

ТИСКОВІ ВПЛИВИ В КОРПУСІ ДВОКАМЕРНОГО ПАНЕЛЬНОГО ПОВІТРОРОЗПОДІЛЬНИКА ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЇХНЬОЇ РІВНОМІРНОСТІ

© Клименко Г.М., 2009

Подано результати експериментально-аналітичних досліджень розподілу статичних тисків в корпусі секційного джерельного повітророзподільника з внутрішньою і лицьовою дірчастоперфорованими стінками з горизонтально-полічковими вирівнювачами тиску у первинній тисковій камері. Складено матрицю 4-факторного експерименту, отримано рівняння регресії та зроблено його аналіз. Встановлено оптимальні відносні розміри вирівнювачів тиску.

Results of experimental and analytical research into the distribution of static pressures inside a sectional source air distributor with interior and exterior perforated walls and horizontal shelf pressure equalizers inside the first pressure chamber are presented in this article. A four-factor experiment matrix has been compiled, a regression equation generated and analyzed. Optimal relative dimensions of pressure equalizers has been established.

Постановка проблеми. В останні роки ширше застосовуються системи термовипірального вентилявання приміщень. Такі системи отримали назву систем типу DV (“Displacement ventilation”). Вони все більше привертають увагу спеціалістів.

До головних переваг систем термовипірального вентилявання (ТВВ) належать висока якість і мала рухомість повітря майже в усьому просторі робочої зони внаслідок мінімізації перемішування притікального та навколишнього внутрішнього повітря і істотного зменшення повітрообміну за рахунок збільшення його ефективності.

Для термовипіральних вентсистем найперше були застосовані циліндричні і напівциліндричні (рис. 1) та чвертьциліндричні джерельні (фільтраційні) повітророзподільники (ПР), а також панельні (рис. 2), підкрісельні (рис. 3) та цокольні (рис. 4) ПР. Відомі також надпідлогові (рис. 4) та підлогові (рис. 6) фільтраційні ПР [2; 3; 4].

Завданням таких ПР є створення повітряних потоків з рівномірними початковими швидкостями і температурами. Такі потоки живлять конвекційні струмені теплоджерел і здатні випирати забрудники поза межі робочої зони (РЗ) і протидіяти їх переміщенню в РЗ.

Дослідження ефективності використання джерельних (фільтраційних) ПР для термовипірального вентилявання наполовину реальної моделі (М1:2) типового класного шкільного приміщення на 20 осіб в США [5] засвідчило, що перевага термовипіральної вентиляції є очевидною (рис. 7).



Рис. 1. Циліндричний і напівциліндричний джерельні (фільтраційні) повітророзподільники

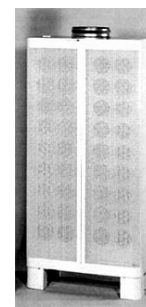


Рис. 2. Панельний повітророзподільник



Рис. 3. Загальний вигляд підкрісельних повітророзподільників



Рис. 4. Фрагмент панельового надпідлогового (цокольного) ПР



Рис. 5. Загальний вигляд натурної моделі циліндричного фільтраційного ПР



Рис. 6. Загальний вигляд еліптичного підлогового повітророзподільника

а)

б)

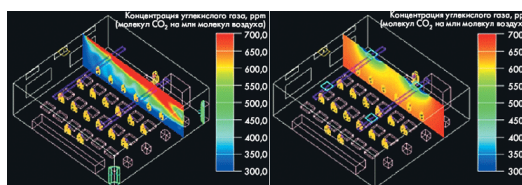


Рис. 7. Концентрація CO_2 у внутрішньому повітрі моделі: а – за термовипірального вентилявання за допомогою джерельного повітророзподільника; б – за ежекційного перемішуючого вентилявання за допомогою стельових ПР

Аналіз попередніх досліджень. Проблема використання джерельних фільтраційних ПР для термовипіральної вентиляції в Україні є мало дослідженою.

На кафедрі ТГВ НУ "Львівська політехніка" дослідження застосування циліндричних фільтраційних ПР в системах термовипірального вентилявання виробничих приміщень з тепло- і газовиділеннями виконували доценти кафедри Жуковський С.С. та Щербатюк Б.І. разом з доцентом Московського інженерно-будівельного інституту Аркадієм Мелік-Аракелянцем [12; 13; 14]. Конструкції циліндричних джерельних ПР та спосіб вентилявання приміщень з застосуванням таких ПР були захищені АС СРСР [7; 8; 9] та патентами України на винахід [10; 11]. Циліндричні ПР заввишки 2 м з різним діаметром корпуса були використані під час вентилявання відділення зварювання каркасів на Тернопільському комбайновому заводі.

Натурну модель одного з впроваджених ПР заввишки 2 м та діаметром 0,8 м досліджено в лабораторії аеродинаміки і вентиляції кафедри ТГВ НУ “Львівська політехніка”. Загальний вигляд моделі зображено на рис. 5.

Недоліки відомих конструкцій ПР. Більшість ПР, що використовуються в системах ТВВ, є переважно однокамерними, їм властивий той конструкційний недолік, що вони не забезпечують вирівнювання тиску по висоті корпусу, а отже, і рівномірності початкової швидкості притікального повітряного потоку (рис. 8). Внаслідок цього притікальний повітряний потік сформований такими ПР забруднення навколишнім повітрям і несприяння у формуванні термічного поширення внутрішнього повітря; у верхній частині корпусу ПР може виникати розрідження і брудніше навколишнє повітря затікатиме в корпус ПР, що також не є бажаним [1]. 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).

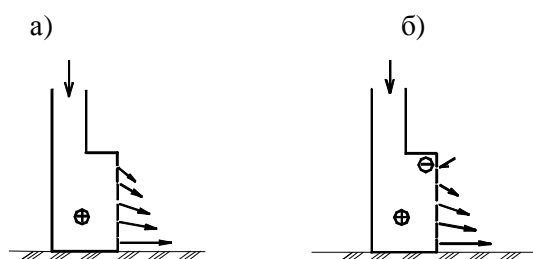


Рис. 8. Негативні ефекти відомих конструкційних вирішень однокамерних джерельних ПР за верхнього живлення їх повітрям: а – зменшення статичного тиску по висоті корпусу; б – те саме, з виникненням розрідження у верхній частині корпусу

Пропозиції щодо вирішення проблеми. Для того, щоб мінімізувати конструкційні недоліки відомих джерельних ПР запропоновано виконувати панельний повітророзподільник двокамерним з горизонтально-поличковими вирівнювачами тиску в первинній тисковій камері ТК [19].

Щоб пересвідчитись у правильності припущень, експериментально досліджено розподілення статичних тисків у корпусі моделі двокамерного джерельного ПР.

Мета досліджень. Визначення оптимальних відносних довжин горизонтально-поличкових вирівнювачів тиску, за яких забезпечується рівномірність статичних тисків в первинній тисковій камері, а отже, і в корпусі ПР. Це завдання можна реалізувати на основі експериментальних досліджень натурної або масштабної моделі ПР, в т. ч. із застосуванням відомих математичних методів планування експерименту [15]. Визначити коефіцієнт місцевого опору моделі ПР.

Особливості експериментальних досліджень. Для дослідження був створений експериментальний стенд, загальний вигляд якого зображено на рис. 9, а схема – на рис 10. 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 радіального вентилятора **4** і нагнітається в камеру плюсового надтиску **5**, перетікає через витратомірний колектор **6**, закріплений до з’ємної торцевої стінки камери **5**, рухається гнучким повітропроводом **7** і через вхідний патрубок **8** затікає в корпус повітророзподільника **9** зі швидкістю $v_{вх}$, та через його лицьову перфоровану стінку витікає в приміщення лабораторії зі швидкістю v_0 . 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 радіального вентилятора **4**, безпосередньо поєднаного з електродвигуном постійного струму **17**, завдяки його живленню через реостат **18** (тобто відповідною зміною кількості обертів турбіни вентилятора).

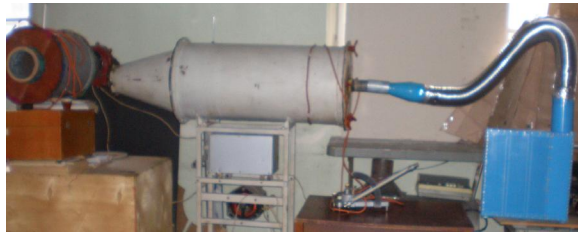


Рис. 9. Загальний вигляд експериментального стенда для досліджень моделі джерельного двокамерного ПР

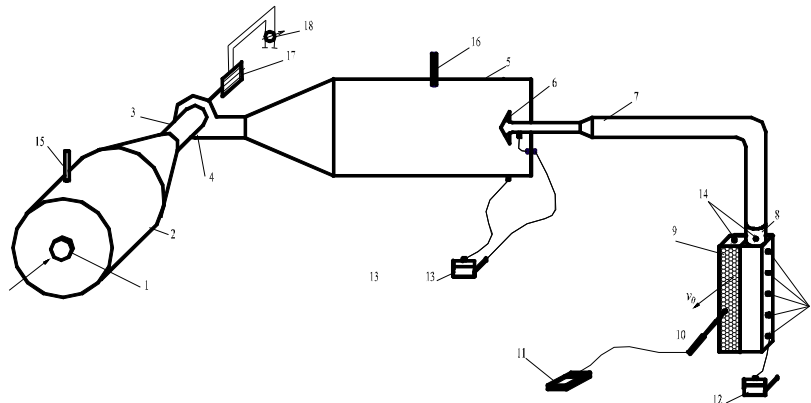


Рис. 10. Схема експериментального стенда для досліджень моделі джерельного двокамерного горизонтально-поличкового ПР: 1 – всмоктувальний патрубок; 2 – камера від’ємного надтиску; 3 – повітропровід; 4 – радіальний вентилятор; 5 – камера плюсового надтиску; 6 – витратовимірний колектор; 7 – гнучкий повітропровід; 8 – вхідний патрубок ПР; 9 – модель повітророзподільника (М1:4); 10 – щуп термоанемометра; 11 – термоанемометр «ЛІОТ»; 12, 13 – диференційні (різницеві) мікроманометри ММН-240; 14 – контрольні точки (штупцери) вимірювання статичного тиску; 15, 16 – спиртові термометри; 17 – електродвигун постійного струму; 18 – реостат

Середні швидкість потоку і його динамічний тиск у вхідному патрубку ПР визначались за витратою потоку, вимірюною за допомогою колектора **6**, а статичний тиск в поперечному перерізі вхідного патрубка **8** повітророзподільника визначався замірами тиску у трьох контрольних точках цього перерізу (точки **6...8** (рис. 11, б)).

Для досліджень виготовлено модель ПР, що геометрично подібна до натурної моделі в масштабі 1:4 (рис. 9, б).

Планування експерименту з визначенням оптимальних довжин горизонтально-поличкових вирівнювачів тиску $\bar{\Gamma}_i = l_i / L$ проводились для ПР, вторинна тискова камера якого була односекційною, як для варіанта найскладнішого забезпечення рівномірності статичних тисків по її площі.

Коефіцієнт живого перерізу повітропроникних круглодірчастоперфорованих внутрішньої (міжкамерної) і зовнішніх (лицьової) стінок виконано з коефіцієнтом живого перерізу $k_{ж.п} = 0,39$.

Динамічна подібність масштабної і натурної моделі ПР забезпечувалась з подібністю

$$Re_{L_M} = Re_{L_H} \quad (1)$$

або

$$\frac{v_{o,m} \cdot L_M}{v_{пов}} = \frac{v_{o,h} \cdot L_H}{v_{пов}}, \quad (2)$$

де $v_{o,m}$ і $v_{o,h}$ – початкові швидкості повітряного потоку відповідно в масштабній і в натурній моделі; L_M та L_H – довжина первинної тискової камери відповідно моделі і натурної ПР.

Робоче середовище – повітря.

$n_{пов}$ – коефіцієнт кінематичної в'язкості повітря, $м/с^2$.

Якщо $v_{o,н} \leq 0,5 м/с^2$, наприклад ($v_{o,н} = 0,5 м/с^2$), тоді з формули (2)

$$v_{o,м} = \frac{L_H}{L_M} \cdot v_{o,н}, м/с \quad (3)$$

відповідно $u_{o,м} = 4 \cdot u_{o,н}$, отже, за початкової натурної швидкості повітряного потоку $u_{o,н} = 0,5 м/с$, експериментальна початкова швидкість $v_{o,м} = 4 \cdot v_{o,н} = 4 \cdot 0,5 = 2 м/с$.

Тобто під час модельних досліджень початкова швидкість притікального потоку $v_{o,м}$ знаходиться в діапазоні від 0,5 до 2 м/с.

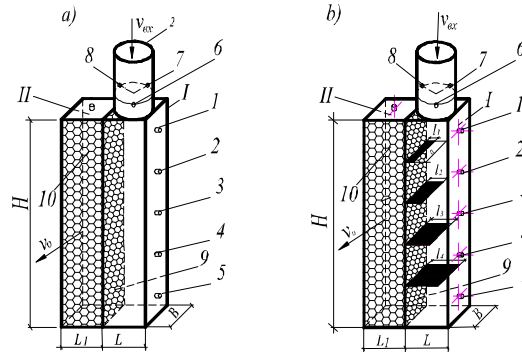


Рис 11. Конструкційні схеми моделей ПР:

а – без горизонтально-поличкових вирівнювачів тиску у первинній тисковій камері; б – з чотирма горизонтально-поличковими вирівнювачами тиску у цій камері; I – первинна тискова камера; II – вторинна тискова камера; III – горизонтально-поличкові вирівнювачі тиску; 1...8 – штуцери вимірювання точкових статичних тисків в корпусі ПР; 9 – внутрішня круглодірчатоперфорована стінка; 10 – зовнішня круглодірчатоперфорована стінка

Попередні експериментальні дослідження аеродинамічних характеристик панельного джерельного двокамерного ПР засвідчили:

- відсутність у первинній тисковій камері горизонтально-поличкових вирівнювачів тиску (рис. 11, а) підтверджує ефект, відображений на рис. 8;
- розміри горизонтально-поличкових вирівнювачів тиску впливають на розподілення статичних тисків по висоті первинної і вторинної тискових камер ПР [20].

Експериментальні дослідження проведені за таких умов:

- потік ізотермічний;
- лінійні розміри первинної тискової камери моделі ПР (рис. 9, б) завдовжки $L = 0,1 м$, завширшки $B = 0,1 м$, заввишки $H = 0,4 м$ – не змінювали;
- відстань між горизонтально-поличковими вирівнювачами тиску була незмінною і становила 0,08 м;

- відносні розміри горизонтально-поличкових вирівнювачів тиску $\bar{l}_1 \dots \bar{l}_4$ ($\bar{l}_1 = l_1 / L$; $\bar{l}_2 = l_2 / L$; $\bar{l}_3 = l_3 / L$; $\bar{l}_4 = l_4 / L$) змінювались, причому $\bar{l}_1 = 0,2 \dots 0,3$; $\bar{l}_2 = 0,3 \dots 0,4$; $\bar{l}_3 = 0,4 \dots 0,5$; $\bar{l}_4 = 0,5 \dots 0,6$, де l_1, l_2, l_3, l_4 – розміри відповідних горизонтально-поличкових вирівнювачів тиску, м; L – довжина первинної тискової камери, м (рис. 6, б).

Використовуючи відомі методи планування експерименту, як вхідні чинники були прийняті величини:

- $x_1 = \bar{l}_1$ – відносна довжина першого горизонтально-поличкового вирівнювача тиску;

- $x_2 = \bar{l}_2$ – відносна довжина другого горизонтально-поличкового вирівнювача тиску;
- $x_3 = \bar{l}_3$ – відносна довжина третього горизонтально-поличкового вирівнювача тиску;
- $x_4 = \bar{l}_4$ – відносна довжина четвертого горизонтально-поличкового вирівнювача тиску.

Функцією відгуку (параметром оптимізації) є коефіцієнт нерівномірності розподілу статичних тисків у первинній тисковій камері дослідної моделі ПР $\varphi = \frac{p_c}{p_{\max}}$, де p_c та p_{\max} – відповідно середній та максимальний тиски в первинній тисковій камері корпуса ПР.

Потрібно встановити функціональну залежність $\varphi = f(x_1, x_2, x_3, x_4)$.

Кількість дослідів експерименту визначали за формулою

$$N = P^K, \quad (4)$$

де P – кількість рівнів чинників ($P = 2$); K – кількість чинників ($K = 4$). Тоді $N = 2^4 = 16$ дослідів.

Під час проведення досліджень використовували вимірювальні засоби, що пройшли метрологічну перевірку і вказані в табл. 1.

Таблиця 1

Засоби вимірювання

№ з/п	Назва засобів вимірювання	Характеристики
1	Барометр-анероїд БАММ-1, № 9132	8000...106000 Па; точність ± 200 Па
2	Термометри, № 20922; №20923	Точність $< 0,1^\circ\text{C}$
3	Мікроманометри ММН-240 (5) – 1,0 ТУ 25-01-816-74 № 1314 і ТУ 25-01-816-79 № 2018	Точність ± 1 Па

Дослідження проводили у такій послідовності:

- замірювали температуру повітря у приміщенні лабораторії і барометричний тиск; монтували геометрично подібну модель повітророзподільника з певними відносними довжинами горизонтально-поличкових вирівнювачів тиску $\bar{l}_1 \dots \bar{l}_4$ (рис. 11, б) і лабораторний стенд для її досліджень (рис. 9; 10);

- вмикали в дію стенд, встановлювали стаціонарний режим його роботи за певної витрати повітряного потоку;

- заміряли за допомогою різницевого мікроманометра статичні тиски $p_1 \dots p_5$ первинної тискової камери в контрольних точках 1...5 (рис. 11, б), величину яких визначили за формулою

$$p_{ст} = (l_{ст.кін} - l_{ст.поч}) \cdot k \cdot 9,806, \text{ Па}, \quad (5)$$

де $l_{ст.кін}$ – кінцевий показ мікроманометра 12, мм (рис.10); $l_{ст.поч}$ – початковий показ мікроманометра 12, мм; k – коефіцієнт, який залежить від кута нахилу відлікової трубки мікроманометра 12 (рис. 10), кгс/м^2 ;

- визначали величини середніх статичних тисків у первинній тисковій камері (ТК) за формулою

$$p_{ср.ст} = \frac{\sum_{i=1}^5 p_i}{5}, \quad (6)$$

де $\sum p_i$ – сума значень статичних тисків у точках 1...5 (рис. 11, б);

- визначали коефіцієнти нерівномірності розподілу статичних тисків у первинній ТК за формулою

$$\varphi = \frac{P_{\text{сер.ст}}}{P_{\text{max}}}, \quad (7)$$

де $P_{\text{сер.ст}}$ – значення середнього статичного тиску у первинній тисковій камері; P_{max} – значення максимального статичного тиску у контрольній точці первинної ТК;

- змінювали витрату повітряного потоку внаслідок зміни кількості обертів електродвигуна 17 вентилятора 4 (рис. 10). Повторювали вимірювання тисків. Витрати потоку змінювали три рази;

- змінювали відносні розміри горизонтально-полічкових вирівнювачів тиску, що розміщені в корпусі первинної ТК і вимірювали статичні тиски за трьох витрат повітряного потоку.

Матрицю планування 4-факторного експерименту без врахування ефекту взаємодії чинників наведено в табл. 2.

Отримане рівняння регресії має такий вигляд:

$$y = 0,84 - 0,0025x_1 - 0,01x_2 + 0,0006x_3 + 0,01x_4. \quad (8)$$

На підставі аналізу коефіцієнтів рівняння регресії констатуємо, що істотний вплив на поведінку функції відгуку мають чинники x_2 (відносна довжина другого горизонтально-полічкового вирівнювача тиску) і x_4 (відносна довжина четвертого горизонтально-полічкового вирівнювача тиску).

Тому для досягнення підвищеного коефіцієнта нерівномірності розподілу статичних тисків j первинної тискової камери повітророзподільника необхідно зменшити відносний розмір другого горизонтально-полічкового вирівнювача тиску, а розмір четвертого – збільшити. Тому для досягнення підвищеного коефіцієнта нерівномірності розподілу статичних тисків j первинної тискової камери повітророзподільника необхідно зменшити відносний розмір другого горизонтально-полічкового вирівнювача тиску, а розмір четвертого – збільшити.

Таблиця 2

Матриця планування 4-факторного експерименту без ефекту взаємодії чинників

№	x_1	x_2	x_3	x_4	y
1	1	-1	-1	-1	0,77
2	-1	1	-1	-1	0,83
3	-1	-1	-1	1	0,86
4	-1	-1	1	1	0,85
5	-1	1	1	-1	0,84
6	-1	1	-1	1	0,86
7	1	1	1	-1	0,81
8	1	1	1	1	0,79
9	1	1	-1	1	0,84
10	1	-1	-1	1	0,87
11	-1	-1	-1	-1	0,83
12	-1	-1	1	-1	0,80
13	-1	1	1	1	0,82
14	1	-1	1	-1	0,9
15	1	-1	1	1	0,91
16	1	1	-1	-1	0,87

Зауваження: Цифрами +1 та -1 позначені кодовані величини рівнів чинників експерименту (найменше значення параметра -1, найбільше: +1; у – визначені експериментально коефіцієнти нерівномірності розподілу статичних тисків первинної тискової камери корпусу ПР.

Висновки:

1. Запропоновано нову конструкцію панельного ПР.
2. Виявлено оптимальні відносні довжини горизонтально-поличкових вирівнювачів тиску, за яких забезпечується найбільша рівномірність статичних тисків в корпусі ПР.

1. Талиев В.Г. Приточные вентиляционные воздухораспределители. – М.: Стройиздат, 1951.

2. Livchak A., Nall D. Displacement Ventilation – Application for Hot and Humid Climate / Proceedings of Clima 2000. – Napoli, Italy. 2001. 3. Живов А. М., Nielsen P.V., Riskowski G., Шилькрот Е.О. Системы вытесняющей вентиляции для промышленных зданий. Типы, область применения, принципы проектирования // Журнал АВОК. – 2001. – №5. 4. Шилькрот Е.О. Основные принципы вытесняющей вентиляции // Журнал АВОК. – 2002. 5. Ливчак А.В. Вытесняющая вентиляция в школах // Журнал АВОК. – 2004. – №8. 6. Скистад, Э. Мундт, П. Нильсен, К. Хагстрем, Й. Райлио. Вытесняющая вентиляция в непромышленных зданиях / Пер. с англ. – 2-е изд., испр. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2006. – 104 с. 7. Щербатюк Б.И., Жуковский С.С. Способ вентиляции помещений с расположенными по его площади теплогазовыделяющими источниками: А.С. №1740898, опубл. Б.И. – 1992. – №22. 8. Щербатюк Б.И., Жуковский С.С., Мелик-Аракелян А.Т. Способ вентиляции производственных помещений: А.С. №1566174, опубл. Б.И. – 1990. – №19. 9. Жуковский С.С., Щербатюк Б.И., Довбуш О.М. Устройство для подачи приточного воздуха: А.С. №1753210, опубл. Б.И. – 1999. – №29. 10. Щербатюк Б.И., Жуковский С.С. Спосіб вентиляції приміщення з розміщеними по його площі теплогазовиділяючими джерелами: Патент України № 12760, Опубл. 28.02.97. – Бюл №1. 11. Жуковский С.С., Щербатюк Б.И., Довбуш О.М. Пристрій для подачі припливного повітря: Патент України №12758. Опубл. 28.02.97. – Бюл №1. 12. Жуковский С.С. Использование приклонных воздухораспределителей с целью вентиляции помещений вытесняющим воздушным потоком: Депон. в Укр НИИНТИ, 08.06.89. 13. Жуковский С.С., Щербатюк Б.И. Повітророздаючий пристрій для «затоплення» робочої зони приміщень // Вісник ДУ «ЛП» «Теплоенергетика, інженерія доквілля». – 1995. – №291. – С. 68. 71. 14. Жуковский С.С., Довбуш О.М., Щербатюк Б.И. Загальне випірально-вентилювання з тепло- і газовиділеннями // Вісник НУ «ЛП» «Теплоенергетика. Інженерія. Автоматизація». – 2006. – С. 8.–14. 15. Возняк О.Т., Желих В.М. Основи наукових досліджень у будівництві: Навч. посібник. – Львів: Вид-во НУ «Львівська політехніка», 2003. 16. Жуковский С.С., Люльчак З.С. Вентиляція і кондиціонування / Термінологія. Види систем вентиляції і кондиціонування // Ринок інсталяції. – 2004. – №4. – С.8; №5. – С.6; №7–8. – С. 9; №9. – С.78. 17. Пранцуз О.С., Баландина Л.Я. Эффективные воздухораспределители последнего поколения для подачи воздуха в рабочую зону быстрозатухающими струями и низкоскоростными потоками // Харьковская Национальная академия городского хозяйства: Научно-технический сборник "Коммунальное хозяйство городов". – К.: Техніка, 2003. – Вып. 84. – С. 208–214. 18. Жуковский С.С., Клименко Г.М. Конструкційні особливості джерельних (фільтраційних) повітророзподільників і пропозиції щодо їх удосконалення // Науковий вісник: Збірник науково-технічних праць. – Львів: НЛТУУ, 2007. – Вып.17.6. – С. 101–106. 19. Жуковский С.С., Довбуш О.М., Клименко Г.М. Повітророзподільник: Патент України № 19497 від 15.12. 2006. – Бюл. № 12. 20. Жуковский С.С., Клименко Г.М., Савчин О.М. Забезпечення рівномірності статичних тисків в корпусі джерельного двокамерного повітророзподільника // Вісник НУ «ЛП» "Теорія і практика будівництва". – 2008. – Вып.672. – С. 97–106.