

ЕФЕКТИВНІСТЬ ГРАВІТАЦІЙНОЇ ВЕНТИЛЯЦІЇ ПРИМІЩЕНЬ

Проаналізовано вплив вертикального градієнта температури внутрішнього повітря і зміни температури зовнішнього повітря у приграничному шарі будівлі, а також деяких конструкційних чинників, на ефективність гравітаційної вентиляції.

Ключові слова: гравітаційна вентиляція, надлишковий тиск, конвекційні струмені, приграничний шар, витрата повітряного потоку, температура, густина.

Assist. prof. S.S. Zhukovskiy – NU "L'vivs'ka Politekhnik"

Efficiency of natural ventilation of rooms

Influence of vertical gradient of indoor air temperature and outdoor air temperature change in building boundary layer and also constructive factors on natural ventilation efficiency.

Keywords: natural ventilation, excessive pressure, convective flows, boundary layer, air flow rate, temperature, density.

Проблема. Вентиляція гравітаційна – це природна вентиляція, яка спричинена різними за величиною густинами внутрішнього і зовнішнього повітря [1].

Різницю гравітаційних напорів (надлишкових тисків), яка спричиняє рух (циркуляцію) повітря, а отже і провітрювання приміщення, рекомендується визначати за формулою [3-5]

$$\Delta p_t = h \cdot (\rho_z - \rho_e) \cdot g, \quad (1)$$

де: h – прямовисна відстань між центрами отворів для притоку і витоку повітря, м; ρ_z – густина зовнішнього повітря, кг/м^3 (для розрахункових умов приймають при температурі зовнішнього повітря $t_z = +5^\circ\text{C}$); ρ_e – густина внутрішнього повітря, кг/м^3 (для розрахункових умов приймають при температурі внутрішнього повітря t_v , яка забезпечується системою обігрівання (СО)).

Однак формула (1) не повністю відображає фізичну природу гравітаційної вентиляції, а виконаний за її допомогою аналіз ефективності вентиляційних систем може бути причиною помилкових висновків.

Завдання дослідження. Проаналізувати вплив вертикального градієнта температури внутрішнього повітря і зміни температури зовнішнього повітря у приграничному шарі будівлі, а також деяких конструкційних чинників, на ефективність гравітаційної вентиляції.

Аналіз чинників впливу на ефективність гравітаційної вентиляції. Частинки внутрішнього повітря, які отримують різні порції теплової енергії (більшу – в центральній зоні джерела тепла і меншу – в його периметральній зоні) рухаються у вертикальному напрямку, утворюючи конвекційний повітряний потік з відповідним розподіленням швидкостей і температур, якому властивий найбільший ежекційний (розріджувальний) ефект у його нижній частині і загасання швидкостей з виникненням плюсового надтиску у верхній. Внаслідок цього у припідлоговому просторі (ППП) (зони обслуговування ЗО) приміщення виникає деякий невеликий від'ємний надтиск (невелике розрідження), а у пристельовому просторі (ПСП) верхньої зони (ВЗ), внаслідок загальмовування конвекційного потоку, виникає деякий плю-

совий надтиск. Очевидно, що між повітряними об'ємами з плюсовим і від'ємним надтисками знаходиться проміжний простір нульового надтиску (стратифікаційна верстка) з середньозваженою густиною внутрішнього повітря $\rho_{в.сер}$ і, ймовірно, концентрацією забрудника $C_{в.сер}$ (конвекційні потоки всмоктують повітря з припідлогового простору подібно до ежекційного газового пальника, див. рис. 1). Очевидно, що визначити надтиски, які виникають за дії конвекційних струменів, є важко, оскільки теоретичні засади і експериментальні дослідження цього явища вивчені недостатньо.

Схеми вертикально градієнтних змін температури, густини та гравітаційного надтиску внутрішнього повітря і перепаду (потенціалу) аеростатичних напорів на зовнішній стіні приміщення, за рівномірно розміщених на його підлозі джерел конвекційних тепловиділень приблизно однакової теплопродуктивності, зображені на рис. 1.

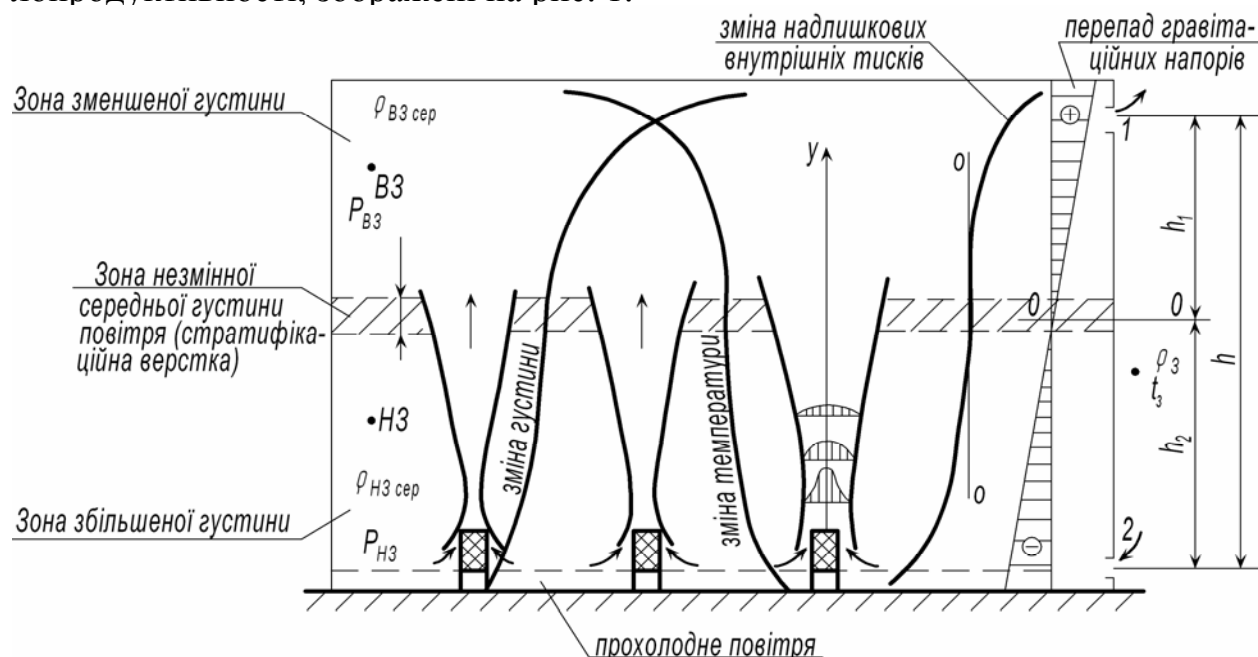


Рис. 1. Схеми вертикально-градієнтних змін температури внутрішнього повітря, його густини, надлишкового тиску, а також перепаду гравітаційних напорів зовнішнього і внутрішнього повітря приміщення з рівномірно розміщеними джерелами конвекційних тепловиділень приблизно однакової теплопродуктивності: 00 – рівні нульового надтиску; площі отворів 1 і 2 однакові

Якщо в нижній припідлоговій і у верхній пристельовій частинах зовнішньої огорожі, наприклад стіни, передбачити отвори з нерегульованими чи регульованими розмірами, то виникне рух повітря. Через нижній отвір прохолодне зовнішнє повітря з приблизно нульовим надтиском затікатиме в розрізаний НПП (НЗ) приміщення, в основному живитиме конвекційні теплові струмені та з ними підігрітим перетікатиме у ПСП (ВЗ) приміщення, звідки через пристельовий (чи стельовий) отвір витікатиме назовні, завдяки внутрішньому плюсовому надтиску ($p_e > 0$).

Оскільки нижче рівня 0-0 (рис. 1) $\rho_3 > \rho_{нз}$ і $p_a > p_{нз}$ то в нижній частині стіни виникає змінний по висоті перепад від'ємного аеростатичного напору, величину якого в центрі отвору 2 наближено можна визначити за формулою

$$\Delta p_{12} = -h_2 \cdot (\rho_3 - \rho_{нз.сер}) \cdot g, \quad (2)$$

де: h_2 – вертикальна відстань від рівня 0-0 до центра отвору для притоку зовнішнього повітря, м; ρ_3 , $\rho_{нз\,сер}$ – відповідно середня густина зовнішнього (у прилеглий до стіни зоні) і середня густина внутрішнього повітря НЗ, кг/м³; q – прискорення земного тяжіння, м/с².

Внаслідок дії конвекційних струменів, вище рівня 0-0 на зовнішній стіні виникає змінний по висоті перепад плюсового гравітаційного напору Δp_{t1} , хоча $\rho_{вз} < \rho_{нз} < \rho_3$.

Величину Δp_{t1} в цьому рівні, а отже і в центрі отвору 1, наближено можна визначити за формулою

$$\Delta p_{t1} = +h_1 \cdot (\rho_3 - \rho_{вз,сер}) \cdot q. \quad (3)$$

Відповідно перепади надлишкових гравітаційних тисків, під дією яких відбуваються затікання зовнішнього повітря через нижньостіновий отвір і витікання внутрішнього повітря через верхньостіновий отвір, відповідно наближено будуть дорівнювати:

$$\begin{aligned} \Delta p_2 = 0 - p_2 &= h_2 \cdot (\rho_3 - \rho_{нз,сер}) \cdot q; \\ \Delta p_1 = p_1 - 0 &= h_1 \cdot (\rho_3 - \rho_{вз,сер}) \cdot q. \end{aligned} \quad (4)$$

Перепад гравітаційних тисків Δp_t , під дією якого відбувається перетікання повітря через приміщення, буде наближено дорівнювати

$$\Delta p_t = \Delta p_2 - \Delta p_1 = q h \cdot (\rho_3 - \rho_{в,сер}), \quad (5)$$

де: $h = h_1 + h_2$, а $\rho_{в,сер} = (\rho_{нз,сер} + \rho_{вз,сер})/2$, причому h не може перевищувати висоти приміщення.

З рис. 1 видно, що припідлоговий простір приміщення заповнений прохолодним внутрішнім повітрям. Цього прохолодного простору може не бути, якщо верхівки джерел тепловиділень розміщені на рівні підлоги або де-що вивисшуються над нею.

Аналіз формул (2)...(5) засвідчує, що різниця надлишкових термічних тисків зовнішнього і внутрішнього повітря є лінійно залежною від висоти приміщення h і, очевидно, прямою лінією між центрами отворів, призначеними для притоку зовнішнього і витіку внутрішнього повітря з приміщення.

Стає зрозумілим, що гравітаційна вентиляція діє за принципом термоспонукального поршневої помпи, корпусом якого є приміщення, а спонукачем – джерела конвекційних тепловиділень.

Можна також зробити висновок, що найефективнішою гравітаційною вентиляцією є безтрубопровідна вентиляція (аерація) приміщення за схемою, що зображена на рис. 2.

Очевидно, що у закритому приміщенні з трубопровідною гравітаційною вентиляцією (рис. 3) вентиляційні трубопроводи для притоку зовнішнього і витіку внутрішнього повітря будуть спричиняти опір перетіканню повітря, а отже ефективність гравітаційної вентиляції знизиться.

У багатоповерхових будинках з приблизно однаковими конвекційними тепловиділеннями (багатосімейні житлові будинки), поряд поверхні їх зовнішніх огорож виникає вертикально скерований конвекційний потік навколишнього (зовнішнього) повітря зі зростаючою по висоті температурою і швидкістю (рис. 4).

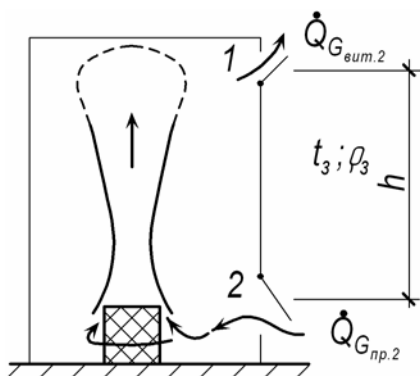


Рис. 2. Схема найбільш ефективної гравітаційної (термоспонукальної) безтрубопровідної вентиляції (аерації) приміщення з джерелом (джерелами) конвекційних тепловиділень

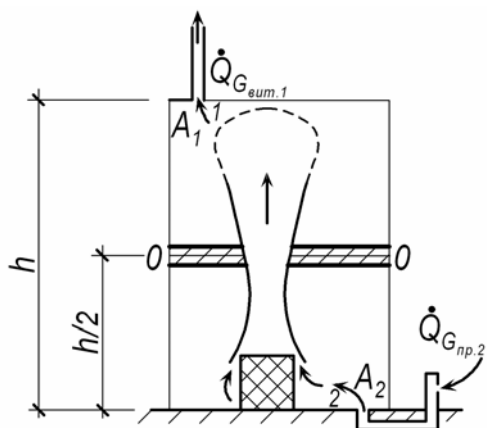


Рис. 3. Схема трубопровідної гравітаційної вентиляції (площі отворів для притоку повітря у приміщення A_1 і витоку повітря з нього A_2 однакові)

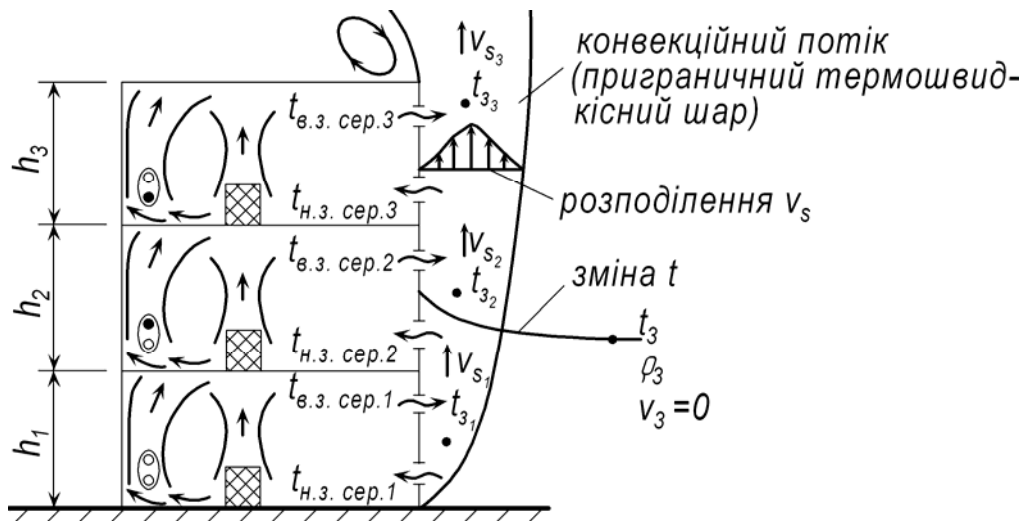


Рис. 4. Схема гравітаційної вентиляції триповерхового будинку з приблизно однаковими джерелами конвекційних тепловиділень і вентиляційними отворами у зовнішній огорожі:

$$t_3 < t_{31} < t_{32} < t_{33}; v_{s1} < v_{s2} < v_{s3}; t_{н.з.сер.1} < t_{н.з.сер.2} < t_{н.з.сер.3}; t_{в.з.сер.1} < t_{в.з.сер.2} < t_{в.з.сер.3}$$

З урахуванням того, що температура зовнішнього повітря у конвекційному потоці (приграничному термошвидкісному шарі) зростає з висотою, можемо зробити висновок, що величина Δp_t маліє з висотою. Отже, ефективність природної гравітаційної вентиляції, за однакових конструкційних розв'язань, буде найвищою у приміщенні (помешканні) першого поверху і найнижчою у приміщенні (помешканні) найвищого поверху. Причому це аж ніяк не пов'язано з висотою трубопроводів (каналів) систем витікальної і притікальної вентиляції.

Окрім цього, вертикально скерований конвекційний повітряний потік спричиняє ежекційний ефект, який сприяє витоку внутрішнього повітря і найбільше проявляється на рівні найвищого поверху будинку (явище ексфільтрації).

Середню за витратою швидкість повітряних потоків, що перетікають крізь вентиляційні отвори, можна наближено визначити за відомими формулами:

$$v_1 = \sqrt{2\Delta p_1 / \rho_{в.сер}}; v_2 = \sqrt{2\Delta p_2 / \rho_3}, \text{ м/с.} \quad (6)$$

Масові витрати повітряних потоків, які перетікають крізь отвори 1 і 2 з відомими площами A_1 і A_2 , дорівнюватимуть:

$$\dot{Q}_{G \text{ вит.1}} = \mu_1 A_1 \cdot v_1 \cdot \rho_{в.сер}; \dot{Q}_{G \text{ пр.2}} = \mu_2 A_2 \cdot v_2 \cdot \rho_3, \text{ г/с} \quad (7)$$

де μ_1, μ_2 – коефіцієнти витрати, відповідно першого і другого вентиляційних отворів.

Приймаючи, що $\dot{Q}_{G \text{ вит.1}} = \dot{Q}_{G \text{ пр.2}}$ і що отвори для притоку і витоку повітря мають однакове оснащення і є подібними за формою ($\mu_1 = \mu_2$), після відповідних перетворень отримаємо залежність для наближеного визначення висоти розміщення площини нульового надтиску, залежно від співвідношення площі отворів для притоку прилеглого зовнішнього і витоку внутрішнього повітря, у вигляді:

$$\frac{h_1}{h_2} = (A_2 / A_1)^2 \cdot \frac{\rho_3}{\rho_{в.сер}}. \quad (8)$$

Знаючи величину необхідного повітрообміну приміщення $\dot{Q}_G = \dot{Q}_{G \text{ пр}} = \dot{Q}_{G \text{ вит}}$ і враховуючи рекомендацію [6], що площа отворів для притоку повітря повинна бути на 20-30 % більшою від площі отворів для витоку повітря, можна визначити площі цих отворів за формулами:

$$A_{пр} = A_2 = \frac{\dot{Q}_G / \rho_3}{\mu_1 \sqrt{2 \cdot (0,2..0,3 \Delta p_t) / \rho_3}}, \quad (9)$$

$$A_{вит} = A_1 = \frac{\dot{Q}_G / \rho_{в.сер}}{\mu_1 \sqrt{2 \cdot (0,8..0,7 \Delta p_t) / \rho_{в.сер}}}, \text{ м}^2.$$

Цими формулами можна користуватись для наближеного визначення площ вентиляційних отворів (з врахуванням їх форм і оснащення) системи безтрубопровідної витікально-притікальної гравітаційної вентиляції (аерації). Тут не враховано опорів потоку повітря крізь трубопроводи систем гравітаційної вентиляції, які слугують переважно для витоку повітря у понаддаховий простір будинку і виготовляються з різних матеріалів, залежно від конструкції будинку. Інколи використовують також вентиляційні трубопроводи для притоку повітря.

Висновки

1. Відома з літературних джерел залежність, яку використовують для визначення перепаду гравітаційних (термічних) напорів на поверхні вертикальної зовнішньої огорожі приміщення не повністю відображає фізичну природу гравітаційної вентиляції, а виконаний за її допомогою аналіз ефективності гравітаційних вентиляційних систем може бути причиною помилкових висновків.
2. Незначний від'ємний (розрідження) в НЗ і незначний додатний у ВЗ приміщення гравітаційні надтиски спричинені, насамперед, дією конвекцій-

них струменів, що виникають біля джерел тепловиділень. Методики визначення їх величини практично відсутні.

3. Гравітаційна вентиляція діє за принципом термоспонукальної поршневої помпи, корпусом якого є огорожі приміщення, а спонукачем – джерела конвекційних тепловиділень.
4. Аналіз ефективності систем гравітаційної вентиляції доцільно наближено виконувати за перепадом гравітаційних напорів прилеглих до огорожі зовнішнього і внутрішнього повітря за їх усереднених температур, причому розрахункова прямовисна відстань між отворами для притоку повітря у приміщення і витоку повітря з нього не може перевищувати висоти приміщення.
5. Найкращою гравітаційною вентиляцією приміщення є безтрубопровідна вентиляція (аерація). Трубопроводи систем гравітаційної вентиляції спричиняють додатковий опір перетіканню повітря через приміщення.

Література

1. Жуковський С.С., Люльчак З.С. Вентиляція і кондиціонування// Ринок інсталяцій: Термінологія. Види систем вентиляції і кондиціонування. – 2004, № 2; – С. 52, № 3; – С. 60.
2. Жуковський С.С., Люльчак З.С. Вентиляція і кондиціонування// Ринок інсталяцій: Термінологія. Види систем вентиляції і кондиціонування. – 2004, № 4; – С. 86, № 5; – С. 62, № 7-8; – С. 94, № 9; – С. 78.
3. Богословський В.М., Новожилов В.М., Симаков Б.А., Титов В.П. Отопление и вентиляция. Ч.2. Вентиляция/ Под ред. В.Н. Богословского. – М.: Стройиздат, 1976. – 439 с.
4. Внутренние санитарно-технические устройства: Справочник проектировщика/ Под ред. М.Г. Старовойтова. – М.: Стройиздат, 1978. – 509 с.
5. Беккер А. Системы вентиляции. Пер. с нем. Л.Н. Казанцевой/ Под ред. Г.В. Резникова. – М.: Техносфера. Евроклимат, 2005. – 232 с.
6. Волков О.Д. Проектирование вентиляции промышленного здания. – Харьков: Высшая шк., 1989. – 240 с.

УДК 697.94.(075)

Доц. В.Й. Лабай, канд. техн. наук –
НУ "Львівська політехніка"

ВПЛИВ ПОВІТРЯНИХ ПОТОКІВ У ВИПАРНИКУ І КОНДЕНСАТОРІ НА ЗРОСТАННЯ ЕКСЕРГІЇ У ВИПАРНИКУ SPLIT-КОНДИЦІОНЕРІВ

Встановлено залежність зростання ексергії у випарнику split-кондиціонера фірми "Sanyo" холодопродуктивністю 2020 Вт від продуктивності за повітрям на випарнику і конденсаторі за стандартних умов функціонування. Запропоновано оптимальні витрати повітря на випарнику та конденсаторі цього кондиціонера.

Ключові слова: ексергія, баланс, кондиціонер, ефективність.

Assist. prof. V. Labay – NU "L'vivs'ka Politekhnik"

The influence of air flows for the evaporator and the condenser on losses of exergy in the condenser of "split" air conditioners

In this article it was defined the dependence of increase of exergy in the evaporator of "split" air conditioner of firm "Sanyo" with the cooling capacity 2020 W from conditioner air flows for the evaporator and the condenser under standard conditions. It was allocated the optimal conditioner air flow for the evaporator and the condenser.

Keywords: exergy, balance, air conditioner, efficiency.