

санитарно-технические устройства. Справочник проектировщика / Под ред. М.Г. Староверова. – М.: Стройиздат, 1978. – 509 с. 3. Жуковський С.С., Люльчак З.С. Вентиляція і кондиціонування // Термінологія. Види систем вентиляції і кондиціонування. Ринок інсталяцій. – 2004. – № 4. – С. 86; № 5. – С. 62; № 7–8. – С. 94; № 9. – С. 78. 4. Жуковський С.С., Люльчак З.С. Вентиляція і кондиціонування // Термінологія. Види вентиляції. Ринок інсталяцій. – 2004. – № 2. – С. 52; № 3. – С. 60. 5. Жуковський С.С. Термічна ефективність загальнообмінної вентиляції // Ринок інсталяцій. – 2003. – № 7. – С. 6–7. 6. Молчанов Б.С. Проектирование промышленной вентиляции: Пособие проектировщиков. – 2-е изд. – Л.: Изд-во л-ры по стр-ву, 1970. – 238 с. 7. Волков О.Д. Проектирование вентиляции промышленного здания. – Харків: Вища шк., 1989. – 240 с. 8. Живов А.М., Nielsen P.V., Riskowski G., Шилькром Е.О. Системы вытесняющей вентиляции для промышленных зданий // АВОК – 2001. – № 5. – С. 1–11. 9. Webster T., Bauman F., Reese I. Системы вентиляции воздухораспределителями в полу. Температурна стратифікація // АВОК. – 2002. – № 6. 10. Daly A. Системы вентиляции с воздухораспределителями в полу. Опыт применения // АВОК. – 2002. – № 6. 11. Шилькром Е.О. Основные принципы вытесняющей вентиляции // АВОК. – 2003. – № 1. 12. Ливчак. Вытесняющая вентиляция в школах // АВОК. – 2004. – № 8. 13. Livchak A., Nall D. Displacement Ventilation – Application for Hot and Humid Climate /Proceedings of Clima 2000. Napoli, Italy, 2001.

УДК 697. 92

С.С. Клименко, Г.М. Жуковський
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра теплогазопостачання і вентиляції
79013, м. Львів, вул. С. Бандери, 12

АНАЛІЗ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТЕРМОВИПИРАЛЬНИХ ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ СИСТЕМ З ДЖЕРЕЛЬНИМИ (ФІЛЬТРАЦІЙНИМИ) ПОВІТРОРОЗПОДІЛЬНИКАМИ

© Жуковський С.С., Клименко Г.М., 2007

Розглянуті особливості функціонування джерельних (фільтраційних) повітродіподільників у вентсистемах приміщень з джерелами конвекційних тепловиділень. На основі експериментальних і аналітичних досліджень встановлені рівень, товщина і температура стратифікаційної (межової) верстви.

Peculiarities of source air distribution devices (filter) operation in room ventilation systems with sources of convection extra heat are regarded. On base of experimental and analytical investigations there have been determined level, thickness and temperature of boundary layer.

Постановка проблеми. Сьогодні у приміщеннях громадського і виробничого призначення поширено використовуються ежекційні повітродіподільники (ПР), які розміщуються вище рівня зони обслуговування (ЗО) чи робочої зони (РЗ). Системи вентиляції з такими повітродіподільниками зараховують до типу MV (“Mixing ventilation”). Скерування струменя притікального повітря таких ПР в напрямку ЗО (РЗ) або, переважно, в іншому напрямку. Оскільки ежекційні ПР розміщуються у верхній зоні (ВЗ) приміщення, в якій нагромаджуються теплові та інші забрудники, значна їх кількість ежектується притікальними струменями готованого прохолодного повітря і перемішується в ЗО (РЗ), додатково забруднюючи цю зону.

Кращою версією повітророзподілення є безпосереднє наповнення ЗО (чи РЗ) прохолодним готованим повітрям. Для цього придатні джерельні (фільтраційні) повітророзподільники. Задіяння таких ПР забезпечує швидке випирання теплових і супутніх їм забрудників у ВЗ приміщення та переміщення їх поза межі приміщення, високу якість внутрішнього повітря ЗО і малий час перебування повітря там. Такі системи вентиляції називають термовипірального типу DV (“Displacement ventilation”). Очевидно, що ефективність систем DV істотно залежить від конструкційних особливостей повітророзподільників.

В останні роки з’явилися нові види повітророзподільників (ПР) для DV вентиляційних систем приміщень будинків громадського призначення, розроблені і впроваджені різноманітні їх технічні рішення, але недостатньо проаналізовані особливості процесу вентиляції приміщень під час їх застосування.

Особливості функціонування термовипіральної вентиляційної системи з джерельними повітророзподільниками. Принцип дії термовипіральної вентиляції, який ґрунтується на притіканні прохолодного зовнішнього повітря через отвори зовнішніх огорож безпосередньо в РЗ виробничих приміщень і витіканні нагрітого різними тепловими джерелами внутрішнього повітря із пристельового простору через дахові витікачі, відомий і застосовується на промислових об’єктах важкої промисловості вже давно.

Для початку розглянемо класичну систему гравітаційної термовипіральної вентиляції виробничого приміщення з великопотужним джерелом конвекційних тепловиділень, яку ще називають аерацією (рис. 1).

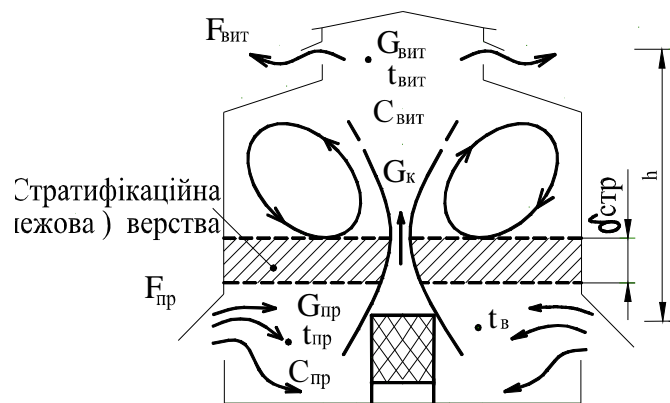


Рис. 1. Схема гравітаційної термовипіральної вентиляції (аерації) виробничого приміщення з великопотужним джерелом конвекційних тепловиділень

З рис. 1 видно, що високе виробниче приміщення є повітряним теплоаккумулятором, який живиться двома потоками: прохолодного зовнішнього повітря через стінові отвори в нижньому рівні приміщення і теплом від потужного конвекційного теплового струменя, яке нагромаджується в пристельовому просторі. Нагромадження тепла в пристельовому просторі забезпечується завдяки тому, що площу отворів для витікання теплого внутрішнього повітря $F_{\text{вит}}$ приймати на 20–30 % меншою від площі отворів для притікання повітря $F_{\text{пр}}$ [7]. Тепле і забруднене внутрішнє повітря, за дії різноманітних циркуляційних потоків, рівномірно наповнює пристельовий простір приміщення, а чистіше і прохолодніше зовнішнє повітря рівномірно наповнює (затоплює) надпідлоговий простір приміщення.

Як і в будь-якому рідинному теплоаккумуляторі, між прохолодним і гарячішим теплоносіями виникає межа (“стратифікаційна”) верства, товщина $\delta_{\text{стр}}$ якої залежить від величини різниці (потенціалу) усереднених температур $t_{\text{вит}}$ і $t_{\text{в}}$. Очевидно, що з метою мінімізації об’єму стратифікаційної верстви, приміщення повинно бути високим, але мало розмірним в плані.

Збільшення висоти приміщення, а отже, і вертикальної відстані між отворами для притікання зовнішнього і витікання внутрішнього повітря h спричинить збільшення перепаду термічних напорів, а отже, інтенсифікує перетікання повітря через приміщення та вихолодження ЗО (РЗ).

Схема системи механічної або гібридної термовипіральної вентиляції виробничого приміщення з джерельними напівциліндричними або панельними повітророзподільниками та одним великопотужним джерелом конвекційних тепловиділень зображена на рис. 2.

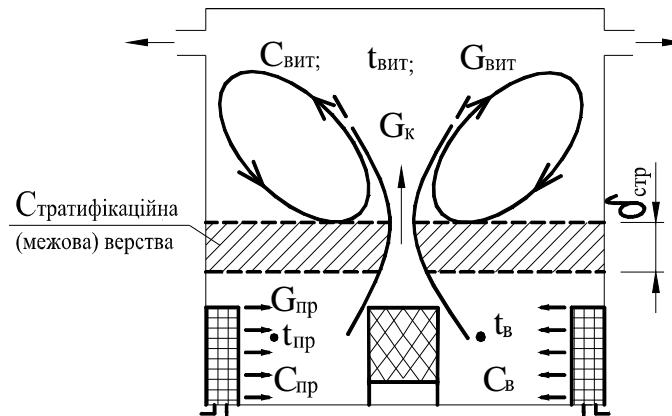


Рис. 2. Схема системи механічної (чи гібридної) термовипіральної вентиляції з джерельними (фільтраційними) напівциліндричними ПР та великопотужним джерелом конвекційних тепловиділень

Як видно із рис. 2, для того, щоби збільшити об'єм теплого повітря верхньої зони і понизити рівень стратифікаційної верстви, потрібно, щоби витрата витікального повітря $G_{\text{вит}}$ була меншою від витрати повітря в конвекційному струмені $G_{\text{к}}$ на рівні отворів для витікання внутрішнього повітря в атмосферу. Якщо $G_{\text{пр}} > G_{\text{к}}$, то рівень стратифікаційної верстви, буде підвищуватись.

Із рис.1 та рис.2 видно, що за дії термовипіральної вентиляції виникає термічна стратифікація та прохолодне і чисте притікальне зовнішнє повітря наповнює простір РЗ (чи ЗО) приміщення, а тепле і забруднене повітря наповнює простір ВЗ. Між цими просторами виникає стійкий межовий шар, рівень, товщина, температура та забрудненість якого невідомі. Для визначення цих характеристик межового шару (стратифікаційної верстви) потрібні відповідні дослідження .

Дослідження вентиляювання приміщень за допомогою джерельних (фільтраційних) повітророзподільників. Проаналізуємо ефективність термовипірального вентиляювання моделі типового шкільного класного приміщення на 20 осіб США [2]. Модель в плані відповідала 1/2 типового класу, а її висота дорівнювала висоті класу (3 м). Джерела теплонаходжень моделювались електричними джерелами тепловиділень і відповідали теплонапрузі реального класу. В моделі передбачено один чвертьциліндричний джерельний (фільтраційний) повітророзподільник в одному з припідлогових кутів, біля внутрішньої, протилежної до зовнішньої, стінки, а також один стельовий витікач внутрішнього повітря. Тобто, спрощену схему перетікання повітря через приміщення можна охарактеризувати як “з кута в кут” і “знизу до верху”.

Температура і швидкість повітря в моделі замірялись по восьми прямовисних (вертикальних) лініях ($D_2, D_5; G_2, G_5; L_2, L_5; P_2, P_5$), див. рис. 3.

Замірялись також витрати і температури притікального та витікального повітря.

Повітря для фізичної моделі забиравось з приміщення лабораторії. Точкові температури вимірювались одномоментно, а внутрішнє повітря моделі витікало в приміщення лабораторії.

Витік внутрішнього повітря з моделі природний, внаслідок зміни площі стельового отвору, а притік в модель готованого повітря механічний регульований за допомогою витратовимірювального комплексу.

Інженерні емпіричні методи розрахунку термовипіральної загальної вентиляції, за відсутності місцевої вентиляції, наведені в роботах [3–6].

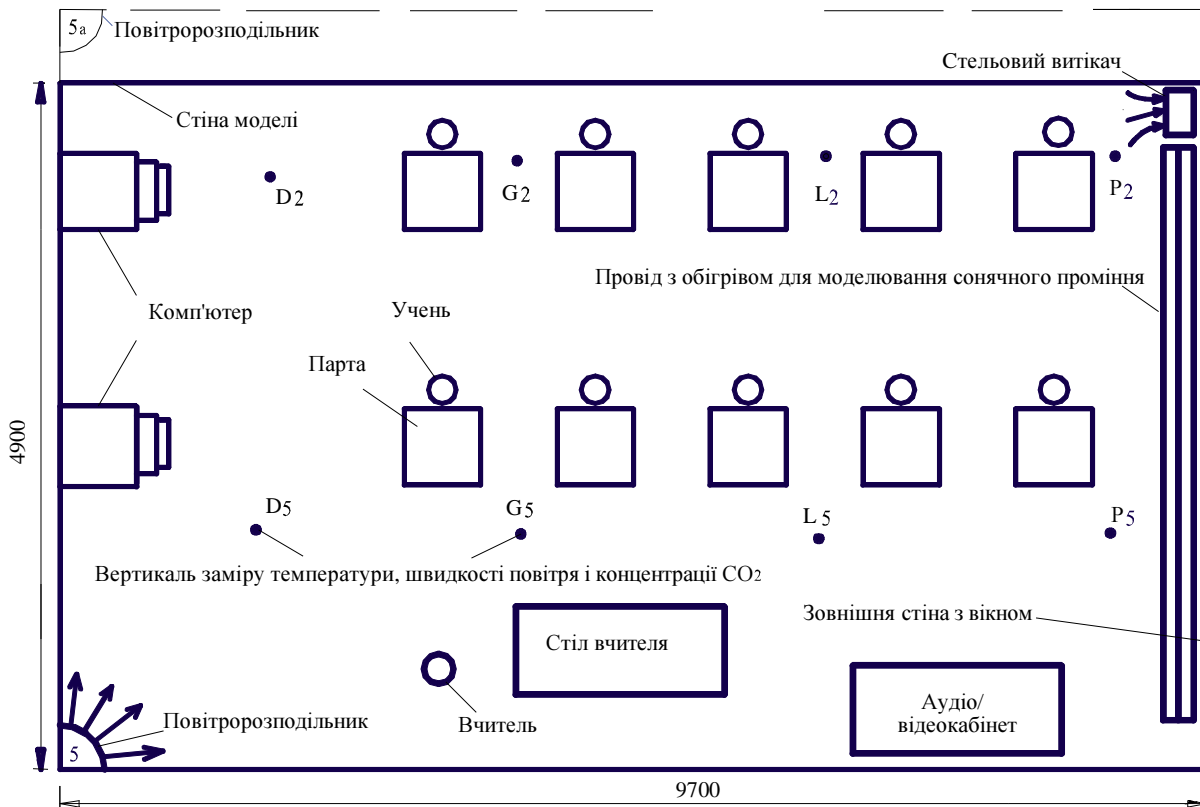


Рис. 3. План моделі (прототипу) класу заввишки 3м з кутовим чвертьциліндричним джерельним (фільтраційним) повітророзподільником і степеловим витікачем внутрішнього повітря в протилежному куті [2]

Спільні результати експериментальних і аналітичних досліджень[2] при $\dot{Q}_{Vпр} = \dot{Q}_{Vвит} = 294$ л/с і $t_{пр} = 18,1$ °С, які зображені графічно на рис. 4, засвідчують:

- подібність градієнтів температур по окремих вертикалях і їх приблизно однакову різницю в пристельовому і припідлоговому просторах в межах $\Delta t \cong 7-6$ °С; причому різниця температур Δt зменшується із збільшенням відстані від повітророзподільника;
- наявність стратифікаційної (межової) верстви, яка розділяє нижню прохолодну і менш забруднену верству внутрішнього повітря від теплішої і, відповідно, більше забрудненої верхньої верстви внутрішнього повітря;
- згідно з модельним експериментальними дослідженнями стратифікаційна верства приблизно однакової товщини. Вона займає простір в межах 170–230 см (при загальній висоті моделі 300 см), характеризується однаковою температурою ($\approx 24,5$ °С) і, відповідно, однаковою густиною повітря;
- згідно з аналітичними дослідженнями стратифікаційна верства приблизно однакової товщини зміщена в напрямку підлоги і займає простір в межах 120–170 см. Її характерна однакова температура ≈ 24 °С;
- нижче рівня стратифікаційної верстви температура повітря знижується плавно в напрямку підлоги, за приблизно квадратичною залежністю, а вище рівня стратифікаційної верстви – зростає інтенсивніше в напрямку стелі також за приблизно квадратичною залежністю;
- за однакової витрати притікального та витікального повітря стратифікаційна верства знаходиться в межах верхнього рівня 30 (чи P3).

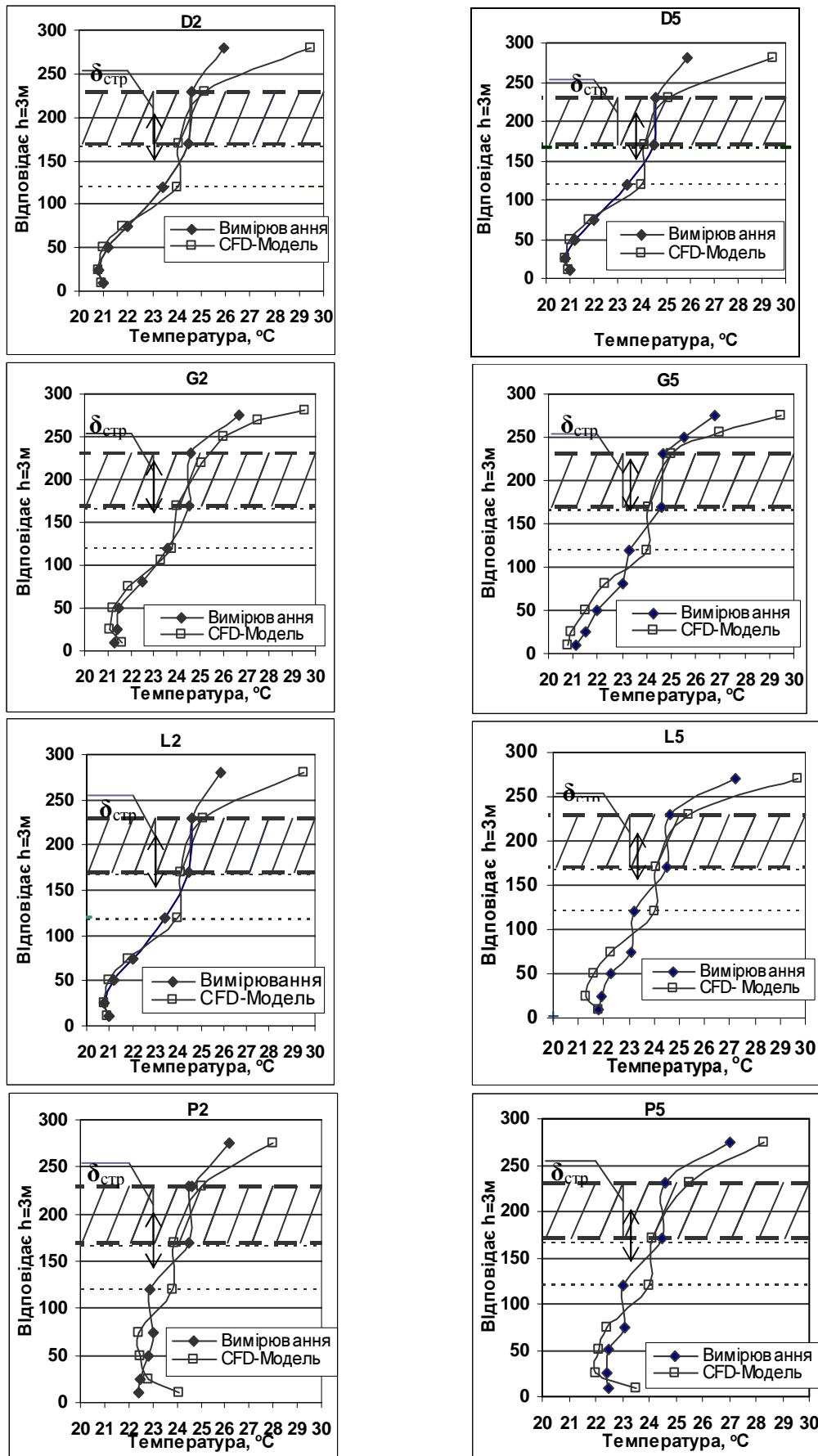


Рис. 4. Результати експериментальних і аналітичних досліджень розподілення температур внутрішнього повітря у контрольних точках вертикалей (D₂, D₅; G₂, G₅; L₂, L₅; P₂, P₅ – прямовисні лінії, утворені контрольними точками (див. рис. 3) (рівень і товщина стратифікаційної верстви ($\delta_{стр}$) означені авторами публікації [2])

Для мінімізації горизонтального температурного градієнта в межах ЗО (РЗ) і його рівномірності доцільно забезпечувати більшу рівномірність об'ємного наповнення ЗО потоками прохолодного притікального повітря з метою рівномірнішого живлення ними конвекційних теплових струменів, а також забезпечувати рівномірність витікання внутрішнього повітря з пристельового простору приміщення.

Виконані нами дослідження на повітряній малорозмірній масштабній моделі приміщення з рівномірно розміщеними по підлозі джерелами тепловиділень, у вигляді жарівок змінної потужності змінного електроструму (зафарбованих на чорно), засвідчують наявність температурно стабілізованої стратифікаційної верстви, причому зі збільшенням $G_{пр}$ щодо $G_{вит}$, вона віддаляється від підлоги, а перепад температури в крайніх межах її зменшується.

Для підвищення рівня стратифікаційної верстви необхідно забезпечити $G_{пр} > G_{к}$, а $G_{вит} < G_{к}$ (де $G_{пр}$, $G_{вит}$, $G_{к}$ – витрати повітря, відповідно, притікального, витікального і конвекційних струменів). Для підвищення рівня стратифікаційної верстви необхідно забезпечити $G_{пр} > G_{к}$, а $G_{вит} < G_{к}$ (де $G_{пр}$, $G_{вит}$, $G_{к}$ – витрати повітря, відповідно, притікального, витікального і конвекційних струменів).

Висновки. 1. Вентсистему з джерельними (фільтраційними) ПР прохолодного повітря в ЗО (чи РЗ) і рівномірним витіканням теплого повітря із пристельової (верхньої) зони доцільно розглядати як повітряний теплоакумулятор, який живиться потоками прохолодного притікального повітря в нижній зоні і тепловими конвекційними потоками у верхній зоні, в якому передбачена можливість регульованої витрати витікального і притікального повітря.

2. Якщо витрата витікального повітря менша від сумарної повітропродуктивності конвекційних струменів, то у верхній (пристельовій) зоні приміщення нагромаджується тепле забруднене повітря, а в нижній – прохолодне і чистіше повітря. Стійка межева температурна (стратифікаційна) верства між ними є достатньо товстою і характеризується однаковою температурою, а отже, і густиною внутрішнього повітря. Нижче стратифікаційної верстви температура внутрішнього повітря знижується плавно в напрямку підлоги, за приблизно квадратичною залежністю, а вище від стратифікаційної верстви – зростає подібно, але інтенсивніше в напрямку стелі.

3. Аналітичні дослідження за допомогою комп'ютерної програми, порівняно з модельними експериментальними дослідженнями, засвідчують знижений рівень і зменшену товщину стратифікаційної верстви.

1. Бригатни А. Системы воздухораспределения. Новейшие принципы // АВОК. – 1999. – № 3.
2. Ливчак А.В. Вытесняющая вентиляция в школах // АВОК. – 2004. – № 8.
3. Chen Q., Glicksman L. System Performance Evaluation and Design Guidelines for Displacement Ventilation / RP-949 ASHRAE. – 2003.
4. Живов А.М., Nielsen P.V., Riskowski G., Шилькромт Е.О. Системы вытесняющей вентиляции для промышленных зданий. Типы, область применения, принципы проектирования // АВОК. – 2001. – № 5.
5. Вытесняющая вентиляция в производственных зданиях. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2003.
6. Livchak A., Nall D. Displacement Ventilation – Application for Hot and Humid Climate / Proceedings of Clima 2000. Napoli, Italy, 2001.
7. Внутренние санитарно-технические устройства: В 2 ч. / Под ред. И.Г. Староверова. – 3-е изд. – Ч. 2: Вентиляция и кондиционирование воздуха. – М.: Стройиздат, 1978. – 509 с.
8. Жуковський С.С., Люльчак З.С. Вентиляція і кондиціонування // Термінологія. Види систем вентиляції. Ринок інсталяції. – 2004. – № 2. – С. 52; № 3. – С. 60.
9. Жуковський С.С., Люльчак З.С. Вентиляція і кондиціонування // Термінологія. Види систем вентиляції і кондиціонування. Ринок інсталяції. – 2004. – № 4; С. 86. – № 5. – С. 62; № 7–8. – С. 94; № 9. – С. 78.