

**ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ ВПРОВАДЖЕННЯ
ВИСОКОЕФЕКТИВНИХ ФАЗОПЕРЕХІДНИХ АКУМУЛЯТОРІВ ТЕПЛОТИ
В СИСТЕМУ ОПАЛЕННЯ ГРОМАДСЬКОЇ БУДІВЛІ**

Є. О. Антипов, кандидат технічних наук, доцент

А. В. Міщенко, кандидат технічних наук, доцент

О. В. Шеліманова, кандидат технічних наук, доцент

С. Є. Тарасенко, кандидат технічних наук, доцент

Національний університет біоресурсів і природокористування України

E-mail: ievgeniy_antypov@ukr.net

Анотація. З метою підвищення теплової інерційності будівлі та адаптування відпуску теплоти до потреб споживача (людини) і умов зовнішнього середовища досліджено вплив накопичувачів енергії на запас потужності системи опалення будівлі. Проведено аналіз різних способів акумулювання енергії, здійснено порівняльні характеристики накопичувачів теплоти на основі різних акумулюючих матеріалів. Виділено, як одні із найбільш перспективних, системи, що накопичують енергію за рахунок теплоти фазових переходів. Задля підвищення теплової інерційності роботи системи опалення, особливо в умовах її роботи в імпульсному режимі, та надійності процесу енергозабезпечення споживачів запропоновано та досліджено ефективність використання теплових накопичувачів, здійснено еколого-економічний аналіз впливу на довкілля впровадження вискоефективних фазоперехідних акумуляторів теплоти з покращеною теплопровідною структурою в систему опалення громадської будівлі. Сумарна теплопередача та теплові надходження розраховані за ДСТУ Б А.2.2-12:2015, де динамічні впливи враховано шляхом введення коефіцієнта використання надходжень для опалення (прийнято в дослідженні) та коефіцієнта використання втрат для охолодження. Вплив інерції у випадку переривчастого опалення чи його вимкнення враховано окремо. Встановлено, що використання акумулятора теплоти на основі фазоперехідних органічних сполук у системі опалення будівлі підвищує тривалість зниження температури приміщення на 12 % та тривалість його розігрівання на 8 %. Для оцінки екологічної прийнятності енергетичного виробництва використано показники, які враховують рівень викидів у повітря забруднюючих речовин та парникових газів. Показано, що впровадження акумуляторів теплоти в систему опалення будівлі в умовах її роботи в імпульсному режимі дозволяє знизити питомі витрати на 0,67 (грн/т)/м² в рік, а при роботі в тривалому режимі - 1,25 (грн/т)/м² в рік відповідно.

Ключові слова: акумулятор теплоти, еколого-економічний аналіз, черговий режим, система опалення, фазовий перехід

Актуальність. Будівлі – один з основних споживачів енергоресурсів у ряді країн світу та Європи зокрема. Винятком не є і Україна. Кліматичні умови в нашій державі характеризуються довгим опалювальним періодом, під час якого із загального обсягу споживаної енергії, що становить близько 43 % генерованої теплової енергії, 90 % - витрачається саме на покриття потреб опалення [1]. Оскільки більшість будівель в Україні відносяться до споруд масової забудови 80-тих років, при будівництві яких акцент робився на вартості будівництва з мінімальними капітальними затратами без урахування експлуатаційних витрат. Тому 80 % будівель, споруджених у той час, не відповідають сучасним вимогам з енергоефективності [2, 3]. Період, починаючи з 90-х років і нині, характеризується постійним ростом цін на енергоносії, який був спричинений світовою економічною та енергетичними кризами в різні роки. Відповіддю на ці виклики в світі стало підвищення вимог до енергетичної ефективності будівель та їх інженерних систем на національному рівні різних країн. Відповідно до європейських нормативних актів Directive 2010/31/EU та Directive 2012/27/EU, оновлених у 2018 та 2019 роках відповідно, країни Європейського Союзу повинні використовувати національні вимоги щодо енергоефективності. За останнє десятиліття в Україні декілька разів підвищували вимоги щодо мінімально встановленого рівня енергоефективності відповідно до встановлених методів їх досягнення [4, 5]. Так, з 01.09.2022 р. введено в дію нові, більш жорсткі вимоги по опору теплопередачі огорожувальних конструкцій будівель [2], що є необхідною але запізненою відповіддю на аналогічні тенденції в світі.

На відміну від національних для світових тенденцій розвитку будівель, зокрема з майже нульовим споживанням енергії, важливою стала комплексна оцінка та реалізація проектів з підвищення термічного опору огорожень, застосування енергоощадних режимів роботи системи опалення, нетрадиційних та поновлюваних джерел, оцінці екологічного впливу при їх експлуатації.

Зважаючи на ці принципово важливі критерії, проведення еколого-економічної оцінки є важливим завданням при проектуванні будівель та інженерних систем, а вивчення впливу на довкілля підвищення теплової інерційності роботи системи

опалення, особливо в умовах її роботи в імпульсному режимі, вимагає значної уваги при експлуатації та при термомодернізації для підвищення енергетичних рівнів як у низькоефективних, так і в енергетично ефективних будівлях. Зазначене в повній мірі відповідає положенням «Стратегії низьковуглецевого розвитку до 2050 р.», яка розроблена на виконання міжнародних зобов'язань України за пунктом 19 Статті 4 Паризької угоди, пунктом 35 Рішення 1/СР.21 Конференції Сторін Рамкової конвенції ООН про зміну клімату, а також на виконання розпоряджень Кабінету Міністрів України від 7 грудня 2016 р. № 932-р «Про схвалення Концепції реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2030 року» та від 28 березня 2018 р. № 244-р «Про затвердження плану пріоритетних дій Уряду на 2018 рік», та якою закладається перехід економіки України на модель низьковуглецевого розвитку.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Аналіз сучасних тенденцій, спрямованих на децентралізацію систем опалення, показав, що мало витратним заходом з ефективного використання енергії є використання переривчастих режимів опалення, тобто пониження температури в години відсутності людей у приміщенні, з одночасним підвищенням теплоємності системи опалення та інерційності будівлі [6, 7]. Останнє може бути досягнуто як за рахунок покращення теплозахисних властивостей огорожувальних конструкцій, з доведенням значень опорів теплопередачі до мінімально встановленого рівня [2], так і впровадження виськоефективних акумуляторів енергії. Авторами робіт [8, 9] проведено аналіз різних способів акумулювання енергії та вимог, які ставляться до сучасних акумуляційних апаратів, здійснено порівняльні характеристики акумуляторів теплоти з використанням різних акумулюючих матеріалів (табл. 1). Виділено, як одні із найбільш перспективних системи, що накопичують енергію за рахунок теплоти фазових переходів та можуть широко застосовуватись в електроакумуляційних пристроях для систем опалення, особливо в періоди дії зниженого тарифу на електроенергію та/або в умовах їх роботи в імпульсному режимі.

1. Порівняльні характеристики теплоаккумуляторів з різними акумулюючими матеріалами

Теплоакumuлюючий матеріал												
V _{там} , Л	Вода			Парафін			Стеарин			Сольова суміш (ацетат натрію)		
	Загальна теплова потужність, кВт	Теплова ємність, кВт/год.		Загальна теплова потужність, кВт	Теплова ємність, кВт/год.		Загальна теплова потужність, кВт	Теплова ємність, кВт/год.		Загальна теплова потужність, кВт	Теплова ємність, кВт/год.	
		8 год.	12 год.		8 год.	12 год.		8 год.	12 год.		8 год.	12 год.
50	2,65	0,33	0,25	3,60	0,45	0,30	4,26	0,53	0,35	6,00	0,75	0,50
100	5,30	0,66	0,44	7,20	0,90	0,60	8,53	1,00	0,70	12,00	1,50	1,00
300	16,00	2,00	1,33	21,60	2,70	1,80	25,60	3,00	2,10	36,00	4,50	3,00
750	40,00	5,00	3,33	54,00	6,75	4,50	64,00	8,00	5,33	90,00	11,25	7,50

Аналіз таблиці 1 показав, що теплоаккумулятор на основі сольової суміші в 2,25 рази ефективніше водяного, в 1,66 рази від парафінового і в 1,4 рази – стеаринового, що дає величезні переваги: зменшення габаритних розмірів при однакових потужностях, збільшення періоду робочого часу, що доведено експериментальним шляхом.

У роботах [8-10] описана можливість роботи акумулятора теплоти фазового переходу з покращеною теплопровідною структурою в системі централізованого опалення та електротеплоаккумуляційних (автономних) системах. Результати порівняння основних робочих характеристик акумулятора теплоти на основі фазоперехідних органічних сполук з характеристиками інших відомих конструкцій теплоаккумуляторів, які в якості робочого тіла використовують різні акумулюючі матеріали, представлено в таблиці 2.

2. Порівняльні характеристики акумулятора теплоти на основі фазоперехідних органічних сполук з існуючими конструкціями теплоакумуляторів

Акумулятори теплоти в системах централізованого опалення										Електроакумуляційні системи		
Теплоакумуляуючий матеріал												
V _{та} м, Л	Твердий			Рідкий (вода)			Парафін			Парафін		
	Теплова потужність, кВт/год:			Теплова потужність, кВт/год:			Теплова потужність, кВт/год:			Теплова потужність, кВт/год:		
	загальна	розряду за:		загальна	розряду за:		загальна	розряду за:		загальна	розряду за:	
		8 год.	16 год.		8 год.	16 год.		8 год.	16 год.		8 год.	16 год.
50	0,80	0,09	0,04	2,65	0,33	0,17	3,60	0,45	0,22	3,80	1,70	0,85
100	1,60	0,20	0,09	5,30	0,66	0,33	7,20	0,90	0,45	7,50	3,30	1,60
300	4,80	0,60	0,30	16,00	2,00	1,00	21,60	2,70	1,30	22,50	10,0	4,80
750	12,00	1,40	0,65	40,00	5,00	2,50	54,00	6,75	3,30	56,25	25,0	12,0

Аналіз таблиці 2 показав, що теплоакумулятор на основі парафіну майже в 14 разів ефективніше від акумулятора теплоти з твердим акумулюючим матеріалом, в 5 разів від традиційного теплового акумулятора з рідким матеріалом та майже в 3 рази – від конструкції акумулятора теплоти на основі фазоперехідних органічних сполук, який використовується в системі централізованого опалення.

Мета дослідження - враховуючи перспективність акумуляторів теплоти фазового переходу і сучасні тенденції, спрямовані на децентралізацію систем опалення, та з метою підвищення теплової інерційності будівлі, особливо в умовах її роботи в імпульсному режимі, й надійності процесу енергозабезпечення споживачів є доцільним проведення аналізу щодо впливу накопичувачів енергії на запас потужності системи опалення та здійснити еколого-економічний аналіз впливу на довкілля впровадження вискоєфективних фазоперехідних акумуляторів теплоти з покращеною теплопровідною структурою в систему опалення громадської будівлі з розрахунком питомої ставки екоподатку на прикладі викиду CO₂.

Матеріали і методи дослідження. Об'єктом дослідження є будівля та інженерні мережі першого навчального корпусу НУБіП України. Опис будівлі та інженерних мереж описано в [6]. Для моделювання теплового стану будівель використані методи [4, 5], а для оцінки екологічного впливу на довкілля впровадження високоефективних фазоперехідних акумуляторів теплоти – [13].

Базуючись на квазістаціонарному методі розрахунку стандарту [11] був створений ДСТУ Б А.2.2-12:2015 [12]. Цей стандарт встановлює розрахунковий метод оцінки річного енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні будівель житлового та громадського призначення, що проектуються або експлуатуються. Для режиму опалення цей стандарт визначає квазістаціонарний метод, за яким тепловий баланс розраховують для періоду в один місяць, що дозволяє взяти до уваги динамічні ефекти за емпірично визначеним коефіцієнтом використання надходжень та/або втрат.

Для досліджуваного об'єкту розглянуто та досліджено переривчасте опалення як постійне опалення з урахуванням заданого значення температури, в режимі А та режимі Б.

Режим А: задана температура (див. рисунок 1, а, б) для розрахунку є осередненою за часом із значень заданих температур для періодів постійного опалення та періодів чергового опалення, якщо:

- коливання заданої температури між нормальним режимом опалення та періодами чергового опалення менше ніж 3 К та/або,
- часова константа будівлі менше ніж 0,2 тривалості найкоротшого періоду з черговим режимом опалення.

Режим Б: задана температура (див. рисунок 1, в) для розрахунку є заданою температурою для звичайного (постійного) режиму опалення, якщо часова константа будівлі більша ніж у три рази за тривалість найдовшого періоду з черговим режимом опалення.

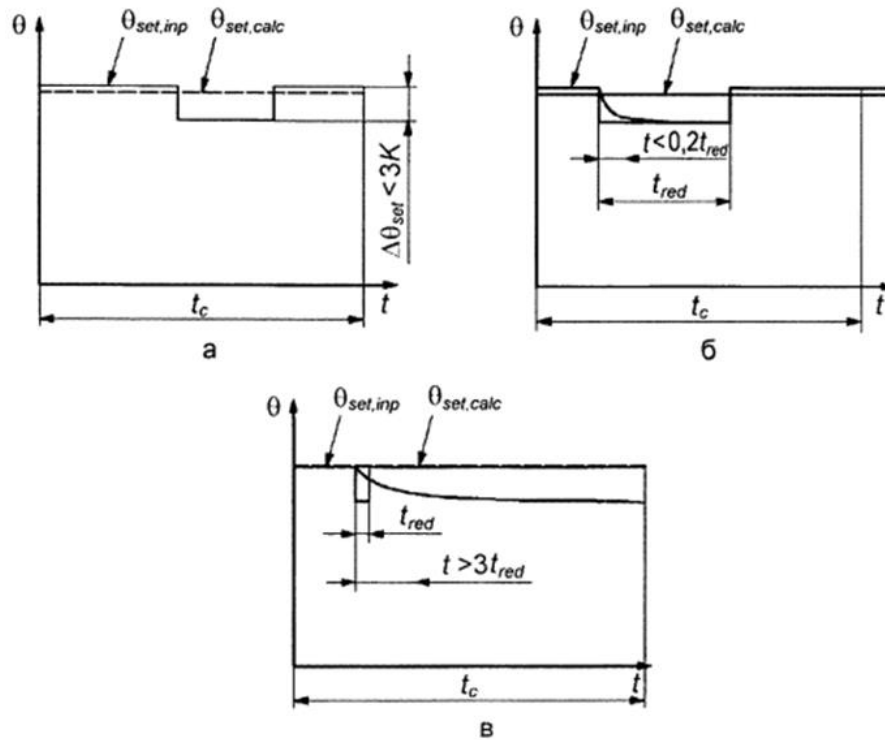


Рис. 1. Графіки квазіпостійного опалення:

$\Theta_{set,inp}$ - задана температура, встановлена як вхідні дані; $\Theta_{set,calc}$ - задана температура для розрахунку; t - час; t_c - показова частина розрахункового періоду.

Додатково до розглянутих вище в нашому випадку переривчастого режиму опалення енергопотребу для опалення $Q_{H,nd,interm}$, Вт·год, визначено:

$$Q_{H,nd,interm} = \alpha_{H,red} \cdot Q_{H,nd,cont} \quad (1)$$

де $Q_{H,nd,cont}$ - енергопотреба для постійного опалення, Вт·год; $\alpha_{H,red}$ - безрозмірний понижувальний коефіцієнт для переривчастого режиму опалення, з мінімальним значенням $\alpha_{H,red} = f_{H,hr}$ і максимальним значенням $\alpha_{H,red} = 1$:

$$\alpha_{H,red} = 1 - b_{H,red} \cdot (\tau_{H,O}/\tau) \cdot \gamma_H \cdot (1 - f_{H,hr}), \quad (2)$$

де $f_{H,hr}$ - частка кількості годин на тиждень з нормальним (постійним) заданим режимом опалення (не заданим черговим або відключеним); $b_{H,red}$ - емпіричний коефіцієнт кореляції, $b_{H,red} = 3$; τ - часова константа зони будівлі, год.; $\tau_{H,O}$ - довідкова часова константа для режиму опалення, год.; γ_H - співвідношення надходжень і втрат теплоти для режиму опалення.

Проведена лінійна інтерполяція залежно від часової частки режиму невикористання порівняно з режимом обслуговування:

$$Q_{H,nd} = (1 - f_{H,nocc}) \cdot Q_{H,nd,occ} + f_{H,nocc} \cdot Q_{H,nd,nocc}, \quad (3)$$

де $Q_{H,nd,occ}$ - енергопотреба для опалення, Вт·год, (або $Q_{H,nd,cont}$ або $Q_{H,nd,interm}$), припускаючи, що у всі дні місяця регулювання та налаштування автоматичного регулятора температури повітря в приміщенні (наприклад, терморегулятора на опалювальному приладі) відповідають налаштуванням періоду використання; $Q_{H,nd,nocc}$ - енергопотреба для опалення, Вт·год, (або $Q_{H,nd,cont}$ або $Q_{hi,nd,interm}$), припускаючи, що у всі дні місяця регулювання та налаштування терморегулятора відповідають налаштуванням періоду невикористання; $f_{H,nocc}$ - частка місяця з періодом невикористання опалення (наприклад, 10/31).

Додатково за методикою [12] досліджено вплив систем автоматичного регулювання, встановленої у пункті централізованого теплопостачання:

$$Q_{gen,out} = Q_{dis,in} / \eta_{ac}, \quad (4)$$

де $Q_{gen,out}$ - вироблена/генерована енергія (енергія виходу) від підсистеми генерації (акumuлювання); $Q_{dis,in}$ - енергія входу в підсистему розподілення; η_{ac} - ефективність автоматичного регулювання.

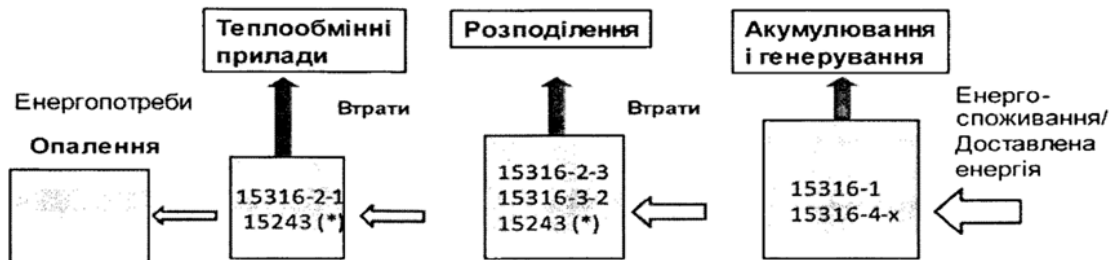


Рис. 2. Схема взаємовпливу для визначення ефективності системи опалення з акумулятором теплоти

Прийнято, що за [12], загальна енергія виходу з підсистеми виробництва/генерування та акumuлювання теплоти дорівнює енергії входу в підсистему розподілення:

$$Q_{H,gen,out,i} = Q_{H,dis,in,i}, \quad (5)$$

де $Q_{H,gen,out,i}$ - енергія виходу з підсистеми виробництва/генерування та акumuлювання теплоти упродовж і-го місяця, Вт·год; $Q_{H,dis,in,i}$ - енергія входу в підсистему розподілення упродовж і-го місяця, Вт·год.

Загальні тепловтрати підсистем виробництва/генерування та акумулювання теплоти упродовж і-го місяця, Вт·год, розраховували:

$$Q_{H,gen,is,i} = Q_{H,gen,out,i} (1 - \eta_{H,gen}) / \eta_{H,gen}, \quad (6)$$

де $\eta_{H,gen}$ - ефективність підсистем виробництва/генерування та акумулювання теплоти; $Q_{H,gen,out,i}$ - енергія виходу з підсистем виробництва/генерування та акумулювання теплоти упродовж і-го місяця, Вт·год.

Енергоефективність підсистем акумулювання включається в ефективність підсистем виробництва/генерування. У нашому випадку підсистема виробництва/генерування та акумулювання складається з одного типу генератора/трансформатора, тому розрахунки виконували для системи у цілому з відповідною ефективністю.

Для оцінки екологічної прийнятності енергетичного виробництва використано показники, які враховують рівень викидів [13] щодо проведення розрахунків обсягів надходження в повітря забруднюючих речовин та парникових газів, до яких, зокрема, належать оксид вуглецю, аміак, метан, оксид азоту, сажа, діоксид азоту, діоксид сірки, свинець, вуглекислий газ, неметанові леткі органічні сполуки, бенз(а)пірен. Закон України «Про внесення змін до Податкового кодексу України та інших законодавчих актів України щодо забезпечення збалансованості бюджетних надходжень» від 30.11.2021 р. № 1914-IX скоригував також статті ПКУ, які встановлюють ставки екоподатку. Норми діють уже із 01.01.2022 року.

Розрахунок викидів CO₂ для кожного виду палива для окремих джерел (установок для спалювання) здійснювалися за формулою:

$$E = M \cdot K1 \cdot THЗ \cdot K2 \cdot 44/12, \quad (7)$$

де E - річний викид CO₂ в вагових одиницях (тонн/рік); M - фактичне споживання палива за рік (тонн/рік); K1 - коефіцієнт окислення вуглецю в паливі (показує частку згорілого вуглецю); THЗ - теплотворна нетто-значення (Дж/тонн); K2 - коефіцієнт викидів вуглецю (тонн/Дж); 44/12 - коефіцієнт перерахунку вуглецю в вуглекислий газ (вуглець - 12 г/моль, O₂ = 32 г/моль, CO₂ = 44 г/моль).

Первинна енергія (E_p), кВт·год, обчислювалась для кожного енергоносія:

$$E_p = \sum (E_{del,i} \cdot f_{p,del,i}), \quad (8)$$

де $E_{del,i}$ - поставлена енергія, кВт·год; $f_{p,del,i}$ - фактор первинної енергії для i -го поставленого енергоносія.

Поставлена енергія ($E_{del,i}$):

$$E_{del,i} = Q_{H,use} + Q_{C,use} + Q_{DHW,use} + EP_{V,use} + EP_{W,use}, \quad (9)$$

де $Q_{H,use}$, $Q_{C,use}$, $Q_{DHW,use}$ - річне енергоспоживання при опаленні, охолодженні та гарячому водопостачанні, кВт·год; $EP_{V,use}$, $EP_{W,use}$ - питоме енергоспоживання системами вентиляції та освітлення відповідно, кВт·год/м³.

Питомий показник споживання первинної енергії (e_p), кВт·год/м²:

$$e_p = \frac{E_p}{A_f}, \quad (10)$$

де A_f - кондиціонована (опалювана) площа будівлі, м², яка визначається за наведеним у пункті 8 розділу III [14].

Маса викидів парникових газів (m_{co_2}), кг, розраховувалась з поставленої та експортованої енергії для кожного енергоносія:

$$m_{co_2} = \frac{\sum(E_{del,i} \cdot K_{del,i})}{1000}, \quad (11)$$

Питомий показник викидів парникових газів (m_{co_2}), кг/м²:

$$m_{co_2} = \frac{\sum(E_{del,i} \cdot K_{del,i})}{1000} / A_f, \quad (12)$$

де A_f - кондиціонована (опалювана) площа будівлі, м², що визначається за наведеним у пункті 8 розділу III [14].

Фактори первинної енергії ($f_{p,nren}$) та коефіцієнти викидів парникових газів (CO₂) (K), г/кВт·год включають всі викиди парникових газів (CO₂), пов'язані з первинною енергією, яка використовується в будівлі та приймаються за показниками факторів первинної енергії і коефіцієнтів викидів парникових газів (CO₂), наведених у додатку 10 до згаданої Методики [14]. Для системи централізованого теплозабезпечення фактори первинної енергії і коефіцієнти викидів парникових газів (CO₂) приймаємо: $f_{p,nren} = 1,3$ та $K_{co_2} = 260$ г/кВт·год відповідно.

Коефіцієнт використання первинної енергії викопного палива опалювальної

котельні, який є відношенням корисно витраченої теплоти до загальної кількості теплоти, підведеної у процесі, можна записати у вигляді [8, 9]:

$$KBП_{ок} = \frac{Q_n}{BQ_H^P} = \frac{Q(T_{mk})}{BQ_H^P} \frac{Q(T_{mn})}{Q(T_{mk})} \frac{Q(T_n)}{Q(T_{mn})} = \eta_{ку} \eta_{тм} \eta_n, \quad (13)$$

де $Q_n = Q_o$ – тепловий потік, необхідний для опалення приміщення, кВт; B – масова витрата палива, кг/с; Q_H^P – нижча теплота згоряння палива, кДж/кг; BQ_H^P – загальна кількість теплоти, що виділяється при повному згорянні палива за одиницю часу, кВт; $Q(T_{m,n})$, $Q(T_{m,k})$ – тепловий потік, необхідний для нагрівання теплоносія до початкової температури $T_{m,n}$ та до кінцевої $T_{m,k}$ відповідно, кВт; $\eta_{ку} = Q(T_{m,k})/BQ_H^P$ – ККД котельної установки; $\eta_{тм} = Q(T_{m,n})/Q(T_{m,k})$ – ККД теплової мережі; $\eta_n = Q(T_n)/Q(T_{m,n})$ – коефіцієнт корисної дії опалювального приладу, який приймається за 1.

У підсумку, розрахунок екоподатку здійснено за кожним викидом забруднюючої речовини окремо (п. 249.2 ПКУ), а потім знайдена загальна сума. Формули для розрахунків по видам забруднюючих речовин містяться в п. 249.3-249.8 ПКУ.

Результати досліджень та їх обговорення. Використовуючи наведені вище методики, оцінено ефективність впровадження високоефективних акумуляторів теплоти на основі органічних сполук з наночастинками металів на енергоспоживання громадської будівлі та виконано еколого-економічну оцінку доцільності їх впровадження. Додатково проведено дослідження та дана оцінка для приміщень зі змінним тепловим режимом (при нічному зниженні температури повітря та у вихідні дні) громадської будівлі щодо впливу акумуляторів теплоти фазового переходу на запас потужності системи опалення для забезпечення впродовж періоду розігріву (форсований режим системи) досягнення на задану годину необхідної температури повітря приміщення після її зниження. Встановлено, що використання акумулятора теплоти на основі фазоперехідних органічних сполук у системі опалення будівлі підвищує тривалість зниження температури приміщення на 12 % та тривалість його розігрівання на 8 % (див. табл. 3).

3. Питома надбавка, Вт/м², при зниженні температури повітря приміщення з урахуванням наявності акумулятора теплоти в системі опалення будівлі

Період зниження температури повітря (невикористання приміщення), год	Тривалість зниження температури, год (**)	Тривалість розігріву, год (**)	Кратність повітрообміну під час зниження температури повітря приміщення, год ⁻¹			
			0,1		0,5	
			Ефективна здатність до акумуляції теплової енергії приміщенням			
			мала	середня або велика	мала	середня або велика
			питома надбавка f _{РН} , Вт/м ²			
8 год (наприклад, нічне зниження у квартирі)	7,5 (8,4)	0,5 (0,55)	63	15	74	26
	7 (7,8)	1 (1,1)	34	10	43	16
	6 (6,7)	2 (2,2)	14	3	21	8
	5 (5,6)	3 (3,3)	5	0	10	2
	4 (4,5)	4 (4,4)	0	0	3	0
	2 (2,2)	6 (6,6)	0	0	0	0
14 год (наприклад, в офісі тощо)	13,5 (15,1)	0,5 (0,55)	88	38	91	56
	13 (14,6)	1 (1,1)	50	29	50	43
	12 (13,4)	2 (2,2)	28	18	28	29
	11 (12,3)	3 (3,3)	17	12	18	21
	10 (11,2)	4 (4,4)	11	7	12	15
	8 (9)	6 (6,6)	3	1	5	5
	2 (2,2)	12 (13,2)	0	0	0	0
62 год (наприклад, зниження у вихідні)	61,5 (68,9)	0,5 (0,55)	92	Не менше 100	92	Не менше 100
	61 (68,3)	1 (1,1)	55	100	55	Не менше 100
	60 (67,2)	2 (2,2)	32	86	32	Не менше 100
	59 (66,1)	3 (3,3)	23	73	22	94
	58 (65)	4 (4,4)	17	64	17	84
	56 (62,7)	6 (6,6)	10	52	10	70
	50 (56)	12 (13,2)	2	31	2	45
168 год (наприклад, зниження впродовж тижневої відпустки)	167,5 (187,6)	0,5 (0,55)	92		Не менше 100	
	167 (187)	1 (1,1)	55		Не менше 100	
	166 (185,9)	2 (2,2)	32		Не менше 100	
	165 (184,8)	3 (3,3)	23		Не менше 100	
	164 (183,7)	4 (4,4)	17		95	
	162 (181,4)	6 (6,6)	10		81	

Примітка 1. Кратність повітрообміну прийнята $0,1 \text{ год}^{-1}$ у період невикористання приміщення за умови зачинених вікон та дверей.

Примітка 2. Ефективну здатність до акумуляції теплової енергії прийнято наближено за характерними ознаками огорожувальних конструкцій приміщення.

Примітка 3. Проміжні значення питомої надбавки визначено методом лінійної інтерполяції.

* додатка Н [5].

** з урахуванням наявності акумулятора теплоти в системі опалення будівлі

Аналізуючи дані табл. 4-5 та рис. 3 встановлено, що впровадження акумуляторів теплоти в систему опалення будівлі в умовах її роботи в імпульсному режимі дозволяє скоротити питоме споживання теплової енергії на $5,2 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^3$ в рік (8-9 %) та знизити питомі викиди парникових газів на $22,4 \text{ кг} / \text{м}^2$ в рік (6-7 %), а при роботі в тривалому режимі - на $9,6 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^3$ (14-15 %) та на $41,5 \text{ кг} / \text{м}^2$ в рік (11-12 %) відповідно.

4. Розрахункові показники енергетичної ефективності громадської будівлі

Назва показника	Існуюче значення, $\text{кВт год} / \text{м}^3$ за рік	Значення після модернізації, $\text{кВт год} / \text{м}^3$ за рік
Питома енергопотреба на опалення, охолодження, гаряче водопостачання	50,3	50,3
Питоме енергоспоживання при опаленні	65,4	60,2
Питоме енергоспоживання при охолодженні	3,4	3,4
Питоме енергоспоживання при гарячому водопостачанні	0,0	0,0
Питоме енергоспоживання системи вентиляції	0,0	0,0
Питоме енергоспоживання при освітленні	12,2	12,2
Питоме споживання первинної енергії, $\text{кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2$ в рік	334,3	311,9
Питомі викиди парникових газів, $\text{кг} / \text{м}^2$ в рік	65,9	61,5

5. Розрахункові показники енергоспоживання громадською будівлею

Вид	Розрахунковий обсяг споживання за рік «до»		Розрахунковий обсяг споживання за рік «після»	
	МВт·год	кВт·год/м ³	МВт·год	кВт·год/м ³
Енергоспоживання систем опалення	2 067,6	65,4	1 902,7	60,2
Енергоспоживання систем вентиляції	0,0	0,0	0,0	0,0
Енергоспоживання систем гарячого водопостачання	0,0	0,0	0,0	0,0
Енергоспоживання систем охолодження	106,4	3,4	106,4	3,4
Енергоспоживання систем освітлення	116,8	12,2	116,8	12,2
УСЬОГО:	2 290,8	81,0	2 125,9	75,8



Рис. 3. Річне енергоспоживання будівлею «до» (а) та «після» впровадження акумуляторів теплоти (б), %

У підсумку, впровадження акумулятора теплоти на основі фазоперехідних органічних сполук дозволяє підвищити надійність процесу теплозабезпечення споживачів та теплову інерційність системи опалення громадської будівлі (в середньому) на 10-12 % (з урахуванням граничного значення питомої надбавки з таблиці Н1 [3]).

Еколого-економічна оцінка доцільності впровадження високоефективних акумуляторів теплоти на основі органічних сполук з наночастинками металів проведена з урахуванням діючих (збільшених) ставок екологічного податку, а саме: викиди в атмосферне повітря – на 5 % (п. 241.1-241.3 ПКУ), а викиди двоокису вуглецю (CO_2) – в 3 рази (п. 243.4 ПКУ); викиди в водні об'єкти – у 2,4 рази. Більше того, враховано поетапне підвищення ставок екоподатку з 2022 до 2025 року (п. 37 підрозд. 5 Перехідних положень ПКУ), а саме: з 2022 року до 2024 рік ставки екоподатку складатимуть 30 %, 60 % та 90 % від базового рівня 2025 року, який визначений у п. 245.1 ПКУ.

За офіційною інформацією, в управлінні МОН знаходиться більше 2,5 тис. навчальних корпусів, а також більше 1 тис. гуртожитків, більшість з яких побудована в кінці XIX та протягом XX ст., загальною площею близько 13 млн. м^2 , з використанням обладнання та матеріалів, які не відповідають діючим вимогам з енергоефективності. З урахуванням вищезазначеного, розрахована питома ставка екоподатку на прикладі викиду CO_2 у 2022 році (30 грн/т), яка, у нашому випадку, становитиме: при впровадженні акумуляторів теплоти в систему опалення будівлі в умовах її роботи в імпульсному режимі дозволяє знизити питомі витрати на 0,67 (грн/т)/ м^2 за рік (в масштабах країни на 294 млн. грн), а при роботі в тривалому режимі - 1,25 (грн/т)/ м^2 за рік (в масштабах країни на 546 млн. грн) відповідно.

Висновки і перспективи.

Проведено дослідження та дана еколого-економічна оцінка доцільності впровадження акумулятора теплоти фазового переходу в систему опалення громадської будівлі. Зокрема, встановлено таке:

1. Впровадження акумулятора теплоти на основі фазоперехідних органічних сполук дозволяє підвищити надійність процесу теплозабезпечення споживачів та

теплову інерційність системи опалення громадської будівлі (в середньому) на 10-12 % (з урахуванням граничного значення питомої надбавки з таблиці Н1 ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування») та економії спожитої теплової енергії на рівні 12-15 %.

2. Встановлено, що впровадження акумуляторів теплоти в систему опалення будівлі в умовах її роботи в імпульсному режимі дозволяє скоротити питоме споживання теплової енергії на $5,2 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^3$ за рік (8-9 %) та знизити питомі викиди парникових газів на $22,4 \text{ кг} / \text{м}^2$ за рік (6-7 %), а при роботі в тривалому режимі - на $9,6 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^3$ (14-15 %) та на $41,5 \text{ кг} / \text{м}^2$ за рік (11-12 %) відповідно.

3. Проведено розрахунок питомої ставки екоподатку на прикладі викиду CO_2 у 2022 році (30 грн/т) при впровадженні акумуляторів теплоти в систему опалення громадської будівлі в умовах її роботи в імпульсному режимі, що дозволило знизити питомі витрати на $0,67 \text{ (грн/т)} / \text{м}^2$ за рік (в масштабах країни на 294 млн. грн), а при роботі в тривалому режимі - $1,25 \text{ (грн/т)} / \text{м}^2$ за рік (в масштабах країни на 546 млн. грн), відповідно.

Список використаних джерел

1. Енергозбереження у житловому фонді: проблеми, практика, перспективи: Довідник / «НДІпроектреконструкція», Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), Instituts Wohnen und Umwelt GmbH (IWU), 2006. 144 с.
2. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель: ДБН В.2.6-31:2021. [Чинний від 2021-09-01]. - К.: Держстандарт України, 2022. 23 с.
3. Опалення, вентиляція та кондиціонування: ДБН В.2.5-67. [Чинний від 2014-01-01]. К.: Держстандарт України, 2013. 147 с.
4. Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель: ДСТУ Б В.2.6-189-2013. [Чинний від 2013-08-13]. К.: Держстандарт України, 2013. 55 с.
5. DIN EN 12831 B II 1:2008 Heating systems in buildings - Method for calculation of the design heat load - National Annex NA (Системи опалення будівель. Метод розрахунку теплового навантаження. Національний додаток NA).
6. Антипов Є. О., Міщенко А. В., Шеліманова О. В., Тарасенко С. Є. Аналіз впливу внутрішньої теплоємності будівлі ЗВО та погодозалежного регулювання ІТП на ефективність роботи системи опалення в черговому режимі. Енергетика і автоматика. 2021. №5. <http://dx.doi.org/10.31548/energiya2021.05.045>
7. Лут М. Т., Наливайко В. А., Радько І. П., Міщенко А. В., Антипов Є. О., Окушко О. В., Жильцов А. В. Автоматизовані модульні теплові пункти для систем

теплопостачання ВНЗ. К.: «ЦП «Компринт», 2021. 365 с.

8. Горобець В. Г., Антипов Є. О. Акумулятори теплоти на основі фазоперехідних акумулюючих матеріалів. К.: «ЦП «Компринт», 2016. 165 с.

9. Антипов Є. О. Комплексне використання поновлюваних джерел і акумуляторів енергії. К.: «ЦП «Компринт», 2017. 471 с.

10. Антипов Є. О. Комплексне дослідження процесів накопичення теплової енергії при фазових перетвореннях органічних акумулюючих матеріалів з нано- та мікрочастинками металів. Енергетика і автоматика. 2019. № 5. С. 131– 148.

11. ДСТУ Б EN ISO 13790:2011. Енергоефективність будівель. Розрахунок енергоспоживання при опаленні та охолодженні (EN ISO 13790:2008, IDT). [На заміну ГОСТ 26629.85; чинний з 01.01.2013]. К. : НДІБК, 2011. 229 с.

12. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні: ДСТУ Б А.2.2-12:2015. [Чинний від 2016-01-01]. К.: Держстандарт України, 2015. 140 с.

13. Ставки екологічного податку у 2022 році [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://buh.ligazakon.net/aktualno/11559_stavki-ekologchnogo-podatku-u-2022-rots.

14. Наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 11 липня 2018 року № 169 «Про затвердження Методики визначення енергетичної ефективності будівель», зареєстровано в Міністерстві юстиції України від 16 липня 2018 р. за № 822/32274.

References

1. Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), Instituts Wohnen und Umwelt GmbH (IWU) (2006), 144.

2. Thermal insulation and energy efficiency of buildings: DBN B.2.6-31:2021 [Effective from 2022-09-01]. Kyiv: State Standard of Ukraine, 23.

3. Heating, ventilation and air conditioning: DBN B.2.5-67 (2013), 147.

4. Methods of selection of thermal insulation material for building insulation: DSTU B B.2.6-189-2013 [Effective from 2013-08-13]. Kyiv: State Standard of Ukraine, 55.

5. DIN EN 12831 B II 1:2008 Heating systems in buildings - Method for calculation of the design heat load - National Annex NA.

6. Antipov, I. O., Mishchenko, A. V., Shelimanova, O. V., Tarasenko, S. E. (2021). Analiz vplyvu vnutrishn'oyi teployemnosti budivli ZVO ta pohodozalezhnogo rehulyuvannya ITP na efektyvnist' roboty systemy opalennya v chervovomu rezhymi [Analysis of the influence of the internal heat capacity of the HEB building and weather-dependent regulation of the ITP on the efficiency of the heating system in the alternate mode]. Energy and automation, 5. <http://dx.doi.org/10.31548/energiya2021.05.045>

7. Lut, M. T., Nalivayko, V. A., Radko, I. P., Mishchenko, A.V., Antypov, I. O., Okushko, O. V., Zhiltsov, A. V. (2021). Avtomatyzovani modul'ni teplovi punkty dlya system teplopостachannya VNЗ [Automated modular heat points for heat supply systems of universities]. "CPU "Comprint", 365.

8. Gorobets, V. G. Antypov, I. O. (2016). Akumulyatory teploty na osnovi fazoperekhidnykh akumuluyuchykh materialiv [Heat accumulators based on phase transition accumulative materials]. CP "Comprint", 165.
9. Antypov, I. O. (2017). Kompleksne vykorystannya ponovlyuvanykh dzherel i akumulyatoriv enerhiyi [Comprehensive use of renewable energy sources and accumulators]. "CP "Comprint", 471.
10. Antypov, I. O. (2019). Kompleksne doslidzhennya protsesiv nakopychennya teplovoyi enerhiyi pry fazovykh peretvorenniyakh orhanichnykh akumuluyuchykh materialiv z nano- ta mikrochastynkamy metaliv [Comprehensive study of thermal energy accumulation processes during phase transformations of organic accumulative materials with nano- and microparticles of metals]. Energy and automation, 5, 131–148.
11. DSTU B EN ISO 13790:2011. Energy efficiency of buildings. Calculation of energy consumption during heating and cooling (EN ISO 13790:2008, IDT). [To replace GOST 26629.85; effective from 01.01.2013]. K.: NDIBK, 229.
12. Energy efficiency of buildings. Method of calculating energy consumption for heating, cooling, ventilation, lighting and hot water supply: DSTU B A.2.2-12: 2015 (2015). 140.
13. Environmental tax rates in 2022 [Electronic resource]. - Access mode: https://buh.ligazakon.net/aktualno/11559_stavki-ekologchnogo-podatku-u-2022-rots.
14. Order of the Ministry of Regional Development, Construction and Housing and Communal Economy of Ukraine dated July 11, 2018 No. 169 "On approval of the Methodology for determining the energy efficiency of buildings", registered in the Ministry of Justice of Ukraine dated July 16, 2018 under No. 822/32274.

ECOLOGICAL AND ECONOMIC ANALYSIS OF THE IMPLEMENTATION OF HIGHLY EFFICIENT PHASE TRANSITION HEAT ACCUMULATORS INTO THE HEATING SYSTEM OF A PUBLIC BUILDING

I. Antypov, A. Mishchenko, O. Shelimanova, S. Tarasenko

Abstract. *In order to increase the thermal inertia of the building and adapt the release of heat to the needs of the consumer (human) and the conditions of the external environment, the influence of energy storage devices on the capacity reserve of the building's heating system was investigated. An analysis of various methods of energy accumulation was carried out, comparative characteristics of heat accumulators based on various accumulative materials were carried out. Systems that accumulate energy due to the heat of phase transitions are singled out as one of the most promising. In order to increase the thermal inertia of the heating system, especially in the conditions of its operation in pulse mode, and the reliability of the process of energy supply to consumers, the efficiency of the use of thermal accumulators has been proposed and investigated, an ecological and economic analysis of the impact on the environment of the introduction of highly efficient phase transition heat accumulators with an improved heat-conducting structure into the system has been carried out heating of a public building. Total heat transfer and heat inputs are calculated according to DSTU B A.2.2-12:2015, where dynamic effects are taken into account by entering the coefficient of use of inputs for*

heating (adopted in the study) and the coefficient of use of losses for cooling. The effect of inertia in the case of intermittent heating or its shutdown is taken into account separately. It has been established that the use of a heat accumulator based on phase-transition organic compounds in the building heating system increases the duration of room temperature reduction by 12% and the duration of its heating by 8%. Indicators that take into account the level of air emissions of pollutants and greenhouse gases were used to assess the environmental acceptability of energy production. It is shown that the introduction of heat accumulators into the heating system of the building under the conditions of its operation in pulse mode allows to reduce specific costs by 0.67 (UAH/t)/m² per year, and when operating in long-term mode - by 1.25 (UAH/t) /m² per year, respectively.

Key words: *heat accumulator, ecological and economic analysis, alternate mode, heating system, phase transition*