

УДК 621.314

**ВПЛИВ ІНФІЛЬТРАЦІЇ ПОВІТРЯ НА МІКРОКЛІМАТ ТА ТЕПЛОЗАХИСНІ
ВЛАСТИВОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ СВІТЛОПРОЗОРИХ КОНСТРУКЦІЙ
ЖИТЛОВОГО ПРИМІЩЕННЯ**

В.О. Ошейко, О.В. Ошейко

Київський національний університет технологій та дизайну

В статті викладена актуальна проблема забезпечення повітрообміну у будівлях з сучасними світлопрозорими конструкціями, відзначені існуючі недоліки її вирішення, представлений аналіз ресурсного потенціалу та запропонована методика оцінки енергозбереження та підвищення енергоефективності будівельних конструкцій

Ключові слова: енергозбереження, світлопрозорі конструкції, якість повітряного середовища

На житлово-комунальний сектор припадає найбільша частина кінцевого споживання енергії, зокрема в ЄС – 42 % енергії. При цьому в житлових будинках створюється емісія близько 35 % всіх парникових газів, що визначає необхідність охорони навколишнього середовища та аспекти здорового способу життя. В Україні на житлово-комунальний сектор припадає понад 40 % спожитої енергії, а ефективність можливих енергозберігаючих заходів у цій галузі в масштабах держави перевищує можливу економію в таких традиційно енергоємних галузях як металургія, хімічна промисловість та ін [1].

Високе споживання енергії за повний цикл експлуатації будинків складає в Україні в середньому понад 300 кВт·год/м² на рік опалюваної площі [2, 3] і повинне бути значно скорочене в майбутньому за рахунок енергозбереження та підвищення енергоефективності інженерних мереж. При цьому має змінитись також структура споживання енергії, що призведе до використання інших, інноваційних техніко-технологічних рішень у будівництві та системах енергозабезпечення сучасних будівель.

Зростаючі темпи застосування енергозберіжних технологій при реконструкції житлових приміщень не можуть залишити поза увагою питання створення безпечного для життя і здоров'я помешкання людини. Отримані результати як вітчизняних так і європейських спеціалістів в області експлуатації енергозберігуючих конструкцій [1, 3] свідчать про деякі прогалини в теоретичному та експериментальному дослідженні цієї проблеми.

Високі ціни на паливо призводять до високих цін на комунальні послуги, у тому числі на опалення, що стимулює власників приміщень і адміністраторів різних компаній проводити заходи, спрямовані на зниження комунальних витрат і, відповідно, на

застосування енергозберігаючих технологій у приміщеннях, які їм належать. Наприклад, старі віконні дерев'яні конструкції замінюються на сучасні склопакети. Але крім зниження втрат теплової енергії в таких переобладнаних приміщеннях різко змінюється вся система повітрообміну. І після установки ергономічних сучасних віконних конструкцій працівники або мешканці таких приміщень починають почувати себе гірше, протягом робочого дня швидко нарастають ознаки стомлюваності. Причини швидкої стомлюваності співробітників зовсім не в низьких ділових якостях, а в зміні всієї схеми повітрообміну приміщень після заміни вікон або капітального ремонту приміщення.

Згідно з результатами досліджень, проведених «Науково-дослідним інститутом гігієни, токсикології й профпатології» [1, 3] підвищення концентрації вуглекислого газу в приміщенні до 0,08 % (800 ppm), викликає не тільки загальну стомлюваність організму, але й призводить до стрімкого окиснення молекул ДНК людини, що може спричинювати стрес на клітинному рівні. Короточасні впливи кисневого голодування не дають відчутного негативного ефекту, але систематичне перевищення концентрації вуглекислого газу у повітрі, яким дихає людина, провокує розвиток швидкої стомлюваності, і як наслідок хронічної втоми.

Постановка завдання

Одним з напрямків розв'язання цієї проблеми є будівництво пасивних будинків. Пасивний будинок – це об'єкт із низькою енергетичною потребою (щонайбільше 15 кВт·год/м³ протягом року). Витрати зовнішнього повітря, що надходить у приміщення в результаті інфільтрації в розрахункових умовах, залежать від об'ємно-планувального рішення будинку, а також щільності вікон, балконних дверей, вітражів. Завдання інженерного розрахунку зводиться до визначення витрати інфільтраційного повітря $G_{\text{інф}}$, кг/год через окремі огороження кожного приміщення.

Такий підхід до вирішення проблеми енергозбереження дозволить не тільки з'ясувати доцільність підвищення герметизації світлопрозорих конструкцій, а й дасть відповідь на питання щодо створення якісного повітряного середовища в помешканні людини.

З аналізу вищенаведеного можна зробити висновок, що для побудови систем енергозабезпечення пасивних будинків слід використовувати комплексний підхід [3].

Об'єкти та методи дослідження

Інфільтрація й ексфільтрація виникають під впливом перепадів тисків Δp , P_a , з різних сторін огороження. Різниця тисків повітря в середині будинку й зовні пояснюється, по-перше, різною щільністю холодного зовнішнього повітря й теплого

Для виявлення впливу руху повітря на тепловий режим будинку необхідно визначити інтенсивність і напрямок потоків повітря й розрахувати передачу тепла через окремі види огороження в умовах повітропроникненості. Характеристика конструктивних елементів будівлі наведена в табл.1

Таблиця 1
Нормативні значення повітропроникненості основних елементів будівлі

Огородження	Повітропроникненість G^H , кг/(м ² ·год)
1. Зовнішня стіна, перекриття й покриття житлового, адміністративного й побутового будинку або приміщення	0,5
2. Зовнішня стіна, перекриття й покриття виробничого будинку або приміщення	1,0
3. Стик між панелями зовнішніх стін будинку: житлового / виробничого	0,5*/1,0*
4. Вхідні двері у квартиру	1,5
5. Вхідні двері в житловий, громадський, побутовий будинок	7,0
6. Вікно й балконні двері житлового, суспільного, побутового будинку або приміщення в дерев'яному плетінні; вікно, ліхтар виробничого будинку з кондиціонуванням повітря	6,0
7. Вікно й балконні двері житлового, суспільного, побутового будинку або приміщення в пластмасовому або алюмінієвому плетінні	5,0
8. Вікно, двері, ворота виробничого будинку	8,0
9. Ліхтар виробничого будинку	10,0

Результати та їх обговорення

Інфільтрація через стіни й покриття невелика, тому її зазвичай не враховують і розраховують рух повітря тільки через заповнення світлових прорізів, а також через закриті двері й ворота, у тому числі й ті, які при звичайному експлуатаційному режимі не відкриваються. Втрати теплоти на проникнення повітря через двері, які відкриваються, у розрахунковому режимі враховуються добавками до основних тепловтрат.

Розрахункова різниця тисків Δp для вікна або дверей кожного поверху визначається по формулі (1) [8] при розрахункових параметрах зовнішнього й внутрішнього повітря: температурі t_n і t_b , щільності ρ_n і ρ_b , швидкості вітру v .

$$\begin{aligned} \Delta p &= (H - h)(\rho_z - \rho_b)g + \frac{\rho_z v^2}{2} k_{\text{дик}}(c_x - c_z) - p_b = \\ &= 0,5H(\rho_x - \rho_b)g - h(\rho_x - \rho_b) + 0,5 \frac{\rho_x v^2}{2} k_{\text{дик}}(c_x - c_z) \end{aligned} \quad (1)$$

де H – висота будинку від землі до рівня верхнього зрізу шахти, м; h – відстань від землі до центру повітропроникного елемента в будинку (вікна, балконних дверей), м; c_n та c_z – аеродинамічні коефіцієнти з навітряної та підвітряної сторін будинку.

Зокрема, розрахунок тепловтрат через зовнішні огорожувальні конструкції – зовнішні стіни та вікна двохкімнатної квартири загальною площею 43 м² багатоповерхового шестисекційного житлового будинку наведені в таблицях 2 та 3 [7].

Таблиця 2.

**Результати розрахунку витрат фільтраційного повітря будівлі
(серії 1-464А-51-54), 1970 р.**

Поверх	Відстань від землі до центру вікна, h, м	Фактичний опір повітропроникності, м ² ·г/кг при Δp ₀ = 10 Па		Різниця тисків по різні сторони вікна Δp, Па	Надходження фільтраційного повітря G _o , кг/(м ² ·г)	Втрати теплоти Q _{инф} , Вт/м ²
		дверей, G _{инф,нд}	вікна, G _{инф,ок}			
1	2,45	0,65	0,65	30,51	12,3	175
3	8,05	0,65	0,65	19,92	6,34	135
5	13,65	0,65	0,65	7,42	2,15	112
7	19,25	0,65	0,65	-3,18	–	–

Витрати інфільтраційного повітря G_o, кг/(м²·год), при цьому складуть:

$$G_o = \frac{1}{R_{inf}} \left[\frac{\Delta p}{\Delta p_o} \right]^{\frac{2}{3}} = \frac{1}{0,166} \left[\frac{31}{10} \right]^{\frac{2}{3}} = 12,3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{год}} \quad (2)$$

Таблиця 3

**Розрахунок тепловтрат житлової кімнати (6 поверх) будівлі
(серії 1-464А-51-54), 1970 р.**

Орієнтація	Параметри зовнішньої конструкції					Різниця температури	Множник надбавки	Тепловитрати Вт
	Назва	Розмір, м	Кількість	Площа, м ²	Коефіцієнт теплопередачі, Вт/м ² ·°С			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Північ	ЗС	9 x 2,8	1	25,2	0,81	41	1,2	1004,27
	ВП	1,2 x 1,4	3	5,04	2,09 + 3,5	41	1,15	1328,38
	ДБ	0,8 x 2,5	1	2	2,09 + 3,5	41	1,15	527,13
Всього								2859,78

Примітка: ЗС – зовнішня стіна, ВП – вікно з подвійним склінням, ДБ – двері балконні; 2,9-0,81 = 2,09 – різниця коефіцієнтів теплопередачі вікна з подвійним склінням та стіни, Вт/м²·К; 3,5 – збільшення коефіцієнтів теплопередачі вікна та балконних дверей за рахунок інфільтрації зовнішнього повітря, Вт/м²·К [5].

Результати розрахунку трансмісійних тепловтрат приміщення, зовнішні стіни якого утеплені шаром теплоізоляції, за методикою [8] наведені в табл. 4.

Таблиця 4.

Результати розрахунку трансмісійних тепловтрат через зовнішні конструкції, які утеплені шаром теплоізоляції

Орієнтація	Параметри зовнішньої конструкції						Різниця температур	Основні тепловитрати	Добавки			Тепловтрати, Вт
	Назва	Розмір, м	Кількість	Площа, м ²	Коефіцієнт теплопередачі, Вт/м ² ·К	положення, п			β ₁	β ₂	1+Σβ	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Північ	ЗС	9 x 2,8	1	25,2	0,25	1,0	41	258,3	0,1	0,05	1,15	297,04
	ВП	1,2 x ,4	3	5,04	2,9	1,0	41	599,25	0,1	0,05	1,15	689,14
	ДБ	0,8 x ,5	1	2	2,9	1,0	41	237,39	0,1	0,05	1,15	273,47
всього												1259,65

Втрата теплоти на нагрівання інфільтраційного повітря $Q_{\text{инф}}$, Вт, визначається по формулі :

$$Q_{\text{инф}} = 0,28G_{\text{oc}}A(t_{\text{в}} - t_{\text{н}})k, \quad (3)$$

де c – теплоємність повітря, кДж/(кг·°С); $c = 1,006$ кДж/(кг·°С); k – коефіцієнт обліку впливу зустрічного теплового потоку в повітропроникних конструкціях (для вікон і балконних дверей з потрійними роздільними плетіннями $k = 0,7$, для вікон і балконних дверей з подвійними роздільними плетіннями $k = 0,8$; для вікон і балконних дверей зі спареними плетіннями $k = 0,9$; для вікон і балконних дверей з одинарними плетіннями $k = 1$).

$$Q_{\text{инф}} = 0,28 \cdot 12,3 \cdot 1,006 \cdot 7,04 \cdot (20 + 21) 0,9 = 894,66 \text{ Вт}$$

Знайдемо тепловтрати через світлопрозорі конструкції

$$Q_{\text{ск}} = Q_{\text{тр}} + Q_{\text{инф}} = 689,14 + 273,47 + 894,66 = 1857,28 \text{ Вт.}$$

Тоді загальні тепловтрати складуть:

$$Q = Q_{\text{ск}} + Q_{\text{зс}} = 1857,28 + 297,045 = 2154,32 \text{ Вт.}$$

Як бачимо, запровадження утеплювального шару дозволяє скоротити тепловтрати без заміни вікон і балконних дверей на 705,5 Вт, тобто майже на 25 % .

Якщо прийняти клас А заповнення світлового прорізу по повітропроникності [9], то надходження інфільтраційного повітря G_o , кг/(м²·ч) через прозорі конструкції при цьому складе:

$$G_o = \frac{1}{R_{inf}} \left[\frac{\nabla p}{\nabla p_o} \right]^{\frac{2}{3}} = \frac{1}{0,77} \left[\frac{31}{10} \right]^{\frac{2}{3}} = 2,7 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \text{ год}} \quad (4)$$

$$Q_{инф} = 0,28 \cdot 2,7 \cdot 1,006 \cdot 7,04 \cdot (20 + 21) 0,9 = 195,27 \text{ Вт}$$

Однчасна заміна на склопакети з термічним опором 1,25 дозволяє знизити тепловтрати до 711,965 Вт. Дані розрахунку наведені в табл. 5.

Таблиця 5.

Результати розрахунку трансмісійних тепловтрат

Орієнтація	Параметри зовнішньої конструкції						Різниця температур	Основні тепловтрати	Добавки			Грансміс ійні тепло втрати Q _{тр} ,Вт
	Назва	Розмір,м	Кіль кість	Площа, м ²	Коефіцієнт теплопередачі, Вт/м ² ·К	положення, п			β ₁	β ₂	1+ Σβ	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Північ	ЗС	9 x 2,8	1	25,2	0,25	1,0	41	258,3	0,1	0,05	1,15	297,045
	ВП	1,2 x ,4	3	5,04	1,25	1,0	41	599,25	0,1	0,05	1,15	297,045
	ДБ	0,8 x ,5	1	2	1.25	1,0	41	102,5	0,1	0,05	1,15	117,875
всього												711,965

Тоді загальні тепловтрати складуть:

$$Q = Q_{тр} + Q_{инф} = 711,965 + 195,27 = 907,23 \text{ Вт}$$

Порівнюючи з тепловтратами звичайного приміщення будівлі, яка зводилась за вимогами [5, 6], отримуємо зменшення їх з 2859,78 Вт до 907,23Вт, тобто майже втричі.

За такого конструктивного рішення кількість інфільтраційного повітря становить

$$G = G_o A = 2,7 \cdot 7,04 = 19 \text{ кг/год.}$$

Об'ємна кількість відповідно $G / \rho_n = 13,57 \text{ м}^3/\text{год}$. За умови проживання у такій кімнаті 4 осіб надходження свіжого повітря становить 3,39 м³/год, що в 10 разів менше

за норму [11, 12]. Треба відзначити, що провідні спеціалісти в області опалення й вентиляції ще в 50 роках минулого століття звертали увагу на можливі негативні наслідки високої герметичності вікон. Зокрема: «... у будинках... з вентиляцією при природному спонуканні, герметизація вікон до рівня їх повітропроникності $6,5 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{мм вод.ст.})$ є шкідливою, тому що вона виключає необхідний вентиляційний повітрообмін у квартирах...» [12]. І це написано 60 років тому, коли про вікна із ПВХ ще й мови не було. У наш час герметизація сучасних віконних конструкцій збільшилась на порядок, до значення повітропроникності $0,3-0,6 \text{ м}^3/(\text{год} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{мм вод.ст.})$. І чи треба дивуватися появі проблем з вентиляцією?

Інше питання в цьому зв'язку – а скільки повітря потрібно подавати в житлові приміщення? І коли подавати? Якщо знову звернутися до історії, то ще в 70-х роках позаминулого сторіччя відомим ученим того часу І. Флавицьким називалися цифри $25-27 \text{ м}^3/\text{год}$ на людину. І за минулі роки ці цифри практично не змінилися. СНиП 41-01-2003 [10] установлює мінімальний повітрообмін $30 \text{ м}^3/\text{год}$ на людину. Аналогічні цифри приводяться й у стандарті АВОК [11]. Необхідно звернути увагу, що в цих документах величина необхідного повітрообміну погоджується з режимом експлуатації приміщень. Зокрема, кратність повітрообміну в житлових кімнатах встановлюється – у режимі обслуговування не менш $n = 1$, у неробочому режимі – $n = 0,2$.

Тобто, при наявності в приміщенні людей система вентиляції квартири повинна забезпечувати необхідний повітрообмін з розрахунку як мінімум $30 \text{ м}^3/\text{год}$ на людину, у неробочому режимі – черговий повітрообмін. Наприклад, для трикімнатної квартири в якій проживають чотири людини, система вентиляції повинна забезпечувати повітрообмін в режимі проектної експлуатації $120 \text{ м}^3/\text{год}$, при відсутності людей $40 \text{ м}^3/\text{год}$, але ніяк не повну герметичність приміщень.

У цьому зв'язку треба ще раз звернути увагу на те, що віконні блоки з різного роду системами «самовентиляції», «мікропровітрювання», кондиціонування» тощо з витратою повітря $2-4 \text{ м}^3/\text{год}$ не в змозі забезпечити навіть черговий повітрообмін.

Висновки

Оцінка впливу різних каналів втрати тепла на кінцевий результат показує внесок різних технологій у розв'язання завдання енергозбереження. Утеплення вікон до опору теплопередачі $1,0 \text{ м}^2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$ може знизити величину питомої втрати теплової енергії з $95 \text{ кВт год}/\text{м}^2$ до $79 \text{ кВт год}/\text{м}^2$. Додаткове утеплення стін до опору теплопередачі $5,0 \text{ м}^2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$ може знизити величину питомої втрати теплової енергії до $70 \text{ кВт год}/\text{м}^2$.

Тобто знизити величину питомої втрати теплової енергії до рівня вимог [14] одним тільки утепленням огорожувальних конструкцій не можливо.

При цілком технічно доступному переході до вікон з опором теплопередачі $1,0 \text{ м}^2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$ у комбінації з «вентиляцією по потребі», яка досить просто може бути реалізована як у нових, так і старих житлових будинках, з урахуванням вимог до стін на рівні $3,15 \text{ м}^2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$ можна буде знизити питомі втрати теплової енергії з 95 до 46 кВт год/м².

Проектні рішення по організації повітрообміну повинні враховувати фізіологічні потреби людини в свіжому повітрі за встановленими нормами. Якщо будинок достатньо старої конструкції, то вся система пасивної вентиляції розрахована на значний обсяг інфільтрації свіжого повітря через віконні прорізи, щілини в рамах і спеціальні повітрозбірники. Герметичні склопакети не забезпечують достатньої кількості свіжого повітря, при цьому в атмосфері приміщення накопичуються шкідливі речовини, які й стають причиною швидкої стомлюваності й сонливості людей, що перебувають у ньому. І навіть велика варіативність положення стулок для провітрювання не може розв'язати проблему. Пил у літню пору, холодне повітря взимку й міський шум протягом року не дозволяють постійно провітрювати приміщення. Та справа, зрештою, не в герметичних віконних конструкціях, а в поганій організації повітрообміну в приміщеннях з великою кількістю людей, коли діє лише пасивна система вентиляції, яка заснована на природній циркуляції повітря.

ЛІТЕРАТУРА

1. Стратегія енергозбереження в Україні : аналітично-довідкові матеріали / [за ред. В.А. Жовтянського, М.М. Кулика, Б.С. Стогнія]. – К.: Академперіодика, 2006. – Т. 1. – 510 с.
2. Долінський А.А. Енергозбереження та екологічні проблеми енергетики / А.А. Долінський // Вісник НАН України. – 2006. – №2. – С. 24-32.
3. Каплун В.В. Синтез сочетания источников и потребителей комплексных автономных систем / В.В. Каплун // Экотехнологии и ресурсосбережение.– 2008.– №2. – с.73–77.
4. Шерешевский И.А.. Конструирование гражданских зданий / И.А. Шерешевский – М.: Архитектура-С, 2000. – 176 с.

5. Справочник по теплоснабжению и вентиляции в гражданском строительстве / Р.В. Щекин, С.М. Кореневский, Г.Е. Бем, Г.Н. Цыганенко, М.А. Артюшенко. – К.: Госстройиздат УССР, 1962. – 1020 с.
6. Теплова ізоляція будівель. ДБН В.2.6-31 : 2006. Мінбуд України, К., 2006, ДП «Укрархбудінформ».
7. Ошейко В.О. Застосування енергозберігаючих технологій у житловому секторі міста / В.О. Ошейко // Міжнародна науково-практична конференція «Природно-ресурсний потенціал збалансованого (сталого) розвитку України» (19–20 квітня 2011 р.) Київ
8. Малявина Е.Г. Теплотери здания. Справочное пособие / Е.Г. Малявина. – М.: «АВОК-ПРЕСС», 2002. – 144 с.
9. Державний стандарт України. Конструкції будинків і споруд. Блоки віконні. Загальні технічні умови. ДСТУ Б В.2.6-23-2001 (ГОСТ 23166-99). – Введ. 2001–01–01. – К.: Видання офіційне. 2001.
10. Отопление, вентиляция и кондиционирование. СНиП 41-01-2003. – Введ. 2004–01–01. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 102 с. – (Межгосударственные стандарты).
11. Здания жилые и общественные. Нормы воздухообмена. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2002. – 16 с.
12. Ливчак И.Ф. Вентиляция многоэтажных жилых домов / И.Ф. Ливчак. – М.: Государственное издательство архитектуры и градостроительства, 1951. – 172 с.
13. About Passive House – What is a Passive House? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.passiv.de/.passivhausinstitut>
14. Енергетична стратегія України на період до 2030 року [Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 15 березня 2006 р. № 145-р]. – Офіц. вид. – Київ, 2006. – 129 с.

О.В. Ошейко, В.О. Ошейко

Влияние инфильтрации воздуха на микроклимат и теплозащитные свойства строительных светопрозрачных конструкций жилого помещения

В статье изложена актуальная проблема обеспечения воздухообмена в зданиях с современными светопрозрачными конструкциями, отмечены существующие недостатки ее решения, представлен анализ ресурсного потенциала и предложена методика оценки энергосбережения и повышение энергоэффективности строительных конструкций

Ключевые слова: *энергосбережение, светопрозрачные конструкции, качество воздушного среды.*

O.V. Osheyko, V.O. Osheyko

Influence of air infiltration on microclimate and heatcover properties of building translucent constructions of dwelling

The article concerns the actual issue of ventilation provision in buildings with modern translucent constructions, the existent lacks of its decision are marked, the analysis of resource potential is presented and the method of estimation of energy-savings and increase of energy-efficiency of building constructions is offered

Keywords: *energy-savings, translucent constructions, quality of air environment*