

ДВОКАМЕРНІ ПОВІТРОРОЗПОДІЛЬНИКИ

© Клименко Г. М., Ярослав В. Ю., Довбуш О. М., 2016

Проаналізовано сучасний стан і тенденції розвитку систем витісняючої вентиляції громадських та промислових будинків. Вказано на очевидні переваги витісняючої вентиляції. Наведені недоліки існуючих повітророзподільників для забезпечення роботи витісняючої вентиляції. Представлено результати експериментальних та аналітичних досліджень конструкцій двокамерних малошвидкісних повітророзподільників для використання у системах витісняючої вентиляції громадських та промислових приміщень. За отриманою залежністю можна визначити розміри конструктивних елементів повітророзподільника. Завданням таких повітророзподільників є створення повітряних потоків з рівномірним початковим розподілом швидкості та температури. Вибір доцільної схеми вентиляції відповідно до характеру технологічного процесу та певних особливостей приміщень дає змогу зменшити повітрообмін у приміщеннях, експлуатаційні витрати та забезпечити достатню якість повітря в зоні перебування людей. Запропоновано декілька варіантів конструктивного виконання повітророзподільників, наведено результати їх експериментальних досліджень. Для мінімізації конструкційних недоліків відомих повітророзподільників та зменшення аеродинамічного опору запропоновано конструкцію малошвидкісного повітророзподільника виконати у вигляді двокамерного панельного повітророзподільника з криволінійними напрямними пластинами у розподільній камері.

Ключові слова: витісняюча вентиляція, повітрообмін, двокамерний повітророзподільник, статичний тиск, тискова камера, число Рейнольдса, коефіцієнт місцевого опору.

The current state and trends of air displacement ventilation systems for public and industrial buildings are analyzed. It identified the significant advantages of displacement ventilation. Disadvantages of the existing diffusers for displacement ventilation. Results of experimental and analytical researches of two-chamber air distribution device unit designs for use in air displacement ventilation in public and industrial buildings are presented in this article. The dependence to determine the dimensions of the structural elements of the air distribution. The task of such air distribution device units is creating the air flow with a uniform initial distribution of velocity and temperature. Optimal ventilation schemes under the nature of the process, and certain features can reduce air exchange in rooms, operating costs and provide sufficient air quality in the area of finding people. Several options embodiment of the air distribution device unit designs and the results of experimental researches were considered. To minimize the structural deficiencies of known air distribution device units and reduce the aerodynamic resistance proposed design of air distribution device performed in a two-chamber panel air distribution device unit with curved guide plates in the primary chamber.

Key words: the air displacement ventilation DV, the air exchange, two-chamber air distribution device unit, the air static pressure, the pressure chamber, Reynolds number, the coefficient of local resistance.

Постановка проблеми. Сучасні системи припливно-витяжної механічної вентиляції громадських та промислових будинків характеризуються високим рівнем енергоспоживання, що

зумовлено значною величиною повітрообміну в приміщеннях. Вибір доцільної схеми вентиляції відповідно характеру технологічного процесу та певних особливостей приміщень дає змогу зменшити повітрообмін у приміщенні, експлуатаційні витрати та забезпечити достатню якість повітря в робочій зоні приміщення або зоні обслуговування.

Практично всі відомі системи вентиляції та кондиціонування повітря за принципом дії можна віднести до перемішувального типу MV (Mixing Ventilation) за схем перетікання повітря “згори – в напрямку робочої зони – догори”. Причому вважають, що в результаті вентилявання приблизно рівномірно розподіляються параметри повітряного середовища у робочій зоні, хоча практичний досвід та результати досліджень свідчать про нерівномірність цих величин внаслідок перетікання потоків внутрішнього повітря, утворення в окремих циркуляційних зонах градієнта температури і концентрацій забруднювачів за наявності більш або менш потужних джерел конвективних тепловиділень [1;2]. Вентиляція витісняючого типу DV (Displacement Ventilation) відрізняється тим, що при її застосуванні використовується принцип термічного витіснення під час вентилявання приміщень та створюється певна нерівномірність розподілу температур і концентрації забруднень всередині приміщення.

Важливими перевагами витісняючої вентиляції вважають високу якість та незначну рухомість повітря практично у всьому об’ємі робочої зони, мінімізацію змішування припливного повітря та повітря робочої зони і, як наслідок, суттєве зменшення величини повітрообміну приміщення. Ефективність такого виду вентиляції є найбільшою у випадку, коли тепла енергія та забруднення надходять до приміщення від єдиного джерела. Якщо джерело забруднень не має тепловиділень або знаходиться осторонь від теплових джерел, які формують потужні конвективні потоки, якість вентиляції значно погіршується внаслідок забруднення робочої зони. Для забезпечення роботи витісняючої вентиляції існує декілька можливих варіантів організації повітрообміну. Це так звані “поршневі системи”, в яких формується односпрямований потік з низькою турбулентністю, а подається та видаляється повітря з малою швидкістю через припливні та витяжні пристрої з великою поверхнею, наприклад, перфоровані панелі. Припливні і витяжні отвори рівномірно розподілено по всій поверхні стелі, підлоги та стін. Іншим прикладом є системи, в яких подають припливне охоложене повітря з малою швидкістю безпосередньо до робочої зони паралельно до підлоги, а видаляють повітря з верхньої зони приміщення. Такі системи отримали назву “пасивні термовитісняючі” [3; 4]. Стратифікація забруднень забезпечує високу якість повітря в робочій зоні з незначними експлуатаційними затратами. Подібна система рекомендована і у державних будівельних нормах України для приміщень громадського призначення заввишки 3 м і більше з надлишками теплоти згідно з п. 7.5.6 [5]. Цілком очевидним є застосування спеціальних конструкцій повітророзподільників (ПР) для забезпечення роботи витісняючої вентиляції.

Основним призначенням таких повітророзподільників є створення повітряних потоків з рівномірним початковим розподілом швидкості та температури. Ці потоки підживлюють конвективні струмені теплових джерел і здатні витіснити забруднення за межі робочої зони (РЗ) та протидіяти їх потраплянню до РЗ.

Розглянемо варіанти конструктивного виконання малошвидкісних повітророзподільників для використання у системах витісняючої вентиляції громадських та промислових приміщень.

Мета роботи – експериментальне та аналітичне обґрунтування доцільності використання двокамерних повітророзподільників у системах витісняючої вентиляції громадських та промислових приміщень і удосконалення доцільної конструкції малошвидкісного повітророзподільника.

Недоліки відомих конструкцій повітророзподільників. Відомі різні види джерельних повітророзподільників (панельні, циліндричні, пів- і чвертьциліндричні, високі, низькі і підлогові [3; 4]. Однак більшості з них властивий той конструкційний недолік, що вони є переважно однокамерними і не забезпечують рівномірного розподілу тиску за висотою корпусу ПР, внаслідок

чого сформований ними повітряний потік на виході має нерівномірне поле швидкості за висотою, у верхній частині корпусу повітророзподільника може виникати розрідження і, як наслідок, більш забруднене навколишнє повітря затікатиме в корпус ПР. При вентиляції зі змінною витратою повітря з використанням таких повітророзподільників порушується циркуляція повітряних потоків, що погіршує умови в робочій зоні чи зоні обслуговування.

Можливим заходом для мінімізації вказаних недоліків є зменшення повітропроникності повітророзподільної фільтраційної стінки ПР. Проте це призводить до створення додаткового підпору в корпусі ПР та збільшення аеродинамічного опору ПР.

Експериментальне та аналітичне обґрунтування. Для того, щоби мінімізувати конструкційні недоліки відомих джерельних повітророзподільників, запропоновано виконати панельний повітророзподільник двокамерним (рис. 1). В первинній (розподільній) тисковій камері для вирівнювання надлишкового статичного тиску за висотою передбачено відокремлювачі потоку (горизонтальні полицки різної довжини) [6], або, як варіант конструктивного виконання, нахилені під різним кутом полицки однакової довжини, які кріпляться до внутрішньої перфорованої стінки. Вторинна (стабілізаційна) тискова камера з повітророзподільною стінкою використовується як камера рівномірного плюсового надлишкового тиску для додаткового вирівнювання статичного тиску за висотою камери. Внутрішню повітропроникну стінку (рис. 1) виконано перфорованою. Повітропроникну (власне повітророзподільну) зовнішню стінку ПР виконано аналогічно. Запропонований ПР є малошвидкісним, що дозволяє уникнути рециркуляції повітряних потоків у приміщенні. Конструкцію такого ПР захищено патентом України [6].

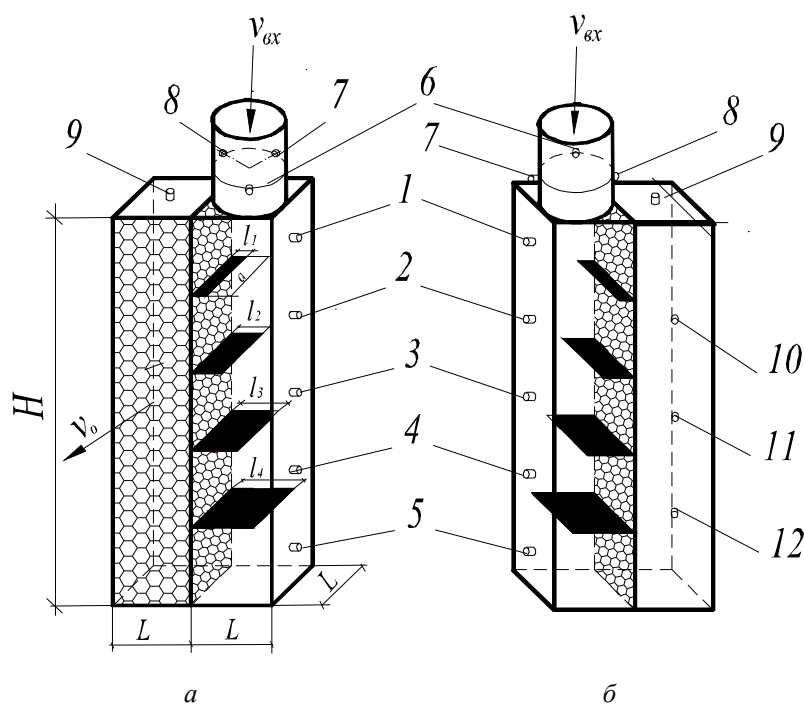


Рис. 1. Конструктивні схеми ПР з чотирма горизонтально-поличковими вирівнювачами надлишкового статичного тиску у розподільній камері (а – вигляд з лиця; б – вигляд з тилу); 1–12 – штуцери вимірювання точкового надлишкового статичного тиску в корпусі повітророзподільника

У роботах [6–8] наведено результати експериментальних та аналітичних досліджень двокамерного малошвидкісного панельного повітророзподільника з внутрішньою і лицьовою перфорованими стінками і з горизонтально-поличковими вирівнювачами тиску у розподільній камері. Отримано залежність для визначення доцільних розмірів поличкових відокремлювачів потоку малошвидкісного повітророзподільника. Залежність дозволяє забезпечити рівномірність розподілу повітря.

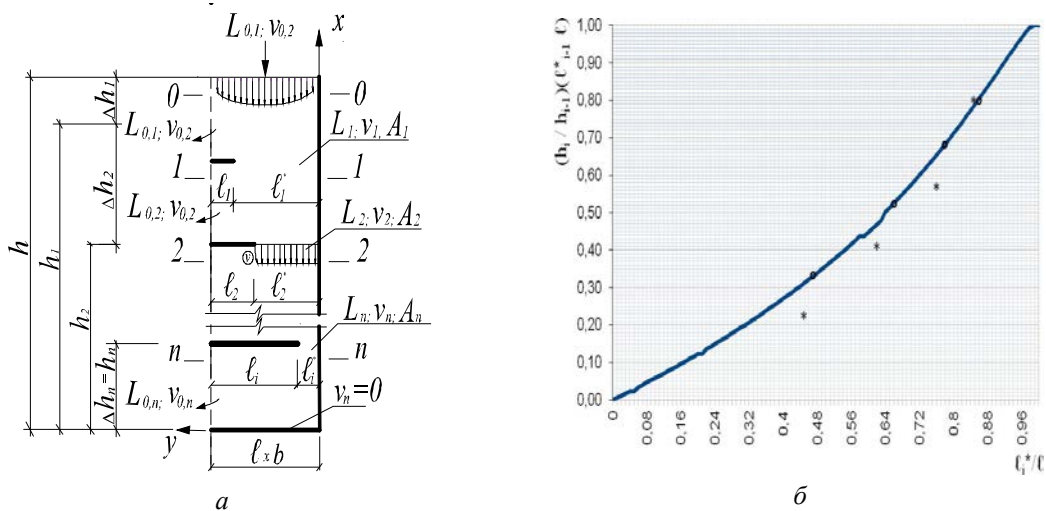


Рис. 2. Повітроподільник з полицковими вирівнювачами тиску: а – розрахункова схема; б – графік для визначення провітру полицок (- Розрахункові дані; *, * Експериментальні дані)

Експериментальне визначення потрібної ширини провітру полицок дає результат, який добре збігається з експериментальними даними (рис. 2).

За отриманою залежністю (1) можна визначити розміри конструктивних елементів повітророзподільника [9].

$$\left(\frac{h_i}{h_{i-1}}\right) \left(\frac{I_{i-1}^*}{I}\right) = \left(\frac{I_i^*}{I}\right) / \sqrt{3,1 - \left(\frac{I_i^*}{I}\right) \left(2,1 + 0,54 \left(\frac{I_i^*}{I}\right) \sqrt{1 - \left(\frac{I_i^*}{I}\right)}\right)} \quad (1)$$

На рис. 3 наведено окремі результати експериментальних досліджень двокамерного панельного повітророзподільника для конструкції з найбільшою рівномірністю розподілу статичного тиску за висотою корпусу ПР. Визначені коефіцієнти місцевих опорів (КМО) z досліджуваної моделі джерельного панельного двокамерного ПР віднесені до динамічного тиску повітряного потоку у вхідному патрубку в характерному робочому діапазоні, для якого $Re_{d_{ex}} = (10...60) \cdot 10^3$. За рис. 3 числові величини КМО такого двокамерного панельного ПР змінюються в межах від 4 (при величині числа $Re=10000$) до 2,4 у випадку розвиненого турбулентного режиму. У випадку практичних обчислень для характерного режиму роботи повітророзподільника приймаємо усереднене значення КМО $z = 2,4$. Втрати тиску при рекомендованих швидкостях повітряного потоку у вхідному патрубку знаходяться в межах від 13 до 55 Па.

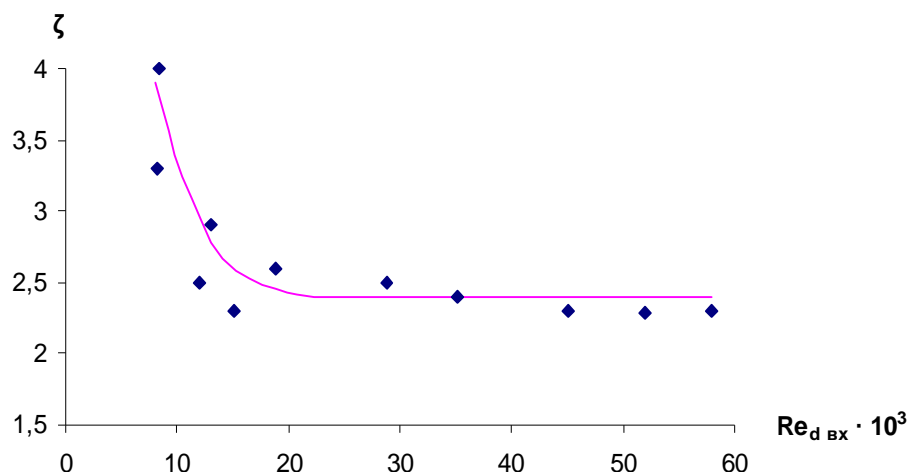


Рис. 3. Залежність коефіцієнта місцевого опору z малошвидкісного повітророзподільника від чисел $Re_{d_{ex}}$ ($Re_{d_{ex}} = n_{ex} \cdot d_{вх} / u$)

У короткокорпусних двокамерних повітророзподільниках незмінного поперечного перерізу з горизонтально - полицковими відокремлювачами потоку, що виконують роль вирівнювачів статичного надлишкового тиску, втрати тиску на тертя не є визначальними, оскільки вирівнювачі надтиску конструкційно являють собою систему послідовно з'єднаних місцевих опорів "триїникоподібного виду". З іншого боку, така конструкція також має недоліки, оскільки наявність тільки одного вхідного патрубка не створює достатньої рівномірності розподілу статичного тиску за висотою камери. Повітророзподільник такої конструкції має значний аеродинамічний опір у розподільній та стабілізаційній тискових камерах, зумовлений утворенням застійних зон та зворотних токів біля напрямних пластин, що спричиняє також і підвищення енергозатрат.

Задачу істотного зменшення аеродинамічного опору розв'язують так, що у двокамерному повітророзподільнику, який містить зовнішні торцеві та лицеві стінки, дно, дах із вхідним патрубком, первинну і вторинну тискові камери, розділені внутрішньою розподільною стінкою, розміщеною вертикально і паралельно торцевим стінкам та оснащеною напрямними пластинами, що розташовані по висоті внутрішньої розподільної стінки у первинній тисковій камері, у дні первинної камери виконують додатковий вхідний патрубок такого самого перерізу, напрямні пластини виконують зі збільшенням ширини у напрямку руху повітря (рис. 4). Це зменшує величину динамічного тиску при тій самій витраті повітря на вході в повітророзподільник, і, таким чином, зменшує аеродинамічний опір та енергозатрати.

Аеродинамічний опір такого повітророзподільника порівняно з попередньою конструкцією (рис. 1) за умов подачі однакової кількості повітря може зменшитися в 3–5 рази. Конструкцію повітророзподільника захищено патентом України [11].

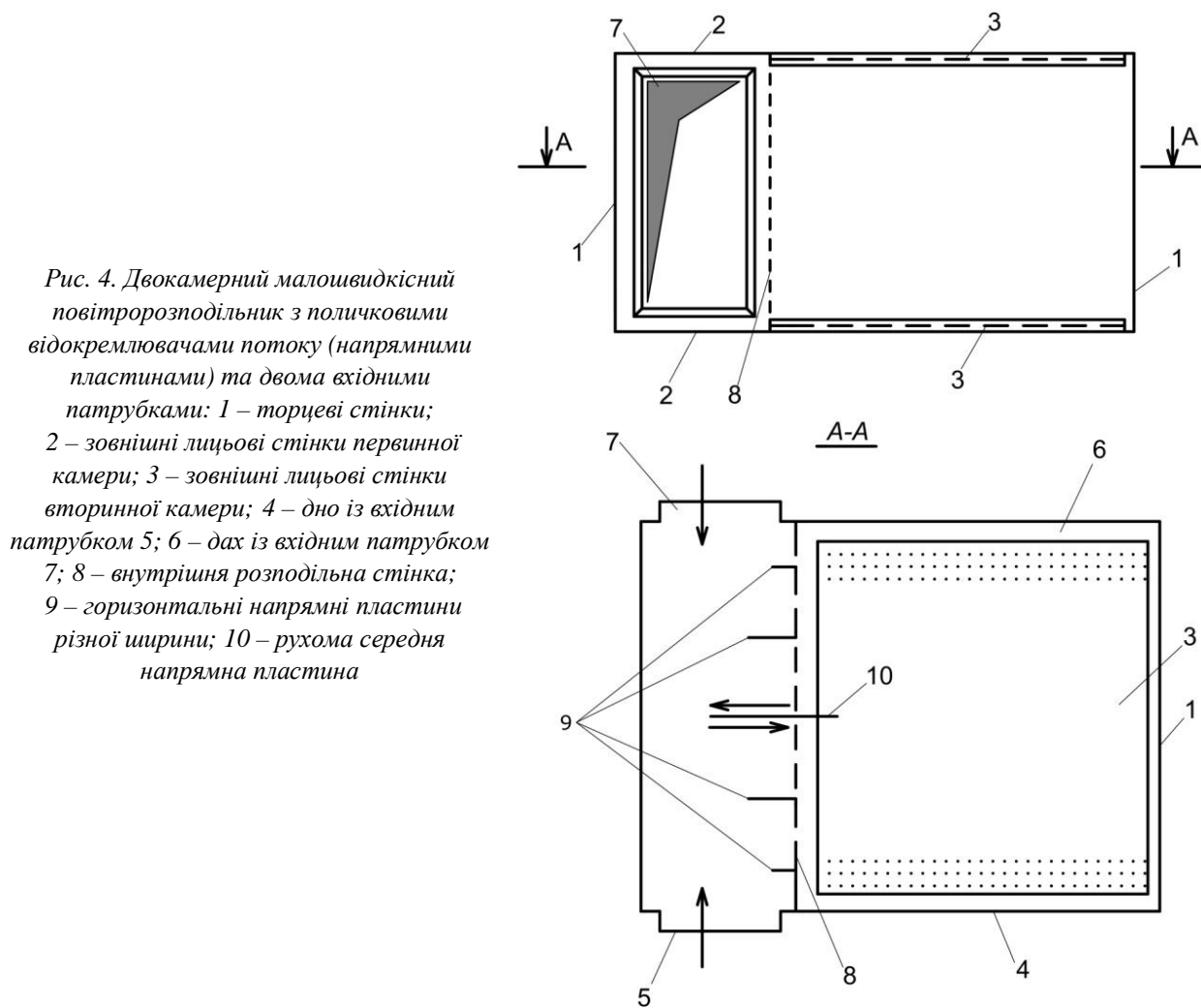


Рис. 4. Двокамерний малошвидкісний повітророзподільник з полицковими відокремлювачами потоку (напрямними пластинами) та двома вхідними патрубками: 1 – торцеві стінки; 2 – зовнішні лицеві стінки первинної камери; 3 – зовнішні лицеві стінки вторинної камери; 4 – дно із вхідним патрубком 5; 6 – дах із вхідним патрубком 7; 8 – внутрішня розподільна стінка; 9 – горизонтальні напрямні пластини різної ширини; 10 – рухома середня напрямна пластина

Застосування двокамерного повітророзподільника з двома вхідними патрубками (рис. 4) все ж таки обмежене з монтажних та об'ємно-планувальних міркувань, оскільки значно ускладнюється розведення повітропроводів системи припливної вентиляції. В багатьох випадках необхідно влаштовувати додаткові вентиляційні канали нижче рівня підлоги приміщень, які обслуговуються системою вентиляції.

З метою вдосконалення конструкції двокамерного панельного повітророзподільника запропоновано такий варіант його конструктивного виконання (рис. 5), за яким напрямні пластини первинної камери виконано криволінійними з можливістю забезпечення рівномірного розподілу витрати потоку повітря за шириною і висотою розподільної (первинної) камери, а дно розподільної камери протилежно внутрішній розподільній стінці виконано з криволінійної напрямної пластини.

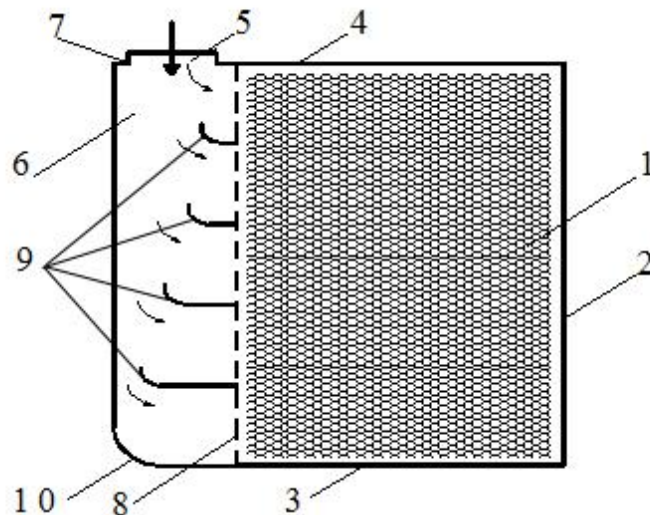


Рис. 5. Двокамерний малошвидкісний повітророзподільник з криволінійними напрямними пластинами:

- 1; 2 – лицьові та торцеві стінки; 3 – дно; 4 – дах; 5 – вхідний отвір;
6 – первинна тискова камера; 7 – вхідний патрубок;
8 – внутрішня розподільна стінка; 9 – криволінійні напрямні пластини;
10 – криволінійне дно розподільної камери

Це дозволить уникнути утворення застійних зон та зворотних токів біля напрямних пластин та в нижній частині розподільної камери, забезпечити краще обтікання напрямних пластин при розподілі потоку повітря в розподільній тисковій камері, більш рівномірний розподіл статичного тиску у первинній та вторинній (стабілізаційній) камерах, рівномірність розподілу витрати повітря та поля швидкості за висотою повітророзподільника і, відповідно, додатково зменшити аеродинамічний опір повітророзподільника та енергозатрати. Технічний ефект такого виконання розподільної камери подібний до влаштування лопаток Прандтля в коліні прямокутної форми [10]. Таким чином використовується спосіб розподілу повітря в розподільній камері, що відрізняється від “трійногоподібного”, який дозволить додатково зменшити КМО повітророзподільника та його аеродинамічний опір.

Висновки: 1. Системи вентиляції витісняючого типу набули широкого застосування в сучасних громадських та промислових будинках.

2. Конструкційним недоліком відомих однокамерних повітророзподільників, зокрема і панельних, є нерівномірний розподіл тиску та поля швидкості за висотою корпусу повітророзподільника, а також неможливість регулювати витрату повітря.

3. З метою вирівнювання статичного тиску за висотою корпусу повітророзподільника з лицьовою 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. Крім цього, стабілізаційну камеру можна зробити модульною, що забезпечує регулювання витрати повітря.

4. На підставі аналітичних та експериментальних досліджень малошвидкісного двокамерного повітророзподільника отримано залежність для визначення доцільних розмірів поличкових відокремлювачів потоку малошвидкісного повітророзподільника. Залежність дає можливість забезпечити рівномірність розподілу повітря за висотою повітророзподільника.

5. Розроблено конструкції малошвидкісних двокамерних панельно-секційних повітророзподільників, які забезпечують подачу повітря струминами в робочу зону за методом витісняючої вентиляції.

6. Для мінімізації конструкційних недоліків відомих повітророзподільників та зменшення аеродинамічного опору запропоновано конструкцію повітророзподільника виконати у вигляді двокамерного панельного повітророзподільника з додатковим входним патрубком у дні первинної камери.

7. Для вдосконалення конструкції двокамерного малошвидкісного панельного повітророзподільника запропоноване конструктивне виконання, в якому напрямні пластини первинної камери виконано криволінійними з можливістю забезпечення рівномірного розподілу витрати потоку повітря за шириною і висотою розподільної камери, а дно розподільної камери протилежно внутрішній розподільній стінці виконано з криволінійної напрямної пластини.

1. Богословский В. Н. *Отопление и вентиляция* / В. Н. Богословский, В. И. Новожилов, Б. А. Симаков, В. П. Титов; под ред. В. Н. Богословского. – М.: Стройиздат, 1976. – Ч.2. – 439 с.
2. Молчанов Б. С. *Проектирование промышленной вентиляции (Пособие проектировщиков)* / Б. С. Молчанов. – 2-е изд. – Л.: Из-во л-ры по строительству, 1970. – 238 с.
3. Живов А. М. *Системы вытесняющей вентиляции для промышленных зданий. Типы, область применения, принципы проектирования* / А.М. Живов, P.V. Nielsen, G. Riskowski, E. O. Шилькрот // АВОК. – 2001. – № 5. – С. 36–47.
4. Шилькрот Е. О. *Основные принципы вытесняющей вентиляции* // Журнал АВОК. – 2003. – № 1.
5. ДБН В.2.5-67:2013. *Опалення, вентиляція та кондиціонування*. – К.; Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013. – 110 с.
6. Патент на корисну модель. *Повітророзподільник* / С. С. Жуковський, О. М. Довбуш, Клименко Г. М. / № 19497; опубл. 15.12. 20006. Бюл. № 12.
7. Клименко Г. М. *Тискові впливи в корпусі двокамерного панельного повітророзподільника та забезпечення їх рівномірності* // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка” “Теорія і практика будівництва”. – 2009. – Вип. 655. – С. 140–147.
8. Жуковський С. С. *Забезпечення рівномірності статичних тисків в корпусі джерельного двокамерного повітророзподільника* / С. С. Жуковський, Г. М. Клименко, О. М. Савчин // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка” “Теорія і практика будівництва”. – 2008. – Вип. 672. – С. 97–106.
9. Довгалюк В. Б. *Методика розрахунку повітророзподільника незмінних розмірів з відокремлювачами потоку* / В. Б. Довгалюк, В. О. Мілейковський, Г. М. Клименко // Науковий вісник НЛТУУ. – Львів: НЛТУУ. – 2014. – Вип. 24.10. – С. 126–130.
10. Талиев В. Н. *Аеродинамика вентиляции. Учеб. пособие для вузов*. – М.: Стройиздат, 1979. – 295с.
11. Патент на корисну модель. *Повітророзподільник* / Г. М. Клименко, В. Ю. Ярослав / № 92951. Опубл. 10.09.2014. Бюл. № 17.