

УДК 697.92

Доц. С.С. Жуковський, канд. техн. наук;
асист. Г.М. Клименко – НУ "Львівська політехніка"

ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ КОРОТКОКОРПУСНОГО ТРАНЗИТОВИТРАТНОГО ПОВІТРОРІЗПОДІЛЬНИКА НЕЗМІННИХ РОЗМІРІВ З ГОРИЗОНТАЛЬНО-ПОЛИЧКОВИМИ ВИРІВНЮВАЧАМИ СТАТИЧНОГО НАДТИСКУ

Розроблено алгоритм розрахунку короткокорпусного панельного повітророзподільника з незмінною площею поперечного перерізу і рівномірним статичним тиском в його корпусі та відповідно рівномірною початковою швидкістю сформованого ним струменя. Приймаючи, що втрати тиску на тертя в короткокорпусних повітророзподільниках незмінного поперечного перерізу з горизонтально-полічковими вирівнювачами тиску не є визначальними, на підставі рівняння Бернуллі, за умови рівномірності статичного тиску в корпусі повітророзподільника і рівномірності початкової швидкості сформованого струменя, отримані рівняння, що дають змогу аналітично визначити відносні довжини горизонтально-полічкових вирівнювачів тиску і коефіцієнт місцевого опору повітророзподільника та його складових елементів.

Ключові слова: повітророзподільник, горизонтально-полічкові вирівнювачі тиску, коефіцієнт місцевого опору.

Вступ. Завданням систем вентиляції та кондиціонування є забезпечення нормативних термічних і гігієнічних параметрів мікроклімату в зоні обслуговування (ЗО). У більшості випадків це завдання не може бути вирішене без рівномірного повітророзподілення безпосередньо в робочу зону, для чого і призначені джерельні перфоровані (або фільтраційні) повітророзподільники (ПР). Забезпечення рівномірності початкової швидкості повітряного струменя (поток) в корпусі ПР має підтримувати приблизно рівномірний статичний надлишковий тиск (надтиск).

Аналіз відомих методів розрахунку. Сучасні методи розрахунку ПР з незмінним статичним надтиском у їхньому корпусі (конічноподібних) базуються переважно на диференційних рівняннях, які є важко інтегрованими і мало придатними для застосування під час розв'язування інженерних задач.

Розрахунок ПР з подовгуватим корпусом і транзитною витратою через боковий щілинний отвір (чи бокові отвори) за незмінного статичного надтиску, вперше виконав професор К.К. Баулін [1] ще у 1934 р. При цьому змінну площу поперечного перерізу корпусу ПР визначали за умови, що зміна динамічного тиску на ділянці дорівнює втратам тиску на тертя. Прийнято, що коефіцієнт втрати щілинного отвору μ_o та коефіцієнт опору тертя λ є незмінними за довжиною корпусу. Одержані аналітичні залежності містять комплекс у вигляді $\int (e^x / x) dx$, що не має розв'язку.

Професор Б.Н. Лобаєв запропонував метод розрахунку ПР зі здовженим корпусом з урахуванням зміни λ , але за незмінного коефіцієнта витрати транзитнорозподільного щілинного отвору [2]. Одержані розрахункові залежності не містять інтегральних комплексів, але є складними під час розв'язування інженерних задач. Кащєєв В.А., внаслідок удосконалення методики [2], одержав кілька варіантів достатньо складних формул для корпусів ПР з різною шорсткістю стінок [3].

Результати порівняльних розрахунків корпусновидовжених ПР незмінного статичного тиску за відомими методиками дають розбіжності до 24 % [4]. Це можна пояснити різними граничними початковими умовами, прийнятими в окремих методиках. Шевчук Ю.І. [4] запропонував методику розрахунку корпусновидовженого ПР незмінного статичного надтиску з однаковими боковими отворами, що базується на емпіричній формулі визначення μ_0 . Внаслідок одержано складне рівняння, яким, як зазначає сам автор, користуватись важко.

Зінич П.Л. і В.В. Трофімович [5] запропонували метод аналітичного визначення висоти бокового щілинного отвору змінної висоти за змінної початкової швидкості струменя однокамерного корпусновидовженого ПР незмінного поперечного перерізу, але з рівномірною за довжиною транзитною витратою, який базується на рівнянні Бернуллі і враховує втрати тиску внаслідок тертя і місцеві втрати тиску внаслідок перетікання повітря через щілинний отвір. При цьому прийнято такі крайові умови: коефіцієнт витрати щілинного отвору μ_0 за всією його довжиною є незмінним; коефіцієнт опору тертя λ також незмінний; поля швидкостей потоку в поперечних перерізах ПР рівномірні. Окрім цього, ПР зі змінною за довжиною початковою швидкістю притікального струменя є мало придатними для застосування в якості джерельних.

В методі розрахунку короткокорпусного панельного ПР типу ВПП [6] зі змінними розмірами корпусу як у плані, так і по вертикалі, що забезпечує рівномірну початкову швидкість сформованого потоку (струменя) рекомендовано лише визначення розмірів ядра потоку за відомих конструкційних розмірів ПР, а також наведені граничні залежності для визначення зміни максимальної швидкості і надлишкової температури в напрямку поширення струменя.

Проблема. Аналіз літератури засвідчує, що наведені та інші відомі інженерні методи розрахунку [6-11] придатні для однокамерних корпусновидовжених (повітропровідних транзитновитратних) ПР конічного вигляду або конічноподібних з дещо скругленою опозитною стінкою і не придатні для розрахунку короткокорпусного ПР з незмінним його поперечним перерізом і приблизно рівномірними статичними надтисками та початковими швидкостями сформованого струменя (потоку), наприклад, панельного двокамерного з горизонтально-поличковими вирівнювачами тиску в первинній тисковій камері [12], який можна використати як джерельний ПР систем термовипирального вентилявання.

Запропонований нами і запатентований в Україні панельний двокамерний ПР з горизонтально-поличковими вирівнювачами тиску [12] є рівномірно транзитновитратним короткокорпусним незмінного поперечного перерізу, а тому відомі методи не є придатними для його розрахунку.

Метою роботи є розроблення алгоритму розрахунку короткокорпусного панельного ПР з незмінною площею поперечного перерізу і рівномірним статичним надтиском в корпусі, а отже, і рівномірною початковою швидкістю струменя, ним сформованого, з горизонтально-поличковими вирівнювачами статичного тиску [12], який можна було б використати як одно-

і кількасекційні (зблоковані) джерельні ПР систем термовипирального вентилявання.

Результати роботи. Зображено розрахункову схему короткокорпусного двокамерного панельного ПР незмінного поперечного перерізу з характеристичними перерізами (рис. 1) та параметрами повітряних потоків. Площа вхідного отвору $A = L \times B$; початкові витрата $\dot{Q}_0$ і швидкість v_0 .

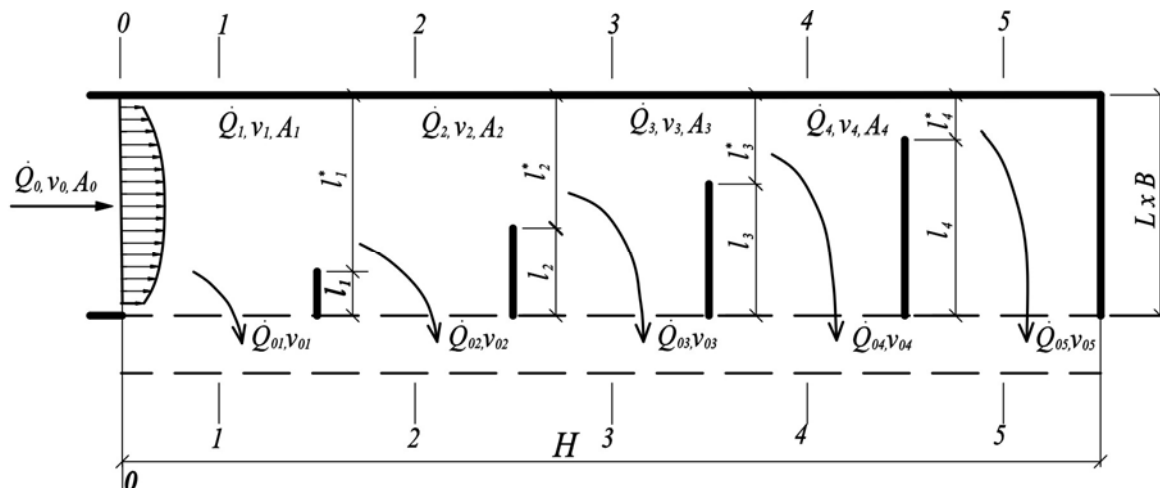


Рис. 1. Розрахункова схема короткокорпусного двокамерного панельного ПР з горизонтально-поличковими вирівнювачами тиску в первинній тисковій камері і рівномірно-перфорованими внутрішньою та зовнішньою повітропроникними стінками (згідно з [12])

Первинна тискова камера ПР розділена поличковими вирівнювачами тиску на послідовно з'єднані рівновеликі однотипні місцеві опори (МО), в розрахункових перерізах яких потік є дуже нерівномірним (розділяється, раптово звужується і розширюється (місцеві опори специфічного трійникового типу). Кількість таких МО така ж, як і поличкових вирівнювачів тиску n , а кількість утворених ними та стінками корпусу ПР тискових камер $n + 1$.

Кількість транзитно-витратних отворів, утворених міжполичковим простором і внутрішньою рівномірно перфорованою стінкою, рівна $n + 1$.

Прийmemo такі початкові умови:

$$v_{01} = v_{02} = \dots = v_{0i}; \quad A_{01} = A_{02} = \dots = A_{0i},$$

де $i = n + 1$; $v_0 = v_1 = v_2 = \dots = v_i$; $\dot{Q}_{01} = \dot{Q}_{02} = \dots = \dot{Q}_{0i} = \dot{Q}_0 / (n + 1)$; місцеві опори обох рівномірно перфорованих стінок з тисковою камерою між ними за довжиною (площею) незмінні.

Відносна довжина $\bar{l}_i \left(\bar{l}_i = l_i / L \right)$ кожного з поличкових вирівнювачів тиску за незмінної $b_i = B$:

$$A_1 = \left[n \cdot \dot{Q}_0 / (n + 1) \right] / v_0, \text{ де } A_1 = l_1^* \times B; \quad (1)$$

$$A_2 = \left[(n - 1) \cdot \dot{Q}_0 / (n + 1) \right] / v_0,$$

де $A_2 = l_2^* \times B$; $A_3 = \left[(n-2) \cdot \dot{Q}_o / (n+1) \right] / v_o$ і т.д.

$$\text{Відповідно: } \bar{l}_1 = (L - l_1^*) / L; \bar{l}_2 = (L - l_2^*) / L; \bar{l}_3 = (L - l_3^*) / L, \quad (2)$$

і т.д.

Оскільки маємо послідовно з'єднані місцеві опори, то повітряні потоки в кожному із розрахункових перерізів корпусу ПР не є рівномірними, а отже про втрати тиску внаслідок тертя об поверхні шорстких стінок взагалі не йдеться.

Запишемо рівняння Бернуллі для двох суміжних розрахункових перерізів, наприклад 1-1 і 2-2:

$$P_{см.1-1} + P_{дин.1-1} = P_{см.2-2} + P_{дин.2-2} + \Delta p_{втр.1-2}. \quad (3)$$

Оскільки $P_{см.1-1} = P_{см.2-2}$ (початкова умова), температура потоків не змінюється і $v_{1-1} \neq v_{2-2}$, то рівняння (3) можна записати у вигляді:

$$\begin{aligned} \frac{\rho \cdot v_{1-1}^2}{2} &= \frac{\rho \cdot v_{2-2}^2}{2} + \zeta_{1-2} \cdot \frac{\rho \cdot v_0^2}{2}; \\ \frac{\rho \cdot v_{2-2}^2}{2} &= \frac{\rho \cdot v_{3-3}^2}{2} + \zeta_{2-3} \cdot \frac{\rho \cdot v_0^2}{2} \text{ і т.д.} \end{aligned} \quad (4)$$

Швидкості потоків v_{1-1}, v_{2-2} і т.д. можна визначити за витратами в цих перерізах незмінної площі $L \times B$.

Рівняння (4) можна спростити до вигляду:

$$v_{1-1}^2 = v_{2-2}^2 + \xi_{1-2} \cdot v_0^2; v_{2-2}^2 = v_{3-3}^2 + \xi_{2-3} \cdot v_0^2 \text{ і т.д.} \quad (5)$$

З (5) у першому наближенні можемо визначити величини окремих "трикутноподібних" МО: і т.д.

$$\xi_{1-2} = \frac{v_{1-1}^2 - v_{2-2}^2}{v_0^2}; \xi_{2-3} = \frac{v_{2-2}^2 - v_{3-3}^2}{v_0^2} \text{ і т.д.} \quad (6)$$

Сумарні втрати тиску в ПР можна визначити за формулою:

$$P_{ПР 1-1} = \xi_{ПР} \cdot (\rho \cdot v_{0-0}^2) / 2, \quad (7)$$

$$\text{де } \xi_{ПР} \cong (P_{см.0-0} + P_{дин.0-0}) / (\rho \cdot v_{0-0}^2 / 2) \quad (8)$$

або $\xi_{ПР} \cong P_{н.0-0} / P_{дин.0-0}$.

Величину $\xi_{ПР}$ визначають відповідними експериментальними дослідженнями натурної моделі ПР або його масштабної моделі.

Висновки. 1. У короткокорпусних двокамерних ПР незмінного поперечного перерізу з горизонтально-поличковими вирівнювачами статичного надтиску втрати тиску на тертя не є визначальними, оскільки конструкційно він є системою послідовно з'єднаних місцевих опорів "трикутноподібного виду".

2. На підставі рівняння Бернуллі, за умови рівномірності статичного надтиску в корпусі і початкової швидкості сформованого потоку (струменя), отримано рівняння, що дають змогу визначити відносні довжини горизонталь-

но-поличкових вирівнювачів тиску і КМО окремих складових елементів первинної тискової камери і повітророзподільника загалом у першому наближенні.

Література

1. Баулин К.К. О равномерной раздаче воздуха из трубопроводов / К.К. Баулин // Отопление и вентиляция", 1934. – № 7. – С. 12-15.
2. Лобаев Б.Н. Расчёт воздухопроводов / Б.Н. Лобаев. – М. : Госиздат УССР, 1959. – 236 с.
3. Кашеев В.А. Исследование воздухораспределителей постоянного статического давления / В.А. Кашеев // Известие высших учебных заведений. – Разд.: "Строительство и архитектура. – 1970. – № 3. – С. 23-28.
4. Шевчук Ю.Н. К вопросу равномерной раздачи воздуха каналами с шереховатыми стенками. "Санитарная техника" / Ю.Н. Шевчук. – К. : Вид-во "Будівельник", 1968. – Вып. VI. – С. 32-24.
5. Зінич П.Л. Аналітичні розв'язування рівномірного роздавання вентиляційного повітря повітропроводами постійного поперечного перерізу зі змінною по висоті щільною або отворами змінної площі. Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання / П.Л. Зінич, В.В. Трофімович // Науково-технічний збірник. – К. : Вид-во КНУБА, 2001. – Вип. 1. – С. 8-16.
6. Внутренние санитарно-технические устройства. – В 2-х ч. / под ред. И.Г. Старовойтова. – Изд. 3-е. 42. Вентиляция и кондиционирование воздуха. – М. : Изд-во "Стройиздат", 1978-509 с.
7. Отопление и вентиляция : учебник [для студ. ВНЗов]. 4.2. Вентиляция / под ред. В.Н. Богословского. – М. : Изд-во "Стройиздат", 1976. – 439 с.
8. Волков О.Д. Проектирование вентиляции промышленного здания. – Харків : Вид-во "Вища шк.", 1989. – 240 с.
9. Талиев В.Н. Аэродинамика вентиляции : учеб. пособ. [для студ. ВНЗов]. – М. : Изд-во "Стройиздат", 1979. – 295 с.
10. Торчовников Б.М. Проектирование промышленной вентиляции : справочник / Б.М. Торчовников, В.Е. Табачник, Е.М. Ефанов. – К. : Вид-во "Будівельник", 1983. – 256 с.
11. Жуковский С.С. Аэродинамика вентиляции : навч. посібн. [для студ. ВНЗов] / С.С. Жуковский, В.И. Лабай. – Львів : Вид-во НУ "Львівська політехніка", 2003. – 370 с.
12. Жуковский С.С. Повітророзподільник : патент України № 19497. від 15.12. 20006, Бюл. № 12 / С.С. Жуковский, О.М. Довбуш, Г.М.Клименко.

Жуковский С.С., Клименко Г.М. Особенности расчета короткокорпусного транзиторасходного воздухораспределителя постоянного размера с горизонтально-полочными выравнивателями статического сверхдавления

Разработан алгоритм расчета короткокорпусного панельного воздухораспределителя с постоянной площадью поперечного сечения и равномерным статическим давлением в его корпусе и соответственно равномерной начальной скоростью сформированной им струи. Принимая, что потери давления на трение в короткокорпусных воздухораспределителях неизменного поперечного сечения с горизонтально-полочными выравнивателями давления не являются определяющими, на основании уравнения Бернулли, учитывая равномерность статического давления в корпусе воздухораспределителя и начальной скорости сформированной струи, получены уравнения, позволяющие аналитически определить относительные длины горизонтально-полочных выравнивателей давления и коэффициент местного сопротивления воздухораспределителя и его составляющих элементов.

Ключевые слова: воздухораспределитель, горизонтально-полочные выравниватели, коэффициент местного сопротивления.

Zhukovsky S.C., Klymenko H.M. Computation peculiarities of constant-size short-casing transit-flow air diffuser with horizontal- shelf static pressure equalisers

A computation algorithm for the short-casing panel-type air diffuser with constant cross-sectional square, uniform inside static superpressure and uniform initial velocity of the flow has been developed. Taking into account that pressure loss to friction in short-ca-

sing panel-type air diffusers with constant cross-sectional square and horizontal shelf pressure equalizers is not determinant, on the basis of Bernoulli Equation, on condition of uniform inside static superpressure and uniform initial velocity of the flow, equations have been obtained that allow defining analytically the relative lengths of horizontal shelf pressure equalizers as well as local resistance factor of the air diffuser and its parts.

Keywords: air diffuser; horizontal shelf pressure equalizers;

УДК 674.053.001

Доц. С.В. Зубик, канд. техн. наук –

Інститут менеджменту та економіки "Галицька академія"

ОСНОВНІ РІВНЯННЯ ТЕОРІЇ КОЛИВАННЯ ДИСКОВИХ ПИЛ

Здійснено теоретичні дослідження роботи дискових пил, які під час роботи перебувають у динамічному стані під дією поперечних коливань. Дослідження вільних коливань диска пили засвідчили, що при цьому можна застосувати як точні, так і наближені методи розрахунку. Це дасть змогу в процесі обчислень, внаслідок зміни діаметра, товщини пили, отримати відповідні динамічні навантаження полотном пили, прогин пластини (пили) її стійкість, що призводить до деформації і прояву звукових коливань дискових пил.

У процесі роботи дискові пили перебувають в динамічному стані, які визначаються здебільшого поперечними коливаннями. Для управління режимами роботи і зниження їхньої стійкості здійснено дослідження поперечних коливань дискових пил. Круглу дискову пилу можливо розглядати, як тонку пластину постійної товщини, твердо або пружно затиснуту по внутрішньому контуру і вільну по зовнішньому контуру. Тому теоретичні розрахунки розміщення температурного поля і напруги, які виникають у процесі роботи пили, а також дослідження стійкості та поперечних коливань диска пили можливо здійснити на основі рівняння теорії пружних пластин.

Розглянемо однорідну пластину постійної товщини h , обмежену круглим контуром – із зовнішнім радіусом b і внутрішнім a . Центральну площину пластини віднесемо до полярної системи координат (r, θ) (рис. 1). У разі виведення основних рівнянь теорії коливання дискових пил приймемо гіпотезу Кіркгофа про незмінність нормального елемента, згідно з якою нормальний до центральної площини елемент до деформації і після деформації має початкові параметри, тобто не прогинається і не змінює своєї довжини.

Позначимо радіальне і колове переміщення і прогин середньої площини пластин через U, V, W , а відносне видовження її у радіальному і коловому напрямках і зміщення через $\varepsilon_r, \varepsilon_\theta, \varepsilon_{r\theta}$. Зв'язок між введеними деформаціями і переміщеннями у середній площині пластини виражається відомими із теорії пружності [1, 2, 3] формулами.

$$\varepsilon_r = \frac{\partial U}{\partial r}; \quad \varepsilon_\theta = \frac{1}{r} \left(\frac{\partial V}{\partial \theta} + U \right); \quad \varepsilon_{r\theta} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial U}{\partial \theta} + \frac{\partial V}{\partial r} - \frac{V}{r} \right) \quad (1)$$

Згідно з прийнятою гіпотезою, визначаємо переміщення U, V, W і деформації $l_r, l_\theta, l_{r\theta}$ у будь-якій точці пластини, яка розташована на віддалі z від центральної площини. Маємо формули