032	707 ,028	887 ,025	1122 ,021	1425 ,018	1810 ,016	2290 ,014	2827 ,012
1,1 ,729	31,1 ,255	39,0 ,221	48,6 ,192	61,0 ,166	79,6 ,140	101 ,121	124 ,106	156 ,092	194 ,080	244 ,069	309 ,060	392 ,051	498 ,044	630 ,038	778 ,034	975 ,029	1234 ,025	1568 ,022	1991 ,019	2519 ,016	3110 ,014
1,2 ,867	33,9 ,297	42,6 ,257	53,0 ,223	66,5 ,193	86,9 ,163	110 ,141	136 ,123	170 ,107	212 ,093	266 ,081	337 ,070	428 ,060	543 ,052	687 ,045	848 ,039	1064 ,034	1347 ,030	1710 ,026	2171 ,022	2748 ,019	3393 ,017
1,3 1,02	36,8 ,342	46,1 ,296	57,4 ,257	72,0 ,223	94,1 ,188	119 ,162	147 ,142	184 ,123	230 ,107	288 ,093	365 ,080	463 ,069	588 ,060	744 ,052	919 ,045	1153 ,039	1459 ,034	1853 ,029	2352 ,025	2977 ,022	3676 ,019
1,4 1,18	39,6 ,390	49,7 ,337	61,9 ,293	77,6 ,254	101 ,214	128 ,185	158 ,162	199 ,140	247 ,122	310 ,106	393 ,092	499 ,079	633 ,068	802 ,059	990 ,052	1241 ,045	1571 ,039	1995 ,034	2533 ,029	3206 ,025	3958 ,022
1,5 1,35	42,4 ,440	53,2 ,381	66,3 ,331	83,1 ,287	109 ,242	137 ,209	170 ,183	213 ,159	265 ,138	333 ,120	421 ,104	534 ,090	679 ,077	859 ,067	1060 ,059	1330 ,051	1683 ,044	2138 ,038	2714 ,033	3435 ,029	4241 ,025

v, м/с, P _{до} , Па	Витрата, м ³ /год (перший рядок) та питомі втрати тиску, Па/м (другий рядок) у повітроводах діаметром, мм																				
	100	112	125	140	160	180	200	224	250	280	315	355	400	450	500	560	630	710	800	900	1000
1,6 1,54	45,2 ,493	56,7 ,427	70,7 ,372	88,7 ,322	116 ,272	147 ,235	181 ,205	227 ,178	283 ,155	355 ,135	449 ,117	570 ,101	724 ,087	916 ,075	1131 ,066	1419 ,057	1796 ,050	2280 ,043	2895 ,037	3664 ,032	4524 ,028
1,7 1,74	48,1 ,549	60,3 ,476	75,1 ,414	94,2 ,359	123 ,303	156 ,261	192 ,229	241 ,199	300 ,173	377 ,150	477 ,130	606 ,112	769 ,097	973 ,084	1202 ,074	1507 ,064	1908 ,055	2423 ,048	3076 ,041	3893 ,036	4807 ,032
1,8 1,95	50,9 ,608	63,8 ,527	79,5 ,458	99,8 ,397	130 ,336	165 ,289	204 ,254	255 ,220	318 ,192	399 ,167	505 ,144	641 ,124	814 ,107	1031 ,093	1272 ,082	1596 ,071	2020 ,061	2566 ,053	3257 ,046	4122 ,040	5089 ,035
1,9 2,17	53,7 ,669	67,4 ,580	83,9 ,505	105 ,437	138 ,370	174 ,319	215 ,279	270 ,243	336 ,212	421 ,184	533 ,159	677 ,137	860 ,118	1088 ,102	1343 ,090	1685 ,078	2132 ,068	2708 ,059	3438 ,051	4351 ,044	5372 ,039
2,0 2,41	56,5 ,734	70,9 ,635	88,4 ,553	111 ,479	145 ,405	183 ,350	226 ,306	284 ,266	353 ,232	443 ,202	561 ,174	713 ,150	905 ,130	1145 ,112	1414 ,099	1773 ,086	2244 ,074	2851 ,064	3619 ,056	4580 ,048	5655 ,042
2,1 2,66	59,4 ,800	74,5 ,693	92,8 ,603	116 ,523	152 ,442	192 ,382	238 ,335	298 ,290	371 ,253	466 ,220	589 ,190	748 ,164	950 ,142	1202 ,123	1484 ,108	1862 ,094	2357 ,081	2993 ,070	3800 ,061	4809 ,053	5938 ,046
2,2 2,91	62,2 ,870	78,0 ,753	97,2 ,656	122 ,569	159 ,481	202 ,415	249 ,364	312 ,316	389 ,276	488 ,239	617 ,207	784 ,179	995 ,154	1260 ,133	1555 ,117	1951 ,102	2469 ,088	3136 ,076	3981 ,066	5038 ,057	6220 ,050
2,3 3,19	65,0 ,942	81,6 ,816	102 ,710	127 ,616	166 ,521	211 ,449	260 ,394	326 ,342	406 ,299	510 ,259	645 ,224	820 ,194	1040 ,167	1317 ,145	1626 ,127	2039 ,111	2581 ,096	3278 ,083	4162 ,072	5268 ,062	6503 ,055

v, м/с, P _{до} , Па	Витрата, м ³ /год (перший рядок) та питомі втрати тиску, Па/м (другий рядок) у повітроводах діаметром, мм																				
	100	112	125	140	160	180	200	224	250	280	315	355	400	450	500	560	630	710	800	900	1000
2,4 3,47	67,9 1,02	85,1 ,881	106 ,767	133 ,665	174 ,562	220 ,485	271 ,426	340 ,370	424 ,323	532 ,280	673 ,242	855 ,209	1086 ,181	1374 ,156	1696 ,137	2128 ,120	2693 ,104	3421 ,090	4343 ,078	5497 ,067	6786 ,059
2,5 3,76	70,7 1,09	88,7 ,948	110 ,825	139 ,716	181 ,605	229 ,522	283 ,458	355 ,398	442 ,347	554 ,302	701 ,261	891 ,225	1131 ,195	1431 ,168	1767 ,148	2217 ,129	2806 ,112	3563 ,097	4524 ,084	5726 ,072	7069 ,064
2,6 4,07	73,5 1,17	92,2 1,02	115 ,885	144 ,768	188 ,650	238 ,561	294 ,492	369 ,427	459 ,373	576 ,324	729 ,280	926 ,242	1176 ,209	1489 ,181	1838 ,159	2305 ,138	2918 ,120	3706 ,104	4705 ,090	5955 ,078	7351 ,069
2,7 4,39	76,3 1,26	95,8 1,09	119 ,948	150 ,822	195 ,696	247 ,600	305 ,527	383 ,457	477 ,399	599 ,347	757 ,300	962 ,259	1221 ,224	1546 ,194	1909 ,170	2394 ,148	3030 ,129	3848 ,111	4886 ,096	6184 ,083	7634 ,073
2,8 4,72	79,2 1,34	99,3 1,16	124 1,01	155 ,878	203 ,743	257 ,641	317 ,562	397 ,489	495 ,427	621 ,371	786 ,321	998 ,277	1267 ,239	1603 ,207	1979 ,182	2483 ,159	3142 ,137	3991 ,119	5067 ,103	6413 ,089	7917 ,079
2,9 5,06	82,0 1,43	103 1,24	128 1,08	161 ,935	210 ,792	266 ,683	328 ,599	411 ,521	512 ,455	643 ,395	814 ,342	1033 ,295	1312 ,255	1660 ,221	2050 ,194	2571 ,169	3254 ,146	4133 ,127	5248 ,110	6642 ,095	8200 ,084
3,0 5,42	84,8 1,52	106 1,32	133 1,15	166 ,995	217 ,842	275 ,727	339 ,638	426 ,554	530 ,484	665 ,420	842 ,364	1069 ,314	1357 ,271	1718 ,235	2121 ,206	2660 ,180	3367 ,156	4276 ,135	5429 ,117	6871 ,101	8482 ,089
3,1 5,79	87,7 1,61	110 1,40	137 1,22	172 1,06	224 ,893	284 ,771	351 ,677	440 ,588	548 ,513	687 ,446	870 ,386	1105 ,333	1402 ,288	1775 ,249	2191 ,219	2749 ,191	3479 ,166	4418 ,143	5610 ,124	7100 ,107	8765 ,095

v, м/с, P _{до} , Па	Витрата, м ³ /год (перший рядок) та питомі втрати тиску, Па/м (другий рядок) у повітроводах діаметром, мм																				
	100	112	125	140	160	180	200	224	250	280	315	355	400	450	500	560	630	710	800	900	1000
3,2 6,17	90,5 1,71	113 1,48	141 1,29	177 1,12	232 ,946	293 ,817	362 ,717	454 ,623	565 ,544	709 ,473	898 ,409	1140 ,353	1448 ,305	1832 ,264	2262 ,232	2837 ,202	3591 ,175	4561 ,152	5791 ,131	7329 ,114	9048 ,100
3,3 6,56	93,3 1,80	117 1,56	146 1,36	183 1,18	239 1,00	302 ,864	373 ,758	468 ,659	583 ,575	732 ,500	926 ,433	1176 ,374	1493 ,323	1889 ,280	2333 ,246	2926 ,214	3703 ,186	4704 ,161	5972 ,139	7558 ,121	9331 ,106
3,4 6,96	96,1 1,90	121 1,65	150 1,44	188 1,25	246 1,06	311 ,913	385 ,801	482 ,696	601 ,608	754 ,528	954 ,457	1212 ,395	1538 ,341	1947 ,295	2403 ,260	3015 ,226	3816 ,196	4846 ,170	6152 ,147	7787 ,127	9613 ,112
3,5 7,38	99,0 2,01	124 1,74	155 1,52	194 1,32	253 1,11	321 ,962	396 ,844	497 ,734	619 ,641	776 ,557	982 ,482	1247 ,416	1583 ,360	2004 ,311	2474 ,274	3103 ,239	3928 ,207	4989 ,179	6333 ,155	8016 ,134	9896 ,118
3,6 7,8	102 2,11	128 1,83	159 1,60	200 1,39	261 1,17	330 1,01	407 ,889	511 ,772	636 ,674	798 ,587	1010 ,507	1283 ,438	1629 ,379	2061 ,328	2545 ,288	3192 ,251	4040 ,218	5131 ,189	6514 ,163	8245 ,142	10179 ,125
3,7 8,24	105 2,22	131 1,93	163 1,68	205 1,46	268 1,23	339 1,06	418 ,934	525 ,812	654 ,709	820 ,617	1038 ,534	1318 ,461	1674 ,398	2118 ,345	2615 ,303	3281 ,264	4152 ,229	5274 ,198	6695 ,172	8474 ,149	10462 ,131
3,8 8,69	107 2,33	135 2,02	168 1,76	211 1,53	275 1,29	348 1,12	430 ,981	539 ,853	672 ,745	842 ,648	1066 ,560	1354 ,484	1719 ,418	2176 ,362	2686 ,319	3369 ,278	4264 ,241	5416 ,208	6876 ,180	8703 ,156	10744 ,138
3,9 9,16	110 2,44	138 2,12	172 1,85	216 1,60	282 1,36	357 1,17	441 1,03	553 ,894	689 ,781	865 ,679	1094 ,588	1390 ,508	1764 ,439	2233 ,380	2757 ,334	3458 ,291	4377 ,253	5559 ,219	7057 ,189	8932 ,164	11027 ,145

v , м/с, $P_{до}$, Па	Витрата, м ³ /год (перший рядок) та питомі втрати тиску, Па/м (другий рядок) у повітроводах діаметром, мм																				
	100	112	125	140	160	180	200	224	250	280	315	355	400	450	500	560	630	710	800	900	1000
4,0 9,63	113 2,56	142 2,22	177 1,93	222 1,68	290 1,42	366 1,23	452 1,08	567 ,937	707 ,818	887 ,712	1122 ,616	1425 ,532	1810 ,460	2290 ,398	2827 ,350	3547 ,305	4489 ,265	5701 ,229	7238 ,198	9161 ,172	11310 ,152
4,1 10,1	116 2,68	145 2,32	181 2,02	227 1,76	297 1,49	376 1,28	464 1,13	582 ,980	725 ,856	909 ,745	1150 ,644	1461 ,557	1855 ,481	2347 ,417	2898 ,367	3635 ,319	4601 ,277	5844 ,240	7419 ,208	9390 ,180	11592 ,159
4,2 10,6	119 2,80	149 2,43	186 2,11	233 1,84	304 1,55	385 1,34	475 1,18	596 1,02	742 ,895	931 ,778	1178 ,674	1497 ,582	1900 ,503	2405 ,436	2969 ,383	3724 ,334	4713 ,290	5986 ,251	7600 ,217	9619 ,188	11875 ,166
4,3 11,1	122 2,92	153 2,53	190 2,21	238 1,92	311 1,62	394 1,40	486 1,23	610 1,07	760 ,934	953 ,813	1206 ,703	1532 ,608	1945 ,525	2462 ,455	3039 ,400	3813 ,349	4825 ,302	6129 ,262	7781 ,227	9848 ,197	12158 ,173
4,4 11,7	124 3,05	156 2,64	194 2,30	244 2,00	318 1,69	403 1,46	498 1,28	624 1,12	778 ,975	975 ,848	1234 ,734	1568 ,634	1991 ,548	2519 ,475	3110 ,418	3901 ,364	4938 ,316	6271 ,273	7962 ,236	10077 ,205	12441 ,181
4,5 12,2	127 3,17	160 2,75	199 2,40	249 2,08	326 1,76	412 1,52	509 1,34	638 1,16	795 1,02	998 ,884	1262 ,765	1603 ,661	2036 ,571	2576 ,495	3181 ,435	3990 ,379	5050 ,329	6414 ,285	8143 ,247	10306 ,214	12723 ,189
4,6 12,7	130 3,30	163 2,87	203 2,50	255 2,17	333 1,84	421 1,59	520 1,39	653 1,21	813 1,06	1020 ,920	1291 ,797	1639 ,688	2081 ,595	2634 ,515	3252 ,453	4079 ,395	5162 ,343	6556 ,297	8324 ,257	10535 ,223	13006 ,196
4,7 13,3	133 3,44	167 2,98	208 2,60	260 2,26	340 1,91	431 1,65	532 1,45	667 1,26	831 1,10	1042 ,958	1319 ,829	1675 ,716	2126 ,619	2691 ,536	3322 ,472	4167 ,411	5274 ,357	6699 ,309	8505 ,267	10764 ,232	13289 ,204

Продовження таблиці А.1

v, м/с, P _{до} , Па	Витрата, м ³ /год (перший рядок) та питомі втрати тиску, Па/м (другий рядок) у повітроводах діаметром, мм																				
	100	112	125	140	160	180	200	224	250	280	315	355	400	450	500	560	630	710	800	900	1000
4,8	136	170	212	266	347	440	543	681	848	1064	1347	1710	2171	2748	3393	4256	5387	6841	8686	10993	13572
13,9	3,57	3,10	2,70	2,35	1,99	1,72	1,51	1,31	1,14	,995	,862	,744	,644	,558	,491	,428	,371	,321	,278	,241	,213
4,9	139	174	216	272	355	449	554	695	866	1086	1375	1746	2217	2806	3464	4345	5499	6984	8867	11222	13854
14,5	3,71	3,22	2,81	2,44	2,06	1,78	1,56	1,36	1,19	1,03	,895	,773	,669	,579	,510	,444	,385	,333	,289	,251	,221
5,0	141	177	221	277	362	458	565	709	884	1108	1403	1782	2262	2863	3534	4433	5611	7127	9048	11451	14137
15,1	3,85	3,34	2,91	2,53	2,14	1,85	1,62	1,41	1,23	1,07	,929	,803	,694	,601	,529	,461	,400	,346	,300	,260	,229
5,1	144	181	225	283	369	467	577	724	901	1131	1431	1817	2307	2920	3605	4522	5723	7269	9229	11680	14420
15,7	3,99	3,46	3,02	2,62	2,22	1,92	1,68	1,46	1,28	1,11	,964	,833	,720	,624	,549	,478	,415	,359	,311	,270	,238
5,2	147	184	230	288	376	476	588	738	919	1153	1459	1853	2352	2977	3676	4611	5835	7412	9410	11909	14703
16,3	4,14	3,59	3,13	2,72	2,30	1,99	1,75	1,52	1,33	1,15	,999	,863	,746	,647	,569	,496	,430	,372	,322	,280	,247
5,3	150	188	234	294	384	486	599	752	937	1175	1487	1889	2398	3035	3746	4699	5948	7554	9591	12138	14985
16,9	4,29	3,72	3,24	2,81	2,38	2,06	1,81	1,57	1,37	1,20	1,04	,894	,773	,670	,590	,514	,446	,386	,334	,290	,256
5,4	153	192	239	299	391	495	611	766	954	1197	1515	1924	2443	3092	3817	4788	6060	7697	9772	12367	15268
17,6	4,44	3,85	3,36	2,91	2,47	2,13	1,87	1,63	1,42	1,24	1,07	,926	,801	,694	,610	,532	,461	,399	,346	,300	,265
5,5	156	195	243	305	398	504	622	780	972	1219	1543	1960	2488	3149	3888	4877	6172	7839	9953	12596	15551
18,2	4,59	3,98	3,47	3,01	2,55	2,21	1,94	1,68	1,47	1,28	1,11	,958	,828	,718	,632	,551	,477	,413	,358	,311	,274

v, м/с, P _{до} , Па	Витрата, м ³ /год (перший рядок) та питомі втрати тиску, Па/м (другий рядок) у повітроводах діаметром, мм																				
	100	112	125	140	160	180	200	224	250	280	315	355	400	450	500	560	630	710	800	900	1000
5,6	158	199	247	310	405	513	633	794	990	1241	1571	1995	2533	3206	3958	4965	6284	7982	10134	12825	15834
18,9	4,74	4,12	3,59	3,12	2,64	2,28	2,00	1,74	1,52	1,32	1,15	,991	,856	,742	,653	,569	,494	,427	,370	,321	,283
5,7	161	202	252	316	413	522	645	809	1007	1264	1599	2031	2579	3264	4029	5054	6397	8124	10314	13054	16116
19,6	4,90	4,25	3,71	3,22	2,73	2,36	2,07	1,80	1,57	1,37	1,18	1,02	,885	,767	,675	,588	,510	,442	,383	,332	,293
5,8	164	206	256	321	420	531	656	823	1025	1286	1627	2067	2624	3321	4100	5143	6509	8267	10495	13283	16399
20,3	5,06	4,39	3,83	3,32	2,82	2,43	2,14	1,86	1,62	1,41	1,22	1,06	,914	,792	,697	,608	,527	,456	,395	,343	,302
5,9	167	209	261	327	427	540	667	837	1043	1308	1655	2102	2669	3378	4170	5231	6621	8409	10676	13512	16682
21	5,22	4,53	3,95	3,43	2,91	2,51	2,21	1,92	1,68	1,46	1,26	1,09	,944	,818	,720	,627	,544	,471	,408	,354	,312
6,0	170	213	265	333	434	550	679	851	1060	1330	1683	2138	2714	3435	4241	5320	6733	8552	10857	13741	16965
21,7	5,39	4,67	4,08	3,54	3,00	2,59	2,28	1,98	1,73	1,51	1,30	1,13	,974	,844	,743	,647	,562	,486	,421	,366	,322
6,1	172	216	269	338	442	559	690	865	1078	1352	1711	2174	2760	3493	4312	5409	6845	8694	11038	13970	17247
22,4	5,55	4,82	4,20	3,65	3,09	2,67	2,35	2,04	1,78	1,55	1,34	1,16	1,00	,870	,766	,668	,579	,501	,434	,377	,332
6,2	175	220	274	344	449	568	701	880	1096	1374	1739	2209	2805	3550	4383	5497	6958	8837	11219	14199	17530
23,1	5,72	4,97	4,33	3,76	3,19	2,75	2,42	2,10	1,84	1,60	1,38	1,20	1,04	,897	,789	,688	,597	,517	,448	,389	,343
6,3	178	223	278	349	456	577	713	894	1113	1397	1767	2245	2850	3607	4453	5586	7070	8979	11400	14428	17813
23,9	5,90	5,12	4,46	3,87	3,28	2,84	2,49	2,17	1,89	1,65	1,43	1,23	1,07	,924	,813	,709	,615	,533	,461	,400	,353

v, м/с, P _{до} , Па	Витрата, м ³ /год (перший рядок) та питомі втрати тиску, Па/м (другий рядок) у повітроводах діаметром, мм																				
	100	112	125	140	160	180	200	224	250	280	315	355	400	450	500	560	630	710	800	900	1000
6,4 24,7	181 6,07	227 5,27	283 4,59	355 3,99	463 3,38	586 2,92	724 2,57	908 2,23	1131 1,95	1419 1,70	1796 1,47	2280 1,27	2895 1,10	3664 ,952	4524 ,838	5675 ,730	7182 ,633	9122 ,548	11581 ,475	14657 ,412	18096 ,364
6,5 25,4	184 6,25	231 5,42	287 4,73	360 4,11	470 3,48	595 3,01	735 2,64	922 2,30	1149 2,01	1441 1,75	1824 1,51	2316 1,31	2941 1,13	3722 ,980	4595 ,862	5763 ,752	7294 ,652	9265 ,565	11762 ,489	14886 ,425	18378 ,374
6,6 26,2	187 6,43	234 5,58	292 4,86	366 4,22	478 3,58	605 3,09	746 2,72	936 2,36	1166 2,06	1463 1,80	1852 1,56	2352 1,34	2986 1,16	3779 1,01	4665 ,887	5852 ,773	7407 ,671	9407 ,581	11943 ,503	15115 ,437	18661 ,385
6,7 27	189 6,61	238 5,74	296 5,00	371 4,34	485 3,68	614 3,18	758 2,79	951 2,43	1184 2,12	1485 1,85	1880 1,60	2387 1,38	3031 1,20	3836 1,04	4736 ,912	5941 ,796	7519 ,690	9550 ,598	12124 ,518	15344 ,449	18944 ,396
6,8 27,8	192 6,79	241 5,90	300 5,14	377 4,47	492 3,78	623 3,27	769 2,87	965 2,50	1202 2,18	1507 1,90	1908 1,65	2423 1,42	3076 1,23	3893 1,07	4807 ,938	6029 ,818	7631 ,709	9692 ,614	12305 ,532	15574 ,462	19227 ,407
6,9 28,7	195 6,98	245 6,06	305 5,28	382 4,59	499 3,89	632 3,36	780 2,95	979 2,57	1219 2,24	1530 1,95	1936 1,69	2459 1,46	3121 1,26	3951 1,10	4877 ,964	6118 ,841	7743 ,729	9835 ,631	12486 ,547	15803 ,475	19509 ,419
7,0 29,5	198 7,17	248 6,22	309 5,43	388 4,71	507 3,99	641 3,45	792 3,03	993 2,64	1237 2,30	1552 2,01	1964 1,74	2494 1,50	3167 1,30	4008 1,13	4948 ,990	6207 ,863	7855 ,749	9977 ,649	12667 ,562	16032 ,488	19792 ,430
7,1 30,4	201 7,36	252 6,39	314 5,57	393 4,84	514 4,10	650 3,54	803 3,11	1007 2,71	1255 2,37	1574 2,06	1992 1,78	2530 1,54	3212 1,33	4065 1,16	5019 1,02	6295 ,887	7968 ,769	10120 ,666	12848 ,577	16261 ,501	20075 ,442

v , м/с, $P_{до}$, Па	Витрата, м ³ /год (перший рядок) та питомі втрати тиску, Па/м (другий рядок) у повітроводах діаметром, мм																				
	100	112	125	140	160	180	200	224	250	280	315	355	400	450	500	560	630	710	800	900	1000
7,2 31,2	204 7,55	255 6,56	318 5,72	399 4,97	521 4,21	660 3,64	814 3,2	1021 2,78	1272 2,43	1596 2,11	2020 1,83	2566 1,58	3257 1,37	4122 1,19	5089 1,04	6384 ,910	8080 ,790	10262 ,684	13029 ,592	16490 ,514	20358 ,453
7,3 32,1	206 7,75	259 6,73	323 5,87	405 5,10	528 4,32	669 3,73	826 3,28	1036 2,85	1290 2,49	1618 2,17	2048 1,88	2601 1,62	3302 1,40	4180 1,22	5160 1,07	6473 ,934	8192 ,810	10405 ,702	13210 ,608	16719 ,528	20640 ,465
7,4 33	209 7,95	262 6,90	327 6,02	410 5,23	536 4,43	678 3,83	837 3,36	1050 2,93	1308 2,56	1640 2,23	2076 1,93	2637 1,67	3348 1,44	4237 1,25	5231 1,10	6561 ,958	8304 ,831	10547 ,720	13391 ,624	16948 ,541	20923 ,477
7,5 33,9	212 8,15	266 7,07	331 6,17	416 5,36	543 4,54	687 3,93	848 3,45	1064 3,00	1325 2,62	1663 2,28	2104 1,98	2672 1,71	3393 1,48	4294 1,28	5301 1,13	6650 ,983	8417 ,852	10690 ,738	13572 ,640	17177 ,555	21206 ,490
7,6 34,8	215 8,35	270 7,25	336 6,32	421 5,49	550 4,66	696 4,02	860 3,53	1078 3,07	1343 2,69	1685 2,34	2132 2,03	2708 1,75	3438 1,51	4351 1,31	5372 1,16	6739 1,01	8529 ,874	10832 ,757	13753 ,656	17406 ,569	21488 ,502
7,7 35,7	218 8,56	273 7,43	340 6,48	427 5,63	557 4,77	705 4,12	871 3,62	1092 3,15	1361 2,75	1707 2,40	2160 2,08	2744 1,79	3483 1,55	4409 1,35	5443 1,18	6827 1,03	8641 ,896	10975 ,776	13934 ,672	17635 ,583	21771 ,514
7,8 36,6	221 8,77	277 7,61	345 6,64	432 5,77	565 4,89	715 4,22	882 3,71	1107 3,23	1378 2,82	1729 2,46	2188 2,13	2779 1,84	3529 1,59	4466 1,38	5513 1,21	6916 1,06	8753 ,918	11117 ,795	14115 ,689	17864 ,598	22054 ,527
7,9 37,6	223 8,98	280 7,79	349 6,80	438 5,90	572 5,00	724 4,33	893 3,80	1121 3,31	1396 2,89	1751 2,51	2216 2,18	2815 1,88	3574 1,63	4523 1,41	5584 1,24	7005 1,08	8865 ,940	11260 ,814	14296 ,705	18093 ,612	22337 ,540

v, м/с, P _{до} , Па	Витрата, м ³ /год (перший рядок) та питомі втрати тиску, Па/м (другий рядок) у повітроводах діаметром, мм																				
	100	112	125	140	160	180	200	224	250	280	315	355	400	450	500	560	630	710	800	900	1000
8,0	226	284	353	443	579	733	905	1135	1414	1773	2244	2851	3619	4580	5655	7093	8978	11402	14476	18322	22619
38,5	9,19	7,98	6,96	6,05	5,12	4,43	3,89	3,38	2,96	2,57	2,23	1,93	1,67	1,45	1,27	1,11	,962	,833	,722	,627	,553
8,1	229	287	358	449	586	742	916	1149	1431	1796	2272	2886	3664	4638	5726	7182	9090	11545	14657	18551	22902
39,5	9,41	8,17	7,12	6,19	5,24	4,53	3,98	3,46	3,03	2,64	2,28	1,97	1,71	1,48	1,30	1,14	,985	,853	,739	,642	,566
8,2	232	291	362	454	594	751	927	1163	1449	1818	2301	2922	3710	4695	5796	7271	9202	11688	14838	18780	23185
40,5	9,63	8,36	7,29	6,33	5,37	4,64	4,07	3,54	3,10	2,70	2,34	2,02	1,75	1,51	1,33	1,16	1,01	,873	,756	,657	,579
8,3	235	294	367	460	601	760	939	1178	1467	1840	2329	2958	3755	4752	5867	7359	9314	11830	15019	19009	23468
41,5	9,85	8,55	7,45	6,48	5,49	4,75	4,17	3,63	3,17	2,76	2,39	2,07	1,79	1,55	1,36	1,19	1,03	,893	,774	,672	,592
8,4	238	298	371	466	608	770	950	1192	1484	1862	2357	2993	3800	4809	5938	7448	9427	11973	15200	19238	23750
42,5	10,1	8,74	7,62	6,62	5,61	4,85	4,26	3,71	3,24	2,82	2,44	2,11	1,83	1,58	1,39	1,22	1,05	,914	,792	,687	,606
8,5	240	301	376	471	615	779	961	1206	1502	1884	2385	3029	3845	4867	6008	7537	9539	12115	15381	19467	24033
43,5	10,3	8,94	7,79	6,77	5,74	4,96	4,36	3,79	3,31	2,88	2,50	2,16	1,87	1,62	1,43	1,24	1,08	,934	,809	,703	,620

Примітки.

1. Повну таблицю розміщено на сторінці <https://cutt.ly/Oel2o5im>.
2. Для економії місця нульову цілу частину чисел не наведено. Наприклад, « ,620 » означає 0,620.
3. Використання даної таблиці для розрахунку прямокутних повітроводів призводить до суттєвої похибки – до 30 %.
4. Таблиці не вимагають інтерполювання даних

Таблиця для розрахунку круглих гофрованих повітроводів (еквівалентна шорсткість 2,1 мм)

v, м/с, P _в , Па	Витрата, м ³ /год (перший рядок) та питомі втрати тиску, Па/м (другий рядок) у повітроводах діаметром, мм																
	100	112	125	140	160	180	200	224	250	280	315	355	400	450	500	560	630
0,1 ,006	2,83 ,006	3,55 ,005	4,42 ,004	5,54 ,003	7,24 ,002	9,16 ,002	11,3 ,001	14,2 ,001	17,7 ,001	22,2 ,001	28,1 ,001	35,6 ,001	45,2 ,001	57,3 ,001	70,7 ,001	88,7 ,000	112 ,000
0,2 ,024	5,65 ,012	7,09 ,009	8,84 ,008	11,1 ,006	14,5 ,005	18,3 ,007	22,6 ,006	28,4 ,006	35,3 ,005	44,3 ,004	56,1 ,004	71,3 ,003	90,5 ,003	115 ,002	141 ,002	177 ,002	224 ,001
0,3 ,054	8,48 ,018	10,6 ,014	13,3 ,026	16,6 ,022	21,7 ,018	27,5 ,016	33,9 ,013	42,6 ,012	53,0 ,010	66,5 ,009	84,2 ,007	107 ,006	136 ,005	172 ,005	212 ,004	266 ,003	337 ,003
0,4 ,096	11,3 ,059	14,2 ,050	17,7 ,043	22,2 ,037	29,0 ,031	36,6 ,026	45,2 ,023	56,7 ,020	70,7 ,017	88,7 ,015	112 ,012	143 ,011	181 ,009	229 ,008	283 ,007	355 ,006	449 ,005
0,5 ,151	14,1 ,089	17,7 ,076	22,1 ,065	27,7 ,056	36,2 ,047	45,8 ,040	56,5 ,034	70,9 ,030	88,4 ,026	111 ,022	140 ,019	178 ,016	226 ,014	286 ,012	353 ,010	443 ,009	561 ,008
0,6 ,217	17,0 ,125	21,3 ,107	26,5 ,092	33,3 ,079	43,4 ,066	55,0 ,056	67,9 ,049	85,1 ,042	106 ,036	133 ,031	168 ,026	214 ,023	271 ,019	344 ,017	424 ,014	532 ,012	673 ,011
0,7 ,295	19,8 ,167	24,8 ,143	30,9 ,123	38,8 ,105	50,7 ,088	64,1 ,075	79,2 ,065	99,3 ,056	124 ,048	155 ,041	196 ,035	249 ,030	317 ,026	401 ,022	495 ,019	621 ,017	786 ,014
0,8 ,385	22,6 ,215	28,4 ,184	35,3 ,158	44,3 ,136	57,9 ,113	73,3 ,096	90,5 ,084	113 ,072	141 ,062	177 ,053	224 ,046	285 ,039	362 ,033	458 ,029	565 ,025	709 ,022	898 ,019

v, м/с, P _в , Па	Витрата, м ³ /год (перший рядок) та питомі втрати тиску, Па/м (другий рядок) у повітроводах діаметром, мм																
	100	112	125	140	160	180	200	224	250	280	315	355	400	450	500	560	630
0,9 ,488	25,4 ,270	31,9 ,230	39,8 ,198	49,9 ,170	65,1 ,141	82,4 ,121	102 ,105	128 ,090	159 ,078	200 ,067	252 ,057	321 ,049	407 ,042	515 ,036	636 ,031	798 ,027	1010 ,023
1,0 ,602	28,3 ,330	35,5 ,282	44,2 ,242	55,4 ,207	72,4 ,173	91,6 ,147	113 ,128	142 ,110	177 ,095	222 ,082	281 ,070	356 ,06	452 ,051	573 ,044	707 ,038	887 ,033	1122 ,028
1,1 ,729	31,1 ,396	39,0 ,338	48,6 ,291	61,0 ,249	79,6 ,208	101 ,177	124 ,154	156 ,132	194 ,114	244 ,098	309 ,084	392 ,072	498 ,061	630 ,053	778 ,046	975 ,040	1234 ,034
1,2 ,867	33,9 ,468	42,6 ,400	53,0 ,344	66,5 ,294	86,9 ,245	110 ,209	136 ,182	170 ,156	212 ,135	266 ,116	337 ,099	428 ,085	543 ,073	687 ,062	848 ,054	1064 ,047	1347 ,040
1,3 1,02	36,8 ,546	46,1 ,466	57,4 ,401	72,0 ,343	94,1 ,286	119 ,244	147 ,212	184 ,182	230 ,157	288 ,135	365 ,116	463 ,099	588 ,085	744 ,073	919 ,063	1153 ,055	1459 ,047
1,4 1,18	39,6 ,630	49,7 ,538	61,9 ,463	77,6 ,396	101 ,330	128 ,282	158 ,245	199 ,210	247 ,182	310 ,156	393 ,134	499 ,114	633 ,098	802 ,084	990 ,073	1241 ,063	1571 ,054
1,5 1,35	42,4 ,719	53,2 ,615	66,3 ,529	83,1 ,453	109 ,378	137 ,322	170 ,280	213 ,240	265 ,207	333 ,179	421 ,153	534 ,131	679 ,112	859 ,096	1060 ,084	1330 ,072	1683 ,062
1,6 1,54	45,2 ,815	56,7 ,697	70,7 ,599	88,7 ,513	116 ,428	147 ,365	181 ,317	227 ,272	283 ,235	355 ,202	449 ,173	570 ,148	724 ,127	916 ,109	1131 ,095	1419 ,082	1796 ,070

v, м/с, P _в , Па	Витрата, м ³ /год (перший рядок) та питомі втрати тиску, Па/м (другий рядок) у повітроводах діаметром, мм																
	100	112	125	140	160	180	200	224	250	280	315	355	400	450	500	560	630
1,7	48,1	60,3	75,1	94,2	123	156	192	241	300	377	477	606	769	973	1202	1507	1908
1,74	,917	,784	,674	,577	,482	,411	,356	,306	,265	,228	,195	,167	,142	,122	,107	,092	,079
1,8	50,9	63,8	79,5	99,8	130	165	204	255	318	399	505	641	814	1031	1272	1596	2020
1,95	1,02	,876	,753	,645	,538	,459	,398	,342	,296	,254	,218	,186	,159	,137	,119	,103	,088
1,9	53,7	67,4	83,9	105	138	174	215	270	336	421	533	677	860	1088	1343	1685	2132
2,17	1,14	,974	,837	,717	,598	,510	,443	,380	,329	,283	,242	,207	,177	,152	,132	,114	,098
2,0	56,5	70,9	88,4	111	145	183	226	284	353	443	561	713	905	1145	1414	1773	2244
2,41	1,26	1,08	,925	,792	,661	,564	,489	,420	,363	,312	,267	,229	,196	,168	,146	,126	,109
2,1	59,4	74,5	92,8	116	152	192	238	298	371	466	589	748	950	1202	1484	1862	2357
2,66	1,38	1,18	1,02	,871	,727	,620	,538	,462	,399	,344	,294	,251	,215	,184	,161	,139	,119
2,2	62,2	78,0	97,2	122	159	202	249	312	389	488	617	784	995	1260	1555	1951	2469
2,91	1,52	1,30	1,11	,954	,796	,679	,589	,506	,437	,376	,322	,275	,236	,202	,176	,152	,131
2,3	65	81,6	102	127	166	211	260	326	406	510	645	820	1040	1317	1626	2039	2581
3,19	1,65	1,41	1,22	1,04	,868	,740	,643	,552	,477	,411	,351	,300	,257	,220	,192	,166	,143
2,4	67,9	85,1	106	133	174	220	271	340	424	532	673	855	1086	1374	1696	2128	2693
3,47	1,80	1,54	1,32	1,13	,944	,805	,699	,600	,519	,446	,382	,326	,279	,240	,209	,180	,155

v, м/с, P _в , Па	Витрата, м ³ /год (перший рядок) та питомі втрати тиску, Па/м (другий рядок) у повітроводах діаметром, мм																
	100	112	125	140	160	180	200	224	250	280	315	355	400	450	500	560	630
2,5	70,7	88,7	110	139	181	229	283	355	442	554	701	891	1131	1431	1767	2217	2806
3,76	1,95	1,66	1,43	1,23	1,02	,872	,757	,650	,562	,483	,414	,354	,303	,259	,226	,195	,168
2,6	73,5	92,2	115	144	188	238	294	369	459	576	729	926	1176	1489	1838	2305	2918
4,07	2,10	1,80	1,55	1,32	1,10	,941	,817	,702	,607	,522	,447	,382	,327	,280	,244	,211	,181
2,7	76,3	95,8	119	150	195	247	305	383	477	599	757	962	1221	1546	1909	2394	3030
4,39	2,26	1,94	1,66	1,43	1,19	1,01	,880	,756	,653	,562	,481	,411	,352	,302	,263	,227	,195
2,8	79,2	99,3	124	155	203	257	317	397	495	621	786	998	1267	1603	1979	2483	3142
4,72	2,43	2,08	1,79	1,53	1,28	1,09	,945	,812	,702	,604	,517	,442	,378	,324	,283	,244	,210
2,9	82,0	103	128	161	210	266	328	411	512	643	814	1033	1312	1660	2050	2571	3254
5,06	2,60	2,23	1,91	1,64	1,37	1,17	1,01	,870	,752	,647	,554	,473	,405	,347	,303	,262	,225
3,0	84,8	106	133	166	217	275	339	426	530	665	842	1069	1357	1718	2121	2660	3367
5,42	2,78	2,38	2,05	1,75	1,46	1,25	1,08	,930	,803	,691	,592	,506	,433	,371	,324	,280	,240
3,1	87,7	110	137	172	224	284	351	440	548	687	870	1105	1402	1775	2191	2749	3479
5,79	2,97	2,54	2,18	1,87	1,56	1,33	1,15	,992	,857	,737	,631	,539	,462	,396	,345	,298	,256
3,2	90,5	113	141	177	232	293	362	454	565	709	898	1140	1448	1832	2262	2837	3591
6,17	3,16	2,70	2,32	1,99	1,66	1,42	1,23	1,06	,912	,785	,672	,574	,491	,421	,368	,317	,273

v, м/с, P _в , Па	Витрата, м ³ /год (перший рядок) та питомі втрати тиску, Па/м (другий рядок) у повітроводах діаметром, мм																
	100	112	125	140	160	180	200	224	250	280	315	355	400	450	500	560	630
3,3	93,3	117	146	183	239	302	373	468	583	732	926	1176	1493	1889	2333	2926	3703
6,56	3,36	2,87	2,47	2,11	1,76	1,50	1,31	1,12	,969	,834	,714	,610	,522	,448	,390	,337	,290
3,4	96,1	121	150	188	246	311	385	482	601	754	954	1212	1538	1947	2403	3015	3816
6,96	3,56	3,04	2,62	2,24	1,87	1,59	1,38	1,19	1,03	,884	,757	,647	,554	,475	,414	,358	,307
3,5	99,0	124	155	194	253	321	396	497	619	776	982	1247	1583	2004	2474	3103	3928
7,38	3,77	3,22	2,77	2,37	1,98	1,69	1,47	1,26	1,09	,936	,802	,685	,586	,503	,438	,379	,325
3,6	102	128	159	200	261	330	407	511	636	798	1010	1283	1629	2061	2545	3192	4040
7,8	3,98	3,41	2,93	2,51	2,09	1,78	1,55	1,33	1,15	,990	,847	,724	,620	,531	,464	,400	,344
3,7	105	131	163	205	268	339	418	525	654	820	1038	1318	1674	2118	2615	3281	4152
8,24	4,21	3,60	3,09	2,65	2,21	1,88	1,64	1,41	1,21	1,04	,894	,764	,654	,561	,489	,423	,363
3,8	107	135	168	211	275	348	430	539	672	842	1066	1354	1719	2176	2686	3369	4264
8,69	4,43	3,79	3,26	2,79	2,33	1,99	1,72	1,48	1,28	1,10	,943	,806	,689	,591	,516	,445	,383
3,9	110	138	172	216	282	357	441	553	689	865	1094	1390	1764	2233	2757	3458	4377
9,16	4,67	3,99	3,43	2,94	2,45	2,09	1,81	1,56	1,35	1,16	,992	,848	,725	,622	,543	,469	,403
4,0	113	142	177	222	290	366	452	567	707	887	1122	1425	1810	2290	2827	3547	4489
9,63	4,91	4,19	3,61	3,09	2,58	2,2	1,91	1,64	1,42	1,22	1,04	,891	,763	,654	,571	,493	,423

v, м/с, P _в , Па	Витрата, м ³ /год (перший рядок) та питомі втрати тиску, Па/м (другий рядок) у повітроводах діаметром, мм																
	100	112	125	140	160	180	200	224	250	280	315	355	400	450	500	560	630
4,1	116	145	181	227	297	376	464	582	725	909	1150	1461	1855	2347	2898	3635	4601
10,1	5,15	4,40	3,79	3,24	2,7	2,31	2,00	1,72	1,49	1,28	1,10	,936	,801	,687	,599	,517	,445
4,2	119	149	186	233	304	385	475	596	742	931	1178	1497	1900	2405	2969	3724	4713
10,6	5,40	4,62	3,97	3,40	2,84	2,42	2,10	1,80	1,56	1,34	1,15	,982	,840	,720	,628	,543	,466
4,3	122	153	190	238	311	394	486	610	760	953	1206	1532	1945	2462	3039	3813	4825
11,1	5,66	4,84	4,16	3,56	2,97	2,53	2,20	1,89	1,63	1,41	1,20	1,03	,880	,755	,658	,568	,488
4,4	124	156	194	244	318	403	498	624	778	975	1234	1568	1991	2519	3110	3901	4938
11,7	5,92	5,06	4,35	3,73	3,11	2,65	2,30	1,98	1,71	1,47	1,26	1,08	,921	,790	,689	,595	,511
4,5	127	160	199	249	326	412	509	638	795	998	1262	1603	2036	2576	3181	3990	5050
12,2	6,19	5,29	4,55	3,90	3,25	2,77	2,41	2,07	1,79	1,54	1,32	1,12	,962	,825	,720	,622	,534
4,6	130	163	203	255	333	421	520	653	813	1020	1291	1639	2081	2634	3252	4079	5162
12,7	6,46	5,53	4,75	4,07	3,39	2,90	2,51	2,16	1,87	1,61	1,37	1,17	1,01	,862	,752	,650	,558
4,7	133	167	208	260	340	431	532	667	831	1042	1319	1675	2126	2691	3322	4167	5274
13,3	6,74	5,77	4,96	4,25	3,54	3,02	2,62	2,25	1,95	1,68	1,43	1,23	1,05	,900	,785	,678	,582
4,8	136	170	212	266	347	440	543	681	848	1064	1347	1710	2171	2748	3393	4256	5387
13,9	7,03	6,01	5,17	4,43	3,69	3,15	2,73	2,35	2,03	1,75	1,50	1,28	1,09	,938	,818	,707	,607

v , м/с, P_0 , Па	Витрата, м ³ /год (перший рядок) та питомі втрати тиску, Па/м (другий рядок) у повітроводах діаметром, мм																
	100	112	125	140	160	180	200	224	250	280	315	355	400	450	500	560	630
4,9	139	174	216	272	355	449	554	695	866	1086	1375	1746	2217	2806	3464	4345	5499
14,5	7,32	6,26	5,38	4,61	3,85	3,28	2,85	2,45	2,11	1,82	1,56	1,33	1,14	,977	,852	,736	,632
5,0	141	177	221	277	362	458	565	709	884	1108	1403	1782	2262	2863	3534	4433	5611
15,1	7,62	6,52	5,60	4,80	4,00	3,41	2,96	2,55	2,20	1,89	1,62	1,39	1,19	1,02	,887	,766	,658
5,1	144	181	225	283	369	467	577	724	901	1131	1431	1817	2307	2920	3605	4522	5723
15,7	7,93	6,78	5,83	4,99	4,16	3,55	3,08	2,65	2,29	1,97	1,69	1,44	1,23	1,06	,922	,797	,684
5,2	147	184	230	288	376	476	588	738	919	1153	1459	1853	2352	2977	3676	4611	5835
16,3	8,24	7,04	6,06	5,19	4,33	3,69	3,20	2,75	2,38	2,05	1,75	1,50	1,28	1,10	,958	,828	,711
5,3	150	188	234	294	384	486	599	752	937	1175	1487	1889	2398	3035	3746	4699	5948
16,9	8,55	7,31	6,29	5,39	4,49	3,83	3,33	2,86	2,47	2,12	1,82	1,55	1,33	1,14	,995	,860	,739
5,4	153	192	239	299	391	495	611	766	954	1197	1515	1924	2443	3092	3817	4788	6060
17,6	8,88	7,59	6,53	5,59	4,66	3,98	3,45	2,97	2,56	2,21	1,89	1,61	1,38	1,18	1,03	,892	,766
5,5	156	195	243	305	398	504	622	780	972	1219	1543	1960	2488	3149	3888	4877	6172
18,2	9,21	7,87	6,77	5,80	4,83	4,12	3,58	3,08	2,66	2,29	1,96	1,67	1,43	1,23	1,07	,925	,795
5,6	158	199	247	310	405	513	633	794	990	1241	1571	1995	2533	3206	3958	4965	6284
18,9	9,54	8,16	7,01	6,01	5,01	4,27	3,71	3,19	2,75	2,37	2,03	1,73	1,48	1,27	1,11	,959	,824

v , м/с, P_0 , Па	Витрата, м ³ /год (перший рядок) та питомі втрати тиску, Па/м (другий рядок) у повітроводах діаметром, мм																
	100	112	125	140	160	180	200	224	250	280	315	355	400	450	500	560	630
5,7 19,6	161 9,88	202 8,45	252 7,26	316 6,22	413 5,19	522 4,43	645 3,84	809 3,30	1007 2,85	1264 2,45	1599 2,10	2031 1,80	2579 1,54	3264 1,32	4029 1,15	5054 ,993	6397 ,853
5,8 20,3	164 10,2	206 8,74	256 7,52	321 6,44	420 5,37	531 4,58	656 3,98	823 3,42	1025 2,95	1286 2,54	1627 2,17	2067 1,86	2624 1,59	3321 1,36	4100 1,19	5143 1,03	6509 ,883
5,9 21	167 10,6	209 9,04	261 7,78	327 6,66	427 5,56	540 4,74	667 4,11	837 3,53	1043 3,05	1308 2,63	1655 2,25	2102 1,92	2669 1,64	3378 1,41	4170 1,23	5231 1,06	6621 ,913
6,0 21,7	170 10,9	213 9,35	265 8,04	333 6,89	434 5,74	550 4,90	679 4,25	851 3,65	1060 3,16	1330 2,72	1683 2,33	2138 1,99	2714 1,70	3435 1,46	4241 1,27	5320 1,10	6733 ,944
6,1 22,4	172 11,3	216 9,66	269 8,31	338 7,12	442 5,94	559 5,06	690 4,39	865 3,78	1078 3,26	1352 2,81	1711 2,40	2174 2,05	2760 1,76	3493 1,51	4312 1,31	5409 1,14	6845 ,976
6,2 23,1	175 11,7	220 9,98	274 8,58	344 7,35	449 6,13	568 5,23	701 4,54	880 3,90	1096 3,37	1374 2,90	1739 2,48	2209 2,12	2805 1,81	3550 1,56	4383 1,36	5497 1,17	6958 1,01
6,3 23,9	178 12,0	223 10,3	278 8,86	349 7,59	456 6,33	577 5,40	713 4,68	894 4,03	1113 3,48	1397 2,99	1767 2,56	2245 2,19	2850 1,87	3607 1,61	4453 1,40	5586 1,21	7070 1,04
6,4 24,7	181 12,4	227 10,6	283 9,14	355 7,83	463 6,53	586 5,57	724 4,83	908 4,15	1131 3,59	1419 3,09	1796 2,64	2280 2,26	2895 1,93	3664 1,66	4524 1,45	5675 1,25	7182 1,07

v, м/с, P _в , Па	Витрата, м ³ /год (перший рядок) та питомі втрати тиску, Па/м (другий рядок) у повітроводах діаметром, мм																
	100	112	125	140	160	180	200	224	250	280	315	355	400	450	500	560	630
6,5	184	231	287	360	470	595	735	922	1149	1441	1824	2316	2941	3722	4595	5763	7294
25,4	12,8	11,0	9,42	8,07	6,73	5,74	4,98	4,28	3,70	3,18	2,73	2,33	1,99	1,71	1,49	1,29	1,11
6,6	187	234	292	366	478	605	746	936	1166	1463	1852	2352	2986	3779	4665	5852	7407
26,2	13,2	11,3	9,71	8,32	6,94	5,92	5,14	4,41	3,81	3,28	2,81	2,40	2,05	1,76	1,54	1,33	1,14
6,7	189	238	296	371	485	614	758	951	1184	1485	1880	2387	3031	3836	4736	5941	7519
27	13,6	11,6	10,0	8,57	7,15	6,10	5,29	4,55	3,93	3,38	2,89	2,47	2,12	1,82	1,58	1,37	1,18
6,8	192	241	300	377	492	623	769	965	1202	1507	1908	2423	3076	3893	4807	6029	7631
27,8	14,0	12,0	10,3	8,83	7,36	6,28	5,45	4,68	4,05	3,48	2,98	2,55	2,18	1,87	1,63	1,41	1,21
6,9	195	245	305	382	499	632	780	979	1219	1530	1936	2459	3121	3951	4877	6118	7743
28,7	14,4	12,3	10,6	9,09	7,58	6,46	5,61	4,82	4,17	3,58	3,07	2,62	2,24	1,92	1,68	1,45	1,25
7,0	198	248	309	388	507	641	792	993	1237	1552	1964	2494	3167	4008	4948	6207	7855
29,5	14,8	12,7	10,9	9,35	7,80	6,65	5,77	4,96	4,29	3,69	3,16	2,70	2,31	1,98	1,73	1,49	1,28
7,1	201	252	314	393	514	650	803	1007	1255	1574	1992	2530	3212	4065	5019	6295	7968
30,4	15,3	13,1	11,2	9,62	8,02	6,84	5,94	5,10	4,41	3,79	3,25	2,78	2,37	2,04	1,78	1,53	1,32
7,2	204	255	318	399	521	660	814	1021	1272	1596	2020	2566	3257	4122	5089	6384	8080
31,2	15,7	13,4	11,5	9,89	8,25	7,03	6,10	5,25	4,53	3,90	3,34	2,85	2,44	2,09	1,83	1,58	1,36

v, м/с, P _в , Па	Витрата, м ³ /год (перший рядок) та питомі втрати тиску, Па/м (другий рядок) у повітроводах діаметром, мм																
	100	112	125	140	160	180	200	224	250	280	315	355	400	450	500	560	630
7,3	206	259	323	405	528	669	826	1036	1290	1618	2048	2601	3302	4180	5160	6473	8192
32,1	16,1	13,8	11,9	10,2	8,47	7,23	6,27	5,39	4,66	4,01	3,43	2,93	2,51	2,15	1,88	1,62	1,39
7,4	209	262	327	410	536	678	837	1050	1308	1640	2076	2637	3348	4237	5231	6561	8304
33	16,6	14,2	12,2	10,4	8,71	7,43	6,45	5,54	4,79	4,12	3,53	3,01	2,58	2,21	1,93	1,67	1,43
7,5	212	266	331	416	543	687	848	1064	1325	1663	2104	2672	3393	4294	5301	6650	8417
33,9	17,0	14,6	12,5	10,7	8,94	7,63	6,62	5,69	4,91	4,23	3,62	3,09	2,65	2,27	1,98	1,71	1,47
7,6	215	270	336	421	550	696	860	1078	1343	1685	2132	2708	3438	4351	5372	6739	8529
34,8	17,5	14,9	12,9	11,0	9,18	7,83	6,80	5,84	5,05	4,34	3,72	3,18	2,72	2,33	2,03	1,76	1,51
7,7	218	273	340	427	557	705	871	1092	1361	1707	2160	2744	3483	4409	5443	6827	8641
35,7	17,9	15,3	13,2	11,3	9,42	8,04	6,97	5,99	5,18	4,46	3,81	3,26	2,79	2,39	2,09	1,80	1,55
7,8	221	277	345	432	565	715	882	1107	1378	1729	2188	2779	3529	4466	5513	6916	8753
36,6	18,4	15,7	13,5	11,6	9,67	8,24	7,16	6,15	5,31	4,57	3,91	3,35	2,86	2,45	2,14	1,85	1,59
7,9	223	280	349	438	572	724	893	1121	1396	1751	2216	2815	3574	4523	5584	7005	8865
37,6	18,9	16,1	13,9	11,9	9,91	8,46	7,34	6,31	5,45	4,69	4,01	3,43	2,94	2,52	2,20	1,9	1,63
8,0	226	284	353	443	579	733	905	1135	1414	1773	2244	2851	3619	4580	5655	7093	8978
38,5	19,4	16,5	14,2	12,2	10,2	8,67	7,52	6,47	5,59	4,81	4,12	3,52	3,01	2,58	2,25	1,94	1,67

v, м/с, P _в , Па	Витрата, м ³ /год (перший рядок) та питомі втрати тиску, Па/м (другий рядок) у повітроводах діаметром, мм																
	100	112	125	140	160	180	200	224	250	280	315	355	400	450	500	560	630
8,1	229	287	358	449	586	742	916	1149	1431	1796	2272	2886	3664	4638	5726	7182	9090
39,5	19,8	17,0	14,6	12,5	10,4	8,89	7,71	6,63	5,73	4,93	4,22	3,61	3,08	2,65	2,31	1,99	1,71
8,2	232	291	362	454	594	751	927	1163	1449	1818	2301	2922	3710	4695	5796	7271	9202
40,5	20,3	17,4	14,9	12,8	10,7	9,11	7,90	6,79	5,87	5,05	4,32	3,69	3,16	2,71	2,36	2,04	1,76
8,3	235	294	367	460	601	760	939	1178	1467	1840	2329	2958	3755	4752	5867	7359	9314
41,5	20,8	17,8	15,3	13,1	10,9	9,33	8,10	6,96	6,01	5,17	4,43	3,78	3,24	2,78	2,42	2,09	1,80
8,4	238	298	371	466	608	770	950	1192	1484	1862	2357	2993	3800	4809	5938	7448	9427
42,5	21,3	18,2	15,7	13,4	11,2	9,55	8,29	7,12	6,16	5,30	4,53	3,88	3,32	2,84	2,48	2,14	1,84
8,5	240	301	376	471	615	779	961	1206	1502	1884	2385	3029	3845	4867	6008	7537	9539
43,5	21,8	18,7	16,0	13,7	11,5	9,78	8,49	7,29	6,30	5,42	4,64	3,97	3,39	2,91	2,54	2,19	1,89

Примітки.

1. Повну таблицю розміщено на сторінці <https://cutt.ly/Oel2o5im>.
2. Для економії місця нульову цілу частину чисел не наведено. Наприклад, « ,236 » означає 0,236.
4. Таблиці не вимагають інтерполяції даних

Додаток Б. Еквівалентна шорсткість матеріалів

Таблиця Б.1

Еквівалентна шорсткість стінок повітроводів і каналів

Матеріал стінок	k_e , м
Листова сталь, вініпласт, інші пластики	0,0001
Фанера	0,00012
Шлакоалебастрові (шлакогіпсові) плити	0,001
Шлакобетонні плити	0,0015
Гофровані металеві повітроводи	0,0021
Цегла	0,004
Штукатурка (по металевій сітці)	0,010

Примітка. Як показали підрахунки, уведення поправок на шорсткість до даних для сталевих повітроводів, що отримані за рівнянням Колбрука-Уайта, призводить до суттєвої похибки і тому не рекомендується.

Додаток В. Поправки на температуру

Таблиця В.1

Поправка на температуру k_1 для втрат тиску за довжиною при розрахунках за рівнянням Колбрука-Уайта

Поправка на температуру при температурі повітря, °С, максимальне відхилення втрати тиску за довжиною, %													
Одиниці	Десятки												
	- 30	- 20	- 10	- 0	+ 0	+ 10	+ 20	+ 30	+ 40	+ 50	+ 60	+ 70	+ 80
0	1,142 5,23	1,110 4,13	1,080 3,05	1,052 2,00	1,052 2,00	1,025 0,99	1,000 0,00	0,976 0,95	0,954 1,87	0,932 2,69	0,911 3,54	0,892 4,38	0,873 5,19
1	– 4,23	1,113 3,16	1,083 2,11	1,055 1,90	1,049 0,89	1,023 0,10	0,998 0,10	0,974 1,05	0,951 1,90	0,930 2,78	0,909 3,63	0,890 4,46	–
2	– 4,34	1,117 3,26	1,086 2,21	1,057 1,80	1,046 0,79	1,020 0,19	0,995 0,19	0,972 1,14	0,949 1,99	0,928 2,86	0,907 3,71	0,888 4,54	–
3	– 4,45	1,120 3,37	1,089 2,31	1,060 1,70	1,044 0,69	1,018 0,29	0,993 0,29	0,969 1,23	0,947 2,08	0,926 2,95	0,906 3,79	0,886 4,62	–
4	– 4,56	1,123 3,48	1,092 2,42	1,063 1,59	1,041 0,59	1,015 0,39	0,990 0,39	0,967 1,32	0,945 2,17	0,924 3,03	0,904 3,88	0,884 4,71	–
5	– 4,68	1,126 3,58	1,095 2,52	1,066 1,49	1,038 0,49	1,012 0,48	0,988 0,48	0,965 1,42	0,943 2,25	0,922 3,12	0,902 3,96	0,882 4,79	–
6	– 4,79	1,129 3,69	1,098 2,63	1,069 1,39	1,036 0,39	1,010 0,58	0,986 1,51	0,962 2,34	0,940 3,20	0,920 4,05	0,900 4,87	0,880	–
7	– 4,90	1,132 3,80	1,101 2,73	1,072 1,29	1,033 0,29	1,007 0,67	0,983 1,59	0,960 2,43	0,938 3,29	0,918 4,13	0,898 4,95	0,879	–
8	– 5,01	1,136 3,91	1,104 2,84	1,074 1,19	1,030 0,20	1,005 0,76	0,981 1,69	0,958 2,52	0,936 3,37	0,916 4,21	0,896 5,03	0,877	–
9	– 5,12	1,139 4,02	1,107 2,94	1,077 1,09	1,028 0,10	1,002 0,86	0,978 1,78	0,956 2,60	0,934 3,45	0,913 4,29	0,894 5,11	0,875	–

Апроксимаційна формула, що надає всі три правильних знаки після коми,

$$k_1 = ((8 \cdot 10^{-6} - 2 \cdot 10^{-8} \cdot t) \cdot t - 0,002749) \cdot t + 1,05194. \quad (B.1)$$

Спрощена апроксимаційна формула, що дає відхилення на 0,001

$$k_1 = 1,052668 - 0,0027668 \cdot t + 0,00000667 \cdot t^2. \quad (B.2)$$

Таблиця В.2

Поправка на температуру k_2 для втрат тиску на місцеві опори

Поправка на температуру при температурі повітря, °С													
Оди- ниці	Десятки												
	- 30	- 20	- 10	- 0	+ 0	+ 10	+ 20	+ 30	+40	+50	+60	+70	+80
0	1,206	1,158	1,114	1,073	1,073	1,035	1,000	0,967	0,936	0,907	0,880	0,854	0,830
1	–	1,163	1,118	1,077	1,069	1,032	0,997	0,964	0,933	0,904	0,877	0,852	–
2	–	1,167	1,123	1,081	1,065	1,028	0,993	0,961	0,930	0,902	0,875	0,849	–
3	–	1,172	1,127	1,085	1,062	1,024	0,990	0,958	0,927	0,899	0,872	0,847	–
4	–	1,177	1,131	1,089	1,058	1,021	0,987	0,954	0,924	0,896	0,869	0,844	–
5	–	1,181	1,136	1,093	1,054	1,017	0,983	0,951	0,921	0,893	0,867	0,842	–
6	–	1,186	1,140	1,097	1,050	1,014	0,980	0,948	0,919	0,891	0,864	0,840	–
7	–	1,191	1,144	1,101	1,046	1,010	0,977	0,945	0,916	0,888	0,862	0,837	–
8	–	1,196	1,149	1,106	1,043	1,007	0,973	0,942	0,913	0,885	0,859	0,835	–
9	–	1,201	1,153	1,110	1,039	1,003	0,970	0,939	0,910	0,883	0,857	0,832	–



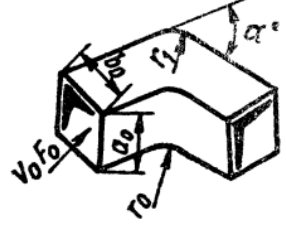
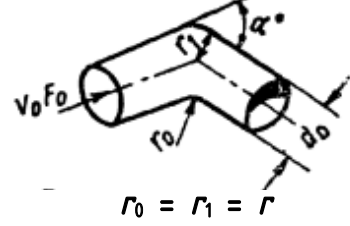
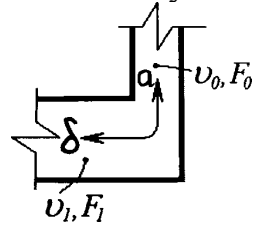
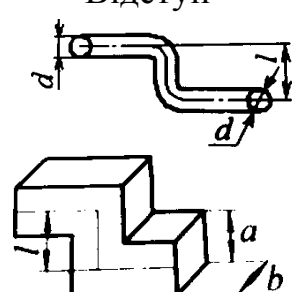
Примітка. Поправка не вносить похибок, оскільки перераховує динамічний тиск на потрібну температуру за формулою

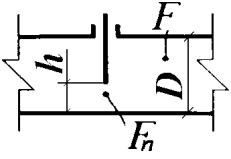
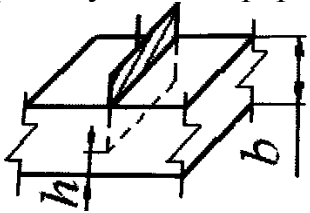
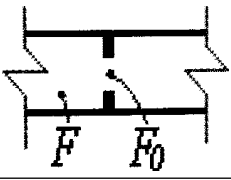
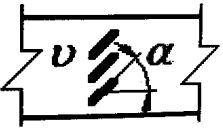
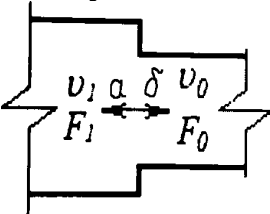
$$k_2 = \rho / \rho(20^\circ\text{C}) = 293,15 / (273,15 + t). \quad (\text{В.3})$$

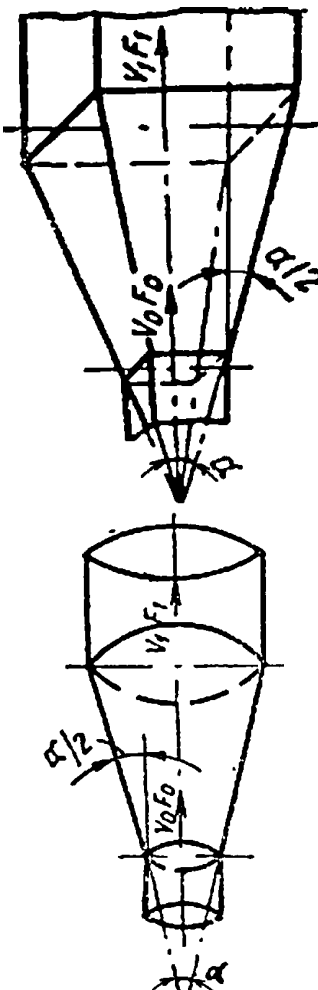
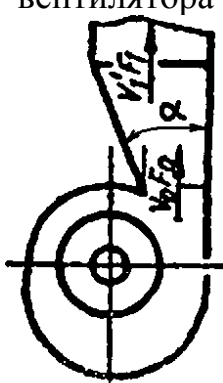
Додаток Г. Коефіцієнти місцевого опору

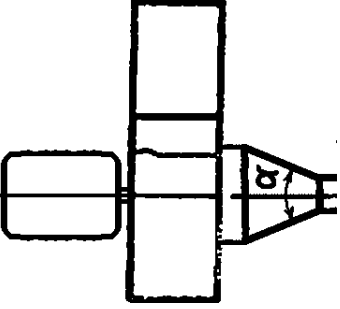
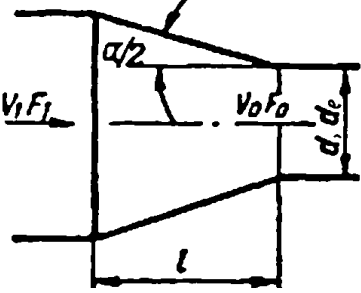
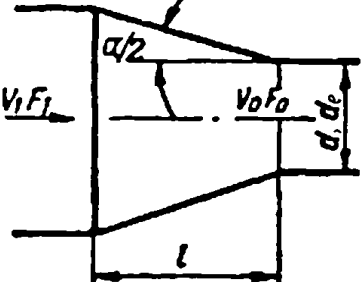
Таблиця Г. 1.

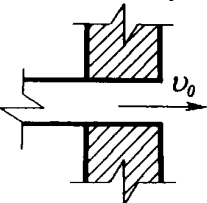
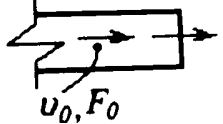
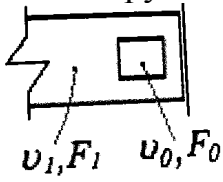
Коефіцієнти місцевого опору

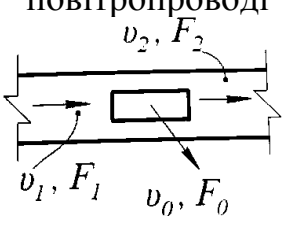
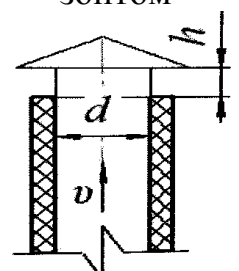
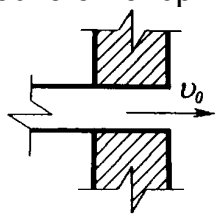
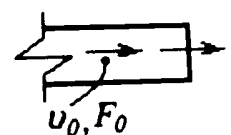
Назва, креслення	Значення коефіцієнта місцевого опору ζ																																																																																																																			
Група 1. Зміна напрямку повітряного потоку																																																																																																																				
<p>Відвід уніфікований</p>  на 90°  на 45°	<p>0,35</p> <p>0,25</p>																																																																																																																			
<p>Коліно з закругленими кромками</p>   $r_0 = r_1 = r$	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>r</th> <th colspan="10">Значення ζ при куті α, °</th> </tr> <tr> <th>d</th> <th>0</th><th>20</th><th>30</th><th>45</th><th>60</th><th>75</th><th>90</th><th>110</th><th>130</th><th>150</th><th>180</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0,05</td> <td>0</td><td>0,27</td><td>0,39</td><td>0,52</td><td>0,68</td><td>0,79</td><td>0,87</td><td>0,98</td><td>1,05</td><td>1,11</td><td>1,22</td> </tr> <tr> <td>0,1</td> <td>0</td><td>0,22</td><td>0,32</td><td>0,42</td><td>0,55</td><td>0,63</td><td>0,7</td><td>0,79</td><td>0,84</td><td>0,9</td><td>0,98</td> </tr> <tr> <td>0,2</td> <td>0</td><td>0,14</td><td>0,2</td><td>0,26</td><td>0,34</td><td>0,4</td><td>0,44</td><td>0,5</td><td>0,53</td><td>0,56</td><td>0,62</td> </tr> <tr> <td>0,3</td> <td>0</td><td>0,1</td><td>0,14</td><td>0,19</td><td>0,24</td><td>0,28</td><td>0,31</td><td>0,35</td><td>0,37</td><td>0,39</td><td>0,43</td> </tr> <tr> <td>0,4</td> <td>0</td><td>0,08</td><td>0,12</td><td>0,15</td><td>0,2</td><td>0,28</td><td>0,26</td><td>0,29</td><td>0,31</td><td>0,33</td><td>0,36</td> </tr> <tr> <td>0,5</td> <td>0</td><td>0,07</td><td>0,11</td><td>0,14</td><td>0,19</td><td>0,22</td><td>0,24</td><td>0,27</td><td>0,29</td><td>0,31</td><td>0,34</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">При прямокутному перерізі множити на C</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>a_0/b_0</th> <th>0,25</th><th>0,5</th><th>0,75</th><th>1</th><th>1,5</th><th>2</th><th>3</th><th>4</th><th>5</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>C</td> <td>1,3</td><td>1,17</td><td>1,09</td><td>1</td><td>0,9</td><td>0,85</td><td>0,86</td><td>0,9</td><td>0,95</td> </tr> </tbody> </table>	r	Значення ζ при куті α , °										d	0	20	30	45	60	75	90	110	130	150	180	0,05	0	0,27	0,39	0,52	0,68	0,79	0,87	0,98	1,05	1,11	1,22	0,1	0	0,22	0,32	0,42	0,55	0,63	0,7	0,79	0,84	0,9	0,98	0,2	0	0,14	0,2	0,26	0,34	0,4	0,44	0,5	0,53	0,56	0,62	0,3	0	0,1	0,14	0,19	0,24	0,28	0,31	0,35	0,37	0,39	0,43	0,4	0	0,08	0,12	0,15	0,2	0,28	0,26	0,29	0,31	0,33	0,36	0,5	0	0,07	0,11	0,14	0,19	0,22	0,24	0,27	0,29	0,31	0,34	a_0/b_0	0,25	0,5	0,75	1	1,5	2	3	4	5	C	1,3	1,17	1,09	1	0,9	0,85	0,86	0,9	0,95
r	Значення ζ при куті α , °																																																																																																																			
d	0	20	30	45	60	75	90	110	130	150	180																																																																																																									
0,05	0	0,27	0,39	0,52	0,68	0,79	0,87	0,98	1,05	1,11	1,22																																																																																																									
0,1	0	0,22	0,32	0,42	0,55	0,63	0,7	0,79	0,84	0,9	0,98																																																																																																									
0,2	0	0,14	0,2	0,26	0,34	0,4	0,44	0,5	0,53	0,56	0,62																																																																																																									
0,3	0	0,1	0,14	0,19	0,24	0,28	0,31	0,35	0,37	0,39	0,43																																																																																																									
0,4	0	0,08	0,12	0,15	0,2	0,28	0,26	0,29	0,31	0,33	0,36																																																																																																									
0,5	0	0,07	0,11	0,14	0,19	0,22	0,24	0,27	0,29	0,31	0,34																																																																																																									
a_0/b_0	0,25	0,5	0,75	1	1,5	2	3	4	5																																																																																																											
C	1,3	1,17	1,09	1	0,9	0,85	0,86	0,9	0,95																																																																																																											
<p>Коліно з постійним перерізом (ПП) та зі зміною перерізу потоку</p> 	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>F_0/F_1</th> <th>1 (ПП)</th><th>0,9</th><th>0,7</th><th>0,5</th><th>0,3</th><th>0,1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="7" style="text-align: center;">а) з більшого перерізу до меншого</td> </tr> <tr> <td>ζ</td> <td>1,1</td><td>0,97</td><td>0,74</td><td>0,57</td><td>0,46</td><td>0,41</td> </tr> <tr> <td colspan="7" style="text-align: center;">б) з меншого перерізу до більшого</td> </tr> <tr> <td>ζ</td> <td>1,1</td><td>1,06</td><td>1,02</td><td>1,01</td><td>1,01</td><td>1,01</td> </tr> </tbody> </table> <p>Відносяться до швидкості в меншому перерізі v_0. Коліно зі зміною перерізу починає нову ділянку і відноситься до ділянки з меншим перерізом</p>	F_0/F_1	1 (ПП)	0,9	0,7	0,5	0,3	0,1	а) з більшого перерізу до меншого							ζ	1,1	0,97	0,74	0,57	0,46	0,41	б) з меншого перерізу до більшого							ζ	1,1	1,06	1,02	1,01	1,01	1,01																																																																																
F_0/F_1	1 (ПП)	0,9	0,7	0,5	0,3	0,1																																																																																																														
а) з більшого перерізу до меншого																																																																																																																				
ζ	1,1	0,97	0,74	0,57	0,46	0,41																																																																																																														
б) з меншого перерізу до більшого																																																																																																																				
ζ	1,1	1,06	1,02	1,01	1,01	1,01																																																																																																														
<p>Відступ</p> 	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tbody> <tr> <td>$l/b, l/d$</td> <td>0</td><td>0,4</td><td>0,6</td><td>0,8</td><td>1</td><td>1,2</td><td>1,4</td><td>1,6</td><td>1,8</td><td>2</td> </tr> <tr> <td>ζ</td> <td>0</td><td>0,62</td><td>0,9</td><td>1,61</td><td>2,63</td><td>3,61</td><td>4,01</td><td>4,18</td><td>4,22</td><td>4,1</td> </tr> <tr> <td>$l/b, l/d$</td> <td>2,4</td><td>2,8</td><td>3,2</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>9</td><td>10</td><td>∞</td> </tr> <tr> <td>ζ</td> <td>3,65</td><td>3,3</td><td>3,2</td><td>3,08</td><td>2,92</td><td>2,8</td><td>2,7</td><td>2,8</td><td>2,45</td><td>2,3</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">Для прямокутного перерізу множити на C</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tbody> <tr> <td>a_0/b_0</td> <td>0,25</td><td>0,5</td><td>0,75</td><td>1,0</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>1,1</td><td>1,07</td><td>1,04</td><td>1,0</td> </tr> </tbody> </table>	$l/b, l/d$	0	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	ζ	0	0,62	0,9	1,61	2,63	3,61	4,01	4,18	4,22	4,1	$l/b, l/d$	2,4	2,8	3,2	4	5	6	7	9	10	∞	ζ	3,65	3,3	3,2	3,08	2,92	2,8	2,7	2,8	2,45	2,3	a_0/b_0	0,25	0,5	0,75	1,0	C	1,1	1,07	1,04	1,0																																																													
$l/b, l/d$	0	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2																																																																																																										
ζ	0	0,62	0,9	1,61	2,63	3,61	4,01	4,18	4,22	4,1																																																																																																										
$l/b, l/d$	2,4	2,8	3,2	4	5	6	7	9	10	∞																																																																																																										
ζ	3,65	3,3	3,2	3,08	2,92	2,8	2,7	2,8	2,45	2,3																																																																																																										
a_0/b_0	0,25	0,5	0,75	1,0																																																																																																																
C	1,1	1,07	1,04	1,0																																																																																																																

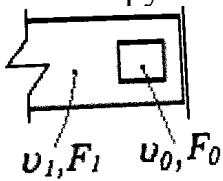
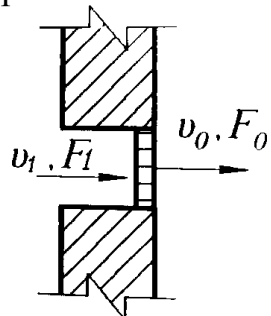

Назва, креслення	Значення коефіцієнта місцевого опору ζ																																																																																							
Група 2. Зміна швидкості повітряного потоку																																																																																								
Шибер у повітроводі круглого перерізу 	<table border="1"> <tr> <td>h/D</td> <td>0,30</td> <td>0,405</td> <td>0,5</td> <td>0,59</td> <td>0,67</td> <td>0,755</td> <td>0,84</td> <td>0,92</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>F_n/F</td> <td>0,25</td> <td>0,38</td> <td>0,5</td> <td>0,61</td> <td>0,71</td> <td>0,81</td> <td>0,9</td> <td>0,96</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>ζ</td> <td>35</td> <td>10</td> <td>4,6</td> <td>2,06</td> <td>0,98</td> <td>0,44</td> <td>0,17</td> <td>0,06</td> <td>0</td> </tr> </table> Відноситься до швидкості в повітроводі	h/D	0,30	0,405	0,5	0,59	0,67	0,755	0,84	0,92	1	F_n/F	0,25	0,38	0,5	0,61	0,71	0,81	0,9	0,96	1	ζ	35	10	4,6	2,06	0,98	0,44	0,17	0,06	0																																																									
h/D	0,30	0,405	0,5	0,59	0,67	0,755	0,84	0,92	1																																																																															
F_n/F	0,25	0,38	0,5	0,61	0,71	0,81	0,9	0,96	1																																																																															
ζ	35	10	4,6	2,06	0,98	0,44	0,17	0,06	0																																																																															
Шибер у повітроводі прямокутного перерізу 	<table border="1"> <tr> <td>h/b</td> <td>0,1</td> <td>0,15</td> <td>0,2</td> <td>0,3</td> <td>0,4</td> <td>0,5</td> <td>0,7</td> <td>0,9</td> </tr> <tr> <td>ζ</td> <td>203</td> <td>86,5</td> <td>48,7</td> <td>17,9</td> <td>8,78</td> <td>4,47</td> <td>1,12</td> <td>0,13</td> </tr> </table> Відноситься до швидкості в повітроводі	h/b	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	0,9	ζ	203	86,5	48,7	17,9	8,78	4,47	1,12	0,13																																																																					
h/b	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	0,9																																																																																
ζ	203	86,5	48,7	17,9	8,78	4,47	1,12	0,13																																																																																
Діафрагма 	<table border="1"> <tr> <td>F_0/F</td> <td>0,5</td> <td>0,6</td> <td>0,7</td> <td>0,8</td> <td>0,9</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>ζ</td> <td>4</td> <td>2</td> <td>0,97</td> <td>0,42</td> <td>0,13</td> <td>0</td> </tr> </table> Відноситься до швидкості в повітроводі	F_0/F	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	ζ	4	2	0,97	0,42	0,13	0																																																																									
F_0/F	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1																																																																																		
ζ	4	2	0,97	0,42	0,13	0																																																																																		
Дросель-клапан 	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Кількість ступок</th> <th colspan="10">Значення ζ при α</th> </tr> <tr> <th>0</th> <th>10</th> <th>20</th> <th>30</th> <th>40</th> <th>50</th> <th>60</th> <th>70</th> <th>80</th> <th>90</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>0,04</td> <td>0,3</td> <td>1,1</td> <td>2,5</td> <td>8</td> <td>23</td> <td>60</td> <td>200</td> <td>1500</td> <td>8000</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0,17</td> <td>0,4</td> <td>1,1</td> <td>2,2</td> <td>5,5</td> <td>11,5</td> <td>30</td> <td>80</td> <td>300</td> <td>7000</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>0,14</td> <td>0,25</td> <td>0,8</td> <td>2,0</td> <td>4,5</td> <td>10</td> <td>20</td> <td>40</td> <td>140</td> <td>7000</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>0,12</td> <td>0,22</td> <td>0,73</td> <td>1,7</td> <td>4</td> <td>8</td> <td>14</td> <td>30</td> <td>110</td> <td>6000</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>0,15</td> <td>0,2</td> <td>0,65</td> <td>1,5</td> <td>3</td> <td>7</td> <td>13</td> <td>25</td> <td>70</td> <td>5000</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>0,2</td> <td>0,35</td> <td>1</td> <td>2,3</td> <td>4,8</td> <td>8,5</td> <td>16</td> <td>35</td> <td>150</td> <td>–</td> </tr> </tbody> </table> Відноситься до швидкості в повітроводі	Кількість ступок	Значення ζ при α										0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	1	0,04	0,3	1,1	2,5	8	23	60	200	1500	8000	2	0,17	0,4	1,1	2,2	5,5	11,5	30	80	300	7000	3	0,14	0,25	0,8	2,0	4,5	10	20	40	140	7000	4	0,12	0,22	0,73	1,7	4	8	14	30	110	6000	5	0,15	0,2	0,65	1,5	3	7	13	25	70	5000	6	0,2	0,35	1	2,3	4,8	8,5	16	35	150	–
Кількість ступок	Значення ζ при α																																																																																							
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90																																																																														
1	0,04	0,3	1,1	2,5	8	23	60	200	1500	8000																																																																														
2	0,17	0,4	1,1	2,2	5,5	11,5	30	80	300	7000																																																																														
3	0,14	0,25	0,8	2,0	4,5	10	20	40	140	7000																																																																														
4	0,12	0,22	0,73	1,7	4	8	14	30	110	6000																																																																														
5	0,15	0,2	0,65	1,5	3	7	13	25	70	5000																																																																														
6	0,2	0,35	1	2,3	4,8	8,5	16	35	150	–																																																																														
Раптове розширення та звуження 	<table border="1"> <tr> <td>F_0/F_1</td> <td>0,1</td> <td>0,2</td> <td>0,3</td> <td>0,4</td> <td>0,5</td> <td>0,6</td> <td>0,7</td> <td>0,8</td> <td>1,0</td> </tr> <tr> <td colspan="11" style="text-align: center;">а) раптове розширення</td> </tr> <tr> <td>ζ</td> <td>0,81</td> <td>0,64</td> <td>0,5</td> <td>0,36</td> <td>0,25</td> <td>0,16</td> <td>0,09</td> <td>0,04</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td colspan="11" style="text-align: center;">б) раптове звуження</td> </tr> <tr> <td>ζ</td> <td>0,45</td> <td>0,4</td> <td>0,35</td> <td>0,3</td> <td>0,25</td> <td>0,2</td> <td>0,15</td> <td>0,1</td> <td>0</td> </tr> </table> Відноситься до швидкості в меншому перерізі	F_0/F_1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	а) раптове розширення											ζ	0,81	0,64	0,5	0,36	0,25	0,16	0,09	0,04	0	б) раптове звуження											ζ	0,45	0,4	0,35	0,3	0,25	0,2	0,15	0,1	0																																			
F_0/F_1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0																																																																															
а) раптове розширення																																																																																								
ζ	0,81	0,64	0,5	0,36	0,25	0,16	0,09	0,04	0																																																																															
б) раптове звуження																																																																																								
ζ	0,45	0,4	0,35	0,3	0,25	0,2	0,15	0,1	0																																																																															

Назва, креслення	Значення коефіцієнта місцевого опору ζ																																																																																																																																																																															
<i>Продовження групи 2. Зміна швидкості повітряного потоку</i>																																																																																																																																																																																
<p>Дифузори</p> 	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">F_0/F_1</th> <th colspan="10">α°</th> </tr> <tr> <th>10</th><th>12</th><th>14</th><th>16</th><th>18</th><th>20</th><th>24</th><th>28</th><th>32</th><th>40</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="11" style="text-align: center;">Прямокутний переріз</td> </tr> <tr> <td>0,2</td><td>0,14</td><td>0,17</td><td>0,2</td><td>0,24</td><td>0,28</td><td>0,31</td><td>0,4</td><td>0,49</td><td>0,59</td><td>0,69</td> </tr> <tr> <td>0,25</td><td>0,13</td><td>0,15</td><td>0,18</td><td>0,21</td><td>0,24</td><td>0,27</td><td>0,35</td><td>0,43</td><td>0,52</td><td>0,61</td> </tr> <tr> <td>0,3</td><td>0,11</td><td>0,13</td><td>0,16</td><td>0,19</td><td>0,22</td><td>0,24</td><td>0,31</td><td>0,38</td><td>0,46</td><td>0,53</td> </tr> <tr> <td>0,4</td><td>0,09</td><td>0,1</td><td>0,12</td><td>0,14</td><td>0,16</td><td>0,18</td><td>0,23</td><td>0,28</td><td>0,34</td><td>0,4</td> </tr> <tr> <td>0,5</td><td>0,07</td><td>0,08</td><td>0,09</td><td>0,1</td><td>0,12</td><td>0,13</td><td>0,17</td><td>0,2</td><td>0,24</td><td>0,28</td> </tr> <tr> <td>0,6</td><td>0,05</td><td>0,06</td><td>0,07</td><td>0,07</td><td>0,08</td><td>0,09</td><td>0,11</td><td>0,14</td><td>0,16</td><td>0,19</td> </tr> <tr> <td colspan="11" style="text-align: center;">Круглий переріз</td> </tr> <tr> <td>0,2</td><td>0,12</td><td>0,14</td><td>0,17</td><td>0,19</td><td>0,25</td><td>0,32</td><td>0,43</td><td>0,61</td><td>0,2</td><td>0,12</td> </tr> <tr> <td>0,25</td><td>0,1</td><td>0,12</td><td>0,15</td><td>0,17</td><td>0,22</td><td>0,28</td><td>0,37</td><td>0,49</td><td>0,25</td><td>0,1</td> </tr> <tr> <td>0,3</td><td>0,09</td><td>0,11</td><td>0,13</td><td>0,15</td><td>0,2</td><td>0,25</td><td>0,33</td><td>0,42</td><td>0,3</td><td>0,09</td> </tr> <tr> <td>0,4</td><td>0,08</td><td>0,09</td><td>0,1</td><td>0,12</td><td>0,15</td><td>0,19</td><td>0,25</td><td>0,35</td><td>0,4</td><td>0,08</td> </tr> <tr> <td>0,5</td><td>0,06</td><td>0,07</td><td>0,08</td><td>0,09</td><td>0,11</td><td>0,14</td><td>0,18</td><td>0,25</td><td>0,5</td><td>0,06</td> </tr> <tr> <td>0,6</td><td>0,05</td><td>0,05</td><td>0,06</td><td>0,07</td><td>0,08</td><td>0,1</td><td>0,12</td><td>0,17</td><td>0,6</td><td>0,05</td> </tr> </tbody> </table> <p>Відноситься до швидкості в меншому перерізі</p>	F_0/F_1	α°										10	12	14	16	18	20	24	28	32	40	Прямокутний переріз											0,2	0,14	0,17	0,2	0,24	0,28	0,31	0,4	0,49	0,59	0,69	0,25	0,13	0,15	0,18	0,21	0,24	0,27	0,35	0,43	0,52	0,61	0,3	0,11	0,13	0,16	0,19	0,22	0,24	0,31	0,38	0,46	0,53	0,4	0,09	0,1	0,12	0,14	0,16	0,18	0,23	0,28	0,34	0,4	0,5	0,07	0,08	0,09	0,1	0,12	0,13	0,17	0,2	0,24	0,28	0,6	0,05	0,06	0,07	0,07	0,08	0,09	0,11	0,14	0,16	0,19	Круглий переріз											0,2	0,12	0,14	0,17	0,19	0,25	0,32	0,43	0,61	0,2	0,12	0,25	0,1	0,12	0,15	0,17	0,22	0,28	0,37	0,49	0,25	0,1	0,3	0,09	0,11	0,13	0,15	0,2	0,25	0,33	0,42	0,3	0,09	0,4	0,08	0,09	0,1	0,12	0,15	0,19	0,25	0,35	0,4	0,08	0,5	0,06	0,07	0,08	0,09	0,11	0,14	0,18	0,25	0,5	0,06	0,6	0,05	0,05	0,06	0,07	0,08	0,1	0,12	0,17	0,6	0,05
	F_0/F_1		α°																																																																																																																																																																													
10		12	14	16	18	20	24	28	32	40																																																																																																																																																																						
Прямокутний переріз																																																																																																																																																																																
0,2	0,14	0,17	0,2	0,24	0,28	0,31	0,4	0,49	0,59	0,69																																																																																																																																																																						
0,25	0,13	0,15	0,18	0,21	0,24	0,27	0,35	0,43	0,52	0,61																																																																																																																																																																						
0,3	0,11	0,13	0,16	0,19	0,22	0,24	0,31	0,38	0,46	0,53																																																																																																																																																																						
0,4	0,09	0,1	0,12	0,14	0,16	0,18	0,23	0,28	0,34	0,4																																																																																																																																																																						
0,5	0,07	0,08	0,09	0,1	0,12	0,13	0,17	0,2	0,24	0,28																																																																																																																																																																						
0,6	0,05	0,06	0,07	0,07	0,08	0,09	0,11	0,14	0,16	0,19																																																																																																																																																																						
Круглий переріз																																																																																																																																																																																
0,2	0,12	0,14	0,17	0,19	0,25	0,32	0,43	0,61	0,2	0,12																																																																																																																																																																						
0,25	0,1	0,12	0,15	0,17	0,22	0,28	0,37	0,49	0,25	0,1																																																																																																																																																																						
0,3	0,09	0,11	0,13	0,15	0,2	0,25	0,33	0,42	0,3	0,09																																																																																																																																																																						
0,4	0,08	0,09	0,1	0,12	0,15	0,19	0,25	0,35	0,4	0,08																																																																																																																																																																						
0,5	0,06	0,07	0,08	0,09	0,11	0,14	0,18	0,25	0,5	0,06																																																																																																																																																																						
0,6	0,05	0,05	0,06	0,07	0,08	0,1	0,12	0,17	0,6	0,05																																																																																																																																																																						
<p>Дифузор прямокутного перерізу після радіального вентилятора</p> 	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">F_0/F_1</th> <th colspan="5">Значення ζ при α</th> </tr> <tr> <th>10°</th><th>15°</th><th>20°</th><th>25°</th><th>30°</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1,5</td><td>0,10</td><td>0,23</td><td>0,31</td><td>0,36</td><td>0,42</td> </tr> <tr> <td>2,0</td><td>0,18</td><td>0,33</td><td>0,43</td><td>0,49</td><td>0,53</td> </tr> <tr> <td>2,5</td><td>0,21</td><td>0,38</td><td>0,48</td><td>0,55</td><td>0,59</td> </tr> <tr> <td>3,0</td><td>0,23</td><td>0,40</td><td>0,53</td><td>0,58</td><td>0,64</td> </tr> <tr> <td>3,5</td><td>0,24</td><td>0,42</td><td>0,56</td><td>0,62</td><td>0,67</td> </tr> <tr> <td>4,0</td><td>0,25</td><td>0,44</td><td>0,58</td><td>0,64</td><td>0,69</td> </tr> </tbody> </table> <p>Відноситься до швидкості в повітроводі. У різних джерелах відрізняється в понад два рази через суттєве збурення потоку вентилятором, яке сильно залежить від режиму його роботи</p>	F_0/F_1	Значення ζ при 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																																																																																																																																
F_0/F_1	Значення ζ при 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																																																																																																																																																																											



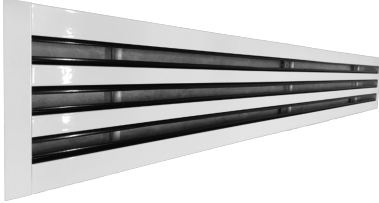
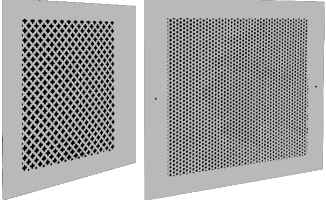

Назва, креслення	Значення коефіцієнта місцевого опору ζ																																		
<i>Продовження групи 2. Зміна швидкості повітряного потоку</i>																																			
<p>Дифузор конічний перед радіальним вентилятором</p> 	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>α°</td> <td>10</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>ζ</td> <td>0,5</td> <td>1,4</td> </tr> </table> <p>Відноситься до швидкості в повітроводі.</p>	α°	10	30	ζ	0,5	1,4																												
α°	10	30																																	
ζ	0,5	1,4																																	
<p>Конфузор у мережі</p>  <p>Для прямокутного перерізу розмірами $a \times b$</p> $d_e = \frac{2 \cdot a \cdot b}{a + b}$	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td rowspan="2">$l/d, l/d_e$</td> <td colspan="4">α°</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>20</td> <td>30</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td></td> <td colspan="4">ζ</td> </tr> <tr> <td>0,1</td> <td>0,41</td> <td>0,34</td> <td>0,27</td> <td>0,24</td> </tr> <tr> <td>0,15</td> <td>0,39</td> <td>0,29</td> <td>0,22</td> <td>0,18</td> </tr> <tr> <td>0,6</td> <td>0,29</td> <td>0,2</td> <td>0,15</td> <td>0,13</td> </tr> <tr> <td>>0,6</td> <td>0,1</td> <td>0,1</td> <td>0,1</td> <td>0,1</td> </tr> </table> <p>Відноситься до швидкості в меншому перерізі</p>	$l/d, l/d_e$	α°				10	20	30	40		ζ				0,1	0,41	0,34	0,27	0,24	0,15	0,39	0,29	0,22	0,18	0,6	0,29	0,2	0,15	0,13	>0,6	0,1	0,1	0,1	0,1
$l/d, l/d_e$	α°																																		
	10	20	30	40																															
	ζ																																		
0,1	0,41	0,34	0,27	0,24																															
0,15	0,39	0,29	0,22	0,18																															
0,6	0,29	0,2	0,15	0,13																															
>0,6	0,1	0,1	0,1	0,1																															
<p>Конфузор конічний перед вентилятором</p> 	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td colspan="4">α°</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>20</td> <td>30</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td colspan="4">ζ</td> </tr> <tr> <td>0,44</td> <td>0,39</td> <td>0,33</td> <td>0,32</td> </tr> <tr> <td>0,43</td> <td>0,36</td> <td>0,30</td> <td>0,27</td> </tr> <tr> <td>0,43</td> <td>0,43</td> <td>0,46</td> <td>0,55</td> </tr> <tr> <td colspan="4"> $0,1 \cdot (F_1/F_0)^2 = 0,1 \cdot (1 + 2 \cdot (l/d) \cdot \text{tg}(\alpha/2))^4$ </td> </tr> </table> <p>Відноситься до швидкості в повітроводі. У випадку суміщення з переходом з прямокутного на круглий переріз $\zeta = \zeta' \cdot (F_1/F_0)^2$, де ζ' визначають за табл. Для конфузора в мережі</p>	α°				10	20	30	40	ζ				0,44	0,39	0,33	0,32	0,43	0,36	0,30	0,27	0,43	0,43	0,46	0,55	$0,1 \cdot (F_1/F_0)^2 = 0,1 \cdot (1 + 2 \cdot (l/d) \cdot \text{tg}(\alpha/2))^4$									
α°																																			
10	20	30	40																																
ζ																																			
0,44	0,39	0,33	0,32																																
0,43	0,36	0,30	0,27																																
0,43	0,43	0,46	0,55																																
$0,1 \cdot (F_1/F_0)^2 = 0,1 \cdot (1 + 2 \cdot (l/d) \cdot \text{tg}(\alpha/2))^4$																																			

Назва, креслення	Значення коефіцієнта місцевого опору ζ																																													
Група 3. Вихід повітря із мережі повітроводів																																														
<p>Вихід в рівень з плоскою поверхнею</p> 	$\zeta = 1,0$																																													
<p>Вихід з повітроводу в необмежений простір</p> 	$\zeta = 1,1$																																													
<p>Вихід повітря з останнього бічного отвору</p> 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>F_0/F_1</th> <th>0,2</th> <th>0,4</th> <th>0,6</th> <th>0,8</th> <th>1,0</th> <th>1,2</th> <th>1,4</th> <th>1,8</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="9" style="text-align: center;">Один отвір</td> </tr> <tr> <td>$\zeta_{отв}$</td> <td>65,7</td> <td>16,4</td> <td>7,3</td> <td>4,48</td> <td>3,16</td> <td>2,44</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td colspan="9" style="text-align: center;">Два отвори навпроти один одного</td> </tr> <tr> <td>$\zeta_{отв}$</td> <td>67,7</td> <td>17,2</td> <td>8,45</td> <td>5,86</td> <td>4,38</td> <td>3,47</td> <td>2,9</td> <td>2,25</td> </tr> </tbody> </table> <p>Примітки. Коефіцієнт місцевого опору ζ відносяться до швидкості потоку в отворі v_0. Бічні отвори вважати окремою ділянкою нульової довжини з сумою коефіцієнтів місцевого опору, рівному даному</p>	F_0/F_1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,8	Один отвір									$\zeta_{отв}$	65,7	16,4	7,3	4,48	3,16	2,44	-	-	Два отвори навпроти один одного									$\zeta_{отв}$	67,7	17,2	8,45	5,86	4,38	3,47	2,9	2,25
F_0/F_1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,8																																						
Один отвір																																														
$\zeta_{отв}$	65,7	16,4	7,3	4,48	3,16	2,44	-	-																																						
Два отвори навпроти один одного																																														
$\zeta_{отв}$	67,7	17,2	8,45	5,86	4,38	3,47	2,9	2,25																																						


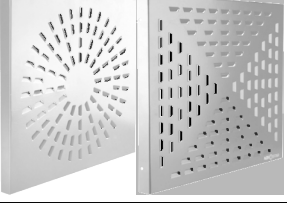


Назва, креслення	Значення коефіцієнта місцевого опору ζ																																
<i>Продовження групи 3. Вихід повітря із мережі повітроводів</i>																																	
<p>Вихід повітря з середнього отвору в повітропроводі</p> 	<p>Значення коефіцієнта місцевого опору на прохід, що відноситься до швидкості в повітропроводі після отвору v_2,</p> $\zeta_n = \zeta'_n \cdot (v_1/v_2)^2,$ <p>значення ζ' приймати за таблицею</p> <table border="1" data-bbox="606 627 1372 739"> <tr> <td>v_0/v_1</td> <td>0,4</td> <td>0,5</td> <td>0,6</td> <td>0,8</td> <td>1,0</td> </tr> <tr> <td>ζ'_n</td> <td>0,06</td> <td>0,01</td> <td>-0,03</td> <td>-0,06</td> <td>-0,03</td> </tr> </table> <p>Значення коефіцієнта місцевого опору на вихід</p> <table border="1" data-bbox="670 806 1308 907"> <tr> <td>v_0/v_1</td> <td>0,4</td> <td>0,6</td> <td>0,8</td> <td>1,0</td> <td>1,2</td> <td>1,4</td> <td>1,6</td> <td>1,8</td> <td>2,0</td> </tr> <tr> <td>ζ_{ome}</td> <td>1,8</td> <td>1,7</td> <td>1,7</td> <td>1,8</td> <td>1,9</td> <td>2,1</td> <td>2,3</td> <td>2,6</td> <td>3,0</td> </tr> </table> <p>Примітки. Коефіцієнт місцевого опору ζ_{ome} відносяться до швидкості потоку в отворі v_0. Бічні отвори вважати окремою ділянкою нульової довжини з сумою коефіцієнтів місцевого опору, рівному даному</p>	v_0/v_1	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	ζ'_n	0,06	0,01	-0,03	-0,06	-0,03	v_0/v_1	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	ζ_{ome}	1,8	1,7	1,7	1,8	1,9	2,1	2,3	2,6	3,0
v_0/v_1	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0																												
ζ'_n	0,06	0,01	-0,03	-0,06	-0,03																												
v_0/v_1	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0																								
ζ_{ome}	1,8	1,7	1,7	1,8	1,9	2,1	2,3	2,6	3,0																								
<p>Витяжна шахта з зонтом</p> 	<table border="1" data-bbox="718 1176 1268 1276"> <tr> <td>h/d</td> <td>0,1</td> <td>0,2</td> <td>0,3</td> <td>0,4</td> <td>0,6</td> <td>0,8</td> <td>1,0</td> </tr> <tr> <td>ζ</td> <td>4,0</td> <td>2,3</td> <td>1,5</td> <td>1,3</td> <td>1,1</td> <td>1,05</td> <td>1,05</td> </tr> </table> <p>Значення ζ відноситься до швидкості повітря v у витяжній шахті</p>	h/d	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0	ζ	4,0	2,3	1,5	1,3	1,1	1,05	1,05																
h/d	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0																										
ζ	4,0	2,3	1,5	1,3	1,1	1,05	1,05																										
<p>Вихід в рівень з плоскою поверхнею</p> 	<p>$\zeta = 1,0$ для круглого чи квадратного повітроводу</p>																																
<p>Вихід з повітроводу</p> 	<p>$\zeta = 1,1$</p>																																


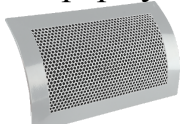
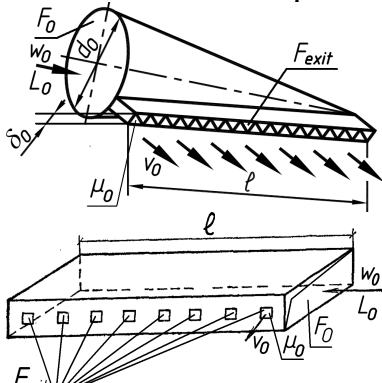
Назва, креслення	Значення коефіцієнта місцевого опору ζ																																													
<i>Продовження групи 3. Вихід повітря із мережі повітроводів</i>																																														
<p>Вихід повітря з останнього бічного отвору</p> 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>F_0/F_1</th> <th>0,2</th> <th>0,4</th> <th>0,6</th> <th>0,8</th> <th>1,0</th> <th>1,2</th> <th>1,4</th> <th>1,8</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="9" style="text-align: center;">Один отвір</td> </tr> <tr> <td>$\zeta_{отв}$</td> <td>65,7</td> <td>16,4</td> <td>7,3</td> <td>4,48</td> <td>3,16</td> <td>2,44</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td colspan="9" style="text-align: center;">Два отвори навпроти один одного</td> </tr> <tr> <td>$\zeta_{отв}$</td> <td>67,7</td> <td>17,2</td> <td>8,45</td> <td>5,86</td> <td>4,38</td> <td>3,47</td> <td>2,9</td> <td>2,25</td> </tr> </tbody> </table> <p>Примітки. Коефіцієнт місцевого опору ζ відносяться до швидкості потоку в отворі v_0. Бічні отвори вважати окремою ділянкою нульової довжини з сумою коефіцієнтів місцевого опору, рівному даному</p>	F_0/F_1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,8	Один отвір									$\zeta_{отв}$	65,7	16,4	7,3	4,48	3,16	2,44	-	-	Два отвори навпроти один одного									$\zeta_{отв}$	67,7	17,2	8,45	5,86	4,38	3,47	2,9	2,25
F_0/F_1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,8																																						
Один отвір																																														
$\zeta_{отв}$	65,7	16,4	7,3	4,48	3,16	2,44	-	-																																						
Два отвори навпроти один одного																																														
$\zeta_{отв}$	67,7	17,2	8,45	5,86	4,38	3,47	2,9	2,25																																						
Повітророзподільники	За технічними даними виробника																																													
У курсовому проєкті та кваліфікаційній роботі дозволено приймати такі дані																																														
<p>Вихід повітря з припливної решітки, сітки, перфорованої панелі, решітки з паралельними жалюзі</p> 	$\zeta = (1,8 \dots 2,0) \cdot (v_0/v_1)^2 = (1,8 \dots 2,0) \cdot (F_1/F_0)^2$ <p>F_0 і v_0 – відповідно, площа, м², «живого» перерізу та швидкість виходу повітря, м/с, з решітки; F_1 і v_1 – відповідно, площа, м², та швидкість у повітроводі.</p> <p>Відноситься до швидкості в повітроводі</p>																																													
Решітка штампована	$\zeta = 1,8$																																													
																																														

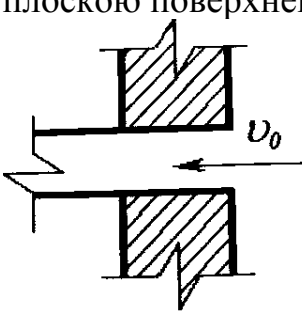
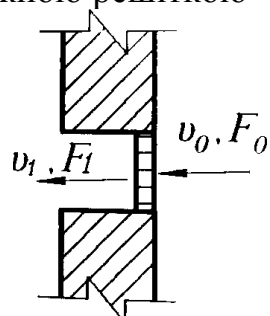
Продовження таблиці Г.1

Назва, креслення	Значення коефіцієнта місцевого опору ζ			
<i>Продовження групи 3. Вихід повітря із мережі повітроводів</i>				
Решітка жалюзійна однорядна: 	Форма	Можливість регулювання	Відстань між жалюзі, мм	ζ
	З сумірними сторонами	нерегульована	–	2,8
		регульована	–	5,6
	Лінійна	нерегульована	15	3,9
			30	3,6
регульована		–	3,7	
Решітка жалюзійна дворядна регульована 	Форма	ζ		
	з сумірними сторонами	5,5...5,9		
	лінійна	3,7		
Повітророзподільник лінійний з шириною щілин 15 мм: 	Кількість щілин	ζ		
	1	4,5		
	2	3,8		
	3	1,7		
	Форма отворів	Розміри отворів, мм	ζ	
	круг	5	1,9	
		2	12,8	
	квадрат	8×8	8,5	
		5×5	7,8	
	хрестова	–	2,0	
Плафон багатоцифурний: 	Можливість регулювання		ζ	
	нерегульований		1,3	
	регульований		1,5	

Продовження таблиці Г.1

Назва, рисунок	Значення коефіцієнта місцевого опору ζ
<i>Продовження групи 3. Вихід повітря із мережі повітроводів</i>	
<p>Панель з чотирьох квадратних різноспрямованих решіток для утворення закрученої струмини</p> 	$\zeta = 1,3$
<p>Панель зі щілинами та закручувачами потоку</p> 	$\zeta = 10$
<p>Панель зі щілинами за дотичною і закручувачами потоку регульована</p> 	$\zeta = 7,5$
<p>Панель з соплами в різних напрямках</p> 	$\zeta = 11,1$

Назва, рисунок	Значення коефіцієнта місцевого опору ζ		
<p>Решітка жалюзійна опукла (радіальна) для встановлення на повітровід круглого перерізу</p> 	Можливість регулювання	Відстань між жалюзі, мм	ζ
	нерегульована	15	9,2
		30	9,0
	регульована	–	9,4
<p>Решітка опукла (радіальна) перфорована для встановлення на повітровід круглого перерізу</p> 	$\zeta = 6,2$		
<p>Повітророзподільники рівномірного або приблизно рівномірного розподілення повітря зі щілиною чи отворами</p> 	<p>$\zeta = (v_0 / (\mu_0 \cdot w_0))^2 + 1 = ((1 + r_0) \cdot F_0 / (\mu_0 \cdot F_{exit}))^2 + 1$, де v_0 – швидкість виходу повітря на початку щілини або в першому отворі за ходом повітря (за розрахунком); μ_0 – коефіцієнт витрати на початку щілини за ходом повітря або в першому за ходом повітря отворі, приймається постійним, якщо його зміна не передбачена конструкцією, за відсутності даних приймати за наявності напрямного патрубку 0,7; за відсутності – 0,64; w_0 – швидкість повітря на вході до повітророзподільника; r_0 – коефіцієнт нерівномірності розподілення повітря (відношення швидкості виходу в точці щілини або в отворі до її середнього значення) на початку (за розрахунком), що для повітророзподільників рівномірного розподілу дорівнює одиниці, для повітророзподільників зі щілиною постійної ширини або однаковими отворами за відсутності даних приймати мінус 0,2 ... мінус 0,4 для конусних і клиновидних та мінус 0,6... мінус 0,8 для постійного перерізу; F_0 – початкова площа перерізу, м²; F_{exit} – загальна площа виходу повітря зі щілини або отворів;</p>		

Назва, креслення	Значення коефіцієнта місцевого опору ζ																
Група 4. Вхід повітря до мережі повітроводів																	
<p>Вхід в рівень з плоскою поверхнею</p> 	$\zeta = 0,5$																
<p>Вхід повітроводу в припливну установку з жалюзійними решітками</p>	$\zeta = 2,0$																
<p>Витяжний пристрій</p>	За технічними даними виробника																
За відсутності даних у курсовому проєкті та кваліфікаційній роботі приймати такі дані:																	
<p>Забір повітря витяжною решіткою</p> 	$\zeta = 1,2 \cdot (v_0/v_1)^2 = 1,2 \cdot (F_1/F_0)^2$ <p>F_0 і v_0 – відповідно, площа, м², «живого» перерізу та швидкість виходу повітря, м/с, з решітки. F_1 і v_1 – відповідно, площа, м², перерізу та швидкість, м/с, у повітроводі.</p>																
Анемостат витяжний	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>Діаметр, мм</td> <td>80</td> <td>100</td> <td>125</td> <td>150</td> <td>160</td> <td>200</td> <td>250</td> </tr> <tr> <td>ζ</td> <td>2,9</td> <td>5,0</td> <td>8,4</td> <td>7,0</td> <td>17</td> <td>5,6</td> <td>11</td> </tr> </table>	Діаметр, мм	80	100	125	150	160	200	250	ζ	2,9	5,0	8,4	7,0	17	5,6	11
	Діаметр, мм	80	100	125	150	160	200	250									
ζ	2,9	5,0	8,4	7,0	17	5,6	11										
<p>Зміна коефіцієнта місцевого опору пояснюється відсутністю геометричної подібності</p>																	

Назва, креслення	Значення коефіцієнта місцевого опору ζ										
Група 5. Злиття і розподілення повітряних потоків											
<p>Трійник на нагнітанні</p>	Коефіцієнт місцевого опору на										
	L_b/L_c	прохід ζ_n при F_n/F_c					відгалуження ζ_e при F_e/F_c				
		1,0	0,8	0,65	0,5	0,65	0,5	0,4	0,3	0,25	
	0,01	0,18	0,2	0,2	0,2	-	-	-	863	594	
	0,05	0,2	0,25	0,3	0,3	153	88,5	55	29,5	19,8	
	0,1	0,15	0,2	0,3	0,3	41,4	19,8	12,0	6,2	4,1	
	0,2	0,15	0,2	0,25	0,3	7,5	4,1	2,5	1,3	0,95	
	0,3	0,15	0,2	0,25	0,3	3,0	1,7	1,1	0,7	0,6	
	0,4	0,2	0,25	0,3	0,3	1,6	0,9	0,75	0,6	0,55	
	0,5	0,3	0,4	0,4	0,35	1,0	0,7	0,6	0,55	0,55	
	0,6	0,75	0,7	0,6	0,55	0,8	0,6	0,5	0,5	0,5	
	0,7	2,0	1,55	1,25	0,9	0,65	0,55	0,5	0,5	0,45	
	0,8	6,4	4,5	3,3	2,2	0,55	0,5	0,5	0,5	0,45	
0,9	34,7	23,1	16,0	10,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,45		
0,95	159	103	69,3	42,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,45		
<p>Трійник на всмоктуванні</p>	$\frac{F_e}{F_n}$	ζ_n при L_b/L_c									
	$\frac{F_e}{F_n}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	
	0,1	0,2	0,8	0,9	1,5	2,5	4,4	8,4	20	82	
	0,2	0,2	0,4	0,8	1,3	2,1	3,7	7,1	16,7	69	
	0,4	0,2	0,4	0,6	1,0	1,6	2,8	5,2	12,3	51	
	0,6	0,2	0,4	0,6	0,8	1,3	2,2	4,1	8,5	39	
	0,8	0,3	0,4	0,5	0,7	1,1	1,8	3,3	7,6	31	
	1,0	0,3	0,4	0,5	0,7	1,0	1,6	2,8	6,3	25	
		ζ_e									
	0,1	0,3	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	0,3	0,9	1,0	
	0,2	-1,7	0,6	1,0	1,0	1,0	1,0	-1,7	0,6	1,0	
	0,4	-9,4	0,6	0,7	1,0	1,1	1,1	-9,4	0,6	0,7	
	0,6	-12,1	-2,7	0,1	0,9	1,1	1,2	-12,1	-2,7	0,1	
0,8	-37	-5,5	-0,7	0,6	1,1	1,25	-37	-5,5	-0,7		
1,0	-50	-8,8	-1,7	0,3	1,1	1,3	-50	-8,8	-1,7		
<p>Трійник на розділення</p>	v_b/v_c	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6				
	ζ	3,27	2,06	1,5	1,19	1,01	0,89				

Додаток Д. Теоретичні основи аеродинамічного розрахунку повітроводів

Одним з основних питань при аеродинамічних розрахунках повітроводів систем вентиляції є визначення втрат тиску. Втрати тиску визначаються за формулою Дарсі-Вейсбаха (23), Па. Еквівалентний діаметр повітроводу площею перерізу A , м², і периметром Π , м, становить

$$d_e = \frac{4A}{\Pi}. \quad (\text{Д.1})$$

Для круглих повітроводів він дорівнює внутрішньому діаметру D , м, за формулою (18), а для повітроводів прямокутної форми розмірами перерізу $a \times b$, м, визначається за формулою (19).

У повітроводах систем вентиляції ламінарні течії не розглядають. Коефіцієнт опору тертя при числі Рейнольдса $Re > 2320$ слід визначати за рівнянням Колбрука-Уайта (або Колбрука), яке визнається світовою спільнотою,

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} + 2 \lg \left(\frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda}} + \frac{k_e/d_e}{3,71} \right) = \frac{1}{\sqrt{\lambda}} + \frac{2}{\ln 10} \ln \left(\frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda}} + \frac{k_e/d_e}{3,71} \right) = 0. \quad (\text{Д.2})$$

де k_e – еквівалентна шорсткість стінок повітроводу, м (табл. 1); Re – число Рейнольдса за формулою (21)

Рівняння (Д.2) не може бути розв'язане аналітично, оскільки містить λ як під коренем, так і під логарифмом. Але воно швидко і зручно розв'язується чисельно за методом Ньютона або з використанням спрощених апроксимаційних формул. У КНУБА отримано апроксимаційну формулу шляхом виконання однієї ітерації за методом Ньютона не чисельно, а в символічному вигляді, адже рівняння (Д.2) легко аналітично диференціюється. Після цього всі числові коефіцієнти в отриманій формулі уточнювалися для досягнення мінімального відхилення від розв'язку рівняння (Д.2). Формула, отримана в КНУБА справедлива в межах $Re = 2320 \dots 10^9$, $k_e / d_e = 0 \dots 0,65$:

$$\left\{ \begin{array}{l} a_0 = -0,79638 \ln \left(\frac{k_e/d_e}{8,208} + \frac{7,3357}{Re} \right), \\ a_1 = Re \frac{k_e}{d_e} + 9,3120665 a_0, \\ \lambda = \left(\frac{8,128943 + a_1}{8,128943 a_0 - 0,86859209 a_1 \ln \left(\frac{a_1}{3,7099535 Re} \right)} \right)^2, \end{array} \right. \quad (Д.3)$$

де a_0 – оптимальне перше наближення для методу Ньютона, a_1 – параметр, а результат λ отримано як одну ітерацію за методом Ньютона. Тому результат λ є результатом чисельного розв’язання рівняння (4), тобто повністю відповідає вимогам більшості країн світу.

На пост-соціалістичному просторі також визнається проста формула Альтшуля, яка за певних умов при малих або великих числах Рейнольдса може дати похибку понад 8 %, і тому в більшості країн Європейського Союзу не визнається:

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{k_e}{d_e} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}. \quad (Д.4)$$

У програмах будівельно-інформаційних моделей (ВІМ) також можна зустріти режим розрахунку за формулою Альтшуля-Цаля:

$$\left\{ \begin{array}{l} \lambda := 0,11 \cdot \left(\frac{k_e}{d_e} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}, \\ \lambda := 0,0028 + 0,85 \lambda, \quad \text{якщо } \lambda < 0,018, \end{array} \right. \quad (Д.5)$$

де “:=” – операція (з інформатики) присвоєння значення змінній, тобто запису нового значення або заміни її значення на нове, і використовується щоб уникнути трактування другого рядку як рівняння, що має розв’язуватися відносно λ . Ця виправлена формула суттєво зменшує похибку при великих числах Рейнольдса і малому відношенні k_e/d , але не

впливає на поведінку як при малих числах Рейнольдса, так і більших відношеннях k_e/d .

Формулу Дарсі-Вейсбаха (1) для практичного використання зазвичай спрощують. При вивченні курсу “Аеродинаміка вентиляції” використано метод характеристик опору, який є більш складним для розрахунку, але дозволяє ефективно розв’язати як пряму, так і зворотню задачу аеродинамічного розрахунку.

Якщо необхідно розв’язувати лише пряму задачу аеродинамічного розрахунку, простішим є метод питомих втрат тиску за довжиною. Розрахункову формулу для нього отримують з формули (23) таким чином:

$$\Delta P = \left(\frac{\lambda}{d_e} \cdot l + \Sigma \zeta \right) \cdot P_o = \left(\frac{\lambda}{d_e} \cdot P_o \right) \cdot l + \Sigma \zeta \cdot P_o = R \cdot l + Z, \text{ Па}, \quad (\text{Д.6})$$

де R – питомі втрати тиску за довжиною, тобто втрати тиску за довжиною на погонний метр повітродову, Па/м, а $Z = \Sigma \zeta \cdot P_o$ – втрати тиску на місцеві опори, Па, відповідно

$$R = \frac{\lambda}{d_e} \cdot P_o, \text{ Па/м}. \quad (\text{Д.7})$$

Для сталевих повітродовів (або повітродовів будь-якого іншого однакового матеріалу) при температурі 20 °С величина R залежить лише від швидкості та перерізу повітродову. Це дає можливість скласти таблиці або номограми для одночасного підбору перерізу повітродову та визначення величини R .

Оскільки динамічний тиск при цій температурі залежить лише від швидкості, то одразу в даних таблиці або номограмі визначається і він. Залишається лише розрахувати місцеві опори та виконати прості арифметичні дії. Саме завдяки цьому даний метод вважається найшвидшим для ручного розрахунку і може бути використаний для оцінювання правильності прийнятих рішень безпосередньо при обстеженні об’єкта будь-якого призначення незалежно від можливості застосування обчислювальної техніки.

Таблиці для аеродинамічного розрахунку та підбору круглих і прямокутних повітродовів за рівнянням Колбрука-Уайта можна завантажити зі сторінки <https://cutt.ly/Oe12o5im>. Ці таблиці автоматизовані і

адаптуються для будь-якого асортименту каналів і повітроводів з будь-якого матеріалу.

Якщо температура значно відрізняється від 20 °С при ручному розрахунку вводять поправки на температуру k_1 і k_2 (додаток Б). Ці поправки було визначено шляхом підрахунків λ при різних значеннях температури, еквівалентної шорсткості та діаметра з подальшим підбиранням значень поправок для забезпечення мінімального відсотка відхилення результатів.

Слід пам'ятати, що побудовані виробником номограми для визначення втрати тиску в місцевих опорах розраховано при температурі 20 °С. Тому результати у випадку іншої температури слід обов'язково множити на коефіцієнт k_2 .

При розрахунку за формулою Альтшуля або Альтшуля-Цаля неметалевих повітроводів питомі втрати тиску за довжиною можна визначати лише для сталевих повітроводів і помножити на поправку k_Δ . За цими формулами вона залежить лише від середньої швидкості повітря та еквівалентної шорсткості і не залежить від діаметра. Її можна знайти у будь-якому довіднику або розрахувати за точною для формули Альтшуля формулою

$$k_\Delta = \left(\frac{k_e + \frac{68 \cdot v(20^\circ\text{C})}{v}}{0,0001 + \frac{68 \cdot v(20^\circ\text{C})}{v}} \right)^{0,25}, \quad d_e \geq d_{emin} = \frac{2320 v(20^\circ\text{C})}{v}, \text{ м} \quad (\text{A.7})$$

При розрахунку за рівнянням Колбрука-Уайта ця поправка сильно залежить від еквівалентного діаметра, особливо в областях, де формула Альтшуля дає суттєве відхилення. Тому більш доцільним є відмовитися від цієї поправки і використовувати окремі таблиці для різних матеріалів повітроводів.

При комп'ютерному розрахунку значення λ визначають за рівнянням Колбрука-Уайта. Користуватися поправкою для втрати тиску за довжиною k_1 немає сенсу.

Втрати тиску на місцевий опір при комп'ютерному розрахунку також визначають за фактичним динамічним тиском, P_a . Тому користуватися поправкою k_2 для втрати тиску за довжиною немає сенсу.

Інша ситуація виникає якщо виробник надає номограму для визначення втрати тиску на певний місцевий опір. Найчастіше це – повітророзподільні та повітрозабірні пристрої. Номограми будують при температурі 20 °С. Тому результат слід скорегувати поправкою k_2 .

Навчально-методичне видання

АЕРОДИНАМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ПОВІТРОВІДІВ

Методичні вказівки
до практичних занять, курсового проектування та виконання
кваліфікаційних робіт
для студентів спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія»
ОПП «Теплогазопостачання і вентиляція»

Укладачі: **МІЛЕЙКОВСЬКИЙ** Віктор Олександрович
ВАХУЛА Володимир Романович

Випусковий редактор *В.О Мілейковський*
Комп'ютерне верстання *В.Р. Вахула*

Підписано до друку 14.08.2024 р. Зам. № 182.
Формат 60×84 1/16. Папір офсетний. Друк – цифровий.
Наклад 100 прим. Ум. друк. арк. 4,9.
Друк ЦП «КОМПРИНТ». Свідоцтво ДК №4131 від 04.08.2011 р.
м. Київ, вул. Васильківська, 32
067-209-54-30, 097-533-18-07
email: komprint@ukr.net