

УДК 697.7

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.1/33>**Пуховий І.І.**

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Назарова І.О.**

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## БЕЗПОСЕРЕДНЄ ВИКОРИСТАННЯ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ОПАЛЕННЯ БУФЕРНИХ ЗОН БУДІВЕЛЬ

У роботі розглядається альтернатива тепловим насосам – безпосереднє використання енергії природних і техногенних вод для підігріву повітря в буферних зонах будівель. Метою роботи є визначення впливу конструктивних, таких як площа огорожі будинку без буферної зони і площа огорожі буферної зони, та експлуатаційних характеристик будівель на температурні й енергетичні характеристики будівель з опаленням буферної зони та на витрати низькопотенційної енергії в буферній зоні. Для розрахунку ефективності системи отримана залежність, що враховує частку огорож із буферними зонами й витрату енергії на інтенсифікацію теплообміну в теплопередаючих пристроях, розташованих у буферній зоні або поза нею, і використовують теплоту низького потенціалу. Установлені залежності середньої температури в буферній зоні від відношення коефіцієнта теплопередачі огорожі буферної зони до коефіцієнта теплопередачі житлової зони, від відношення площі огорожі будинку без буферної зони до площі огорожі буферної зони, від температури атмосфери. Аналітичним шляхом отримані залежності для визначення витрати низькопотенційної енергії й максимальної температури навколишнього середовища, вище якої система низькотемпературного опалення, що розглядається, не може працювати при різних температурах теплоносія. Установлено, що безпосереднє використання теплоту низького потенціалу в буферних зонах будівель є альтернативою використанню теплових насосів, які мають низьку ефективність узижку на природній теплоті. Економія традиційної енергії залежить від наявності буферних зон на різних фасадах будівлі та на піддаховому просторі. Технічно можлива економія традиційної енергії у 2–3 рази. Для розрахунку ефективності системи отримана залежність, що враховує частку огорож із буферними зонами та витрату енергії на інтенсифікацію теплообміну в теплопередаючих пристроях, розташованих у буферній зоні або поза нею, і використовують теплоту низького потенціалу. Система опалення, що розглядається, рекомендується для регіонів з холодним кліматом, де велика кількість морозних днів, а в умовах помірнього клімату – для запобігання піковим навантаженням, що особливо важливо при теплонасосному опаленні житлової зони.

**Ключові слова:** системи опалення, використання теплоти замерзання води, буферна зона будівель, низькотемпературна система опалення, низькотемпературна енергія.

**Постановка проблеми.** Відновлювані джерела енергії заощаджують традиційне паливо та зменшують викиди в атмосферу парникових газів. У зимовий період крім сонячної енергії для опалення будівель можна використовувати ґрунтові та поверхневі води з температурою 1–9°C. У міських умовах і в промислових районах є технологічні води з температурою до 20–30°C. Зараз енергія таких вод використовується в теплових насосах (далі – ТН), які є досить дорогими й доступними для використання в розвинених країнах (ціна 1 кВт теплової енергії в ТН становить 300–800 USD).

У роботі розглядається альтернатива тепловим насосам – безпосереднє використання енергії

природних і техногенних вод для підігріву повітря в буферних зонах будівель, де температура нижче 0°C.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Спочатку в Канаді й в Україні (Кривий Ріг), а потім і в Росії стали використовувати теплоту замерзання води для підігріву повітря в шахтах і копальнях [1, с. 26].

Нами отримано авторське свідоцтво на винахід системи опалення з використанням теплоти замерзання води в буферній зоні будівель [2, с. 1]. Буферними зонами (далі – БЗ) будівель називають простір між стіною будівлі з великим термічним опором, що утворює житлову зону (далі – ЖЗ), де внутрішня температура близько  $t_D=20^\circ\text{C}$ , і зовнішньою

огороженою будівлі (буферної зони), що стикається з атмосферою.

Як буде показано далі, узимку температура БЗ  $t_B$  менше  $t_D$  і може бути негативною (на 3–15°C вище за атмосферну  $t_A$ ).

Буферну зону будівель утворюють пасивні сонячні системи опалення (засклені лоджії, балкони, веранди, оранжереї), що примикають до основних огорож будівель. Уночі за відсутності Сонця там також може бути негативна температура, створюються умови для використання теплоти кристалізації води ( $r = 334$  кДж/кг), що дає змогу різко скоротити витрати води. Система опалення з використанням кристалізації води запатентована в 1986 році [2, с. 2], в основних аспектах досліджена в роботах [3–7]. У праці [3, с. 59] отримано аналітичним шляхом залежність для визначення середньої температури  $t_B$  в БЗ за відсутності опалення БЗ Сонцем або водою. Знання  $t_B$  необхідне для прийняття рішення про використання опалення БЗ та для розрахунків ефективності.

$$t_B = \frac{t_D + \varphi \omega t_A}{1 + \varphi \omega} \quad (1)$$

При  $t_A = 0$  °C  $t_B$  залежить виключно від  $\varphi$  – відношення коефіцієнта теплопередачі  $K_g$  огорожі БЗ до коефіцієнта теплопередачі житлової зони  $K_D$ . У формулі (1) є відношення площ поверхонь буферної та житлової зон, позначене через  $\omega$ . Зі збільшенням цього відношення температура в БЗ знижується.

У праці [3, с. 59] також знайдено коефіцієнт ефективності низькотемпературної системи опалення будівлі за умови, що всі огороження ЖЗ межують з БЗ (горищене приміщення також є БЗ). Однак така конструкція будівлі буває рідко, тому варто враховувати наявність буферних зон на фасадах. Зауважимо, що в міських квартирах між першим та останнім поверхом таких фасадів не більше двох.

У роботі [4, с. 51] проведено розрахунки ефективності запропонованої нами системи природної холодної води (далі – СПХВ) для різних кліматичних зон за середньомісячними температурами.

Низькопотенційна теплота не дає змоги мати великі різниці температур між водою (що кристалізується) і повітрям, яке нагрівається, тому варто застосовувати методи інтенсифікації теплообміну, які вимагають витрат цінної електричної та механічної енергії. У зв'язку з цим варто враховувати витрати первинного палива на отримання традиційної енергії. З'ясовано [5, с.52], що при електроопаленні ЖЗ та при використанні ТН з коефіці-

єнтом трансформації  $\varphi_{ТН}$  менше 2,5 (зима, повітряний ТН) годяться навіть високоенерговитратні методи інтенсифікації теплообміну, а в інших випадках (котел, грубка, ТН з  $\varphi_{ТН} > 2,5$ ) варто враховувати додаткову витрату первинного палива на електростанціях для інтенсифікації теплообміну.

Лід, що утворюється взимку в системах вентиляції та опалення, з успіхом можна використовувати влітку для холодопостачання [1, с. 26; 6, с. 32].

Для оцінки ефективності системи природної холодної води (далі – СПХВ) у роботі [3, с. 60] отримано коефіцієнт  $n_f$ , який показує, у скільки разів знижується витрата високопотенційної енергії в ЖЗ за рахунок опалення БЗ, що повністю оточує ЖЗ (ідеальний варіант). Цей коефіцієнт аналогічний за змістом з  $\varphi_{ТН}$ .

$$n_f = \frac{t_D - t_B}{t_D - t_B^0} \quad (2)$$

Тут  $t_D$ ,  $t_B$  і  $t_B^0$ , відповідно, є температури в ЖЗ та БЗ за відсутності опалення БЗ й у БЗ при опаленні БЗ низькопотенційною енергією. Величина  $t_B^0$  залежить від температурного потенціалу теплоносія БЗ. При негативній температурі  $t_B$  (нижче за мінус 7 °C) величина  $t_B^0$  залежно від теплообмінної поверхні охолоджувачів-кристалізаторів води дорівнюватиме мінус 3–5 °C. При використанні джерел (вода, повітря) вище 10 °C значення  $t_B^0$  може бути 5–10 °C. Розрахована величина  $n_f$  залежить від  $t_D$  і для  $t_D = 20$ –25 °C у діапазоні мінус 10–0 °C становить 1,15–2,4 при  $t_B^0 = -5$  °C. За умови  $t_D = 5$  °C (сховища),  $n_f = 2$ –6.

З урахуванням витрати енергії на інтенсифікацію теплообміну в БЗ [5, с. 47] коефіцієнт ефективності  $n_f$  варто замінити на  $n$ :

$$n = n_f \cdot \psi, \quad (3)$$

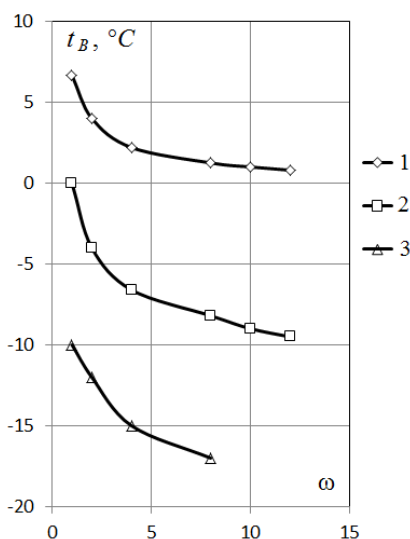
де  $\psi = 0,8$ –0,95.

**Формулювання цілей статті.** Метою роботи є визначення впливу конструктивних, таких як площа огорожі будинку без буферної зони та площа огорожі буферної зони, та експлуатаційних характеристик будівель на температурні й енергетичні характеристики будівель з опаленням буферної зони та на витрати низькопотенційної енергії в буферній зоні.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Конструктивною характеристикою БЗ є її розміри (ширина та висота), що впливають на площу огорож. При малій відстані між стінками ЖЗ та БЗ площа огорож БЗ дорівнює площі стін ЖЗ. З'ясуємо вплив ширини БЗ у багатоповерхових будинках на величину  $\omega$  і, відповідно,  $t_B$  при фіксованому значенні  $\varphi$ , що залежить від термічних

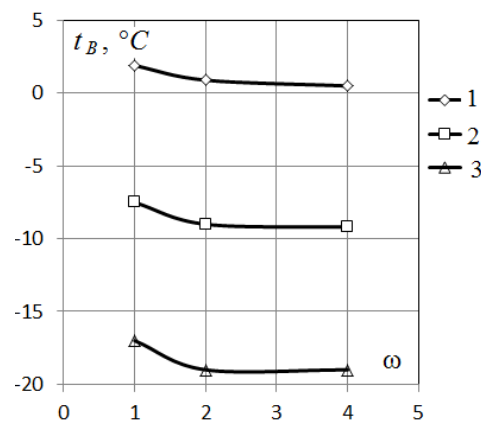
опорів. Площа  $F_B$  огорож БЗ завжди більша за  $F_D$ , а для випадку опалення традиційними джерелами лише однієї кімнати в будинку  $F_B$  будуть до 10–12 разів більшими за  $F_D$ .

За формулою (1) проведемо розрахунки  $t_B$ . Розраховані коефіцієнти тепловіддачі при вільній конвекції становлять від 3 до 6 Вт/(м<sup>2</sup>К) залежно від температур та умов, зумовлених конструкцією будівлі (вплив підлоги та стелі). За тихої погоди коефіцієнт тепловіддачі в атмосферу й у скло з боку БЗ приймаємо 6 Вт/(м<sup>2</sup>К), а за вітру – 13 Вт/(м<sup>2</sup>К), щоб урахувати інфільтрацію. Таким чином, при одинарному склінні (термічний опір теплопровідності скла  $R_\lambda = 0,004$  (м<sup>2</sup>К)/Вт) термічний опір огорож БЗ без інфільтрації при коефіцієнтах тепловіддачі буде менше 6 Вт/(м<sup>2</sup>К) (ми приймали 4 Вт/(м<sup>2</sup>К)). Для умови  $F_B > F_D$  розрахунки проведені при термічному опорі  $R_B = 0,5$  (м<sup>2</sup>К)/Вт (коефіцієнт теплопередачі 2 Вт/(м<sup>2</sup>К)), а результати наведено на рис. 1. Це відповідає безвітряній погоді або установці рам із подвійним склінням під час вітру. Термічний опір ЖЗ прийнято 1 (м<sup>2</sup>К)/Вт (стінка із цегли товщиною 0,5 м). У випадку  $R_\lambda = 2$  (м<sup>2</sup>К)/Вт (сосновий брус товщиною 0,2 м, повітряний прошарок і цегла товщиною 0,125 м) величина  $R_B = 0,2$  (м<sup>2</sup>К)/Вт (рис. 2). Зауважимо, що  $R = 0,2$  (м<sup>2</sup>К)/Вт відповідає одинарній скляній огорожі БЗ з інфільтрацією. При цьому величина  $\varphi = 10$ .



**Рис. 1.** Залежність температур у БЗ від відношення  $\omega = \frac{F_B}{F_D}$  при різних значеннях температури атмосфери: 1 –  $t_A = 0$  °С; 2 –  $t_A = -10$  °С; 3 –  $t_A = -20$  °С ( $\varphi = \frac{R_D}{R_B} = 1 / 0,5 = 2$ ).

Як видно з рис. 1 і 2,  $\omega$ , дуже сильно впливає на температуру в буферній зоні й при  $\omega > 8$  температура БЗ наближається до температури атмосфери. У випадку  $\varphi = 10$  при  $R_B = 0,2$  (м<sup>2</sup>К)/Вт навіть для  $\omega = 1$  за зовнішньої температури  $t_A = -10$  °С у БЗ



**Рис. 2.** Залежність температури в БЗ від відношення  $\omega = \frac{F_B}{F_D}$  при різних значеннях температури атмосфери: 1 –  $t_A = 0$  °С; 2 –  $t_A = -10$  °С; 3 –  $t_A = -20$  °С

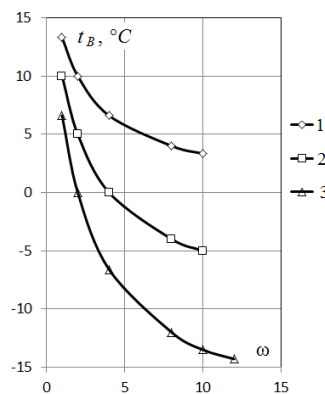
$$(\varphi = \frac{R_D}{R_B} = 2 / 0,2 = 10).$$

спостерігається негативна температура (–7,5 °С), а при  $\omega = 4$  вона стає (–9,2 °С).

Часто для економії енергії на опалення господарі обігрівають лише одну кімнату в будинку. Тому внутрішня перегородка стає огорожею ЖЗ, а капітальні огорожі приміщень, що не обігріваються, – огорожами БЗ (величина  $\omega < 1$ ). Приймаючи  $R_D = 0,5$  (м<sup>2</sup>К)/Вт (мінімальне значення термічного опору внутрішніх перегородок), провели розрахунки для  $R_B = 1$  (м<sup>2</sup>К)/Вт (цегляна стіна завтовшки 0,5 м) і  $R_B = 2$  (м<sup>2</sup>К)/Вт (описано вище).

На рис. 3 показані температури БЗ для  $\varphi = 0,5$ , а на рис. 4 – для  $\varphi = 0,25$  залежно від  $\omega$ .

При опаленні однієї кімнати в будинку (рис. 3 й 4) для досягнення умов застосування теплоти замерзання води при  $\varphi = 0,5$  необхідно, щоб значення  $\omega$  було більше 4–8.



**Рис. 3.** Залежність температури в БЗ будівель, у яких опалюються не всі кімнати, від відношення  $\omega = \frac{F_B}{F_D}$  при різних значеннях температури атмосфери:

$$1 - t_A = 0$$
 °С; 2 –  $t_A = -10$  °С; 3 –  $t_A = -20$  °С ( $\varphi = \frac{R_D}{R_B} = 0,5 / 1 = 0,5$ )

(будівля із цегли  $\delta=0,5$  м).

Проведені експерименти в БЗ (лоджії квартири) показали, що біля заклої поверхні температура нижче на 6–8 °С на висоті 2,2 м і на 3–4 °С на висоті 0,1 м від підлоги. Вимірювання проведено в темний час доби. Температура зростає з висотою та вище біля стелі на 6–8 °С. При  $t_A = -8$  °С в середині ширини БЗ температури на висотах 0,25 м і 2,2 м становили відповідно (-4,5°С) та 2 °С. У сонячну погоду різниця сягає 12°С. Експериментальні результати, середні за висотою та шириною з точністю до 15% збігаються з розрахунковими за формулою (1), що вказує на її адекватність [5, с. 47].

З'ясуємо вплив на ефективність СПХВ наявності БЗ біля різних огорож ЖЗ. Уведемо відношення площі  $F_D^B$  огорож житлової зони з БЗ до загальної площі  $F_D$  огорож ЖЗ:

$$\sigma = \frac{F_D^B}{F_D} \quad (4)$$

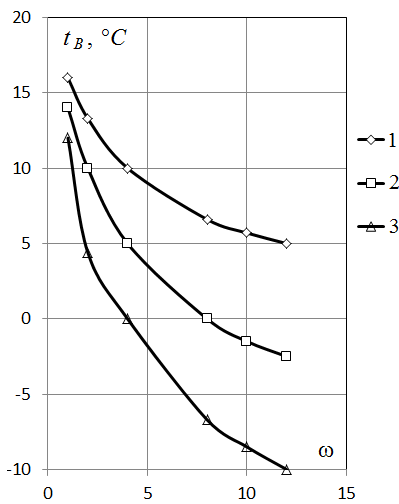


Рис. 4. Залежність температури в БЗ будівель, у яких опалюються не всі кімнати, від відношення  $\omega = \frac{F_D^B}{F_D}$  при різних значеннях температури атмосфери:

1 –  $t_A = 0$  °С; 2 –  $t_A = -10$  °С; 3 –  $t_A = -20$  °С ( $\varphi = \frac{R_D}{R_B} = 0,5 / 2 = 0,25$ )

(стіна із соснового бруса та цегли із зазором між ними)

В одноповерхових будівлях не враховуємо втрати теплоти через підлогу, а в багатоповерхових будинках вище за другий поверх вони відсутні. Влаштування БЗ у таких будинках на стінах без проблем дає змогу отримати  $\sigma = 1$ . У разі двоповерхової будівлі довжиною 12 м і шириною 6 м при розміщенні БЗ на одному фасаді та 2-х коротких з урахуванням горища  $\sigma = 0,74$ , а без нього  $\sigma = 0,5$ .

Позначимо індексом  $R$  теплоту, що передається через стіни ЖЗ і БЗ з відновлюваною енергією, а індексом  $TR$  – від традиційної енергії через огороження ЖЗ, що контактують з атмосферою. Для будівлі з  $\sigma < 1$  теплова потужність на опалення ЖЗ:

$$Q = \sigma Q_R^0 + (1 - \sigma) Q_{TR} \quad (5)$$

Огородження БЗ зменшує теплові втрати будівлі без опалення БЗ. Нами розраховано, що при термічному опорі теплопровідності стіни  $R_\lambda$  ЖЗ від 0,2 до 2 Вт/(м²К) та з огороженням БЗ з рам з одинарним склінням величина  $m$  знижується зі збільшенням  $R_\lambda$  і становить, відповідно, величину, що змінюється від 1,4 до 1 05.

З урахуванням (2), (3), (4) та (5) потужність традиційних джерел енергії в ЖЗ:

$$Q_D = Q_D^{TR} \left[ \frac{\sigma}{mn} + (1 - \sigma) \right] \quad (6)$$

де  $Q_{TR}$  – потужність теплових джерел у ЖЗ без наявності БЗ.

Розділивши обидві частини рівняння на  $Q_D^{TR}$ , отримаємо коефіцієнт зменшення витрати традиційної енергії в ЖЗ  $\mu$ , який дорівнює:

$$\mu = \left[ \frac{\sigma}{mn} + (1 - \sigma) \right] \quad (7)$$

Вплив  $m$  та  $\sigma$  передають вплив конструктивних характеристик будівлі, а  $n$  – вплив температур в атмосфері  $t_A$ , буферної зони  $t_B$  й у житловій зоні  $t_D$ . Величина  $\mu < 1$ , тому витрата традиційної енергії в ЖЗ при опаленні БЗ в  $\mu$  разів менша, ніж у будівлі без БЗ й опалення БЗ.

$$Q_D = Q_D^{TR} \cdot \mu \quad (8)$$

Прийнявши  $m=1,1$ , проведено розрахунки залежності від  $\sigma$  при різних  $n$ . Результати розрахунку показано на рис. 1. Якщо температура ЖЗ 5 °С, то ( $n=6$ ) при цьому можна зменшити витрати традиційної енергії (зниження  $Q_D$  у 2 рази) при  $n=2$  ( $t_A < -20$  °С та  $\sigma = 0,9$ ,  $\mu = 0,5$ ). Для збільшення  $n$ , якщо можливо, варто застосовувати технологічні теплові викиди, щоб підняти  $t_B^0$  й, відповідно, величину  $n$ . Такий варіант можливий для будівель, розташованих поряд із ТЕС (ТЕЦ), заводами та в разі наявності підприємства з великою кратністю вентиляції, коли викидається повітря з температурою 15–25 °С. Таке повітря може бути використане в герметичних БЗ, щоб воно не потрапляло в ЖЗ.

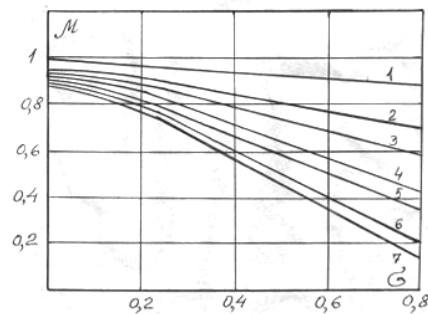


Рис. 5. Залежність коефіцієнта зменшення витрати традиційної енергії від  $\sigma$  і  $n$  при  $m = 1,1$ : 1 –  $n = 1$ ; 2 –  $n = 1,25$ ; 3 –  $n = 1,5$ ; 4 –  $n = 2$ ; 5 –  $n = 2,5$ ; 6 –  $n = 6$ ; 7 –  $n = 7$



Економія пального:

$$\Delta B = \frac{Q_{TR}}{Q_H^p \cdot t} (1 - \frac{1}{\eta}), \quad (9)$$

де  $B$  – витрата пального, кг/с;  $Q_{TR}$ , кВт;  $Q_H^p$ , кДж/кг.

Зауважимо, що СПХВ дає змогу не змінювати потужність традиційних джерел у ЖЗ при морозах. Піки теплоспоживання згладжуються опаленням БЗ. Стає також можливим використовувати взимку в будинку індивідуальні теплові насоси з  $\phi_{TH} > 2$  за наявності традиційної електричної проводки на 2,2–2,5 кВт. У невеликих котеджах і квартирах достатньо електричної потужності ТН до 1,5 кВт взимку з меншою витратою теплоти в ЖЗ за наявності СПХВ.

Розглянемо витрату низькопотенційної енергії для опалення БЗ. Теплові втрати  $Q_p^x$  (витрата теплоти на опалення) БЗ можна визначити з теплового балансу БЗ, у якому є теплові втрати  $Q_B$  через стінку БЗ з коефіцієнтом теплопередачі  $K$  і приплив теплоти в БЗ від стінки ЖЗ.

$$Q_R^x = Q_B - Q_{TR}, \quad (10)$$

$$Q_B = K_B F_B (t_B^0 - t_A), \quad a \quad Q_{TR} = K_D F_D (t_D - t_B^0). \quad (11)$$

Уводячи величини  $\phi$  і  $\omega$ , отримаємо:

$$Q_R^x = K_D F_D [(\phi\omega + 1)t_B^0 - \phi\omega t_A - t_D] \quad (12)$$

Коли  $Q_p^x = 0$ , система ПХВ не працює й не використовується теплота низького потенціалу, можна знайти максимальну температуру атмосфери, вище за яку СПХВ непрацездатна при заданій температурі  $t_B^0$  при опаленні БЗ.

$$t_A^{\max} = \frac{(\phi\omega + 1)t_B^0 - t_D}{\phi\omega}. \quad (13)$$

Якщо  $t_B^0 = 0^\circ\text{C}$ ,  $t_A^{\max} = \frac{-t_D}{\phi\omega}$ , а за  $\phi=2$ ,  $\omega=1$ , отримаємо  $t_A = -10^\circ\text{C}$ . При значенні  $t_B^0 = 5^\circ\text{C}$  (використанні джерела з температурою 10–20 °С) у разі  $\phi\omega=2,5$  система непрацездатна при температурах вище 0 °С.

При використанні води (охолодження або кристалізація) варто рекомендувати контактні теплообмінники з розпиленням води та при замерзанні – воду в бурульках [8, с. 120] на вертикальних поверхнях огорож із різних матеріалів, у т. ч.

льоду [9, с. 32; 10, с. 39]. В останньому випадку немає необхідності періодично видаляти лід.

**Висновки.** На підставі аналізу проведених досліджень безпосереднього використання низькотемпературних джерел енергії для опалення буферних зон будівель можна стверджувати таке.

1. Безпосереднє використання теплоти низького потенціалу в буферних зонах будівель є альтернативою використанню теплових насосів, які мають низьку ефективність узимку на природній теплоті.

2. Збільшення поверхні огорож буферної зони в порівнянні з поверхнею житлової зони призводить до значного зниження температури в ній і поряд зі збільшенням термічного опору огорожі житлової зони будівлі створює умови для використання теплоти низького потенціалу.

3. У будинку з декількома кімнатами при опаленні лише однієї з них площа огорожі ЖЗ менша за площу БЗ, а температура в БЗ знижується не так сильно залежно від збільшення поверхні БЗ завдяки значному термічному опору огорож будинку.

4. Економія традиційної енергії залежить від наявності буферних зон на різних фасадах будівлі й на піддаховому просторі. Технічно можлива економія традиційної енергії у 2–3 рази. Для розрахунку ефективності системи отримана залежність, що враховує частку огорож із буферними зонами та витрату енергії на інтенсифікацію теплообміну в теплопередаючих пристроях, розташованих у буферній зоні або поза й використовують теплоту низького потенціалу.

5. Аналітичним шляхом отримані залежності для визначення витрати низькопотенційної енергії й максимальної температури навколишнього середовища, вище якої система низькотемпературного опалення, що розглядається, не може працювати при різних температурах теплоносія.

6. Передусім система опалення, що розглядається, рекомендується для регіонів із холодним кліматом, де велика кількість морозних днів, а в умовах помірного клімату – для запобігання піковим навантаженням, що особливо важливо при теплонасосному опаленні житлової зони.

#### Список літератури:

1. Бобровников В.Н. Теплоснабжение шахт и рудников с использованием низкопотенциальных источников тепла (холода) при фазовых переходах воды. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 1999. № 4. С. 25–31.
2. Пуховой И.И. Система отопления Пухового И.И. Патент СССР № 1388665 А1; опубл. 15.04.1988. 3 с.
3. Пуховой И.И. Система отопления зданий без теплового насоса с использованием природной холодной воды. *Промышленная теплотехника*. 1992. Т. 14. № 1–3. С. 57–61.
4. Пуховой И.И. Пассивные солнечные системы отопления, использующие теплоту кристаллизации воды. *Промышленная теплотехника*. 1998. № 5. С. 47–55.

5. Пуховой И.И. Энергетические исследования охладителей – кристаллизаторов для систем отопления с использованием теплоты кристаллизации воды. *Промышленная теплотехника*. 2002. Т. 24. № 1. С. 45–48.
6. Пуховий І.І. Безпосереднє використання теплоти доквілля в системах тепло- і холодопостачання. *Техническая электродинамика*. 2003. С. 31–33.
7. Пуховой И.И. Сравнение систем отопления с непосредственным и теплонасосным использованием воды с потенциалом до 30 °С. *Проблемы машиностроения*. 2005. № 2. С. 23–27.
8. Пуховий І.І., Постоленко А.М. Диспергація потоку води при малих її витратах та формування бурульок на насадках з дроту. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2012. № 4. С. 119–123.
9. Пуховий І.І., Кривошеєв М.О. Течія та замерзання води на вертикальних поверхнях при зрошенні їх краплями від розпилення ударом. *Наукові вісті НТУУ «Київський політехнічний інститут»*. 2012. № 6. С. 29–35.
10. Пуховий І.І., Денисова А.О. Температурні та теплові характеристики утворення льоду на стінках буферної зони будівлі, що опалюється теплотою кристалізації води. *Строительство и технологическая безопасность* : сборник трудов. 2011. Вып. 40. С. 37–43.

### **Pukhovi I.I., Nazarova I.O. DIRECT USE OF LOW-TEMPERATURE ENERGY SOURCES FOR HEATING THE BUFFER ZONES OF BUILDINGS**

*This paper considers an alternative to heat pumps – the direct use of energy from natural and man-made waters to heat the air in the buffer zones of buildings. The aim of the work is to determine the impact of constructive, such as the area of the fence without a buffer zone and the area of the buffer zone, and the performance of buildings on the temperature and energy characteristics of buildings with buffer heating and low potential energy consumption in the buffer zone. To calculate the efficiency of the system, dependence is obtained that takes into account the share of fences with buffer zones and energy consumption for intensification of heat exchange in heat transfer devices located in the buffer zone or outside it and using low potential heat. The dependences of the average temperature in the buffer zone on the ratio of the heat transfer coefficient of the buffer zone fence to the heat transfer coefficient of the residential zone, the ratio of the area of the fence without a buffer zone to the area of the buffer zone fence, and the atmospheric temperature. The dependences for determining the consumption of low-potential energy and the maximum ambient temperature above which the low-temperature heating system under consideration cannot operate at different coolant temperatures are obtained analytically. It is established that the direct use of low-potential heat in the buffer zones of buildings is an alternative to the use of heat pumps, which have low efficiency in winter on natural heat. Saving traditional energy depends on the presence of buffer zones on different facades of the building and in the attic space. It is technically possible to save traditional energy by 2–3 times. To calculate the efficiency of the system, a dependence is obtained that takes into account the share of fences with buffer zones and energy consumption for intensification of heat exchange in heat transfer devices located in the buffer zone or outside and using low potential heat. The considered heating system is recommended for regions with cold climates, where a large number of frosty days, and in temperate climates – to prevent peak loads, which is especially important for heat pump heating of the living area.*

**Key words:** heating systems, use of freezing heat of water, buffer zone of buildings, low temperature heating system, low temperature energy.