

С.С. Жуковський, Г.М. Клименко, О.М.Савчин*
 Національний університет "Львівська політехніка",
 кафедра теплогазопостачання і вентиляції,
 *кафедра автоматизації і комплексної механізації
 машинобудівної промисловості

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РІВНОМІРНОСТІ СТАТИЧНИХ ТИСКІВ В КОРПУСІ ДЖЕРЕЛЬНОГО ДВОКАМЕРНОГО ПОВІТРОРОЗПОДІЛЬНИКА

© Жуковський С.С., Клименко Г.М., Савчин О.М., 2008

Проаналізовано розподіл статичних тисків в корпусі джерельного двокамерного повітророзподільника з внутрішньою і лицевою дірчастоперфорованими стінками без полицькових вирівнювачів тиску та з горизонтальними чотириполицьковими вирівнювачами тиску у первинній тисковій камері та визначено його коефіцієнти місцевих опорів.

Static pressure distribution in source two-chamber has been air distribution device unit with internal and face hole-perforated walls without shelf pressure equalizer and with horizontal 4-shelfed equalizers in the first pressure chamber has been analyzed and its local resistance coefficients has been determined.

Постановка проблеми. Відомі різні види джерельних повітророзподільників (панельні, циліндричні, пів- і чвертьциліндричні, високі, низькі і підлогові [3, 4, 6]). Однак більшості з них властивий той конструкційний недолік, що вони є переважно однокамерними і не забезпечують вирівнювання тиску по висоті корпусу, в результаті чого сформований ними притікальний повітряний потік спричиняє такі негативні впливи: внаслідок його пришвидшення в припідлоговому просторі (див. рис. 1) виникає відчутний протяг на рівні щиколоток ніг, які є дуже чутливими до термічного дискомфорту; зменшення швидкості по висоті повітропроникної стінки призводить до підвищення ежекційної спроможності потоку притікального повітря, тобто його забруднення навколишнім повітрям і несприяття у формуванні термічного поширення внутрішнього повітря; у верхній частині корпусу повітророзподільника (ПР) може виникати розрідження [2], і брудніше навколишнє повітря затікатиме в корпус ПР, що також не є бажаним ефектом. Для мінімізації цих негативних явищ, а не уникнення їх загалом, зменшують повітропроникність (збільшують опір повітропроникності) повітророзподільної фільтраційної стінки ПР, а отже, збільшують його аеродинамічний опір (втрати тиску).

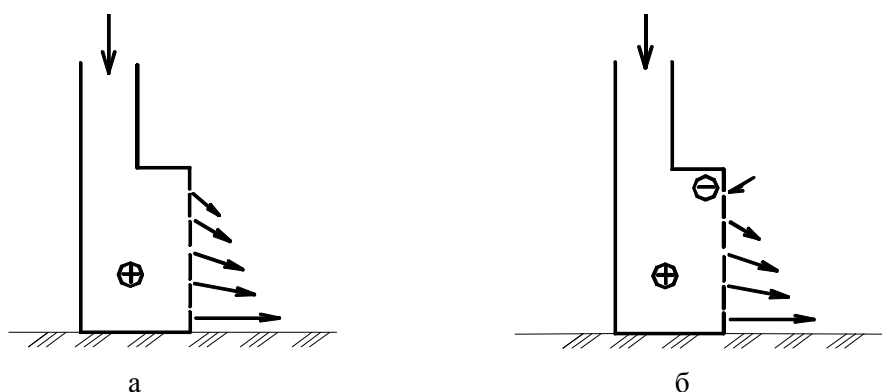


Рис. 1. Негативні ефекти відомих конструкційних розв'язань
 однокамерних джерельних ПР при верхньому живленні їх готованим повітрям :
 а – зменшення статичного тиску по висоті; б – те саме,
 з виникненням розрідження у верхній частині корпусу

Пропозиції щодо розв'язання проблеми. Для того, щоби мінімізувати конструкційні недоліки відомих джерельних ПР, запропоновано виконувати панельний повітророзподільник двокамерним (рис. 2): в первинній тисковій камері 2 для вирівнювання статичного тиску за її висотою передбачити горизонтальні полицки різної довжини 3 [9] або нахилені під різним кутом полицки однакової довжини [11], які кріпляться до внутрішньої перфорованої стінки 4; вторинну тискову камеру 5 з повітророзподільною стінкою 6 використати як камеру рівномірного плюсового надтиску (тобто для додаткового вирівнювання статичного тиску).

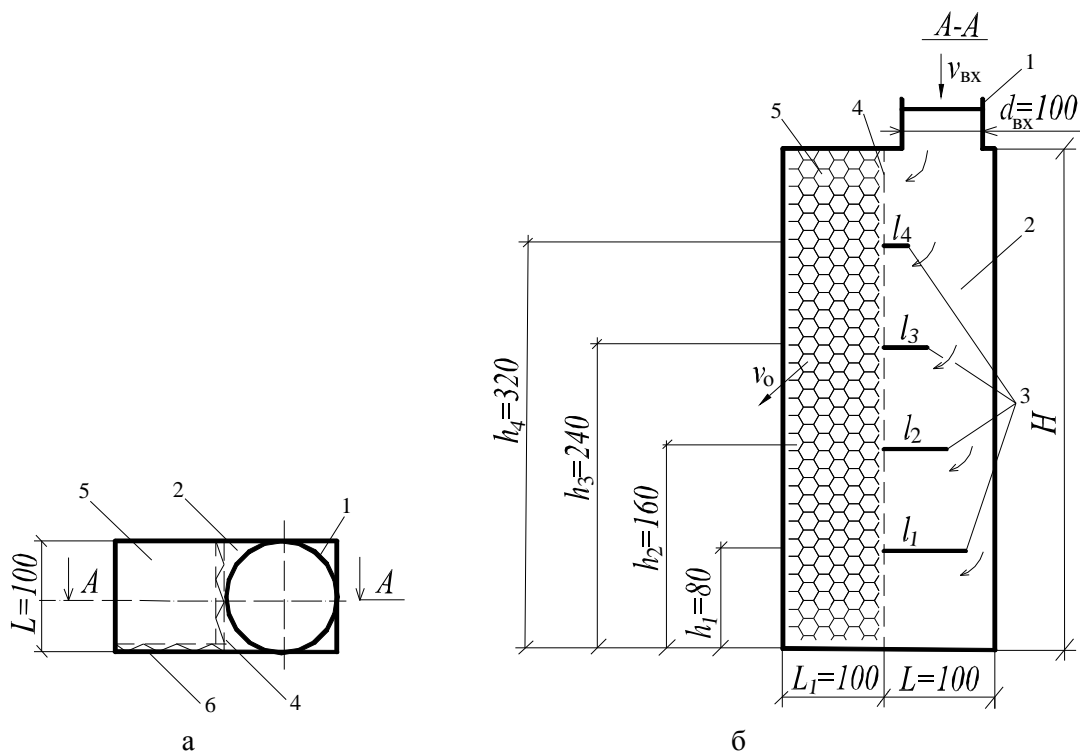


Рис. 2. Схема моделі двокамерного джерельного горизонтально-поличкового ПР [11]:
 а – вигляд зверху; б – вигляд за А-А; 1 – вхідний патрубок ; 2 – згори первинна тискова камера;
 3 – горизонтальні полицки; 4 – внутрішня перфорована стінка; 5 – вторинна тискова камера;
 6 – повітророзподільна перфорована стінка

Щоби пересвідчитись у правильності наших припущень, потрібно експериментально дослідити розподілення статичних тисків у корпусі двокамерного джерельного ПР, наприклад, горизонтально-поличкового.

Особливості експериментальних досліджень. Для досліджень було виготовлено геометрично подібну модель високого двокамерного джерельного ПР в масштабі 1:4. Внутрішня повітропроникна стінка 4 моделі (рис. 2) виконана круглоріччато перфорованою з коефіцієнтом живого перерізу $k_{ж.п} = 0,39$; повітропроникна (власне повітророзподільна) стінка 6 (рис. 2) виконана аналогічно.

Досліджувались моделі ПР з $L_1 = L = 100$ мм без полицкових вирівнювачів тиску у первинній тисковій камері за конструкційною схемою №1 (рис. 3, а, б) при $H = 400$ мм і за

конструкційною схемою № 2 з чотирма горизонтальними ($\bar{h}_1 = h_1 / H = 0,2$; $\bar{h}_2 = h_2 / H = 0,4$;

$\bar{h}_3 = h_3 / H = 0,6$; $\bar{h}_4 = h_4 / H = 0,8$ (рис. 2)) різної довжини $\bar{l}_i = l_i / L$ полицковими вирівнювачами тиску (рис. 3, с, d).

Схема № 1

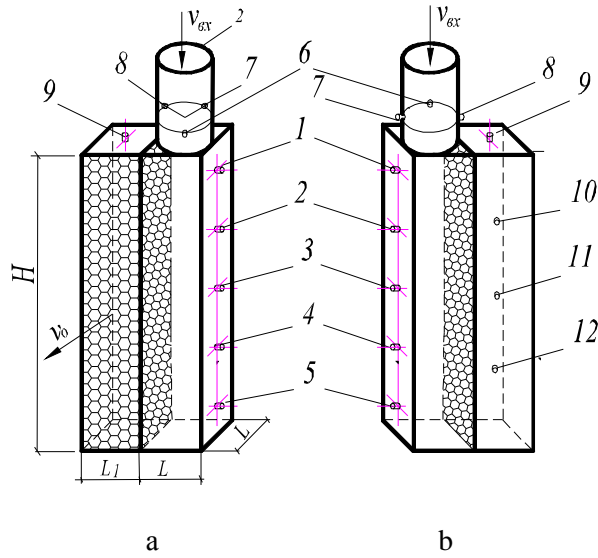


Схема № 2

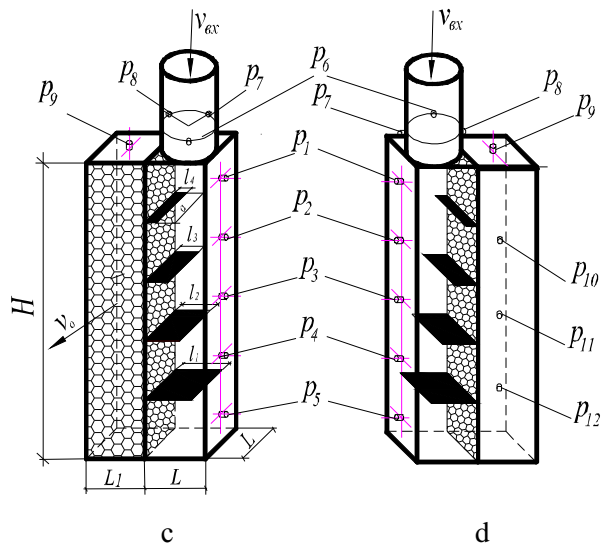


Рис. 3. Конструкційні схеми моделей ПР без вирівнювачів тиску у первинній тисковій камері (схема № 1: а – вигляд з лиця; б – вигляд з тилу) і з чотирма горизонтально-полічковими вирівнювачами тиску у цій камері (схема № 2: с – вигляд з лиця; д – вигляд з тилу); 1–12 – штуцери вимірювання точкових статичних тисків у корпусі ПР

Для дослідження моделей повітророзподільника був створений експериментальний стенд, загальний вигляд якого зображено на рис. 4, а схема – на рис. 5. Стенд працює так: повітряний потік через всмоктувальний патрубок 1 затікає із приміщення лабораторії в камеру від'ємного надтиску (розрідження) 2, після якої перетікає через повітропровід 3 за допомогою відцентрового вентилятора 4 і нагнітається в камеру плюсового надтиску 5, перетікає через витратомірний колектор 6, закріплений до знімної торцевої стінки камери 5, рухається по гнучкому повітропроводу 7 і через вхідний патрубок 8 затікає в корпус повітророзподільника 9 зі швидкістю \mathbf{n}_{ex} та через його лицеву перфоровану стінку витікає в приміщення лабораторії зі швидкістю \mathbf{n}_o . Швидкість витоку повітря з моделі повітророзподільника замірювали за допомогою щупа 10 термоанемометра 11. Величину статичних тисків в контрольних точках 14 моделі ПР заміряли мікроманометром 12. Величину

різниці статичних тисків в камері 5 і колекторі 6, за якою визначали витрату повітряного потоку, заміряли мікроманометром 13. Температуру в камерах 2 і 5 вимірювали спиртовими термометрами відповідно 15 і 16. Витратомірний колектор 6 профільований за лемніскатою і виготовлений з великою точністю оброблення поверхонь, внаслідок чого його коефіцієнт витрати дорівнює 0,985, тобто наближається до одиниці.

Певна витрата повітряного потоку створювалась за допомогою відцентрового вентилятора 4, безпосередньо поєднаного з електроспонукачем постійного струму 17, завдяки його живленню через реостат 18 (тобто відповідною зміною числа обертів турбіни вентилятора).

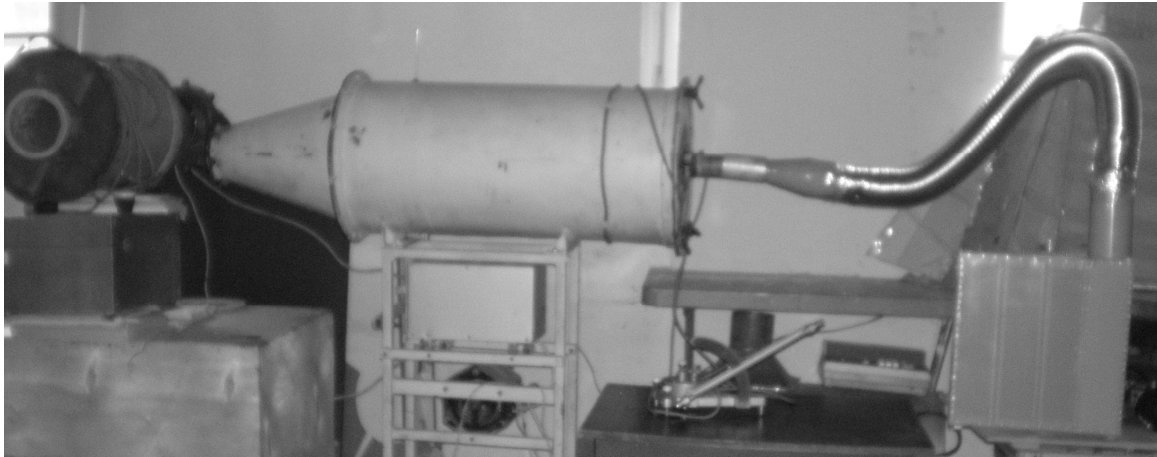


Рис. 4. Загальний вигляд експериментального стенда для досліджень моделі джерельного двокамерного ПР

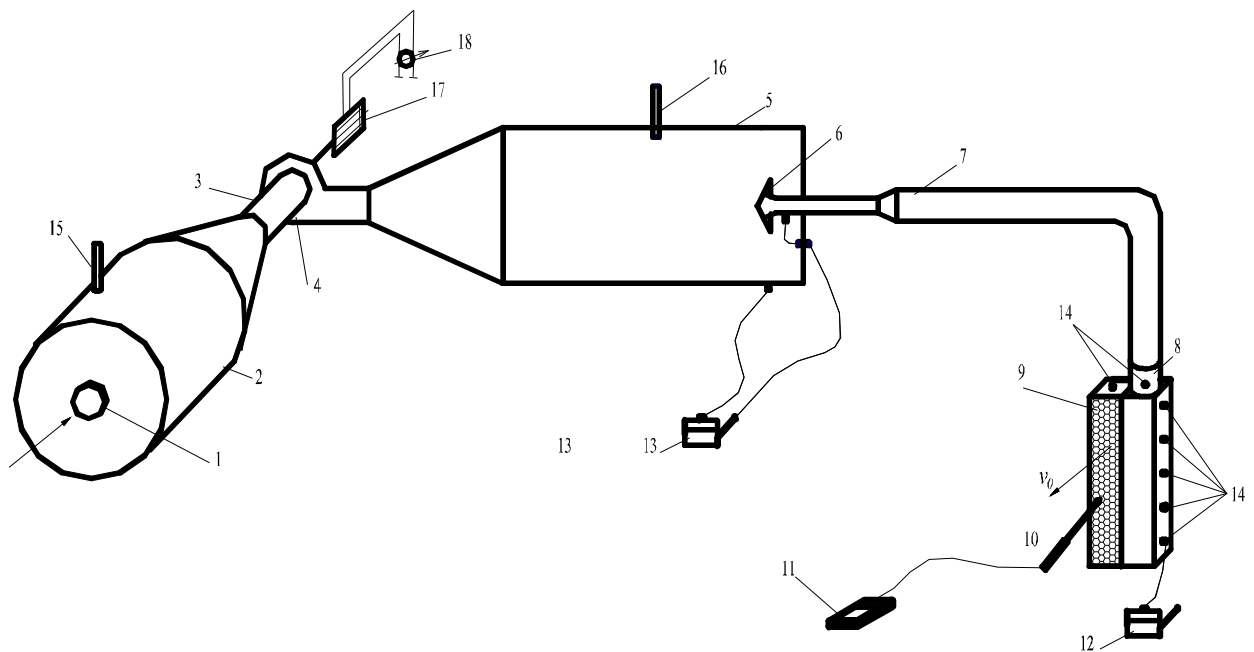


Рис. 5. Схема експериментального стенда для досліджень моделі джерельного двокамерного ПР:
 1 – всмоктувальний патрубков; 2 – камера від’ємного надтиску; 3 – повітропровід;
 4 – радіальний вентилятор; 5 – камера плюсового надтиску; 6 – витратомірний колектор;
 7 – гнучкий повітропровід; 8 – вхідний патрубков ПР; 9 – модель повітророзподільника;
 10 – цуп термоанемометра, 11 – термоанемометр “ЛИОТ”; 12,13 – диференційні (різницеві)
 мікроманометри ММН-240; 14 – контрольні точки (штуцери) вимірювання статичного тиску;
 15,16 – спиртові термометри; 17 – електроспонукач постійного струму; 18 – реостат

Середні швидкість потоку та його динамічний тиск у вхідному патрубку ПР визначались за витратою потоку, виміряною за допомогою колектора 6, а статичний тиск у поперечному перерізі вхідного патрубка 8 повітророзподільника визначався замірами тиску в трьох контрольних точках цього перерізу (точки 6–8, рис 3).

Результати досліджень. Величини статичних тисків $p_1 \dots p_{12}$ в контрольних точках 1–12 (рис. 3) визначили за формулою:

$$p_{ст} = (l_{ст.кін} - l_{ст.поч}) \cdot k \cdot 9,806 \text{ Па}, \quad (1)$$

де $l_{ст.кін}$ – кінцевий показ мікроманометра, мм; $l_{ст.поч}$ – початковий показ мікроманометра, мм; k – коефіцієнт приладу, кгс/м².

Результати досліджень наведені в табл. 1, 2 та зображені графічно на рис. 6, 7.

Таблиця 1

Внутрішні статичні тиски в контрольних точках двокамерного ПР з лицевою перфорованою стінкою без вирівнювачів тиску (за схемою № 1, рис. 3, а, б)

№ досліджу	Швидкість повітряного потоку у вхідному патрубку ПР $v_{вх}$, м/с	Статичний тиск в контрольних точках ПР, Па											
		№ контрольних точок											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		Первинна тискова камера					Вхідний патрубок			Вторинна тискова камера			
1	2,8	4,9	7,8	8,9	9,8	9,8	3,9	4,9	4,9	3,9	3,9	4,9	2
2	3,7	6,9	9,9	10,8	11,8	12,7	4	7,8	6,8	5,9	5,9	6,7	8,8
3	4,7	20,6	27,5	28,4	29	30,4	15,7	20,6	17,7	13,7	3,9	16,7	22,6
4	5,3	23,5	33,3	35,3	37,3	38,2	18,6	23	19	17,7	3,9	21	25
5	6,4	30,4	75,5	83,3	91,2	99	16,7	53,9	42,1	42,1	5,9	53,9	65,7

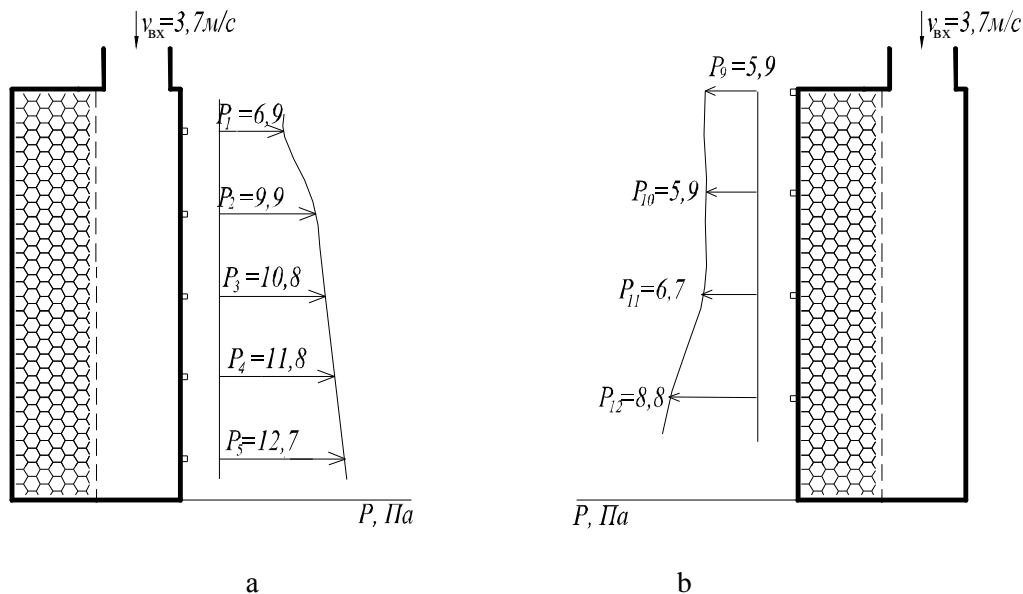


Рис. 6. Етюри розподілу статичних тисків у корпусі двокамерного джерельного ПР (за схемою № 1, рис. 3, а, б) без полицкових вирівнювачів тиску:
 а – розподіл статичних тисків за висотою первинної тискової камери ;
 б – розподіл статичних тисків за висотою вторинної тискової камери

Внутрішні статичні тиски в контрольних точках моделі джерельного двокамерного панельного ПР з горизонтально-поличковими вирівнювачами тиску та лицевою перфорованою стінкою (за схемою 2, рис.3, с, d)

Версії за схемою № 2	Відносна довжина горизонтально-поличкових вирівнювачів тиску				Швидкість повітряного потоку у вхідному патрубку ПР v_{ex} , м/с	Статичний тиск в контрольних точках ПР, Па											
	\bar{l}_1	\bar{l}_2	\bar{l}_3	\bar{l}_4		№ № контрольних точок						Вторинна тискова камера					
						Первинна тискова камера						Вхідний патрубок					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12						
2.1	2,7	6,9	7,8	7,8	7,8	6,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9			
	3,5	12,7	14,7	14,7	14,7	13,7	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8			
	5,3	31,4	27,5	28	28	25,5	22,6	19,6	17,7	21,6	19,6	19,6	19,6	19,6			
	6,7	41,2	47	49	49	27,5	41,2	37	32,4	30,4	35,3	31,4	31,4	31,4			
2.2	7,8	53	60,8	63,7	63,7	53,0	47	43	39	47	41	41	41	41			
	3,0	9,8	10,8	10,8	11,8	9,8	6,9	6,9	6,9	7,8	7,8	6,8	6,8	6,8			
	4,1	17,7	17,7	15,7	17,7	14,7	12,7	11,8	9,8	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8			
	5,3	25,5	28	25,5	27,5	17,7	25,5	21,6	19,6	17,6	21,6	19,6	19,6	19,6			
2.3	6,8	41,2	47,1	49	49	80,4	70	52	47	58	50	50	50	50			
	7,8	54,9	63,7	56,9	66,7	32,4	53,9	41,1	37,3	46	41	41	41	41			
	2,7	7,8	9,8	7,8	7,8	5,9	7,8	5,9	5,9	6,9	5,9	5,9	5,9	5,9			
	3,9	16,7	19,6	17,6	17,6	11,8	16,7	11,8	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7			
2.4	5,3	27,5	31,4	31,4	29,4	19,6	29,0	19,6	17,6	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6			
	6,7	45	51	47	46	27	46	35	27	35	31	31	31	31			
	1,62	4	4	4	2,9	2,9	4,4	4,4	2,9	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5			
	3,8	19	20,6	19	8	11	20	14	16	13,2	10	10	10	10			
2.4	4,6	29	29	27,9	11,8	14,7	29,4	22	23,5	16,2	14,7	19,1	14,7	14,7			

Коефіцієнт місцевого опору (КМО) Z досліджених версій моделі джерельного двокамерного ПР визначали за формулою

$$Z = \frac{\Delta p_n}{p_{\text{дин.вх}}}, \quad (2)$$

де Δp_n – втрати повного тиску в моделі ПР, Па; $p_{\text{дин.вх}}$ – динамічний тиск повітряного потоку у вхідному патрубку ПР, Па ;

$$\Delta p_n = p_{\text{ст.вх}} + p_{\text{дин.вх}}, \quad (3)$$

де $p_{\text{ст.вх}}$ – усереднений статичний тиск в контрольних точках 6–8 горизонтального перерізу вхідного патрубку моделі ПР, Па; $p_{\text{дин.сер}}$ – середній динамічний тиск потоку в поперечному перерізі вхідного патрубку моделі ПР на рівні розміщення контрольних точок 6–8 (рис. 3).

Результати експериментальних досліджень коефіцієнта місцевого опору Z джерельного двокамерного панельного ПР з лицевою дірчато-перфорованою стінкою зображені графічно на рис. 8.

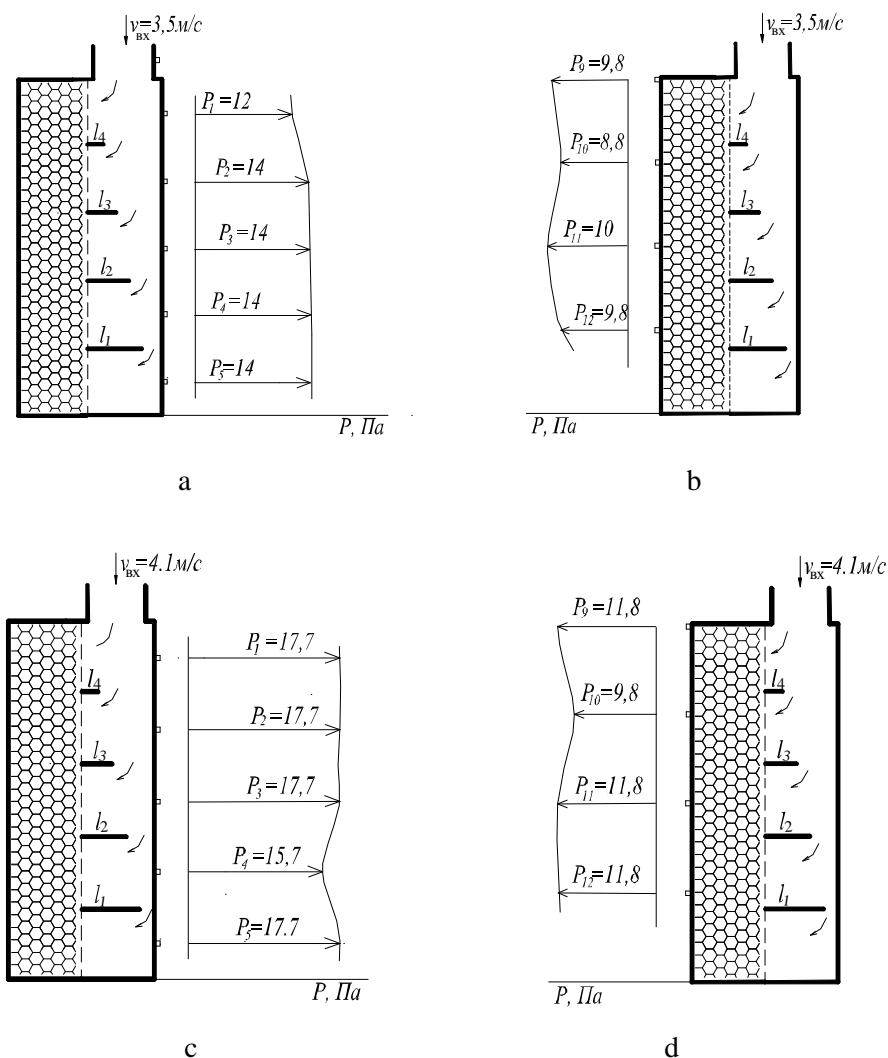


Рис. 7. Етюри розподілу статичних тисків у корпусі двокамерного джерельного ПР (за схемою № 2, рис. 3, с, d) з горизонтально-поличковими вирівнювачами тиску : а, с, е, g – розподіл статичних тисків за висотою первинної тискової камери (відповідно схем 2.1;2.2;2.3;2.4-див. табл.2); б, d, f, h – розподіл статичних тисків за висотою вторинної тискової камери (відповідно схем 2.1;2.2;2.3;2.4, – див. табл. 2)

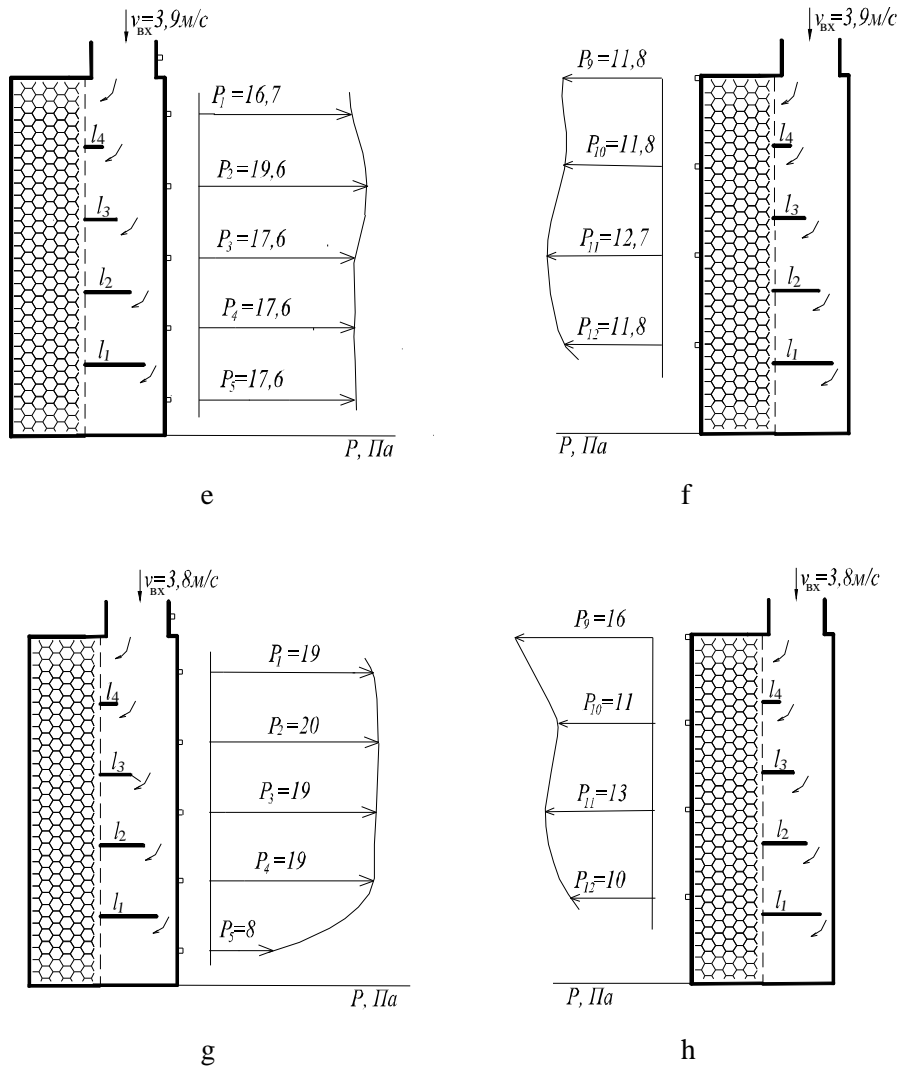


Рис. 7. (Продовження). Епюри розподілу статичних тисків у корпусі двокамерного джерельного ПР (за схемою № 2, рис. 3, с, d) з горизонтально-поличковими вирівнювачами тиску :
 а, с, е, г – розподіл статичних тисків за висотою первинної тискової камери (відповідно схем 2.1; 2.2; 2.3; 2.4-див. табл.2); б, d, f, h – розподіл статичних тисків за висотою вторинної тискової камери (відповідно схем 2.1; 2.2; 2.3; 2.4, – див. табл. 2)

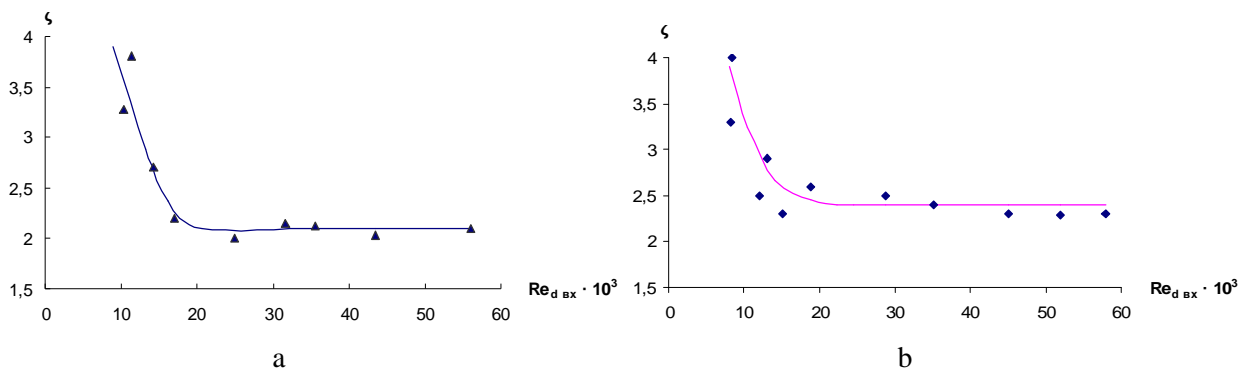


Рис. 8. Залежність коефіцієнта місцевого опору Z моделі ПР від чисел $Re_{d_{ex}}$ ($Re_{d_{ex}} = n_{ex} \cdot d_{BX} / \nu$) для різних версій моделі ПР:
 а – модель ПР за схемою № 1, рис. 3, а, b і рис.6 а, б;
 б – модель ПР за схемою № 2, рис. 3, с, d, версія 2.1, табл. 2;

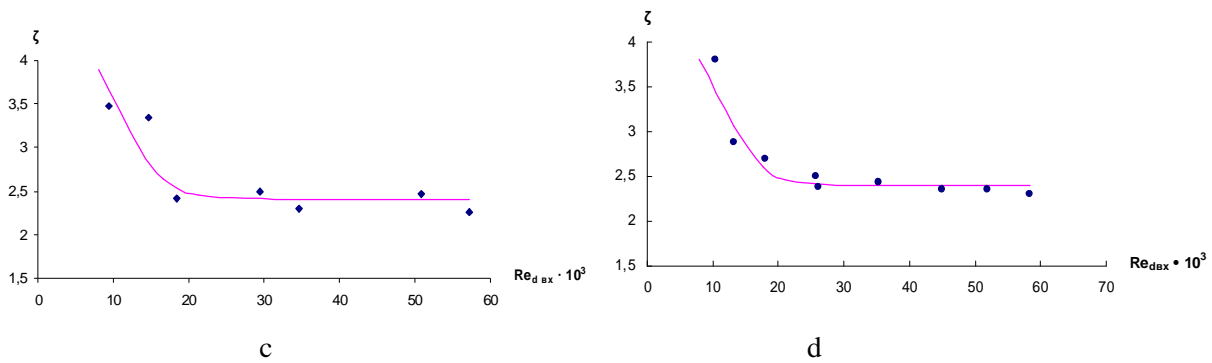


Рис. 8. (Продовження). Залежність коефіцієнта місцевого опору Z моделі ПР

від чисел $Re_{d_{ex}}$ ($Re_{d_{ex}} = n_{ex} \cdot d_{vx} / n$) для різних версій моделі ПР:

c – модель ПР за схемою № 2, версія 2.2, табл. 2;

d – модель ПР за схемою № 2, версія 2.3, табл. 2

Висновки. 1. Конструкційним недоліком відомих джерельних однокамерних повітророзподільників (ПР), в т.ч. і панельних, є: зменшення статичного тиску за висотою їх корпусу, аж до виникнення розрідження з боку живлення (вхідного патрубку), особливо у високих ПР; значний аеродинамічний опір, за приблизно рівномірного статичного тиску по висоті корпусу.

2. З метою вирівнювання статичного тиску за висотою корпусу джерельного ПР з лицевою перфорованою стінкою та мінімізації втрат тиску запропоновано виконувати його двокамерним з проміжною перфорованою стінкою, причому у первинній камері передбачити горизонтально-поличкові вирівнювачі тиску змінної довжини.

Конструкція повітророзподільника захищена патентом України № 19497 від 15.12.2006.

3. На експериментальному стенді виконані аеродинамічні дослідження геометрично подібної моделі (М1:4) високого джерельного панельного двокамерного ПР за автотемпературності процесів перетікання повітря $Re_{d_{ex}} > Re_{кр} > 20 \cdot 10^3$ при однакових дірчастоперфорованих внутрішній і лицевій стінках (коефіцієнт живого перерізу $k = 0,39$) та рівномірно розміщених по висоті первинної тискової камери $\bar{h}_i = 0,2 \dots 0,8$ (де $\bar{h}_i = h_i / H$, H - висота корпусу) чотирьох горизонтально-поличкових вирівнювачів статичного тиску змінної довжини ($\bar{l}_i = l_i / L$).

4. Визначені довжини горизонтально-поличкових вирівнювачів статичного тиску, при яких забезпечується найбільша рівномірність статичного тиску за висотою корпусу ПР, а саме при ($\bar{l}_1 = 0,2$; $\bar{l}_2 = 0,32$; $\bar{l}_3 = 0,45$; $\bar{l}_4 = 0,68$, (де $\bar{l}_i = l_i / L$, L – довжина первинної тискової камери).

5. Визначені коефіцієнти місцевих опорів Z різних версій досліджуваної моделі джерельного панельного двокамерного ПР, віднесені до динамічного тиску повітряного потоку у вхідному патрубку, в діапазоні $Re_{d_{ex}} = (20 \dots 60) \cdot 10^3$. Числові величини КМО змінюються в межах від 2,2 (ПР без поличкових вирівнювачів тиску) до 2,5 (за наявності 4-х горизонтально-поличкових вирівнювачів тиску, причому для конструкції з приблизно рівномірним статичним тиском за висотою корпусу (рис. 7, б) $Z = 2,4$).

1. Внутренние санитарно-технические устройства. Справочник проектировщика / Под ред. И.Г. Старовойтова. – М.: Стройиздат, 1978. – 509 с. 2. Талиев В.Г. Приточные вентиляционные воздухораспределители. – М.: Стройиздат, 1951. 3. Живов А.М., Nielsen P.V., Riskowski G., Шилькрот Е.О. Системы вытесняющей вентиляции для промышленных зданий. Типы, область применения, принципы проектирования // Журн. АВОК. – 2001. – № 5. 4. Шилькрот Е.О. Основные

принципы вытесняющей вентиляции // Журн. АВОК. – 2003. – № 1. 5. Ливчак А.В. Вытесняющая вентиляция в школах // Журн. АВОК. – 2004. – № 8. 6. Livchak A., Nall D. Displacement Ventilation – Application for Hot and Humid Climate / Proceedings of Clima 2000. Napoli, Italy, 2001. 7. Жуковський С.С., Люльчак З.С. Вентиляція і кондиціювання // Термінологія. Види систем вентиляції. Ринок інсталяцій. – 2004. – № 2. – С. 52; № 3. – С. 60. 8. Жуковський С.С., Люльчак З.С. Вентиляція і кондиціювання // Термінологія. Види систем вентиляції і кондиціювання. Ринок інсталяцій. – 2004. – № 4. – С. 8; № 5. – С. 6; № 7–8. – С. 9; № 9. – С. 78. 9. Жуковський С.С., Клименко Г.М. Конструкційні особливості джерельних (фільтраційних) повітророзподільників і пропозиції щодо їх удосконалення // Наук. вісник: Зб. наук.-техн. праць. – Львів: НЛТУУ, 2007. – Вип. 17.6. – С. 101–106. 10. Скиспад Х., Мундт Э., Нильсен П., Хагстрем К., Райлио Й. Вытесняющая вентиляция в производственных зданиях / Пер.с англ. – 2-е изд. испр. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2006. – 104 с. 11. Патент України № 19497. Повітророзподільник / С.С. Жуковський, О.М. Довбуш, Г.М. Клименко. – Опубл. 15, Бюл. № 12.

УДК 624.21.004.69

І.Г. Іваник, С.І. Віхоть, Ю.Ю. Вибранець
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра будівельного виробництва

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО- ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ КОМБІНОВАНИХ СТАТИЧНО НЕВИЗНАЧЕНИХ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ*

О Іваник І.Г., Віхоть С.І., Вибранець Ю.Ю., 2008

Проведено теоретичні дослідження статично невизначених комбінованих конструкцій. Отримані в ході математичних розрахунків на стадії проектування результати теоретичних досліджень металевої комбінованої статично невизначеної конструкції дають можливість використовувати конструкції такого типу як несучі елементи легких сталезалізобетонних перекриттів.

Theoretical researches statically of the indefinite combined constructions are conducted. Got during mathematical calculations on the stage of planning the results of theoretical researches of the metallic combined statically indefinite construction enable to use the constructions of such a type in quality the staples of easy permanent ceilings of the reinforced concretes.

Вступ. Ефект зменшення витрат матеріалів, як показує аналіз роботи комбінованих металевих конструкцій ще на стадії їх проектування, стає більшим при поєднанні в сумісній роботі металевих комбінованих конструкцій і залізобетонної плити. Комплекс розрахункових рішень дає змогу раціонально сформувавши напружено-деформований стан у перетинах металевих балок двотаврового перетину, з яких утворюється конструкція перекриття чи покриття**. Згідно з розробленою методикою при проектуванні на початковому етапі теоретичних розрахунків порівняно легко враховувати будь-які умови роботи конструкції на зовнішнє навантаження.

Мета роботи. Дослідити комбіновані металеві конструкції з врахуванням особливості їх регулювання залежно від змін їх геометрії, пружних властивостей і роботи під навантаженням.

* Робота виконана під керівництвом канд. техн. наук, доц. каф. “Будівельне виробництво” Національного університету “Львівська політехніка” І.Г. Іваника.

** Іваник І.Г., Віхоть С.І. Розрахунок комбінованих конструкцій з використанням методу введення уявних шарнірів. Теорія і практика будівництва // Вісн. Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2005. – № 545. – С. 74–78.