

**ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКА (144)**

---

УДК 620.91

**РОЗРАХУНОК ПОГОДИННОЇ ПРИРОДНОЇ КРАТНОСТІ ПОВІТРООБМІНУ В БАГАТОПОВЕРХОВИХ БУДІВЛЯХ В УМОВАХ МІНЛИВОСТІ ЗОВНІШНЬОГО ТА ВНУТРІШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА**

Д-р техн. наук В. І. Дешко, канд. техн. наук І. Ю. Білоус, магістр Г. О. Гетманчук

**CALCULATION OF THE CONVENIENT NATURE FREQUENCY OF POWER BOILER IN MANAGER BUILDINGS IN THE CONDITIONS OF EXTERNAL AND DOMESTIC ENVIRONMENTAL CHANGES**

D. Sc. (Tech.) V. Deshko, PhD (Tech.) I. Bilous, H. Hetmanchuk

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.184.2019.176404>

---

*Ураховуючи розвиток нормативної бази України щодо оцінки енергоефективності будівель, яка спрямована на зменшення часових інтервалів розрахунку, важливим є розрахунок рівня енергоефективності з урахуванням мінливості умов середовища. Це має безпосереднє відношення до повітрообміну як однієї з найбільш впливових складових енергобалансу будівлі. У статті розглянуто узагальнену методіку розрахунку природної складової кратності повітрообміну та розраховано повітрообмін приміщень восьмиповерхової будівлі.*

**Ключові слова:** *повітрообмін, швидкість та напрям вітру, поверховість, енергоефективність у будівлях.*

*Taking into account the development of the normative base of Ukraine regarding the assessment of energy efficiency of buildings, aimed at reducing the time intervals of calculation, it is important to calculate the level of energy efficiency taking into account the variability of environmental conditions. It should be noted that air exchange is one of the most influential components in the energy balance of the building. The article deals with the generalized method of calculating the natural component of the multiplicity of air exchange. The calculations used data file IWEC international climate typical year for the city of Kyiv. In this work the building is considered as a system and the air exchange of premises of the 8 storey building is calculated. The natural component of the multiplicity of air exchange is designed to support air permeability of the most typical characteristics of translucent structures. It is established that for modern double-glazed windows the hourly calculation of the natural component of the multiplicity of air exchange at a different location of representative premises showed that the value does not exceed  $0,25 \text{ h}^{-1}$ , triple glazing in wooden twisted weaving –  $0,4 \text{ h}^{-1}$ , double –  $0,65 \text{ h}^{-1}$ . It should be noted that in the first floors, the natural component of the multiplicity of air exchange has a positive value (air infiltration) on the upper floors, the negative value (air exfiltration), which must be taken into account when dynamically modeling the energy characteristics of the building.*

*In order to maintain the normative value of the multiplicity of air exchange during the presence of people in the room, it is necessary to use mechanical ventilation additionally. In further*

research, it is planned to clarify the conditions of air traffic flooding taking into account the landscape, taking into account mechanical ventilation and recovery.

**Keywords:** air exchange, speed and direction of wind, superficiality, energy efficiency in buildings.

**Вступ.** На державному рівні питанням підвищення рівня енергоефективності наявного будівельного фонду для України приділяється значна увага, діє ряд програм та стратегій розвитку від енергонезалежності до енергоефективності. Проблематикою наукового дослідження є удосконалення методів та засобів оцінки енергетичного стану будівель з урахуванням експлуатаційних факторів та мінливості умов середовища.

Зважаючи на поширену європейську практику застосування моделювання на стадії проектування та під час енергетичних аудитів будівель, такі наукові дослідження є цікавими з наукового та практичного погляду.

На енергетичні характеристики будівель впливають теплофізичні властивості оболонки, геометрія, теплонадходження від сонця та додаткові внутрішні параметри, опалення, повітрообмін та особливості експлуатації. З огляду на проведені дослідження [1, 2], найбільш впливовим параметром виступає кратність повітрообміну.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Відповідно до стандарту [4] щодо рекомендацій першочерговості впровадження енергозберігаючих заходів основна увага приділена заходам з термосанації оболонки будівлі. Після впровадження заходів з термосанації (перший етап) вентиляційна складова теплових навантажень у житлових і комерційних будівлях може становити від 25 до 50 % [4, 5]. Зменшення цієї складової є другим етапом упровадження енергозберігаючих заходів в Україні.

Проведені в останні роки дослідження значну увагу приділяють питанням повітрообміну [6–8]. Дослідження [9] показали, що найбільш впливовим

параметром на енергобаланс будівлі є кратність повітрообміну. Наприклад, витрати на інфільтрацію у Франції становлять 15 % [10]. У США дослідники приходять до висновку, що ця складова сягає 33 % [11].

У розрахунках базового рівня енергоспоживання ця величина приймається відповідно до нормативних значень [12], а її фактичне значення важко визначити експериментально, ураховуючи, що природна складова цього параметра має динамічну природу.

При розрахунку енергетичних характеристик будівель поширеними в Україні стаціонарними й квазістаціонарними методами є кліматичні характеристики для відповідного регіону/обласного центру, а саме: середньомісячні показники зовнішньої температури, сонячні теплонадходження на горизонтальну та вертикальні поверхні для квазістаціонарного методу та середні за опалювальний період – для методу градусо-днів [13]. Вплив швидкості та напрямку вітру в моделях цього кроку дискретизації розрахунків ураховується укрупнено через нормативне значення кратності повітрообміну.

У нормативних кліматологічних даних, що діють в Україні, наведено середньомісячні значення зовнішньої температури повітря та сонячних теплонадходжень на вертикальні та горизонтальну поверхні [14], що є достатнім при стаціонарному та квазістаціонарному методах розрахунку [13].

В умовах ефективного використання енергоносіїв (регулювання опалення) потреба в опаленні повинна розраховуватися з урахуванням погодинної зміни кліматичних характеристик, що неможливо реалізувати в стаціонарних моделях. В Україні все ширшого

застосування набувають динамічні моделі визначення енергетичних характеристик будівель, які потребують використання погодинних кліматичних даних, наприклад, кліматичних погодинних даних типового року файлу IWEC [15].

**Визначення мети та задачі дослідження.** Метою роботи є підвищення рівня ефективності управління використанням енергії на основі деталізації експлуатаційних показників кратності повітрообміну багатоповерхових будівель в умовах динамічної зміни характеристик середовища. Задачі дослідження:

- 1) навести узагальнену методику визначення розрахункового значення кратності повітрообміну;
- 2) розробити математичну модель локального визначення кратності повітрообміну в багатоповерхових будівлях;
- 3) провести порівняльний аналіз кратності повітрообміну для різних значень опору повітропроникності для кліматичних даних типового року IWEC [15] файлу.

#### **Основна частина дослідження**

**Об'єкт дослідження.** Для дослідження енергетичних характеристик будівлі було розглянуто групу репрезентативних кімнат південної та північної орієнтації для теплофізичних властивостей огорожень, характерних масовій забудові: 1) з двокамерними склопакетами в ПВХ-профілях; 2) потрійним заскленням у дерев'яних спарених плетіннях; 3) подвійним заскленням у дерев'яних спарених плетіннях (старі світлопрозорі конструкції). Будівля має 8 поверхів, де підтримується постійна температура повітря в приміщеннях 18 °С. На основі обраних репрезентативних приміщень (на 1, 3, 6-му

поверхах північної та південної орієнтації) проведено дослідження зміни кратності повітрообміну в багатоповерховій будівлі з різними типами повітропроникності вікон. Використані погодинні значення з файлу IWEC для кліматичних умов Києва містять температуру сухого термометра, відносну вологість, швидкість та напрям вітру, барометричний тиск, повну, пряму (виражену через direct normal) та розсіяну (diffuse horizontal) сонячну радіацію на горизонтальну поверхню тощо. Процедура отримання даних була основана на виборі типового року протягом 18-річної послідовності погодних даних.

#### **Методика визначення природної складової кратності повітрообміну в умовах мінливості зовнішнього середовища**

Зазвичай у математичні моделі для визначення енергопотребності будівель вентиляційна складова (повітрообмін) задається через значення кратності повітрообміну. Повітрообмін важко визначити експериментально. Навіть при однакових конструкціях вікон, з погляду повітропроникності, природно в приміщення потрапляє різна кількість повітря. Повітрообмін у приміщенні залежить від ряду факторів, як зовнішніх, так і внутрішніх. У роботі використано узагальнення методик визначення кратності повітрообміну, основаних на визначенні різниці тисків, наведених у дослідженнях [4, 16, 17], та підходи ASHRAE [18, 19]. Різниця тисків у будівлі створюється трьома різними механізмами: ефект стека (stack effect), тиск вітру, примусовий тиск вентилятора механічної вентиляції (рис. 1), – як їх сума:

$$\Delta P_{tot} = \Delta P_s + \Delta P_w + \Delta P_v = \Delta P_{inf} + \Delta P_v, \quad (1)$$

де  $\Delta P_{tot}$  – загальна різниця тисків, Па;

$\Delta P_s$  – різниця тисків від ефекту стека, Па;

$\Delta P_w$  – різниця тиску від вітру, Па;

$\Delta P_v$  – різниця тисків від примусової вентиляції, Па;

$\Delta P_{inf}$  – інфільтраційна різниця тисків, Па.

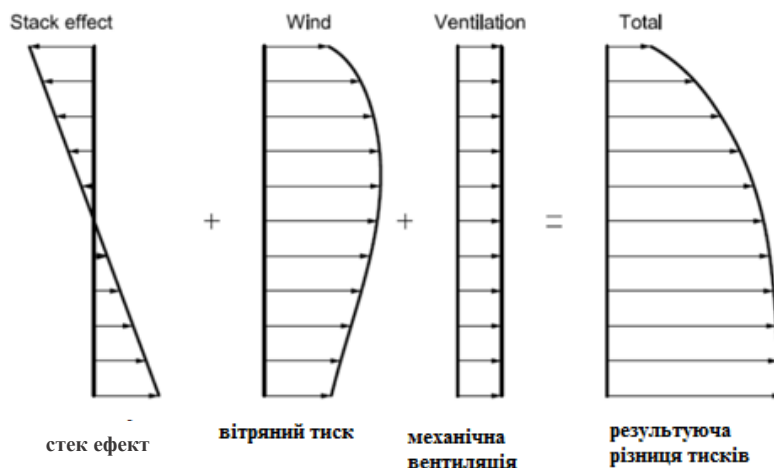


Рис. 1. Приклад підсумування профілів різниці тиску [17]

Ефект стека також називають ефектом плавучості, що створюється різницею густин між теплим і холодним повітрям. Зниження тиску повітря з висотою визначається за формулою

$$\Delta P_s = P_e(z) - P_i(z) = z(\rho_e - \rho_i)g, \quad (2)$$

де  $z$  – висота від опорної точки, м;

$\rho_e, \rho_i$  – густина зовнішнього та внутрішнього повітря,  $\text{кг/м}^3$ ;

$g$  – прискорення вільного падіння,  $\text{м/с}^2$ .

На рис. 2 висота характеризує нейтральний рівень тиску (NPL), при якому внутрішній та зовнішній тиски однакові, зазвичай цей рівень міститься на середньому поверсі будівлі.

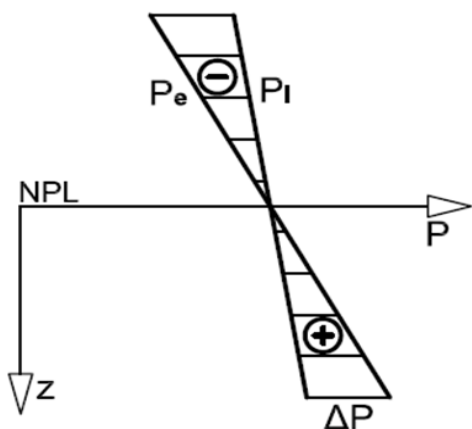


Рис. 2. Величина різниці тисків від рівня нейтрального тиску [17]

Від рівня нейтральних тисків у бік першого поверху різниця тисків додатна, у бік останнього поверху – від’ємна. Припустивши, що повітря – це ідеальний газ, формула (2) набуває вигляду

$$\Delta P_s = 3456 \cdot z \left( \frac{1}{T_e} - \frac{1}{T_i} \right), \quad (3)$$

де  $T_e, T_i$  – температура зовнішнього та внутрішнього повітря, відповідно К.

Вітряний тиск створюється, коли потік повітря потрапляє на перешкоду. Величина вітряного тиску залежить від швидкості вітру та форми перешкоди (навітряний, підвітряний бік тощо).

У більшості програмних продуктів для моделювання тиску вітру використовується така рівність [16–18, 4]:

$$\Delta P_w = \frac{\rho U_{met}^2}{2} C_h C_p(\theta), \quad (4)$$

де  $\Delta P_w$  – вітряний перепад тиску, Па;

$\rho$  – густина навколишнього середовища,  $\text{кг/м}^3$ ;

$U_{met}$  – швидкість вітру за даними найближчої метеостанції, м/с;

$C_h$  – коефіцієнт тиску вітру, що враховує поверховість:

$$C_h = \frac{U_n^2}{U_{met}^2} = A_0^2 \left( \frac{H}{H_{ref}} \right)^{2a}, \quad (5)$$

$U_n$  – швидкість вітру в найвищій точці об'єкта, м/с;

$A_0$  – коефіцієнт, що враховує укриття від вітру для певної місцевості (the wind shelter coefficient) [17];

$H$  – висота розглянутого поверху будівлі від рівня землі, м;

$H_{ref}$  – висота, на якій метеостанція міряє швидкість вітру, м;

$a$  – експоненціальний коефіцієнт, що враховує укриття від вітру для цієї місцевості [17].

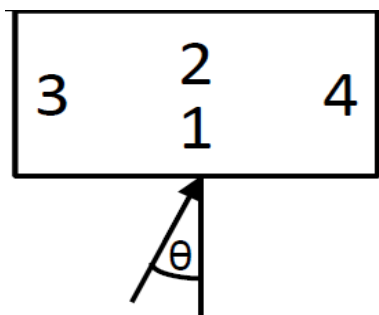
Сама особливість напрямку вітру врахована коефіцієнтом  $C_p$ . Коефіцієнт вітряного тиску для певного кута визначається за формулою

$$C_p(\theta) = \frac{1}{2} \{ [C_p(0^\circ) + C_p(180^\circ)] \cdot (\cos^2(\theta))^{1/4} + [C_p(0^\circ) - C_p(180^\circ)] \cdot (\cos^2(\theta))^{3/4} + [C_p(90^\circ) + C_p(270^\circ)] \cdot (\sin^2(\theta))^2 + [C_p(90^\circ) - C_p(270^\circ)] \cdot (\sin^2(\theta)) \} \quad (6)$$

де  $C_p(\theta)$  – коефіцієнт тиску вітру,

$\theta$  – величина кута вітру відносно нормалі, °.

На рис. 3 зображено визначення величини кута відносно нормалі та обчислено значення вітряних коефіцієнтів для різних орієнтацій залежно від напрямку вітру.



Розташування	Кут набігання вітру на поверхню відносно нормалі ( $\theta$ )							
	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
поверхня 1	0.25	0.06	-0.35	-0.6	-0.5	-0.6	-0.35	0.06
поверхня 2	-0.5	-0.6	-0.35	0.06	0.25	0.06	-0.35	-0.6
поверхня 3	-0.6	0.2	0.4	0.2	-0.6	-0.6	-0.3	-0.6
поверхня 4	-0.6	-0.6	-0.3	-0.6	-0.6	0.2	0.4	0.2

Рис. 3. Визначення кута  $\theta$  та розраховане значення коефіцієнта тиску вітру –  $C_p(\theta)$  для всіх огорожень [17]

Отже, кількість повітря, що надходить у кімнату через нещільність за прийнятих умов відсутності механічної вентиляції, визначається таким співвідношенням:

$$G_{inf} = C(\Delta P_{inf})^p$$

$$\text{або } G_{inf} = \frac{\Delta P_{inf}^p}{R_{нов.прон}} F_v \quad (7)$$

де  $G_{inf}$  – кількість повітря, що надходить у приміщення через нещільності, кг/год;

$C, p$  – даний коефіцієнт та показник степеня залежить від призначення будівлі [4, 16];

$R_{нов.прон}$  – опір повітропроникності вікна, (м<sup>2</sup>·год·Па<sup>2/3</sup>)/кг [20];

$F_v$  – площа вікна, м<sup>2</sup>.

Кратність повітрообміну в приміщенні як характеристика вузла вентиляції у математичних моделях визначається за таким співвідношенням [20]:

$$n = \frac{G_{\text{inf}}}{\rho V}, \quad (8)$$

де  $V$  – об'єм приміщення,  $\text{м}^3$ ;

$n$  – кратність повітрообміну,  $\text{год}^{-1}$ .

Наведена методика дає змогу враховувати потоки інфільтрації та

ексфільтрації повітря з/в зону кімнати (рис. 4, б), що суттєво впливає на енергетичні характеристики.

**Розрахунок погодинної природної кратності повітрообміну відповідно до кліматичних даних IWEC типового року**

У кліматичному файлі типового року IWEC [15] наведено погодинні дані швидкості та напрямку вітру. Напрямок вітру заданий у градусах. На рис. 4, а наведено особливість визначення напрямку вітру відповідно до кута.

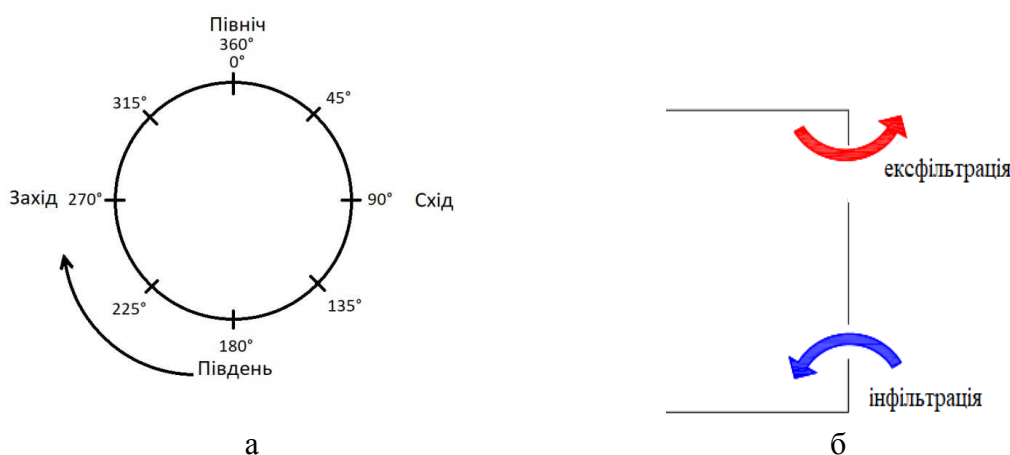


Рис. 4. Визначення напрямку вітру, заданого кутом відповідно до файлу типового року IWEC, (а) та механізм повітрообміну в багатоповерховій будівлі (б)

За наведеною вище методикою було визначено зміну різниці тисків від ефекту стека (рис. 5), тиску вітру (рис. 6) та загальну різницю тисків залежно від зміни таких параметрів, як температура, напрям вітру та швидкість вітру. Дані репрезентативних днів, що були необхідні для розрахунку, взяті з кліматичного IWEC файлу типового року для Києва [15].

На рис. 5 наведено графік профілів зміни тисків по висоті від ефекту стека залежно від зміни температури навколишнього середовища. Як наведено в методиці, це явище пов'язане з різницею густин між теплим і холодним повітрям і не залежить від орієнтації приміщення.

У роботі досліджено зміни різниці тиску по висоті для різної швидкості й напрямку вітру та їх вплив на підвітряні й навітряні огороження. На рис. 6 подано відповідні графіки профілів зміни тисків від вітру на південному боці будівлі залежно від поверху будівлі та напрямку вітру. Репрезентативними були обрані дні, у яких швидкість вітру становила 3 м/с (типова швидкість вітру для умов України [14]), а температура зовнішнього повітря –  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$  (середня типова температура зовнішнього повітря для грудня в Києві [21]). З графіків видно, що величина зміни тиску від вітру зростає з висотою. З навітряного боку будівлі величина вітряного тиску є додатною, а з підвітряного – від'ємною.

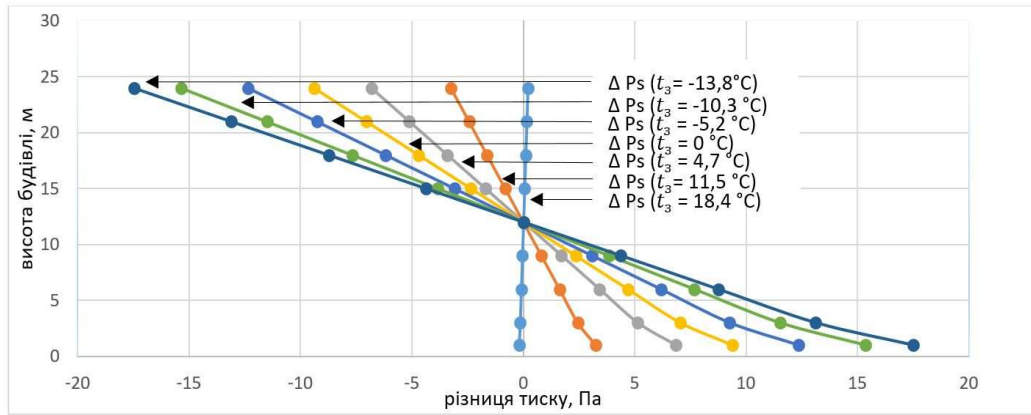


Рис. 5. Зміна тиску від ефекту стека залежно від зміни температури повітря навколишнього середовища

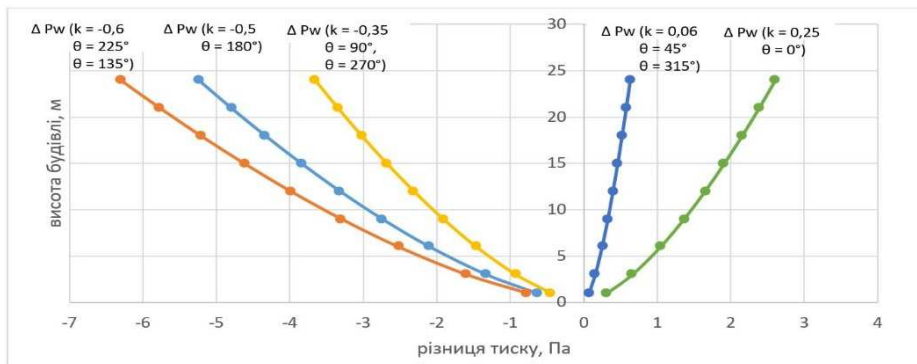


Рис. 6. Зміна тиску від вітру залежно від зміни напрямку вітру на південному боці будівлі

На рис. 7 наведено графік профілів зміни тисків від вітру на північному та південному боках залежно від зміни швидкості вітру для типових напрямів – північного (рис. 7) та північно-західного. Температура зовнішнього повітря в обрані

для аналізу дні становить  $-3^{\circ}\text{C}$ . Вітер зі швидкістю більше  $8\text{ м/с}$  характерний для північно-західного напрямку. З аналізу випливає, що різниця тиску вітру збільшується зі зростанням швидкості вітру.

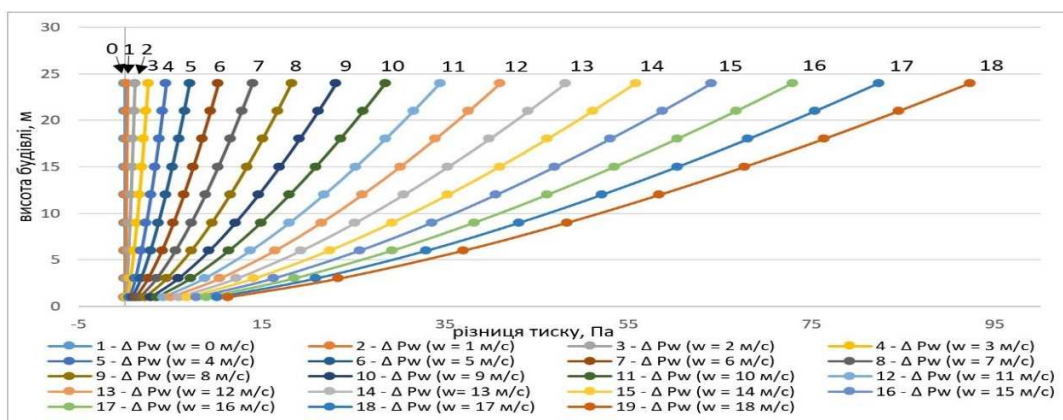


Рис. 7. Зміна тиску вітру залежно від зміни швидкості вітру при північному напрямі вітру на північному боці будівлі



У роботі досліджено природну складову повітрообміну, що визначається через суму різниці тисків від ефекту стека та вітряного ефекту.

На рис. 8 наведено змінну кратності повітрообміну для різного опору повітропроникності світлопрозорих огорожень.

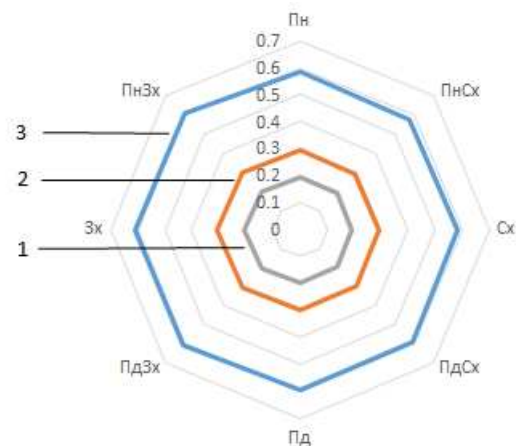
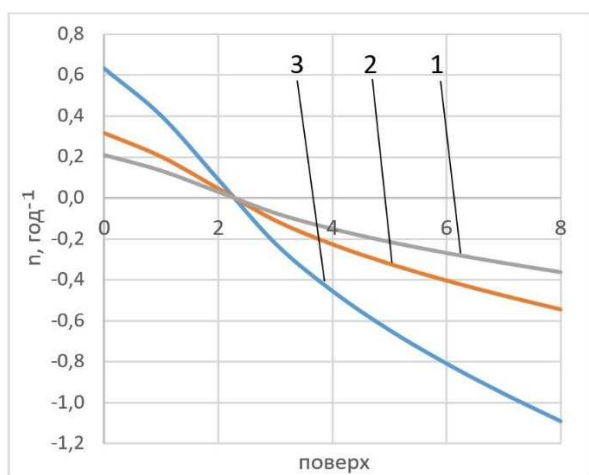


Рис. 8. Середня за опалувальний період природна кратність повітрообміну для приміщень першого поверху різної орієнтації та повітропроникності огорожень:

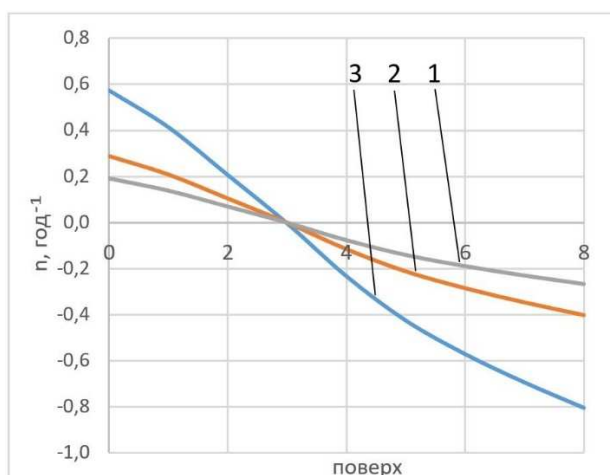
1 – двокамерний металопластиковий склопакет з ПВХ профілем; 2 – потрійне засклення в дерев'яних спарених плетіннях; 3 – подвійне засклення

З рис. 8 видно, що природна кратність повітрообміну для приміщень ПнСх орієнтації дещо менша, що пов'язано з напрямом вітру, різниця більш помітна для вікон з меншим опором повітропроникності. У середньому природна величина кратності повітрообміну становить біля  $0,25 \text{ год}^{-1}$  – для металопластикових двокамерних склопакетів,  $0,4 \text{ год}^{-1}$  – потрійне засклення в дерев'яних плетіннях,  $0,65 \text{ год}^{-1}$  – подвійне засклення. З аналізу випливає, що кратність повітрообміну удвічі більша для дерев'яних вікон. Ця величина фактично може бути більша для старих вікон з дерев'яними рамами, які збільшили повітропроникність у процесі експлуатації.

Як згадувалося вище, розглянута методика дає змогу враховувати як інфільтраційні, так і ексфільтраційні природні потоки повітря в будівлі. На рис. 9 наведено приклад зміни кратності повітрообміну для приміщень північної (Пн) орієнтації розглянутої будівлі для різних значень коефіцієнтів повітропроникності. Для періоду міжсезоння кратність повітрообміну дещо зменшується порівняно з холодним періодом, що пояснюється зменшенням різниці температур між внутрішнім та зовнішнім середовищем.



а



б

Рис. 9. Середня кратність повітрообміну репрезентативних приміщень Пн орієнтації для різних типів віконних конструкцій для січня (а) та березня (б)



На першому поверсі спостерігається явище інфільтрації (приплив свіжого повітря природно через нещільності у віконних конструкціях), на середньому поверсі по всіх місяцях кратність у середньому близька до нуля, що пов'язано зі NPL будівлі (ефект стека), на останніх поверхах спостерігається ексфільтрація, якій відповідають від'ємні значення кратності. З огляду на баланс кратності природного повітрообміну розглянутої восьмиповерхової будівлі, кількість інфільтрованого та ексфільтрованого повітря однакова, тобто для розглянутого періоду сума кратностей повітрообміну дорівнює нулю.

У роботі проведено погодинний розрахунок кратності повітрообміну протягом опалювального сезону для восьмиповерхової будівлі. На рис. 10 наведено погодинну зміну кратності повітрообміну на прикладі приміщень першого поверху Пн орієнтації.

З рис. 10 випливає, що вікна з покращеними теплофізичними характеристиками менш чутливі до коливань параметрів зовнішнього середовища. Загалом діапазон зміни природної кратності повітрообміну  $0 \dots 0,25 \text{ год}^{-1}$  для двокамерних склопакетів з ПВХ профілем,  $0 \dots 0,5 \text{ год}^{-1}$  – для вікон з потрійним заскленням у дерев'яних плетіннях,  $0 \dots 1 \text{ год}^{-1}$  – для подвійного засклення.

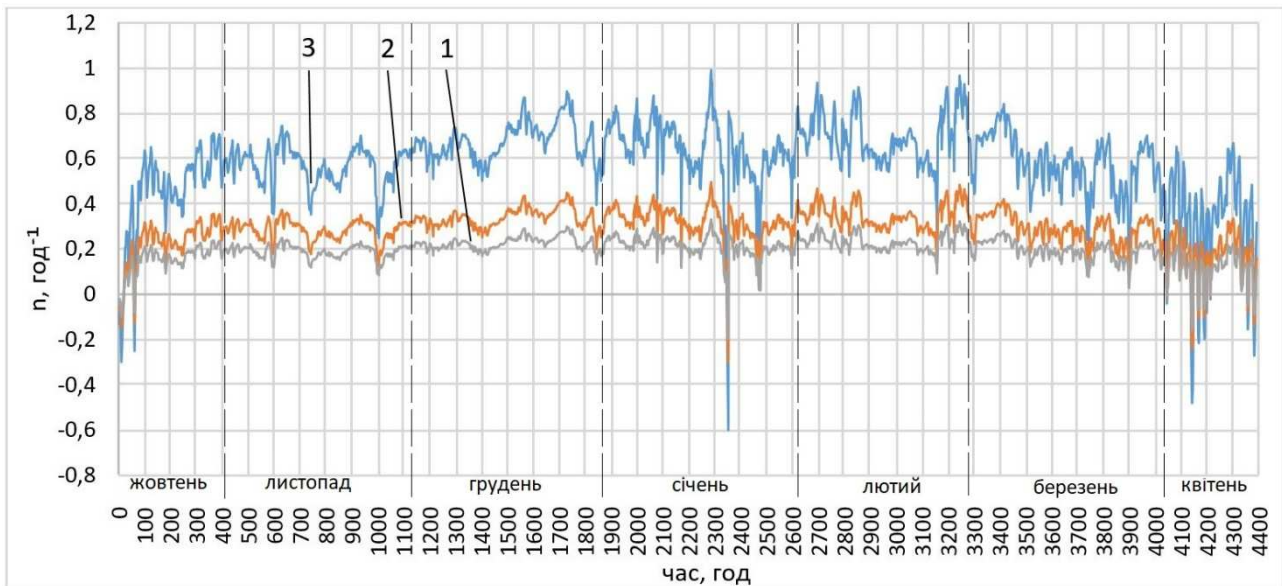


Рис. 10. Погодинна зміна природної кратності повітрообміну для приміщення першого поверху Пн орієнтації

**Висновки.** У роботі розглянуто літературні джерела та підходи до оцінки природного повітрообміну в будівлі з урахуванням сукупної мінливості ряду зовнішніх та внутрішніх факторів. Запропоновано узагальнену методику визначення природної кратності повітрообміну. У розрахунках використано дані міжнародного кліматичного файлу

IWEC типового року для Києва [15]. Природна складова кратності повітрообміну розрахована для опору повітропроникності найбільш типових характеристик світлопрозорих конструкцій, а саме: двокамерний склопакет з ПВХ профілем, потрійне та подвійне засклення в дерев'яних спарених плетіннях. Розрахунок проводився для репрезентативних

приміщень восьмиповерхової будівлі, що мають одне вікно різної орієнтації.

Для сучасних склопакетів погодинний розрахунок природної складової кратності повітрообміну при різному розташуванні репрезентативних приміщень показав, що значення не перевищує  $0,25 \text{ год}^{-1}$ , потрібне засклення в дерев'яних спарених плетіннях –  $0,4 \text{ год}^{-1}$ , подвійне –  $0,65 \text{ год}^{-1}$ . Потрібно відмітити, що на перших поверхах природна складова кратності повітрообміну має додатне значення (інфільтрація повітря) на останніх поверхах – від'ємне

значення (ексфільтрація повітря), що потрібно враховувати при динамічному моделюванні енергетичних характеристик будівлі. Для підтримання нормативного значення кратності повітрообміну при перебуванні людей у приміщенні потрібно додатково використовувати механічну вентиляцією.

У подальших дослідженнях заплановано уточнення умов обтікання будівлі повітрям з урахуванням ландшафту, механічної вентиляції та рекуперації.

### Список використаних джерел

1. Maslesa I., Jensen P., Birkved M. Indicators for quantifying Environmental Building Performance: A systematic literature review. *Journal of building engineering*. 2018. Vol. 19. P. 552-560.
2. Bilous I., Deshko V., Sukhodub I. O. Building inside air temperature parametric study. *Magazine of Civil Engineering*. 2016. Vol. 8. P. 65–75.
3. ДСТУ-Н Б В.3.2-3:2014. Настанова з виконання термомодернізації житлових будинків. [Чинний від 2015-10-01]. Київ: Мінрегіон України, 2015. 40 с.
4. Mechouet A., Mouhib T., Balhamri A., Ouali E. M. Evaluating the impact of air infiltrations on the thermal and energy performances for different types of dwellings in casablanca city. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development (IJMPERD)*. 2018. Vol. 8. P. 793–800.
5. Younes C., AbiShihid C., Bitsuamlak G. Air infiltration through building envelopes: A review. *Journal of Building Physics*. 2011. Vol. 35-3, P. 267–302.
6. Kalamees T. Air tightness and air leakages of new lightweight single-family detached houses in Estonia. *Building and Environment*. 2007. Vol. 42. P. 2369–2377.
7. Jokisalo J., Kurnitski J., Korpi M., Kalamees T., Vinha J. Building leakage, infiltration, and energy performance analyses for finnish detached houses. *Building and Environment*. 2009. Vol. 44. P. 377–387.
8. Chen S., Levine M., Li H., Yowargana P., Xie L. Measured air tightness performance of residential buildings in North China and its influence on district space heating energy use. *Energy and Buildings*. 2012. Vol. 51. P. 157–164.
9. Bilous I., Deshko V., Sukhodub I. Parametric analysis of external and internal factors influence on building energy performance using non-linear multivariate regression models. *Journal of building engineering*. 2018. Vol. 20. P. 327–336.
10. Leprince V., Lyon C. Les rencontres de l'Arcad, Etanchéité à l'air des enveloppes. 2011. Vol. 20.
11. Emmerich S., Persily A., Dowell T. Impact of infiltration on heating and cooling loads in US office buildings. *Proceedings of the 26th IEA Conference of the Air Infiltration and Ventilation Center*. 2005.
12. ДСТУ Б А.2.2-12:2015. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому

водопостачанні [Уведений вперше; чинний від 2015.01.01]. Київ: Мінрегіонбуд України, 2015. 140 с.

13. Bilous I., Deshko V. Mathematical models for determination of specific energy need for heating and cooling of the administrative building. *International Journal of Engineering & Technology*. 2018. Vol. 7 (4.3). P. 325–330.

14. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010.Будівельна кліматологія. Київ, 2011. 127 с.

15. Міжнародний кліматичний файл погоди IWEC для типового року. URL: [https://energyplus.net/weather-location/europe\\_wmo\\_region\\_6/UKR//UKR\\_Kiev.333450\\_IWEC](https://energyplus.net/weather-location/europe_wmo_region_6/UKR//UKR_Kiev.333450_IWEC).

16. Biler A., Tavit A., Su Y., Kha N. A Review of Performance Specifications and Studies of Trickle Vent. *Buildings*. 2018. Vol. 8. P. 152–183.

17. BERGE A. Analysis of Methods to Calculate Air Infiltration for Use in Energy Calculations. Sweden, 2011. 98 p.

18. ASHRAE Standard 62.2-2003 Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality in Low-Rise Residential Buildings.

19. ASHRAE Fundamentals Handbook. 1997. P. 85

20. ДСТУ Б В.2.2-19:2007. Метод визначення повітропроникності огорожувальних конструкцій в натурних умовах. Київ: Укрархбудінформ, 2008. 20 с.

21. ДСТУ Б А.2.2-12:2015. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні [Уведений вперше; чинний від 2015.01.01]. Київ: Мінрегіонбуд України, 2016. 205 с.

---

Дешко Валерій Іванович, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри теплотехніки та енергозбереження КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Білоус Інна Юріївна, канд. техн. наук, асистент кафедри теплотехніки та енергозбереження КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Гетманчук Ганна Олександрівна, магістр кафедри теплотехніки та енергозбереження КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Deshko Valerii Ivanovych, D. Sc. (Tech), Professor, Head of Department of Heat Engineering and Energy Saving NTUU “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”. E-mail: te@kpi.ua, ORCID: 0000-0002-8218-3933, Scopus Author ID: 6506189670.

Bilous Inna Yuriiivna, PhD (Tech.), Assistant lecturer, Department of Heat Engineering and Energy Saving NTUU “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” (Kyiv, Ukraine). E-mail: biloys\_inna@ukr.net, tel.:+38 (068)-015-15-63, ORCID: 0000-0002-6640-103X, Scopus Author ID: 57194104035. *Researcher ID*: J-7070-2017.

Hetmanchuk Hanna, master, Department of Heat Engineering and Energy Saving NTUU “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” (Kyiv, Ukraine). E-mail: hetmanchuk.anna@gmail.com, ORCID: 0000-0003-1655-8642.

Статтю прийнято 12.03.2019 р.