

Оптимальная ориентация гелиоколлектора в Зстонской ССР // Исследования по строительству и строительной теплофизике. Долговечность конструкций. – Таллин, 1987. – С. 15–18. 3. Bruges P.M. Utilizacion de la energia solar a baja temperatura por medio de captadores planos // Instalador. – 1986. – № 21. – P. 33–41. 4. Bairi A. Method of quick determination of the angle of slope and the orientation of solar collectors without a sun tracking system // Solar and Wind Technology. – 1990. – 7. – № 2–3. – P. 327–330. 5. Instalatie solara: Pam. 97101 Румыния. In-treprinderea de Retele Elektrice- N 125872 / D. Gernomazu. – Оубл. 18.08.1989. 6. Solar energy collecting system: Pam. 4770162 США. Phillips Petroleum Co / P.M. L'Esperance, R.D. Nikkei. – № 49860L; Оубл. 13.09.1988. 7. Satcunanatnan S., Jolly P. Persad P. The desing and performance of semi-tracking flat-plate collectors // Solar World Congress Process // 8th Biln Congress International Solar Energy Socitty, Perth, August, 1984. – P. 757–761. 8. А. с. 1490398 СССР. Способ ориентации гелиоустановок на Солнце / А.С. Шнерх. – 1989. – № 24. 9. Estokova A. Methods for environmental assessment of building materials // Вісн. Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2007. – № 600. – С. 368–372. 10. Kapalo P. Hot water distribution system – interrumped operation // Вісн. Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2007. – № 600. – С. 417–422. 11. ViČeková S., Burdová E., Šenitkova I. Sustainable bulding assessment systems summary // Вісн. Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2007. – № 600. – С. 559–567.

УДК 697.9:621;697:621

О.Т.Возняк, Х.В. Миронюк, І.Є. Сухолова, А.О.Четербок  
Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра теплогазопостачання і вентиляції

## ПОВІТРОРозПОДІЛЬНИК ІЗ ВЗАЄМОДІЄЮ ЗУСТРІЧНИХ НЕСПІВВІСНИХ НЕІЗОТЕРМІЧНИХ КРУГЛИХ СТРУМИН

© Возняк О.Т., Миронюк Х.В., Сухолова І.Є., Четербок А.О., 2008

Наведено результати експериментальних досліджень подачі припливного повітря до приміщень повітророзподільником з використанням взаємодії зустрічних неспіввісних повітряних струмін для створення інтенсивнішої турбулізації повітряного потоку. Проведено експериментальні дослідження за складеною матрицею планування трифакторного експерименту та отримано графічні і аналітичні розрахункові залежності; побудована номограма. Одержані результати цих досліджень дають змогу проводити інженерні розрахунки повітророзподілу із взаємодією зустрічних неспіввісних струмін.

In this article results of experimental investigations of air supply into the room by air distribution device with interaction of opposite non-coaxial air jets for creation more intensive turbulization air flow in the room are presented. Experimental investigations in order to composed matrix were carried out; graphycal and analytical calculation dependences have been obtained as well 3-factor chart has been design. Obtained results of these investigations give possibility to realize engineer calculations of air distribution with interaction of opposite non-coaxial air jets.

**Постановка проблеми.** Як відомо, здоров'я людини та її працездатність залежать значною мірою від того, наскільки санітарно-гігієнічні параметри мікроклімату приміщень відповідають її фізіологічним потребам. Фізичний стан повітряного середовища приміщення залежить від температури, вологовмісту, швидкості руху повітря, шуму, запиленості, запахів тощо. На умови комфорту значно впливає саме швидкість руху повітря, величина якої створюється засобами вентиляційної техніки. Відомо [1–9], що значний вплив на тепловий комфорт людини має також початкова турбулізація припливного повітряного потоку при його виході з насадка.

Одним із раціональних способів повітророзподілу в приміщенні є подача припливного повітря повітророзподільником з високою інтенсивністю погасання параметрів (швидкості  $V$  і надлишкової температури  $\Delta t$ ) припливного повітря за рахунок використання взаємодії зустрічних припливних струмин.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Одним із раціональних способів повітророзподілу є подача припливного повітря безпосередньо до робочої зони. Для цього використовуються повітророзподільники з високою інтенсивністю погасання параметрів (швидкості  $V$  і температури  $t$ ) припливного повітря. Характерною властивістю таких припливних струмин є підвищена турбулентність порівняно із прямотечійними струминами.

Для підвищення турбулентності використовується взаємодія зустрічних припливних струмин. Можна розрізнити взаємодію співвісних зустрічних струмин, струмин, спрямованих під кутом одна до однієї та неспіввісних зустрічних струмин.

Існують повітророзподільники, що представляють влаштування зустрічних повітровипускників власне як варіант перфорації для панельних повітророзподільників, де повітровипускні отвори розташовані в кілька рядів, а також повітророзподільник із взаємодією зустрічних неспіввісних струмин [9].

У статті розглядається аспект підвищення ефективності повітророзподілення в приміщенні за рахунок досягнення високої інтенсивності погасання параметрів результуючого повітряного потоку при роздачі припливного повітря повітророзподільником із взаємодією неспіввісних зустрічних припливних струмин. Вирішується питання ефекту взаємодії зустрічних неспіввісних струмин, які витікають з насадки за певних умов (рис. 1).

У результаті взаємодії струмин утворюється результуючий повітряний потік, який безпосередньо надходить до робочої зони. Основну увагу приділено саме дослідженню залежності характеристик повітророзподільника та результуючого потоку від умов взаємодії струмин.

**Мета та задачі досліджень.** Мета роботи – вивчення характеру поширення результуючого повітряного потоку, а також оптимізація взаємозв'язку між геометричними характеристиками повітророзподільника та інтенсивністю загасання швидкості та надлишкової температури  $\Delta t$  результуючого повітряного потоку для різних випадків взаємодії зустрічних неспіввісних струмин, а саме: при різних значеннях біжучих координат ( $h$  та  $x$ ), співвідношення відстаней між осями зустрічних струмин ( $l_o$ ), відстані між зустрічними насадками ( $X_n$ ).

Експериментальні дослідження проводились на установці, схема якої представлена на рис. 1, при таких умовах та спрощеннях:

- струмини неізотермічні;
- досліди проводились як із нагрітими, так і з охолодженими струминами;
- припливні насадки – циліндричні патрубки з коефіцієнтом погасання швидкості  $m = 6,8$ ;
- їхній діаметр не змінювався і становив  $d_o = 50$  мм;
- лінійний розмір повітропроводів не змінювався і становив  $H = 1,5$  м;
- відстань між осями насадків  $l_o$  була змінною і становила:  $l_{o1} = 100$  мм  $= 2d_o$ ;  $l_{o2} = 150$  мм  $= 3d_o$ ;  $l_{o3} = 200$  мм  $= 4d_o$ ;
- довжини струмин  $X_n$ , що взаємодіють, були змінними і становили:  $X_{n1} = 0,6$  м  $= 12 d_o$ ;  $X_{n2} = 0,8$  м  $= 16 d_o$ ;  $X_{n3} = 1,0$  м  $= 20 d_o$ ;  $X_{n4} = 1,2$  м  $= 24 d_o$ ;
- співвідношення витрат повітряних потоків  $\bar{L} = L_n / L_{np}$ , що взаємодіють, залишалось незмінним, при цьому  $L_n = L_{np}$ ;
- початкова швидкість повітря в припливних насадках знаходилася в межах:  $V = 5 - 15$  м/с.

Заміри швидкості руху повітря  $V$  здійснювалися термоелектроанемометром ТА-9 із використанням координатника із сіткою точок  $5 \times 5$  см.

Для проведення експериментальних досліджень була складена матриця планування 3-факторного експерименту з врахуванням ефекту взаємодії факторів (таблиця), при цьому прийнято лінійну математичну модель [10]. Як вхідні фактори прийнято такі величини (див. рис. 1):

- $x_1 = h / H$  – відносна вертикальна біжуча координата;
- $x_2 = X / X_n$  – відносна горизонтальна біжуча координата ( $X_n$  – відстань між повітропроводами);
- $x_3 = l_0 / d_0$  – відносна відстань між осями патрубків.

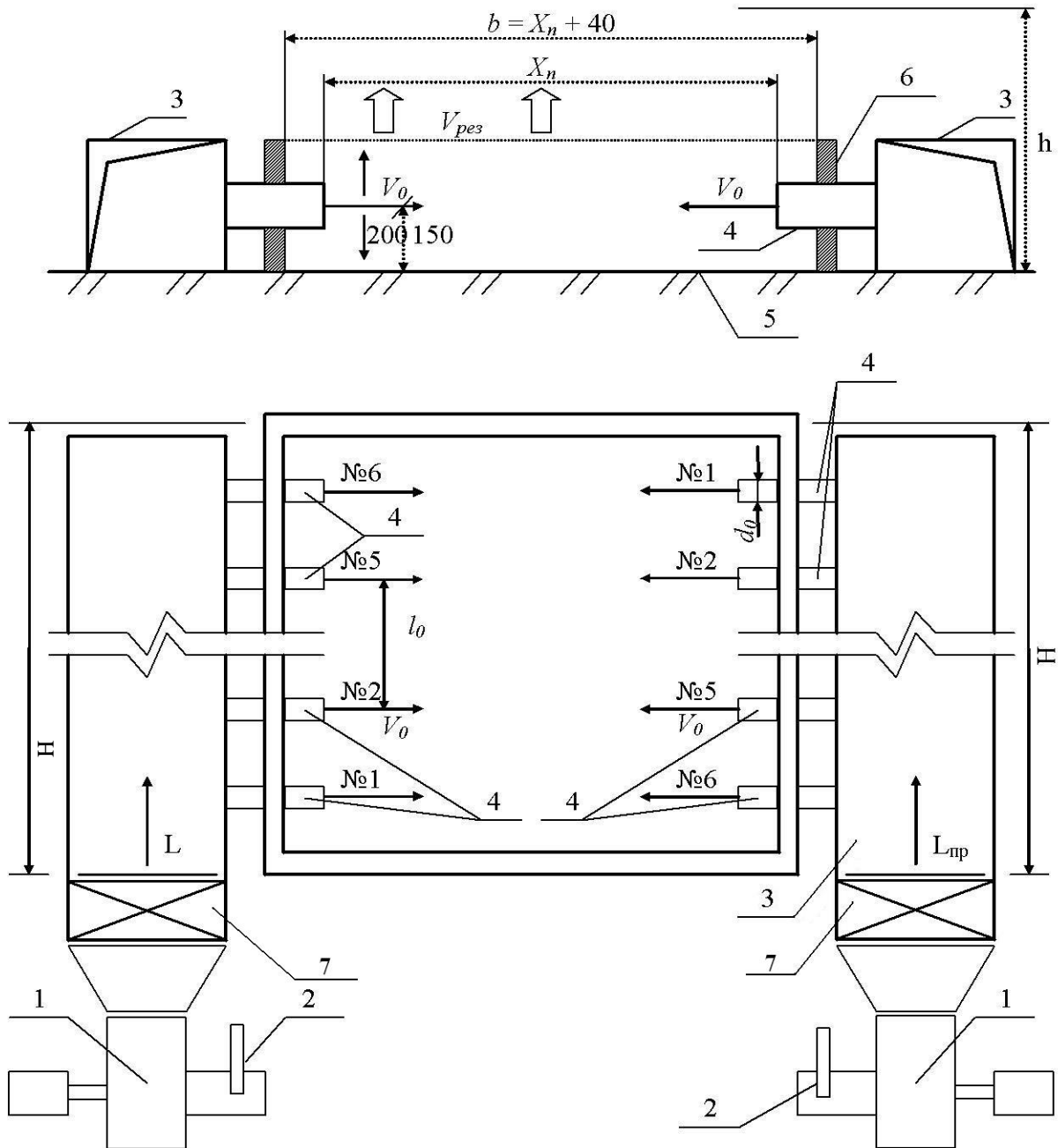


Рис. 1. Схема експериментальної установки:

1 – вентиляційний агрегат; 2 – заслінка; 3 – повітропровід  $a \times b = 350 \times 350$  мм;  
 4 – припливні циліндричні насадки  $d_0 = 50$  мм та їхні номери (1–6); 5 – основа;  
 6 – конструктивна частина повітророзподільника; 7 – повітронагрівник  
 (повітроохолоджувач);  $h$  – відстань до характерної площини полів швидкостей

Функціями відгуку (параметрами оптимізації  $y_1$  та  $y_2$ ) є:

- $\bar{V}_h = V_h / V_0$  – відносна швидкість руху повітря в приміщенні, де  $V_h$  – біжуча швидкість результуючого потоку повітря в розрахунковій площині повітророзподільника, а  $V_0$  – початкова швидкість;

- $\bar{\Delta t}_h = \Delta t_h / \Delta t_0$  – відносна надлишкова температура повітря в приміщенні, де  $\Delta t_h$  – біжуча надлишкова температура результуючого потоку повітря в розрахунковій площині повітророзподільника, а  $\Delta t_0$  – початкова надлишкова температура (на виході з насадка).

Отже, необхідно встановити функціональні залежності  $\bar{V}_h = f_1(x_1; x_2; x_3)$  та  $\bar{\Delta t}_h = f_2(x_1; x_2; x_3)$ .

### Матриця планування 3-факторного експерименту

N	$x_0$	$x_1 = h/H$	$x_2 = x/X_{\text{п}}$	$x_3 = l_0/d_0$	$x_1 x_2$	$x_1 x_3$	$x_2 x_3$	$x_1 x_2 x_3$	$\bar{V}_h$	$\bar{\Delta t}_h$
1	+	-	-	-	+	+	+	-	0,80	0,56
2	+	+	-	-	-	-	+	+	0,23	0,15
3	+	-	+	-	-	+	-	+	0,57	0,41
4	+	+	+	-	+	-	-	-	0,05	0,03
5	+	-	-	+	+	-	-	+	1,00	0,71
6	+	+	-	+	-	+	-	-	0,37	0,24
7	+	-	+	+	-	-	+	-	0,76	0,55
8	+	+	+	+	+	+	+	+	0,12	0,08

Отримані рівняння регресії мають вигляд:

$$\bar{V}_h = 0,488 - 0,295x_1 - 0,113x_2 + 0,075x_3 + 0,005x_1 x_2 - 0,023x_1 x_3 - 0,010x_2 x_3 - 0,008x_1 x_2 x_3; \quad (1)$$

$$\bar{\Delta t}_h = 0,343 - 0,215x_1 - 0,075x_2 + 0,055x_3 + 0,003x_1 x_2 - 0,018x_1 x_3 - 0,008x_2 x_3 - 0,005x_1 x_2 x_3. \quad (2)$$

На підставі аналізу коефіцієнтів регресії констатуємо:

- істотний вплив на поведінку функції відгуку має фактор  $x_1$  (відносна вертикальна координата  $h/H$ ), а фактори:  $x_2$  (відносна горизонтальна координата  $x/X_{\text{п}}$ ),  $x_3$  (відносна відстань між осями патрубків) впливають не так істотно;
- оскільки коефіцієнти регресії  $b_{12} = 0,005$ ,  $b_{23} = 0,010$ ,  $b_{123} = 0,008$  у рівнянні (1) та  $b_{12} = 0,003$ ,  $b_{23} = 0,008$ ,  $b_{123} = 0,005$  у рівнянні (2) є незначимими, то ними можна знехтувати;
- чисельне збільшення відносної відстані між осями патрубків призводить до зростання функції відгуку, а збільшення відносних координат (вертикальної та горизонтальної) – до її спадання. Це означає, що для підвищення інтенсивності затухання швидкості руху результуючого потоку повітря  $\bar{V}_h$  та надлишкової температури  $\bar{\Delta t}_h$  необхідно збільшити відстані від повітровипускних насадків до площини робочої зони, а відстань між осями патрубків та співвідношення витрат зменшити. Наслідком максимального зменшення відстані між осями патрубків є утворення плоскої струмینی з великої кількості компактних.

За результатами експериментальних досліджень складені номограми (рис. 2, 3).

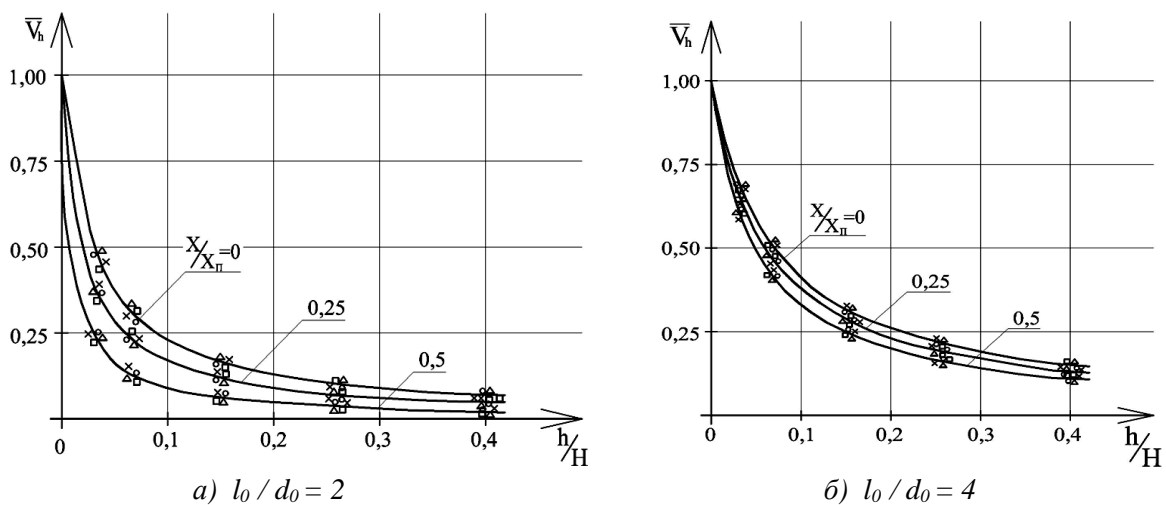


Рис. 2. Номограма для визначення швидкості руху повітря в приміщенні  $\bar{V}_h$

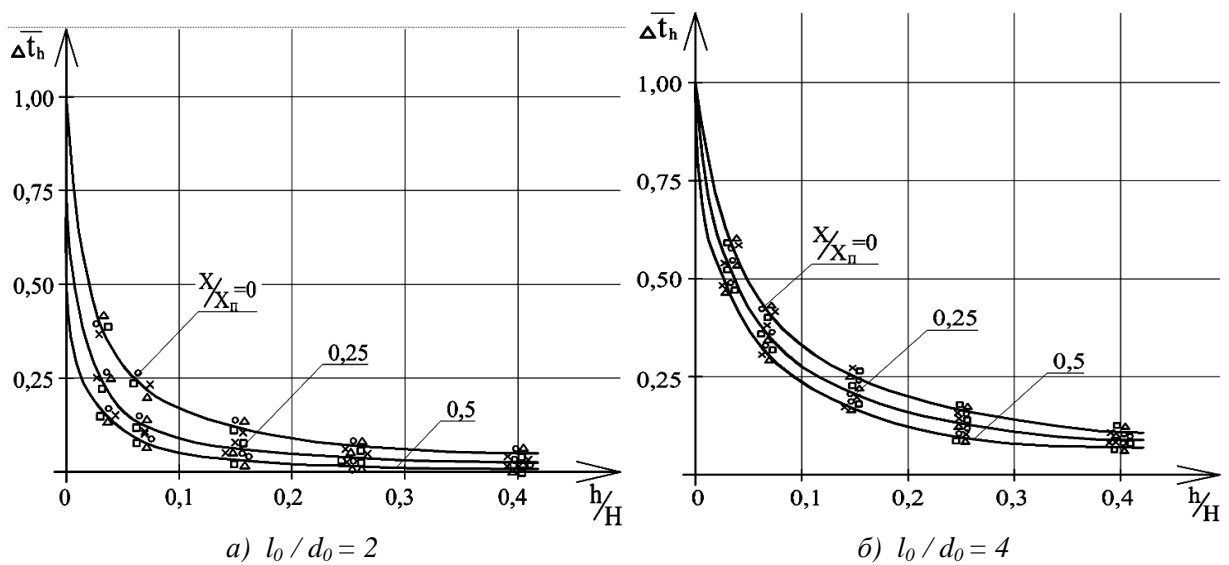


Рис. 3. Номограма для визначення надлишкової температури повітря в приміщенні  $\Delta \bar{t}_h$

На підставі представлених номограм отримано аналітичну залежність (3):

$$\bar{V} = \frac{-0,01 + 0,01 \frac{l}{d} - 0,04 \frac{x}{X_n}}{\frac{h}{H} - 0,01 + 0,01 \frac{l}{d} - 0,04 \frac{x}{X_n}}, \quad (3)$$

а також зроблено спробу побудови загальної номограми (рис. 4), в якій об'єднані на спільному рисунку всі величини, які розглядалися:  $\bar{V}_h$ ;  $h/H$ ;  $x/X_n$ ;  $l_0/d_0$ .

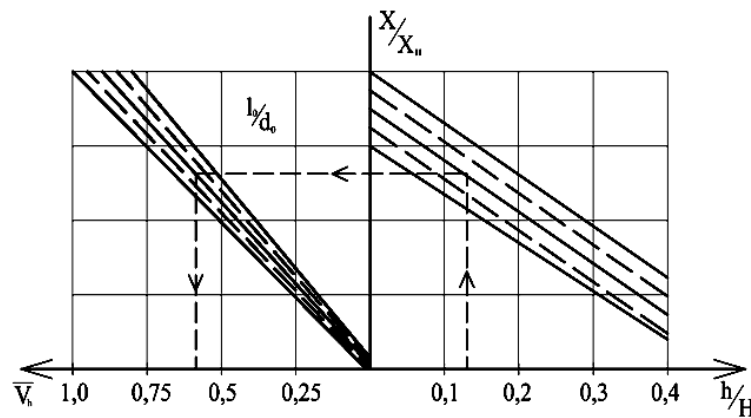


Рис. 4. Номограма для визначення швидкості руху повітря в приміщенні  $V_h$

Згідно з отриманими експериментальними даними, оптимальними лінійними співвідношеннями для отримання достатньо високої інтенсивності затухання швидкості виходу результуючого повітряного потоку, тобто мінімального значення  $\bar{V}_h$ , є такі:  $h/H = 0,40$ ;  $x/X_n = 0,5$ ;  $l_0/d_0 = 2$ . При цьому ефективність застосування зустрічних неспіввісних струмин буде максимальною. Це свідчить про доцільність заміни компактних струмин на плоскі.

**Висновки.** На основі отриманих результатів констатуємо:

- визначено та оптимізовано геометричні та витратні характеристики повітророзподільника для різних випадків взаємодії зустрічних неспіввісних струмин, а саме: при різних значеннях відносних відстаней від повітровипускних насадків до площини робочої зони  $x/X_n$  та  $h/H$ , а також відносних відстаней між осями циліндричних патрубків ( $l_0/d_0$ );

- визначено, що для підвищення інтенсивності затухання швидкості руху результуючого потоку повітря  $\bar{V}_h$  необхідно збільшити відстані від повітровипускних насадків до площини робочої зони, а відстань між осями патрубків та співвідношення витрат повітряних потоків, що взаємодіють, – зменшити;
- дано рекомендації про доцільність переходу від компактних струмин, що взаємодіють, до плоских;
- обґрунтовано, що ефективність застосування взаємодії зустрічних неспіввісних струмин в повітророзподільниках для подачі повітря в робочу, а також у верхню зону приміщення, є високою.

Застосування повітророзподільників із використанням ефекту взаємодії зустрічних неспіввісних струмин дасть змогу значно підвищити критерій ADPI при подачі в приміщення значної кількості повітря та зменшити матеріалоємність припливної системи.

**Вдячність.** Автори вдячні НАТО, зокрема проекту No ESP.NUKR.CLG.982978 “Оцінка та сертифікація доквілля будівель” та агентству Grant Словацької республіки за підтримку проекту No 1/3342/06, на базі якого представлені результати.

1. Талиев В.Н. Аэродинамика вентиляции. – М.: Стройиздат, 1978. – 274 с. 2. Гримитлин М.И. Распределение воздуха в помещениях. – М.: Стройиздат, 1982. – 163 с. 3. Возняк О.Т. Влияние взаимодействия струмин на воздухоподіл у приміщенні // Вісн. Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – Львів: 2001. – С. 27–31. 4. Банхиди Л. Тепловой микроклимат помещений. – М.: Стройиздат, 1981. – 248 с. 5. Возняк О., Ковальчук А. Ефективність повітророзподілу зустрічними неспіввісними струминами // Вісн. Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2002. – № 460. – С. 157–161. 6. Vozniak O., Kovalchuk A. Air distribution by opposite non-coaxial air jets. Zbornik prednasok: VII Vedecka Konferencia s medzinarodnou ucastou Kosicko. – Lvovsko – Rzeszowska, 2002. – S. 173–178. 7. Возняк О., Ковальчук А., Іванусь Є., Кіц А. Повітророзподіл у приміщенні при взаємодії зустрічних неспіввісних струмин // Вісн. Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2001. – № 432. – С. 31–37. 8. Vozniak O., Dovbush O. Influence of indoor climate on a person heat exchange in a room. Zeszyty naukowe Politechniki Rzeszowskiej “Aktualne problemy budownictwa i Inzynierii srodowiska”; czesc 2 – inzynieria srodowiska”. – Rzeszow, 2000. – S. 441–447. 9. Деклараційний патент України № 16828. Повітророзподільник / О.Т. Возняк, А.О. Ковальчук, Х.В. Миронюк. Від 15.08.2006 р., Бюл. № 8. 2006. 10. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, 1976. – 279 с.