

Б.І. Гулай, С.С. Жуковський, О.Т. Возняк  
Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра теплогазопостачання і вентиляції

## ПІДВИЩЕННЯ ТИСКУ В ВЕНТИЛЯЦІЙНІЙ СИСТЕМІ ВИРІВНЮВАННЯМ НАГНІТАЛЬНОГО ПОТОКУ РАДІАЛЬНОГО ВЕНТИЛЯТОРА

© Гулай Б.І., Жуковський С.С., Возняк О.Т., 2011

Подано результати експериментальних досліджень підвищення тиску повітря в вентиляційній системі внаслідок розміщення після вихідного патрубка радіального вентилятора вирівнювача потоку, при різному його розташуванні та зміні розмірів. Встановлено, що на збільшення повного тиску в нагнітальному повітропроводі найбільше впливає заглиблення вирівнювальної пластини в вихідний патрубок радіального вентилятора збільшенням її довжини, а також виявлено проміжок оптимального розміщення пластинчастого вирівнювача нагнітального потоку та оптимальне збільшення одного з його змінних розмірів.

**Ключові слова:** радіальний вентилятор, вихідний патрубок, пластинчастий вирівнювач (пластинка), гнучка вставка, несиметричний диффузор, тиск.

**Results of experimental research on improving the air pressure in the ventilation system owing after issuance radial fan straighteners flow at different location and its size changed. It was stated that increasing pressure in the full discharge airways has the greatest impact plate in the cavity output coupling radial fan increases its length, and also the period of optimal allocation straighteners discharge flow, and increase the optimal one of its variable size.**

**Key words:** radial fan, the original pipe, straighteners (plate), insert a flexible, asymmetric diffuser, pressure.

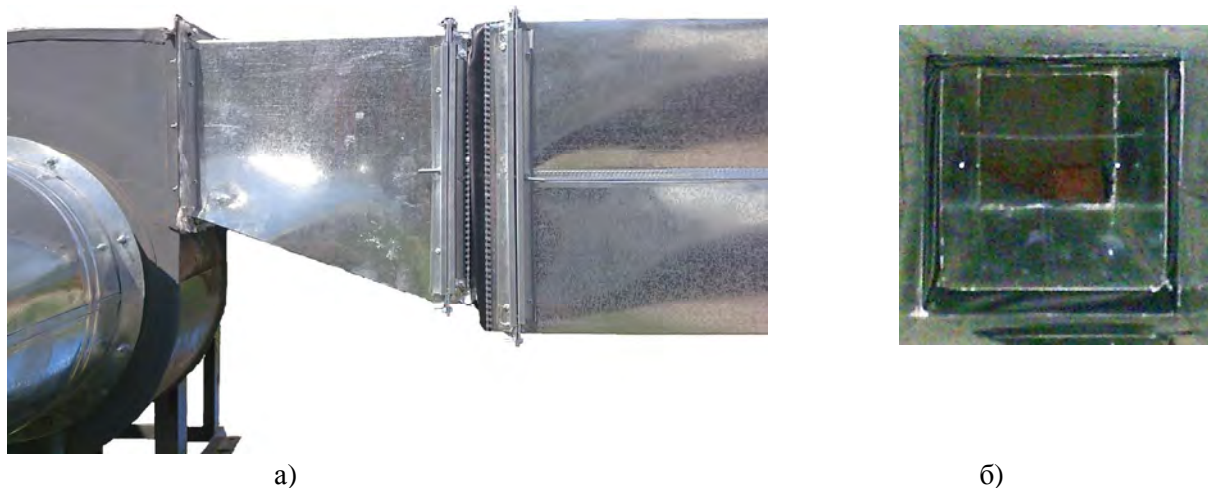
**Вступ.** Ефективність роботи вентиляційної системи залежить від аеродинамічної досконалості її складових елементів, особливо безпосередньо розміщених за радіальним вентилятором. Значна частина втрат енергії в елементах вентиляційної системи виникає на витoku повітряного потоку з вихідного патрубка корпусу вентилятора внаслідок нерівномірного, несиметричного поля швидкостей та підвищеного динамічного тиску.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Швидкості повітряного потоку в отворі вихідного патрубка радіального вентилятора в більшості випадків значно перевищує швидкості в вентиляційній системі. Для плавного вирівнювання цих швидкостей зазвичай застосовують різноманітні дифузори [1]. Протікання повітря крізь вентиляційну систему забезпечується виключно за рахунок статичного тиску. Тому дифузор як елемент вентиляційної системи має важливе значення, оскільки при його застосуванні значна частина швидкісного (динамічного) тиску на виході з вентилятора перетворюється на статичний тиск [2]. У роботах McMillan O. [3], Norbury J. [4], і Johnston J. і Powars C. [5] зазначається, що вирівнювання потоку навіть в прямолінійній ділянці повітропроводу, наприклад, за дифузором, може призвести до підвищення статичного тиску. Як правило, додаткова енергія, яка міститься в нерівномірному за швидкістю потоці, не використовується [6]. Основним джерелом втрат тиску як в дифузори, так і в ділянках повітропроводу після нього, є зворотні течії і вихоротворення які виникають в його об'ємі і після нього [7].

На кафедрі ТГВ Національного університету “Львівська політехніка” були проведені експериментальні дослідження, пов’язані з підвищенням ефективності вентиляційної системи вирівнюванням нагнітального потоку після радіального вентилятора. Було досліджено: вплив взаєморозміщення гнучкої вставки та дифузора відносно нагнітального патрубку вентилятора ; застосування горизонтальної гнучкої вставки [8] та застосування симетричного конічного дифузора з однопластинчастим вирівнювачем потоку, незмінних розмірів [9]. Однак дослідження були порівняльними і деякою мірою демонстраційними (при дослідженні впливу на вентиляційну систему вирівнювальної пластинки незмінних розмірів враховувалась тільки одна позиція її розміщення в дифузори). Проаналізувавши теоретичні дослідження [10], доцільнішим є розташування після нагнітального патрубка радіального вентилятора несиметрично-східчастого дифузора. Тому було прийнято рішення дослідити ефект вирівнювання нагнітального потоку за допомогою несиметричного дифузора з приєднаною до нього східчастою гнучкою вставкою та із встановленим у ньому однопластинчастим вирівнювачем потоку.

**Мета досліджень.** Визначення оптимального розміщення однопластинчастого вирівнювача потоку та оптимальної довжини одного з його змінних розмірів.

**Планування експерименту та методика його проведення.** З метою визначення оптимального розміщення однопластинчастого вирівнювача потоку в конструкції несиметричного дифузора та оптимальної довжини одного з його розмірів було змонтовано вентиляційну систему з відповідним устаткуванням, загальний вигляд якої зображено на рис. 1, а схему – на рис. 2.



*Рис. 1. Загальний вигляд послідовно з’єднаних елементів вентиляторного устаткування системи (а), вигляд перерізу нагнітального повітропроводу (б)*

Заміри починали проводити після попередньої 20-хвилинної роботи вентилятора 1 (за роботи вентилятора в незмінному режимі). Експериментальні дослідження проводили на вентиляційній установці, схему якої зображено на рис. 2. Повітря засмоктувалось у вентиляційну установку вентилятором 1 (В-Ц4-75-1№4 з числом обертів турбіни- 1410 об/хв і потужністю електромотора 0,55кВт), через всмоктувальний повітропровід 4 довжиною  $L=3d_1$ , (де  $d_1$  – діаметр вхідного патрубка вентилятора), перетікало через його вхідний патрубок 2, витікало із вихідного патрубка 3 в несиметричний дифузор 5 з розміщеною в ньому вирівнювальною пластинкою 6, після якого кріпилась гнучка вставка 7 [11], яка і слугувала східчастим з’єднуванням дифузора 5 з нагнітальним повітропроводом 8. Далі повітряний потік перетікав по повітропроводу 8 і витікав з кінцевого діафрагмованого отвору 9 в приміщення лабораторії. Для імітації опору вентиляційної системи на кінцях всмоктувального 4 і нагнітального 8 повітропроводів кріпились діафрагми 9 (діафрагмами слугували перфоровані стінки з рівномірно розподіленими отворами).

Несиметричний дифузор 5 мав такі геометричні параметри: показник дифузورності  $n = 1,4$  ( $n = A_2 / A_1$ , де  $A_1$  і  $A_2$  – площі вхідного і вихідного перерізів дифузора); відносну довжину  $\bar{l} = 0,7$  ( $\bar{l} = l / B$ , де  $l$  – довжина дифузора, а  $B$  – характерний розмір початкового (вхідного) перерізу дифузора) та кут розкриття  $\alpha = 14^\circ$ . Геометричні параметри вентиляційної системи визначались рулеткою. Швидкість обертання турбіни визначалась тахометром.

Заміри повних та статичних тисків виконувались трубкою Браббе 10, яка кріпилась до стійкої рами 11, та мікроманометром 12. Аеродинамічні характеристики (витрата та тиск) вентиляційної системи визначались за параметрами повітряного потоку в перерізах на відстані  $3d_1$  від вхідного патрубку вентилятора (де  $d_1$  – діаметр вхідного патрубку вентилятора) і на відстані  $6d_{екв}$  від несиметричного дифузора (де  $d_{екв}$  – еквівалентний діаметр нагнітального повітропроводу).

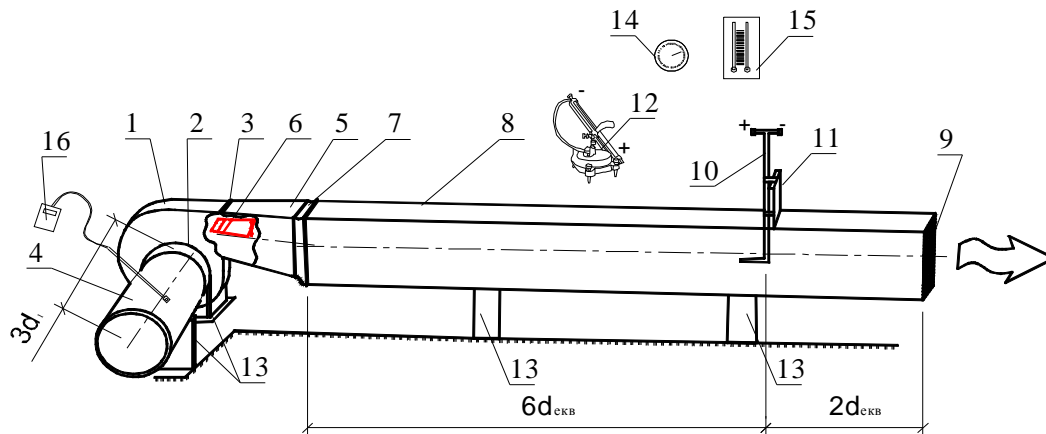


Рис. 2. Схема вентиляційної системи з елементами вентиляційного устаткування:

- 1 – вентилятор (В-Ц4-70-4); 2 – всмоктувальний (вхідний) патрубок вентилятора; 3 – нагнітальний (вихідний) патрубок вентилятора; 4 – всмоктувальний повітропровід; 5 – несиметричний дифузор; 6 – однопластинчастий вирівнювач (пластинка); 7 – гнучка вставка; 8 – нагнітальний повітропровід; 9 – діафрагма; 10 – трубка Браббе; 11 – стійка рама; 12 – диференційний мікроманометр; 13 – опори; 14 – барометр-анероїд; 15 – психрометричний термометр; 16 – термоелектроанемометр

Як було вже згадано вище, для замірів тиску використовувалась трубка Браббе 10 і спиртовий мікроманометр 12 з нахиленою трубкою типу ММН-2400 (5)-1.0 з точністю  $\pm 2$  Па. Трубка Браббе 10 застосовувалась для замірів повного та статичного тисків і їх різниці – динамічного тиску. Пневмометричну трубку 10 вводили зігнутою частиною всередину нагнітального повітропроводу, носиком назустріч потоку. Хоча трубка Браббе малочутлива до відхилень її кінця (головки) щодо напрямку потоку (за кутів  $\pm 10^\circ$ ), однак її встановлення в повітропроводі 8 було максимально паралельним до повздовжньої осі повітропроводу, для чого і застосовувалась стійка рама 11. Оскільки трубка Браббе 10 в поєднанні зі звичайним мікроманометром є не надто чутлива для визначень малих швидкостей повітряного потоку ( $v \leq 1$  м/с), для перевірки її точності замірів використовувався термоелектроанемометр АТТ-1004 АКТАКОМ 16 із точністю вимірювання 0,05 м/с.

Швидкісні показники в поперечному перерізі повітряного потоку в різних точках заміру є різними, що зумовлено більшою мірою завихреннями і меншою мірою наявним тертям об стінку повітропроводу. Тому для визначення витрати повітря визначались середні швидкості потоку  $v_{ср}$  у поперечних перерізах всмоктувального 4 (рис. 3, а), і нагнітального 8 (рис. 3, б) повітропроводів.

Густина повітря в умовах експерименту визначали за показами барометра-анероїда БАММ-1 (14) (точність  $\pm 200$  Па) та психрометричного термометра 15 (точність 0,1  $^\circ\text{C}$ ).

Приміщення лабораторії, в якій проводились дослідження, мало достатню площу та об'єм для зняття аеродинамічних характеристик системи. Розміщення кінцевих отворів всмоктувального і

нагнітального повітропроводів було на достатній відстані від стін і іншого обладнання лабораторії, завдяки чому не відбувались спотворення всмоктувального і нагнітального струменів.

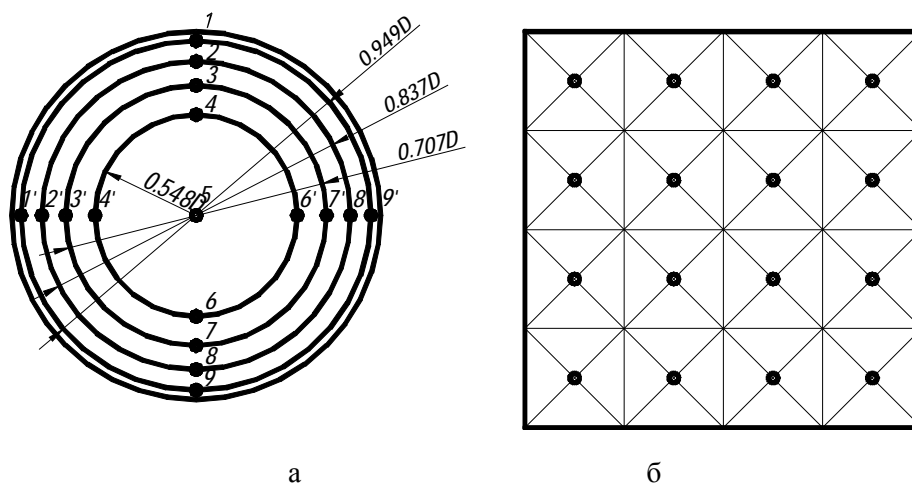


Рис. 3. Схема розташування точок замірів в поперечних перерізах повітропроводів вентсистеми:  
 а – всмоктувального круглого перерізу (17 точок заміру);  
 б – нагнітального квадратного перерізу (16 точок заміру)

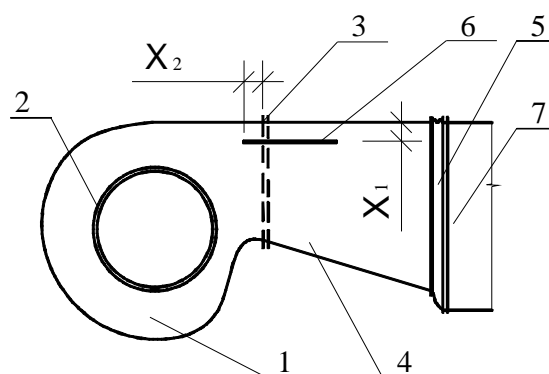


Рис. 4. Схема розташування однопластинчастого вирівнювача потоку в дифузорі:  
 1 – вентилятор (В-Ц4-70-4); 2 – всмоктувальний (вхідний) патрубок вентилятора; 3 – нагнітальний (вихідний) патрубок вентилятора; 4 – несиметричний дифузор; 5 – гнучка вставка; 6 – вирівнювальна пластинка (однопластинчастий вирівнювач); 7 – нагнітальний повітропровід

Оскільки на параметри повітряного потоку ( тиски і швидкості) впливає місцезоташування однопластинчастого вирівнювача та його розміри ( розглядається зміна тільки одного розміру) в безпосередній близькості від вихідного патрубку радіального вентилятора, за вхідні параметри експерименту було прийнято: відстань розташування пластинчастого вирівнювача з боку обгортки вентилятора –  $x_1$ ; та заглиблення пластини в вихідний патрубок вентилятора, збільшення її довжини, –  $x_2$  ( початкова довжина пластинки – 150 мм)

Було вибрано область вхідних параметрів , яка знаходиться в межах:  $x_1 = [0...187]$  мм, або  $[0...0,67a]$  мм, де  $a$  – один з розмірів нагнітального патрубку вентилятора, мм.  $x_2 = [0...100]$  мм, та виготовлено три пластини з тонколистової сталі товщиною 0,4 мм та довжинами:  $l_1=150$  мм ( $x_2 = 0$ );  $l_2=200$  мм ( $x_2=50$ );  $l_3=250$  мм ( $x_2 = 100$ ) відповідно.

Область вхідних параметрів у безрозмірних величинах:

$$\bar{X}_1 = x_1/a = 0; 0,22; 0,44; 0,67.$$

$$\bar{X}_2 = x_2/a = 0,18; 0,18; 0,36; 0,54.$$

Вихідний параметр:

$\bar{P}_{нов}$  – збільшення повного тиску в нагнітальному повітропроводі вентиляційної системи, %.

На основі проведеного експерименту було отримано результати, зазначені в таблиці.

### Матриця планування експерименту

№	$\bar{X}_1$	$\bar{X}_2$	$\bar{P}_{нов}, \%$	№	$\bar{X}_1$	$\bar{X}_2$	$\bar{P}_{нов}, \%$
1	0	0,18	0,0	6	0,44	0,36	5,5
2	0,22	0,18	1,8	7	0,67	0,36	3,4
3	0,44	0,18	1,3	8	0,22	0,54	1,6
4	0,67	0,18	2,1	9	0,44	0,54	-1,6
5	0,22	0,36	3,9	10	0,67	0,54	-0,5

Для зручності оцінювання підвищення повного тиску в нагнітальному повітропроводі  $\bar{P}_{нов}=f(\bar{X}_1; \bar{X}_2)$ , % було побудовано двофакторні номограми (рис. 5, 6), складено рівняння регресії та функціональні залежності виду:

Рівняння регресії

$$\bar{P}_{нов}=f(\bar{X}_1; \bar{X}_2) : y_1 = 1,94 - 0,256\bar{X}_1 - 0,633\bar{X}_2 - 0,267\bar{X}_1\bar{X}_2 \quad (1)$$

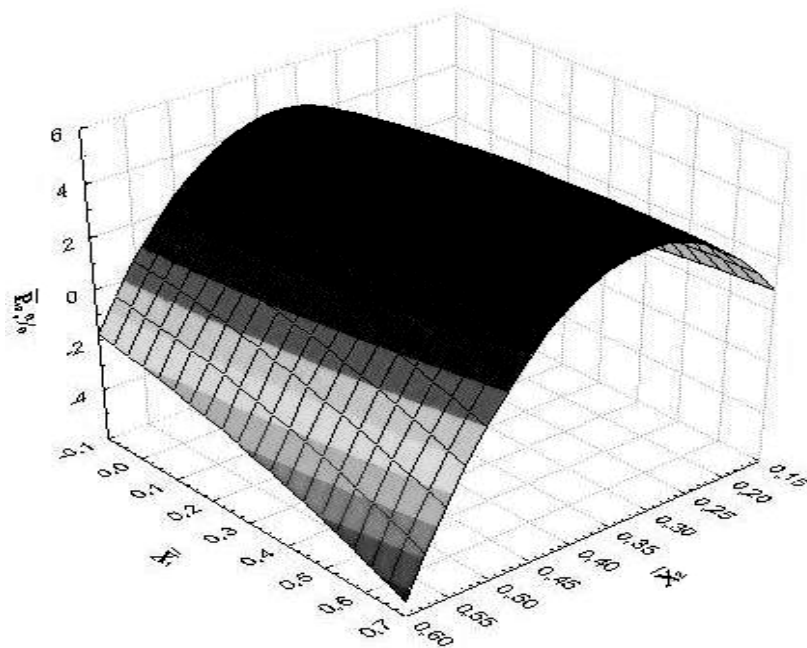


Рис. 5. Двофакторна номограма залежності  $\bar{P}_{нов}=f(\bar{X}_1; \bar{X}_2)$ , %

Емпірична залежність  $\bar{P}_{нов}=f(\bar{X}_1; \bar{X}_2)$ :

$$\bar{P}_{нов} = -11.81 + 89.44\bar{X}_1 + 7.49\bar{X}_2 - 121.74\bar{X}_1^2 - 16.98\bar{X}_1\bar{X}_2 - 3.15\bar{X}_2^2 \quad (2)$$

**Висновки:** На підставі аналізу коефіцієнтів регресії констатуємо:

- на збільшення повного тиску в вентсистемі найбільше впливає величина збільшення довжини однопластинчастого вирівнювача заглибленням у нагнітальний патрубок радіального вентилятора.

- виявлено проміжок оптимального розміщення однопластинчастого вирівнювача нагнітального потоку та оптимальне збільшення одного з його змінних розмірів, а саме:  $\bar{X}_1=0,44$ ;  $\bar{X}_2=0,36$ .

1. *Временные методические рекомендации по проектированию входных и выходных элементов вентиляторных установок.* – М.: ЦНИИПрозданий, 1976. – 25 с. 2. Харев А.А. *Местные сопротивления шахтных вентиляционных сетей / А.А. Харев.* – М.: Углетехиздат, 1954. – 242 с. 3. McMillan O. *Performance of low-aspect ratio diffusers with fully developed turbulent inlet flows – Some experimental results / O. McMillan and J. Johnston // Transactions of the ASME, Journal of Fluids Engineering.* – 1973. – Vol. 95, N 3. – С. 385–392. 4. Norbury J. *Some measurements of boundary-layer growth in a twodimensional diffuser / J. Norbury // Transactions of the ASME, Journal of Basic Engineering.* – 1959. – Vol. 81. – С. 285–296. 5. Johnston J. *Some effects of inlet blockage and aspect ratio on diffuser performance / J. Johnston and C. Powars // Transactions of the ASME, Journal of Basic Engineering.* – 1969. – Vol. 91. – С. 551–553. 6. Невельсон М.И. *Центробежные вентиляторы / М.И. Невельсон // Госэнергоиздат.* – 1954. – С. 127–136. 7. Невельсон М.И. *Аэродинамика центробежного вентилятора / М.И. Невельсон // Труды ЦАГИ.* – М.: Изд-во Бюро Новой Техники, 1946. – № 580. – С. 69–80. 8. Жуковський С.С. *Застосування циліндричного вирівнювача нагнітального потоку і горизонтальної гнучкої вставки для підвищення ефективності вентиляційної системи / С.С. Жуковський, Б.І. Гулай // Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка».* – 2009. – № 655: *Теорія і практика будівництва.* – С. 89–93. 9. Жуковський С.С. *Підвищення ефективності вентиляційної системи із радіальним вентилятором внаслідок застосування дифузорованого однопластинчастого вирівнювача потоку / С.С. Жуковський, Б.І. Гулай // Науковий вісник «Національного лісотехнічного університету України».* – Львів, 2008. – Вип. 19.11. – С. 73–79. 10. Жуковський С.С. *Вплив розташованих після радіального вентилятора елементів на роботу вентиляційної системи / С.С. Жуковський, Б.І. Гулай // Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка».* – 2010. – № 662: *Теорія і практика будівництва.* – С. 185–188. 11. Патент на корисну модель № 50252. *Гнучка вставка / С.С. Жуковський, Б.І. Гулай.* – Опубл. 25.05.2010 р. – Бюл. № 10.