

УДК 629.83:697.7

Ефективність організації повітрообміну приміщень при використанні стін Тромба-Мішеля

В. О. Мілейковський¹, Г. М. Клименко², В. Г. Дзюбенко³

¹к.т.н., доцент, Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, v_mil@ukr.net

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

³к.т.н., полковник збройних сил України, доцент, Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, ilay19@ukr.net

Анотація. Сонячна енергія є перспективним відновлюваним джерелом енергії. Одним з варіантів її використання є пасивні сонячні опалювальні прилади. Розглянуто використання стіни Тромба-Мішеля для забезпечення мікроклімату приміщень. Поширеним є варіант з подачею повітря до верхньої зони приміщення. Але, як показує аналіз досліджень, при такій схемі подачі повітря з природною спонукою руху повітря в просторі стіни Тромба-Мішеля спостерігається суттєвий недолік: перегрів верхньої зони. Як варіант, що мінімізує такий недолік, є встановлення вентилятора, який примусово подає повітря до робочої зони і забирає повітря з верхньої зони. Оцінено ефективність обох варіантів. У результаті аналітичної оцінки обох варіантів виявлено, що при подачі повітря до верхньої зони 67 % сонячної енергії втрачається на перегрів верхньої зони приміщення. А максимально ефективним рішенням, що дає мінімальний перегрів верхньої зони, є використання вентилятора для спонуки руху повітря в стіні Тромба-Мішеля.

Ключові слова: сонячна енергія, пасивні сонячні опалювальні прилади, стіна Тромба-Мішеля, верхня зона.

Постановка проблеми. Одним з напрямків підвищення енергоефективності будівель є використання відновлюваних джерел енергії. Ці види енергії, крім необмеженості їхніх запасів, забезпечують високу екологічну чистоту порівняно з вичерпними джерелами. Перспективним відновлюваним джерелом є сонячна енергія.

Одним з варіантів використання сонячної енергії є пасивні сонячні опалювальні прилади. Наприклад, стіна Тромба-Мішеля суміщається зі стіною будинку, що має в нижній і верхній частині вентиляційні отвори. Ця стіна покривається світлопоглинальним шаром фарби й відокремлюється від навколишнього середовища одинарним застеленням або склопакетом.

Сонячна енергія перетворюється на теплову у світлопоглинальному шарі. При цьому частина сонячної енергії акумулюється в конструкції стіни, а частина цієї енергії йде на нагрів повітря під склінням. Під дією гравітаційних сил гаряче повітря піднімається в просторі між склінням і стіною та подається до верхньої зони приміщення. При цьому охолоджене повітря забирається з робочої зони.

У Львівській політехніці розроблені дахові пасивні сонячні опалювальні прилади аналогічної конструкції. Як показали дослідження, вони як і стіни Тромба-Мішеля призводять до перегріву верхньої зони.

Як варіант, який не має такого недоліку, можна запропонувати встановлення вентилятора, що примусово подає повітря до робочої зони і забирає повітря з верхньої зони. Недоліком такої системи є відсутність використання дарових гравітаційних сил та потреба в електроенергії.

Виникає необхідність оцінити енергоефективність обох варіантів.

Актуальність дослідження. Аналітичні дослідження ефективності використання сонячної енергії дозволяють на сучасному етапі розвитку будівництва запропонувати нові рішення енергоефективного формування мікроклімату будівель, що є актуальним завданням, пов'язаним з забезпеченням енергоефективності інженерних рішень будівель згідно з ДСТУ Б EN 15316-2-1:2011, ДСТУ Б EN 15232, ДСТУ Б А.2.2-12:2015 тощо.

Останні дослідження та публікації. Сучасні нормативні документи [1-3] передбачають оцінку енергоефективності будівель. Однак, для пасивних систем сонячного опалення ці вимоги недостатньо деталізовані.

Пасивні системи сонячного опалення досліджуються в інституті “КиївЗНДІЕП” [5] та в Національному технічному університеті України “КПІ” [6]. Дослідженням енергоефективного використання сонячної енергії приділяється значна увага на кафедрі теплогазопостачання і вентиляції Київського національного університету будівництва і архітектури [8, 9] та національного університету “Львівська політехніка” [10]. При розробці ряду проектів енергоактивних будівель проводилися розрахунки енергетичного балансу енергоактивного будинку [11].

У більшості досліджень використання сонячної енергії для нагріву повітря з природною спонукою руху показано недолік: перегрів верхньої зони. Виникає необхідність оцінити, наскільки цей перегрів впливає на повноту використання сонячної енергії.

Формулювання цілей статті. Метою роботи є оцінка ефективності організації повітрообміну при використанні стіни Тромба-Мішеля та перевірка доцільності механічної спонуки руху повітря.

Основна частина. Розглянемо узагальнену фізичну модель роботи природної вентиляції з використанням стіни Тромба-Мішеля (рис. 1). За допомогою цієї стіни можна реалізувати дві схеми організації повітрообміну, які дають граничні результати.

За першою схемою (рис. 1а) тепле повітря робочої зони з температурою θ_{wz}, K , проходить крізь стіну Тромба-Мішеля, нагрівається і з температурою $\theta_{in,l}, K$, надходить до верхньої зони. Оскільки гаряче повітря має незначний початковий імпульс, завдяки архімедовим силам воно залишається у верхній зоні. По мірі охолодження за рахунок тепловтрат це повітря опускається до робочої зони і забирається на нагрів. За другою схемою (рис. 2б) гаряче повітря подається до нижньої зони з достатнім імпульсом, щоб струмина не спливала, а заповнювала робочу зону.

Середня температура повітря приміщення за обох схем організації повітрообміну

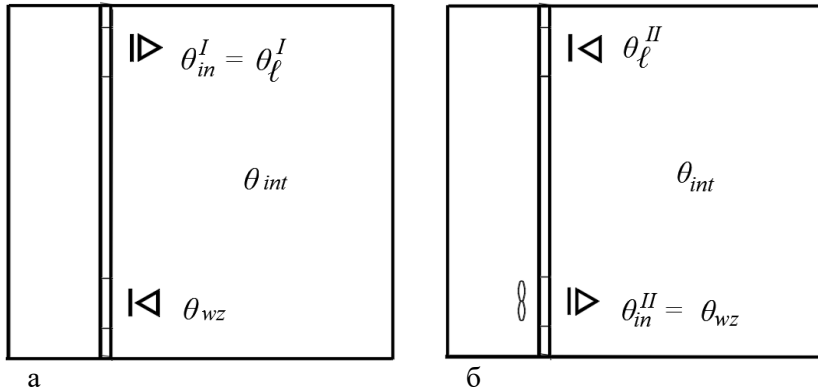


Рис.1. Схема організації повітрообміну при використанні стіни Тромба-Мішеля:
а – перша схема, з використанням природної спонуки;
б – друга схема, з використанням примусової спонуки

$$\theta_{int} = (\theta_{wz} + \theta_{\ell}) / 2, \text{ К}, \quad (1)$$

де θ_{wz} – температура повітря в робочій зоні, К; θ_{ℓ} – температура повітря верхньої зони за відповідною схемою (рис. 1), К.

Тепловтрати (теплонестача) приміщення

$$\Phi = H(\theta_{int} - \theta_{ext}), \text{ Вт}, \quad (2)$$

де H – теплова характеристика приміщення, Вт/К; θ_{ext} – температура зовнішнього повітря, К.

Перепад температури в сонячному опалювальному приладі

$$\Delta\theta_{sun} = \theta_{wz} - \theta_{ext}, \text{ К}. \quad (3)$$

Тоді кількість сонячної енергії, що передається повітрю в сонячному опалювальному приладі,

$$\Phi_{sun} = c G \Delta\theta_{sun}, \text{ Вт}. \quad (4)$$

Розглянемо першу схему організації повітрообміну (рис.1а).

Температура повітря в робочій зоні за першою схемою

$$\theta_{\ell,I} = \theta_{in,I} = \theta_{wz} + (\Phi_{sun} / c G), \text{ К}, \quad (5)$$

де $\theta_{\ell,I}$ – температура верхньої зони за першою схемою (рис. 1а), К; $\theta_{in,I}$ – температура повітря на виході з сонячного опалювального приладу за першою схемою, К; G – витрата повітря в сонячному опалювальному приладі, кг/с; $c = 1006$ Дж/(кг К) – ізобарна теплоємність повітря [12].

За першою схемою середня температура повітря приміщення за формулами (1, 5)

$$\theta_{int,I} = \theta_{wz} + (\Phi_{sun} / 2 c G), \text{ К.} \quad (6)$$

Тепловтрати приміщення за рівняннями (2, 6)

$$\Phi_I = H (\theta_{wz} - \theta_{ext} + (\Phi_{sun} / 2 c G)), \text{ Вт.} \quad (7)$$

Розглянемо організацію повітрообміну за другою схемою (рис. 2б).
Температура повітря робочої зони:

$$\theta_{wz} = \theta_{in,II} = \theta_{\ell,II} + (\Phi_{sun} / c G), \text{ К,} \quad (8)$$

де $\theta_{in,II}$ – температура повітря на виході з сонячного опалювального приладу за другою схемою, К; $\theta_{\ell,II}$ – температура повітря верхньої зони, яке входить до сонячного опалювального приладу, К.

З формули (8)

$$\theta_{\ell,II} = \theta_{in,II} - (\Phi_{sun} / c G) = \theta_{wz} - (\Phi_{sun} / c G), \text{ К.} \quad (9)$$

Середня температура повітря приміщення за рівняннями (1, 9)

$$\theta_{int,II} = \theta_{wz} - (\Phi_{sun} / 2 c G), \text{ К.} \quad (10)$$

Тепловтрати приміщення за формулами (2, 10)

$$\Phi_{II} = H (\theta_{wz} - \theta_{ext} - (\Phi_{sun} / 2 c G)), \text{ Вт.} \quad (11)$$

Таким чином, коефіцієнт ефективності другої схеми порівняно з першою за рівняннями (7, 11)

$$\begin{aligned} \eta = \frac{\Phi_{II}}{\Phi_I} &= \frac{\theta_{wz} - \theta_{ext} - (\Phi_{sun} / 2 c G)}{\theta_{wz} - \theta_{ext} + (\Phi_{sun} / 2 c G)} = \frac{1 - (\Phi_{sun} / 2 c G (\theta_{wz} - \theta_{ext}))}{1 + (\Phi_{sun} / 2 c G (\theta_{wz} - \theta_{ext}))} = \\ &= \frac{1 - (\Delta\theta_{sun} / 2 \Delta\theta_{wz})}{1 + (\Delta\theta_{sun} / 2 \Delta\theta_{wz})} \leq 1. \end{aligned} \quad (12)$$

Більш ефективною з точки зору повноти використання сонячної енергії за рівнянням (12) буде друга схема (рис. 1б) при подачі повітря до робочої зони. Це максимально ефективне рішення, що дає мінімальний перегрів верхньої зони.

Як видно з рис. 2, чим нижча температура зовнішнього повітря, тим більша ефективність першої схеми.

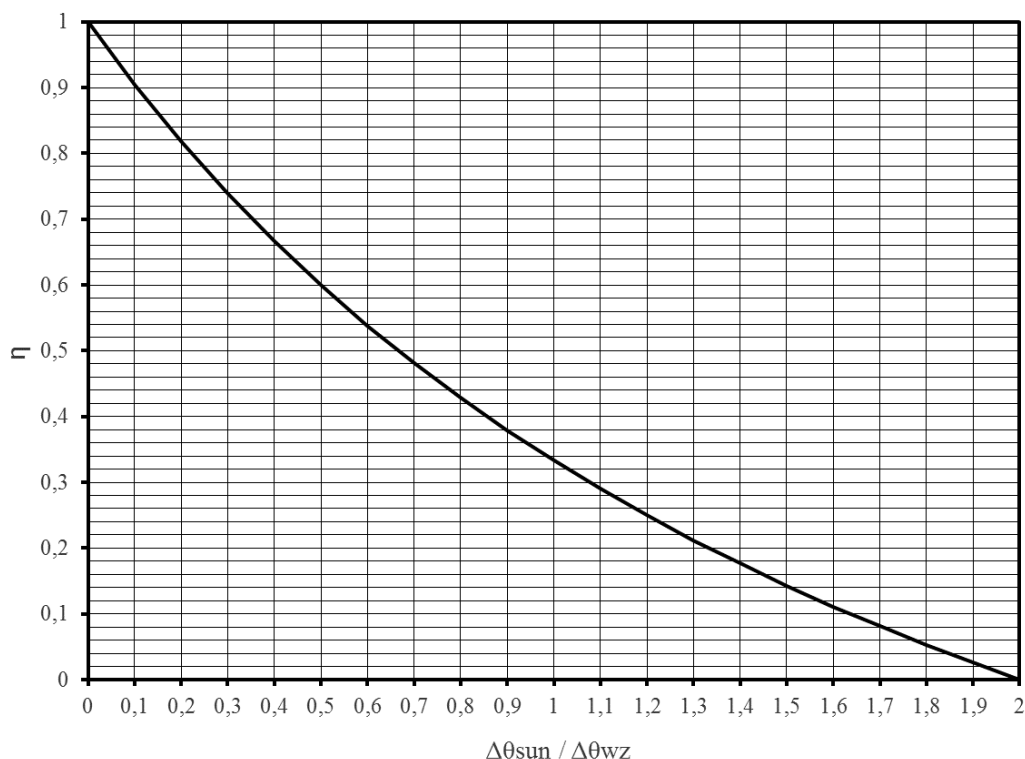


Рис. 2. Залежність коефіцієнта ефективності другої схеми порівняно з першою від співвідношення перепаду температури в стіні Тромба-Мішеля і робочої зони за формулою (12)

Розглянемо два приклади.

При розрахункових умовах температура зовнішнього повітря $\theta_{ext} = 253,15$ К (або мінус 20°C), нормативна температура повітря в робочій зоні [8] $\theta_{wz} = 293,15$ (або плюс 20°C); $\Delta\theta_{wz} = 293,15 - 253,15 = 40$ К. Припустимо, що повітря в стіні Тромба-Мішеля нагрівається на $\Delta\theta_{sun} = 10$ К, тоді $\Delta\theta_{sun} / \Delta\theta_{wz} = 10 / 40 = 0,25$. За рис. 2 отримаємо $\eta = 0,78$. Таким чином, 78 % сонячної енергії використовується на корисний нагрів приміщення, а решта йде на перегрів верхньої зони.

У перехідних умовах температура зовнішнього повітря $\theta_{ext} = 283,15$ К (або плюс 10°C). Припустимо, що повітря в стіні Тромба-Мішеля теж нагрівається на $\Delta\theta_{sun} = 10$ К. Нормативна температура повітря в робочій зоні [12] не змінюється порівняно з попереднім прикладом. Тоді $\Delta\theta_{sun} / \Delta\theta_{wz} = 10 / 10 = 1$, а за рис. 2 $\eta = 0,33$. Таким чином, лише третина сонячної енергії витрачається на корисний нагрів приміщення, а дві третини її витрачається на перегрів верхньої зони. Проте слід врахувати, що в перехідних умовах теплотребі приміщення менші за потреби в теплоті в розрахунковий період. І тому така низька ефективність не є критичною. Але можливо було б більш доцільно використати 67 % виробленої теплової енергії з сонячної.

Обидві схеми є достатньо ефективними, але для підвищення ефективності організації повітрообміну рекомендується забезпечити механічну спонуку руху повітря. Це можна зробити двома шляхами. Перший шлях – пропускати рециркуляційне повітря вентиляційної установки крізь стіну Тромба-Мішеля. Другий шлях – встановити в стіні Тромба-Мішеля вентилятор, який забезпечує рух повітря згори вниз.

Перший варіант може подовжити мережі повітроводів. Але якщо при застосуванні стіни Тромба-Мішеля вентиляційна установка розташована в підвалі, то такий варіант, навпаки, призводить до скорочення цієї мережі. Нагріте повітря з верхньої зони забирається безпосередньо до простору під склінням, який у даному випадку використовується замість рециркуляційного повітроводу. Аеродинамічний опір цього простору незначний, що підвищує енергоефективність системи вентиляції.

Вентилятор у стіні Тромба-Мішеля може живитися від сонячного елемента. Це дозволяє вирішити дві задачі: використання дарової енергії для спонуки руху повітря та блокування роботи вентилятора із надходженням сонячної радіації. До цього ж сонячного елемента можна приєднати електромагніт повітряного клапана та за потребою – електронний терморегулятор.

У разі відсутності сонячної енергії елемент не буде видавати напругу, і вентилятор не буде працювати. Зі збільшенням надходження сонячної енергії напруга збільшується, тому вентилятор збільшує кількість обертів. Таким чином відбувається автоматичне регулювання витрати повітря. Навіть якщо такий вентилятор на постійному струмі буде мати низький ККД, то це не є проблемою, оскільки вся дарова енергія, споживана вентилятором, перетворюється на теплоту й використовується для обігріву приміщення. Таким чином, можна використовувати двигуни як змінного, так і постійного струму і низької напруги. Також можна використовувати багатокристалльні або органічні сонячні елементи низької вартості (невисокого ККД), оскільки вся енергія, яка не буде перетворена на механічну, буде перетворена на теплоту й використана на обігрів приміщення.

При використанні пасивних сонячних опалювальних приладів (стіна Тромба-Мішеля, сонячний опалювальний прилад конструкції Національного університету “Львівська політехніка” тощо) найбільш ефективною є подача повітря до робочої зони, але подача повітря до верхньої зони теж є достатньо ефективною.

Висновки. При використанні пасивних сонячних опалювальних приладів з підігрівом повітря та природною циркуляцією відбувається перегрів верхньої зони приміщення. Така схема є достатньо ефективною, оскільки використовує лише дарову енергію. Для підвищення її ефективності рекомендується механічна спонука руху повітря. При подачі повітря до верхньої зони до двох третин сонячної енергії втрачається на перегрів верхньої зони. При подачі повітря до робочої зони перегрів верхньої зони є мінімальним.

Література

1. ДСТУ Б EN 15316-2-1:2011. Системи теплозабезпечення будівель. Методика розрахунку енергопотреби та енергоефективності системи. Частина 2-1. Тепловіддача сис-

темою 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. Ферг А. Р., Айзен М. А., Антонюк Д. И. и др. Рекомендации по проектированию зданий с пассивными системами солнечного отопления. – К.: Киев ЗНИИЭП, 1989. – 100 с.

6. Пуховой И.И. Температурные режимы и экономия энергии в пассивных системах солнечного отопления типа застекленная лоджия многоэтажных зданий // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2004. – № 2. – 14–18 с.

7. Мисак Й. С. Сонячна енергетика: теорія та практика: монографія / Й. С. Мисак, О. Т. Возняк, О. С. Дацько, С. П. Шаповал. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2014. – 340 с.

8. Любарець О.П. Вибір форми і розрахунок об'єму сезонного теплоаккумулятора / О.П. Любарець, А.С. Москвітін // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання: науково-технічний збірник. – Вип. 20 – К.: КНУБА, 2016. – С. 34-38.

9. Мілейковський В.О. Дослідження сонячного опалювального приладу для пасивних систем використання сонячної енергії / В.О. Мілейковський, О.Ю. Шуваєва // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання: науково-технічний збірник. – Вип. 19. – К.: КНУБА, 2016 С. 112-116

10. Желих В. М. Визначення полів температури та швидкості повітря в приміщенні з використанням термосифонного геліоколектора / В. М. Желих, Х. Р. Лесик // Енергоефективність в будівництві та архітектурі: науково-технічний збірник. – Вип. 4. – К.: КНУБА, 2013. – С. 104 – 108.

11. Пат. 92009 Україна МПК^{2006.01} F24J 2/02, F24D 15/00/. Енергоефективний будинок / О. Т. Возняк, С. П. Шаповал, О. М. Пона. – опублік. 25.07.2014.

12. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. – Чинні від 01.01.2014. - Київ: Укрархбудінформ, 2013. – V, 141 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). Ukrarkhbudininform, 2012.

2. *Enerhoefektyvnist budivel, vplyv avtomatyzatsii, monitorynhu ta upravlinnia budivliamy.* DSTU B EN 15232. (EN 15232:2007, IDT). Ukrarkhbudininform, 2011.

3. *Enerhetychna efektyvnist budivel. Metod rozrakhunku enerhospozhyvannia pry opalenni, okholodzhenni, ventyliatsii, osvittleni ta hariachomu vodopostachanni.* DSTU B A.2.2-12:2015. Ukrarkhbudininform, 2015.

4. Bogoslovskii V. N. *Teplovoi rezhim zdaniia.* Stroizdat, 1979.

5. Fert A. R., Aizen M. A., Antoniuk D. I. i dr. *Rekomendatsii po proektirovaniyu zdanii s passivnymi sistemami solnechnogo otopleniia,* Kiev ZNIEP, 1989.

6. Pukhovoi I. I. “Temperaturnye rezhimy i ekonomiiia energiyi v passivnykh sistemakh solnechnogo otopleniia tipa zasteklennaya lodzhiya mnogoetazhnykh zdanii”. *Ekotekhnologii i resursosberezhenie*, no.2, 2004.

7. Miscak II. S., Vozniak O. T., Datsko O. S., Shapoval S. P. *Soniachna energetyka: teoriia ta praktyka: monohrafiia*. Vidavnistvo Lvivskoi Polytechnicy, 2014.

8. Liubarets O. P., Moskvitina A. S. “Vybir formy i rozrakhunok ob’iemu sezonnoho teploakumuliatora.” *Ventyliatsiia, osvittlennia ta teplohozopostachannia: naukovo-tekhnichnyi zbirnik*, Iss. 20, Kyiv National University of Construction and Architecture, 2016, pp. 34-38.

9. Mileykovskiy V. O., Shuvaeva O. IU. “Doslidzhennia soniachnogo opaliuvalnogo pryladu dlia pasyvykh system vykorystannia soniachnoi energii.” *Ventyliatsiia, osvittlennia ta teplohozopostachannia: naukovo-tekhnichnyi zbirnik*, Iss. 19, Kyiv National University of Construction and Architecture, 2016, pp. 112-116.

10. Zhelikh V. M., Lesyk H. R. “Viznachennia poliv temperatury ta shvydkosti povitria v prymyshchenni z vykorystanniam termosyfonnoho heliokolektora.” *Enerhoefektyvnist v budivnytstvi ta arkhitekturi: Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk*, Iss. 4, Kyiv National University of Construction and Architecture, 2013, pp. 104-108.

11. Vozniak O. T., Shapoval S. P., Pona O. M. “Energoefektyvnyi budynok.” Patent of Ukraine 92009. 25 July 2014.

12. *Opalennia, ventyliatsiia ta kondytsionuvannia*. DBN V.2.5-67:2013, Ukrarkhbudinform, 2013.

УДК 629.83:697.7

Эффективность организации воздухообмена помещений с использованием стены Тромба-Мишеля

В. А. Милейковский¹, А. М. Клименко², В. Г. Дзюбенко³

¹к.т.н., доцент, Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, v_mil@ukr.net

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

³к.т.н., полковник вооружённых сил Украины, доцент, Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, ilay19@ukr.net

Аннотация. Солнечная энергия является перспективным возобновляемым источником энергии. Одним из вариантов её использования являются пассивные солнечные отопительные приборы. Рассмотрено использование стены Тромба-Мишеля для обогрева помещений. Наиболее простым является вариант организации воздухообмена с подачей нагретого воздуха в верхнюю зону помещения. При такой схеме подачи воздуха наблюдается перегрев верхней зоны. Вариантом, который минимизирует такой недостаток, является установка вентилятора, который принудительно забирает воздух из верхней зоны и подаёт его в рабочую зону. В результате аналитической оценки обоих вариантов обнаружено, что при подаче воздуха в верхнюю зону 67 % солнечной энергии теряется на перегрев верхней зоны помещения. А максимально эффективным решением, которое даёт минимальный перегрев верхней зоны, является использование вентилятора для побуждения движения воздуха в стене Тромба-Мишеля. Рекомендуется использование солнечных отопительных приборов для нагрева рециркуляционного воздуха систем вентиляции или питание вентилятора от солнечной энергии.

Ключевые слова: солнечная энергия, пассивный солнечный отопительный прибор, стена Тромба-Мишеля, организация воздухообмена.

UDC 629.83:697.7

Efficient Organization of Air Exchange of Premises Using the Trombe-Michel Wall

V. O. Mileikovskiy¹, H. M. Klymenko², V. H. Dziubenko³

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

³ Ph.D., Colonel of the Armed Forces of Ukraine, Associate Professor, Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, ilay19@ukr.net

Abstract. Solar energy is a promising renewable energy source. One of the options for its use is passive solar heating devices. The use of the Trombe-Michel wall for heating the rooms is considered. The simplest variant is the organization of air exchange with the supply of heated air to the upper zone of the room. With this air supply scheme, overheating of the upper zone is observed. An option that minimizes such disadvantage is the installation of a fan that forcibly takes air from the upper zone and feeds it to the working zone. Because of the analytical evaluation of both variants, it was found that when air is supplied to the upper zone, 67 % of the solar energy is lost to overheating of the upper zone of the room. Moreover, the most effective solution, which gives a minimum overheating of the upper zone, is the use of a fan to induce air movement in the wall of Trombe-Michel. It is recommended to use solar heaters to heat the recirculation air of ventilation systems or supply the fan from solar energy.

Keywords: solar energy, passive solar heating device, Trombe-Michel wall, air exchange organization.

Надійшла до редакції 28 травня 2017 р.