

УДК 629.113.6: 628.83

## Аналітичні дослідження енергетичної ефективності природної вентиляції

В.О. Мілейковський<sup>1</sup>, Г.М. Клименко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>к.т.н., доцент, Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, v\_mil@ukr.net

<sup>2</sup>к.т.н., асистент, Національний університет «Львівська політехніка», anett.lviv@gmail.com

*Анотація. У зв'язку з дорожчанням усіх видів енергії актуальною є проблема підвищення енергоефективності в будівництві. Визначення ефективності використання енергії в системах природної вентиляції з гравітаційною спонукою дозволяє більш повно оцінити енергоефективність забезпечення мікроклімату будівель, обладнаних такими системами, які широко застосовувалися та використовуються на сьогодні у пост-соціалістичних країнах. Прийнята узагальнена фізична модель роботи природної вентиляції з гравітаційною спонукою. Повітря отримує теплову енергію від систем забезпечення мікроклімату, обладнання й освітлення, що споживають невідновлювану енергію, а також від людей, тварин тощо. Частина цієї енергії втрачається через огорожувальні конструкції, а інша є джерелом енергії для природної вентиляції. Частина цієї енергії корисно витрачається на переміщення повітря, а інша частка призводить до теплового забруднення атмосфери. Визначено, що коефіцієнт ефективності систем природної вентиляції з гравітаційною спонукою для висоти  $H=1\dots 100$  м дорівнює  $0,000034\dots 0,0034$ . Зроблено висновок про незначну енергоефективність природної вентиляції з гравітаційною спонукою та про необхідність модернізації таких систем з використанням механічної спонуки й теплоутилізації. Тому для гарячих цехів, для яких механічна вентиляція неможлива, слід шукати шляхи більш ефективного використання теплонадлишків.*

*Ключові слова: енергоефективність, забезпечення мікроклімату, природна вентиляція, гравітаційна спонука.*

**Постановка проблеми.** На сьогодні в усьому світі актуальною є проблема зниження витрат енергії. Це пов'язано з вичерпуванням енергоресурсів, тепловим і хімічним забрудненням навколишнього середовища та дорожчанням усіх видів енергії.

В Україні прийняті європейські стандарти щодо забезпечення та визначення енергоефективності будівель, серед яких EN 15316, EN 15232 тощо [1, 2]. При оцінці енергоспоживання будівлі визначаються коефіцієнти ефективності інженерних систем та підсистем [3]. Наприклад, для того щоб у приміщення подати певну кількість теплової енергії системою опалення, на вході до приміщення потрібно подати більше енергії з урахуванням тепловтрат трубопроводів, втрат на запізнення реакції термостатичних клапанів та перетоків теплоносія між опалювальними приладами і вітками. А для цього до джерела теплоти необхідно підвести ще більше енергії з урахуванням втрати в самому джерелі.

Для того, щоб у робочу зону (чи зону обслуговування) подати певну кількість теплоти або холоду системами кондиціонування повітря або повітряного опалення, до повітророзподільних пристроїв необхідно подати більше енергії з урахуванням неабсолютної ефективності організації повітрообміну. Для цього на

виході з кондиціонера або припливної установки необхідно подати ще більше теплоти або холоду з урахуванням втрат у повітроводах тощо. Для оцінки енерговитрат будівлі всі необхідні коефіцієнти наведені в [3]. Але в цих нормах не передбачено коефіцієнтів ефективності природної вентиляції, використання якої є достатньо поширене на постсоціалістичному просторі, серед якого Україна, східна частина ЄС тощо.

**Актуальність дослідження.** Визначення ефективності використання енергії у системах природної вентиляції дозволяє більш повно оцінити енергоефективність забезпечення мікроклімату будівель, що є актуальним завданням пов'язаним з оцінкою енергоефективності інженерних рішень будівлі.

**Останні дослідження та публікації.** Природну вентиляцію досліджували В. Н. Богословский [4, 5], Р. В. Щекин [6], В. В. Батурін, В. М. Ельтерман [7], А. Я. Ткачук [8], С. С. Жуковський [9] та інші. Природна вентиляція працює під дією гравітаційного тиску (який виникає за рахунок різниці температури між внутрішнім повітрям приміщення і зовнішнім – гравітаційна спонука) та вітрового тиску (вітрова спонука). Вітрова енергія є відновлюваною. Енергія гравітаційного тиску також вважається даровою, але це положення вимагає уточнення. Перевагами природної вентиляції з гравітаційною спонукою є відсутність споживання електроенергії на переміщення повітря. На сьогодні дослідження природної вентиляції з гравітаційною спонукою через її низьку енергоефективність поступово втрачають актуальність на теренах західної частини ЄС та США. Режим роботи цих систем не відповідає динаміці потреб у повітрообміні [10], оскільки в холодний період року необхідно створити найменший повітрообмін, а наявний тиск є найбільшим. Але, наприклад, в Російській Федерації у 2012 році видані нові стандарти, в яких рекомендується природна вентиляція [11].

Наявний природний тиск дорівнює втратам тиску в системі природної вентиляції і визначається за формулою [6-10]

$$\Delta p = (\rho_{ext} - \rho_{\ell}) g H, \text{ Па}, \quad (1)$$

де  $\rho_{ext} = 353 / T_{ext}$  – густина зовнішнього повітря,  $\text{кг/м}^3$ ;  $T_{ext} = 273,15 + t_{ext}$  – температура зовнішнього повітря, К;  $t_{ext}$  – температура зовнішнього повітря,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $\rho_{\ell} = 353 / T_{\ell}$  – густина внутрішнього повітря,  $\text{кг/м}^3$ ;  $T_{\ell} = 273,15 + t_{\ell}$  – температура витяжного повітря, К;  $H$  – висота між витяжним отвором та оголовком шахти природної вентиляції або між припливними і витяжними отворами системи аерації, м;  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$  – прискорення вільного падіння.

За формулою (1) видно, що енергія гравітаційної спонуки виникає внаслідок підвищення температури повітря в приміщенні порівняно з температурою зовнішнього повітря. Це підвищення в холодний період року в основному обумовлено роботою систем опалення та обладнання, яке використовує невідновлювану енергію. Крім цього, наявний тиск за формулою (1) недостатній для утилізації теплоти витяжного повітря.

Як показує практика, теплонадходження від людей недостатнє для створення потрібного повітрообміну в теплий період року, коли ця тепла енергія є

непотрібною і справді може вважатися даровою.

Для оцінки енергоспоживання приміщень необхідно мати коефіцієнти ефективності всіх систем опалення і вентиляції, серед яких – природні системи вентиляції з гравітаційною спонудою.

**Формулювання цілей статті.** Метою роботи є визначення коефіцієнта ефективності систем природної вентиляції з гравітаційною спонудою.

**Основна частина.** Розглянемо узагальнену фізичну модель роботи природної вентиляції з гравітаційною спонудою для визначення її ефективності.

Системи природної вентиляції споживають енергію внутрішнього повітря приміщення. А внутрішнє повітря отримує енергію від систем забезпечення мікроклімату ( $Q_{on}$ , Вт), технологічного обладнання ( $Q_{об}$ , Вт) і штучного освітлення ( $Q_{осв}$ , Вт), що споживають енергію невідновлюваних джерел, від людей ( $Q_{л}$ , Вт), тварин тощо (рис.1). Частина цієї теплоти ( $Q_{втр}$ , Вт) може втрачатися крізь огороджувальні конструкції.

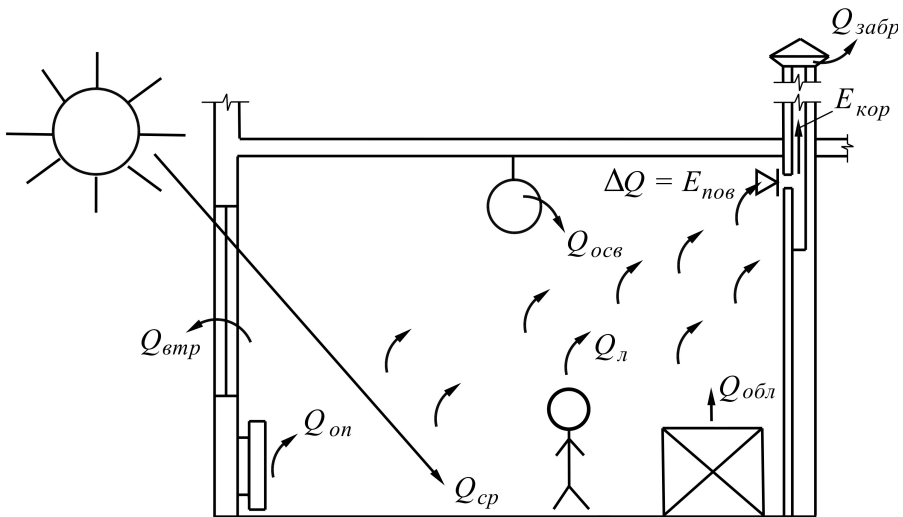


Рис. 1. Узагальнена фізична модель роботи природної вентиляції з гравітаційною спонудою

Повна енергія повітря, що видаляється природною вентиляцією  $E_{нов}$ , Вт, відповідає надлишку теплоти  $\Delta Q$ , Вт, у приміщенні. Ця енергія частково переходить у роботу руху повітря припливними, витяжними, повітрязабірними й викидними отворами та каналами. Ця енергія ( $E_{кор}$ , Вт) є енергією, що споживається корисно. Інша частина ( $Q_{забр}$ , Вт) викидається назовні у формі неутілізованої теплоти і призводить до теплового забруднення атмосфери.

Енергія (теплота), яку містить витяжне повітря (повна енергія),

$$E_{нов} = \Delta Q = c_p \rho_\ell L (T_\ell - T_{ext}), \text{ Вт}, \quad (2)$$

де  $c_p = 1006$  Дж/(кг·К) – ізобарна теплоємність повітря [12];  $L$  – об'ємна витрата повітря, м<sup>3</sup>/с. Для спрощення енергія визначена за явною теплотою, що при-

зводить до її певної недооцінки і переоцінки коефіцієнта ефективності системи.

Корисна енергія – це енергія, що витрачається на переміщення повітря [13]:

$$E_{кор} = \Delta PL, \text{ Вт.} \quad (3)$$

Коефіцієнт  $\eta_{v,g}$  ефективності природної вентиляції (аналог ККД) визначається (рис. 2) як відношення корисної енергії  $E_{кор}$ , Вт, до повної  $E_{нов}$ , Вт, з урахуванням формул (1...3):

$$\eta_{v,g} = E_{кор} / E_{нов} = gH / (c_p T_{ext}) = 9,75 \cdot 10^{-3} H / T_{ext}. \quad (4)$$

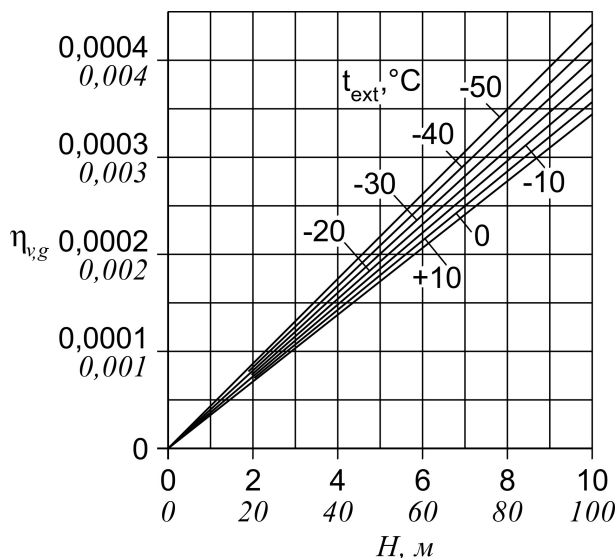


Рис. 2. Графік для визначення коефіцієнта ефективності природної вентиляції: значення коефіцієнта ефективності  $\eta_{v,g}$ , які наведені прямим шрифтом, відповідають значенням висоти  $H$ , м, що надруковані прямим шрифтом; значення коефіцієнта ефективності  $\eta_{v,g}$ , які наведені курсивом, відповідають значенням висоти  $H$ , м, що надруковані курсивом

Отримані значення коефіцієнта ефективності системи природної вентиляції за формулою (4) або рис. 2 для висоти  $H = 1 \dots 100$  м знаходяться у межах  $0,000034 \dots 0,0034$ . Таким чином, розглянуті системи мають незначну енергоефективність, і за можливості слід віддавати перевагу механічній вентиляції з утилізацією теплоти витяжного повітря.

Для гарячих цехів використання механічної вентиляції найчастіше є неможливим через значний повітрообмін, великі габарити та вартість необхідного вентиляційного обладнання. Тому необхідно шукати шляхи більш ефективного використання теплонадлишків обладнання, матеріалів у таких приміщеннях.

**Висновки.** Природна вентиляція з гравітаційною спонукою при всій своїй простоті для висоти  $H = 1 \dots 100$  м має коефіцієнт ефективності у межах  $0,000034 \dots 0,0034$ , тобто є енергонеефективною. Системи природної вентиляції за

можливості мають переобладнуватись у механічні з утилізацією теплоти витяжного повітря.

**Перспективи подальших досліджень.** Для гарячих цехів за неможливості використання механічної вентиляції необхідно шукати шляхи більш ефективного використання теплонадлишків.

**Подяки.** Автори вдячні професору кафедри теплогазопостачання і вентиляції Київського національного університету будівництва і архітектури А.Я. Ткачуку та доценту кафедри «Теплогазопостачання і вентиляція» Національного університету «Львівська політехніка» С.С. Жуковському, роботи яких дали поштовх для розвитку даного напрямку досліджень на кафедрах.

### Література

1. ДСТУ Б EN 15316-2-1:2011. Системи теплозабезпечення будівель. Методика розрахунку енергопотребі та енергоефективності системи. Частина 2-1. Тепловіддача системою опалення (EN 15316-2-1:2007, IDT). – Чинні від 01.01.2013. – Київ: Укрархбудінформ, 2012 р.
2. ДСТУ Б EN 15232. Енергоефективність будівель, вплив автоматизації, моніторингу та управління будівлями (EN 15232:2007, IDT). – Чинні від 01.04.2012. – Київ: Укрархбудінформ, 2011 р.
3. ДСТУ Б А.2.2-12:2015. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні. – Чинні від 01.01.2016. – Київ: Укрархбудінформ, 2015 р.
4. Богословский В. Н. Тепловой режим здания / В. Н. Богословский. – Москва: Стройиздат, 1979. – 248 с.
5. Богословский В. Н. Отопление и вентиляция: у 2-х т. / В. Н. Богословский, В.И. Новожилов, Б.А. Симаков, В.П. Титов; под ред. В.Н. Богословского. – Москва: Стройиздат, 1976. – Ч. 2. – 439 с.
6. Щекин Р.В. Справочник по теплоснабжению и вентиляции. – изд. 4-е. / Р. В. Щекин, С. М. Корневский, Г. Е. Бем, Ф. И. Скороходько и др. – Киев: «Будівельник», 1976. – Кн. 2. – 352 с.
7. Батурич В. В. Аэрация промышленных зданий / В. В. Батурич, В. М. Эльтерман. – Москва: Гос. изд-во лит. по стр-ву и арх., 1953. – 260 с.
8. Ткачук А. Я. Расчет аэрации зданий методом перепада давлений в отверстиях / А. Я. Ткачук // Системы отопления, вентиляции и кондиционирования. – Киев: Госстройиздат УССР, 1968. – С. 33–34.
9. Жуковський С. С. Ефективність гравітаційної вентиляції приміщень / С. С. Жуковський // Науковий вісник НЛТУ України : Збірник науково-технічних праць / НЛТУ України. – 2007. – вип. 17.7. – с. 142–147.
10. Харитонов В.П. Естественная вентиляция с побуждением / Харитонов В.П. // АВОК. – 2006. – № 3. – стр.46-55
11. Р НП АВОК 5.2-2012. Технические рекомендации по организации воздухообмена в квартирах жилых зданий. – введ. 04.04.2012. – Москва: ИИП «АВОК-Пресс», 2012.
12. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. – Чинні від 01.01.2014. - Київ: Укрархбудінформ, 2013. - V, 141 с.
13. Мандрус В.І. Гідрравлічні та аеродинамічні машини: Підручник / В. І Мандрус. – Львів: Магнолія плюс, 2004. - 340 с.

### References

1. *Systemy teplozabezpechennia budivel. Metodyka rozrakhunku enerhopotreby ta enerhoefektyvnosti systemy. Chastyna 2-1. Teploviddacha systemoiu opalennia*. DSTU B EN 15316-2-1:2011. (EN 15316-2-1:2007, IDT). Ukrarkhbudinform, 2012.
2. *Enerhoefektyvnist budivel, vplyv avtomatyzatsii, monitorynhu ta upravlinnia budivliamy*. DSTU B EN 15232. (EN 15232:2007, IDT). Ukrarkhbudinform, 2011.
3. *Enerhetychna efektyvnist budivel. Metod rozrakhunku enerhospozhyvannia pry opalenni, okholodzhenni, ventyliatsii, osvitlenni ta hariachomu vodopostachanni*. DSTU B A.2.2-12:2015. Ukrarkhbudinform, 2015.
4. Bogoslovskii V. N. *Teplovoi rezhim zdaniia*. Stroiizdat, 1979.
5. Bogoslovskii V. N., Novozhilov V. I., Simakov B. A., Titov V. P. *Otoplenie i ventilatsiia*. Stroyizdat, 1976.
6. Shchekin R. V., Korenevskii S. M., Bem G. E., Skorokhodko F. I., Chechik E. I., Sobolevskii G. D., Melnik V. A., Korenevskaiia O.S. *Spravochnik po teplosnabzheniiu i ventiliatsii*. «Budivelnik», 1976.
7. Baturin V. V., Elterman V. M. *Aeratsiia promyshlennykh zdani*. Gos. izd-vo lit. po stru i arkh., 1953.
8. Tkachuk A. Ya. “*Raschet aeratsii zdaniia metodom perepada davlenii v otverstii*.” *Sistemy otopleniia, ventiliatsii i konditsionirovaniia*, Gosstroizdat USSR, 1968.
9. Zhukovskiy S. S. “*Efektyvnist hravitatsiinoi ventyliatsii prymishchen*.” *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy*, Iss. 17.7, 2007, pp. 142–147.
10. Kharitonov V. P. “*Estestvennaia ventiliatsiia s pobuzhdeniem*.” *AVOK*, no.3, 2010, pp. 46–55.
11. *Tekhnicheskie rekomendatsii po organizatsii vozduhoobmena v kvartirakh zhilykh zdani*. R NP AVOK 5.2-2012. IIP «AVOK-Press», 2012.
12. *Opalennia, ventyliatsiia ta kondytsionuvannia*. DBN V.2.5-67:2013, Ukrarkhbudinform, 2013.
13. Mandrus VI. *Hidravlichni ta aerodynamichni mashyny*. «Mahnoliia plus», 2004.

**УДК 629.113.6: 628.83**

## **Аналитические исследования энергетической эффективности естественной вентиляции**

**В. А. Милейковский<sup>1</sup>, А. М. Клименко<sup>2</sup>**

1. к.т.н., доцент, Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Украина, v\_mil@ukr.net

2. к.т.н., ассистент, Национальный университет «Львовская политехника», г. Львов, anett.lviv@gmail.com

*Аннотация. В связи с удорожанием всех видов энергии актуальной является проблема повышения энергоэффективности в строительстве. Определение эффективности использования энергии в системах естественной вентиляции с гравитационным побуждением позволяет более полно оценить энергоэффективность обеспечения микроклимата зданий, оборудованных такими системами, которые широко применяются и используются в данное время в постсоциалистических странах. Принята обобщённая физическая модель работы естественной вентиляции с гравитационным побуждением. Воздух получает тепловую энергию от систем обеспечения микроклимата, оборудования и*

освещения, потребляющих невозобновляемую энергию, а также от людей, животных и т.д. Часть этой энергии теряется через ограждающие конструкции, а остальная часть является источником энергии для естественной вентиляции. Доля этой энергии полезно расходуется на перемещение воздуха, а оставшаяся часть приводит к тепловому загрязнению атмосферы. Определено, что коэффициент эффективности систем естественной вентиляции с гравитационной побуждением для высоты  $H = 1...100$  м равен  $0,000034...0,0034$ . Сделан вывод о незначительной энергоэффективности естественной вентиляции с гравитационным побуждением и о необходимости модернизации таких систем с использованием механического побуждения и теплоутилизации. Поэтому для горячих цехов, в которых механическая вентиляция невозможна, следует искать пути более эффективного использования теплоизбытков.

*Ключевые слова:* энергоэффективность, обеспечение микроклимата, естественная вентиляция, гравитационное побуждение.

**UDC 629.113.6: 628.83**

## **Analytical Researches of the Energy Efficiency of Natural Ventilation**

V. Mileykovskiy<sup>1</sup>, H. Klymenko<sup>2</sup>

1. Ph.D, Associate Professor, Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, v\_mil@ukr.net
2. Ph.D., Assistant Professor, Lviv Polytechnic National University, Lviv, anett.lviv@gmail.com

*Annotation.* The price of all kinds of energy rises, so there is a topical problem of energy efficiency in construction. Estimation of energy efficiency in the natural ventilation with gravitational motive allows more complete calculation of energy efficiency of buildings with such systems, which have been commonly used and which are used today in the post-socialist countries. A generalized physical model of the natural ventilation with gravitational motive is accepted. Air receives thermal energy from the microclimate providing systems, equipment and lighting that consume non-renewable energy, as well as people, animals etc. Part of this energy is lost through the building envelope, the other part is energy source for natural ventilation. Part of this energy is usefully consumed for the air movement, the other part causes thermal pollution of the atmosphere. It is determined that the efficiency factor of the natural ventilation systems with gravitational motive for height  $H = 1...100$  m is  $0.0034...0.000034$ . It is concluded that the natural ventilation with gravitational motive has low energy efficiency and the systems may be renovated with mechanical motive and heat recovery. Therefore, for hot shops, for which the mechanical ventilation is impossible, it is necessary to seek ways for better use of surplus heat.

*Keywords:* energy efficiency, microclimate providing, natural ventilation, gravitational motive.

*Надійшла до редакції 30 листопада 2016 р.*