

Шифр роботи: «Progress»

**СТВОРЕННЯ І РЕАЛІЗАЦІЯ
МЕТОДУ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ
ЗАХОДІВ З ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В СФЕРІ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ**

АНОТАЦІЯ

Актуальність теми

В останній час значна кількість міст України, зокрема, Київ, Харків, Львів, Тернопіль, Чернівці та ін. приєдналися до «Угоди мерів по клімату і енергетиці», в якому передбачається проведення муніципальною владою заходів щодо істотного скорочення викидів парникових газів на 30% до 2030 року. Для досягнення цього результату потрібна нова стратегія використання і розвитку муніципальної енергетичної системи, яка передбачає підвищення екологічної безпеки котельних установок і теплоцентралей за рахунок впровадження інноваційних високоефективних енергозберігаючих, екологічних та економічно обґрунтованих технологій. Дана стратегія повинна враховувати такі проблеми економіки України, як: застарілі технології та обладнання для виробництва теплової енергії, висока енергоємність і матеріальні витрати, що перевищують в 2-3 рази відповідні показники розвинутих країн; відсутність сучасних систем захисту навколишнього середовища, відсутність належних правових і економічних механізмів, які стимулювали б розробку екологічно безпечних технологій, техніки для захисту навколишнього середовища і т.д.. У той же час стимулювання ефективного споживання теплової енергії користувачами дозволить знизити ресурсомісткість міських теплових мереж, що дозволить знизити забруднення навколишнього середовища і скоротити викиди в атмосферу парникових газів.

Актуальним науковим завданням, яке постає сьогодні перед комунальним сектором економіки є підвищення інформативності методів оцінки ефективності заходів з енергозбереження у сферах теплопостачання і теплоспоживання. Для вирішення цього завдання ефективність досліджуваних заходів слід розглядати, як комплексну величину, в якій враховуються енергетичні, екологічні та економічні наслідки від їх впровадження.

Мета роботи полягала у створенні і практичній реалізації методу багатокритеріальної оцінки ефективності енергозберігаючих заходів при теплозабезпеченні будівель за показниками енергетичного, екологічного та економічного ефектів.

Завдання:

- 1) створення методу багатокритеріальної оцінки ефективності заходів з енергозбереження в сфері теплопостачання;
- 2) реалізація створеного методу для оцінювання ефективності енергозберігаючих заходів, рекомендованих до впровадження на натурних об'єктах.

Методи дослідження:

Аналіз та синтез інформації, математичне моделювання, планування експерименту, експериментальні дослідження, розрахунковий експеримент.

Наукова новизна.

Удосконалено математичну модель для комплексного оцінювання ефективності впровадження альтернативних джерел теплопостачання в комунальній сфері за показниками енергетичного, екологічного та економічного ефектів.

Вперше досліджено ефективність використання альтернативного джерела теплопостачання – геліосистеми на натурному об'єкті закладу освіти з опалювальною площею понад 13700 м².

Практична цінність.

Запропоновано математичну модель для комплексної оцінки ефективності енергозберігаючих заходів за показниками: абсолютної та відносної економії теплової енергії; економії палива; зменшення викидів у атмосферу парникових газів та забруднюючих речовин; скорочення економії витрат на паливо та теплову енергію. Представлені результати досліджень енергетичного ефекту від впровадження альтернативного джерела теплової енергії на натурному об'єкті – будівлі КЗ ХПДЮТ («Палац піонерів», м. Харків).

Наукова робота включає: 18 с., 8 рис., 2 табл., 10 посилань.

Ключові слова: ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ, ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ, ЕФЕКТИВНІСТЬ, БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНА ОЦІНКА, ГЕЛІОСИСТЕМА.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1. МЕТОД БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ЗАХОДІВ	6
2 ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ЗАХОДІВ, РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЛЯ ВПРОВАДЖЕННЯ НА НАТУРНОМУ ОБ'ЄКТІ	7
ВИСНОВКИ	13
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	14

ВСТУП

В останній час значна кількість міст України, зокрема, Київ, Харків, Львів, Тернопіль, Чернівці та ін. приєдналися до «Угоди мерів по клімату і енергетиці» [1], в якому передбачається проведення муніципальною владою заходів щодо істотного скорочення викидів парникових газів на 30% до 2030 року. Для досягнення цього результату потрібна нова стратегія використання і розвитку муніципальної енергетичної системи, яка передбачає підвищення екологічної безпеки котельних установок і теплоцентралей за рахунок впровадження інноваційних високоефективних енергозберігаючих, екологічних та економічно обґрунтованих технологій [2,3]. Дана стратегія повинна враховувати такі проблеми економіки України, як: застарілі технології та обладнання для виробництва теплової енергії, висока енергоємність і матеріальні витрати, що перевищують в 2-3 рази відповідні показники розвинутих країн; відсутність сучасних систем захисту навколишнього середовища, відсутність належних правових і економічних механізмів, які стимулювали б розробку екологічно безпечних технологій, техніки для захисту навколишнього середовища і т.д. [4,5]. У той же час стимулювання ефективного споживання теплової енергії користувачами дозволить знизити ресурсомісткість міських теплових мереж, що дозволить знизити забруднення навколишнього середовища і скоротити викиди в атмосферу парникових газів [6].

Актуальним науковим завданням, яке постає сьогодні перед комунальним сектором економіки є підвищення інформативності методів оцінки ефективності заходів з енергозбереження у сферах теплопостачання і теплоспоживання. Для вирішення цього завдання ефективність досліджуваних заходів слід розглядати, як комплексну величину, в якій враховуються енергетичні, екологічні та економічні наслідки від їх впровадження.

1. МЕТОД БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ЗАХОДІВ

Сутність даного методу полягає в тому, що загальна ефективність енергозберігаючих заходів розглядається, як 3-компонентний вектор E , складовими якого є енергетичний – E_I , екологічний – E_{II} та економічний – E_{III} ефекти від їх впровадження (рис. 1).

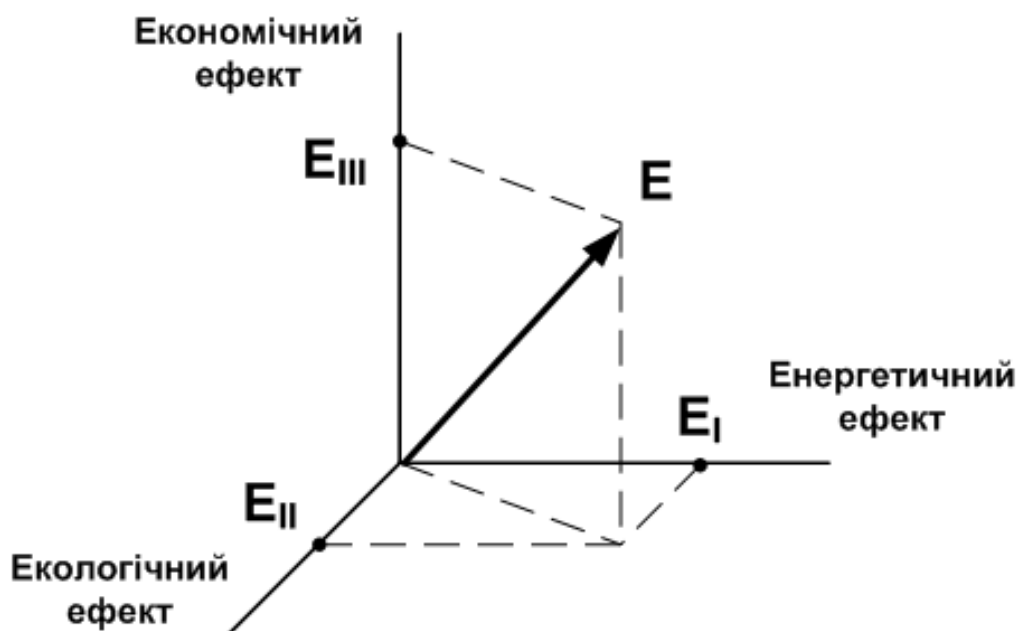


Рис. 1. Складові загальної ефективності заходів з енергозбереження в сфері теплопостачання

При цьому для оцінки вказаних складових загальної ефективності використовуються такі показники:

– для *енергетичного ефекту* E_I : абсолютне – ΔQ (кВт·год) і відносне – δQ (%) значення зекономленої кількості теплової енергії за опалувальний період, які визначаються за формулами:

$$\Delta Q = Q_{\text{сум1}} - Q_{\text{сум2}}, \quad (1)$$

де $Q_{\text{сум1}}$ і $Q_{\text{сум2}}$ – сумарні теплові втрати через огорожувальні конструкції будівлі за опалувальний період до і після впровадження енергозберігаючих заходів, відповідно, кВт·год;

$$\delta Q = \frac{Q_{\text{сум1}} - Q_{\text{сум2}}}{Q_{\text{сум1}}} \cdot 100\%; \quad (2)$$

– для *екологічного ефекту* E_{II} : маса (об'єм) зекономленого палива – ΔM_{II} (кг) (ΔV_{II} (м^3)), зменшення маси викидів у атмосферу парникових газів, зокрема – CO_2 і забруднюючих речовин – $\Delta M_{ЗР}$ (кг):

$$\Delta M_{II} = 3,6 \cdot \frac{\Delta Q}{Q_H}, \quad (3)$$

де Q_H – нижча теплота згоряння палива, МДж/кг;

$$\Delta V_{II} = \frac{\Delta M_{II}}{\rho_H}, \quad (4)$$

де ρ_H – густина палива, кг/м³;

$$\Delta M_{ЗР} = 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot K_{ЗР} \cdot \Delta Q, \quad (5)$$

де $K_{ЗР}$ – коефіцієнт емісії забруднюючої речовини, г/ГДж;

– для *економічного ефекту* E_{III} : зменшення плати за кількість теплової енергії, спожитої за опалювальний період – $\Delta C_{оп}$ (грн) та за паливо – ΔC_{II} (грн):

$$\Delta C_{оп} = 9,6 \cdot 10^{-4} \cdot c_{оп} \cdot \Delta Q, \quad (6)$$

де $c_{оп}$ – вартість одиниці теплової енергії згідно встановлених тарифів [7], грн/Гкал;

$$\Delta C_{II} = 10^{-3} \cdot c_{II} \cdot \Delta V_{II}, \quad (7)$$

де c_{II} – вартість палива згідно встановлених тарифів, грн/т або грн/тис. м³.

При оцінюванні критеріїв енергетичного ефекту E_I сумарні потоки теплових втрат через огорожувальні конструкції будівлі – $Q_{\text{сум1}}$ і $Q_{\text{сум2}}$ визначаються за допомогою формули [8] (рис. 2):

$$Q_{\text{сум}} = \left(\sum_{i=1}^4 k_i \cdot F_i + c \cdot M_{\text{інф}} \right) \cdot (t_B - t_3) = k_{\text{ТВ}} \cdot \tau_{\text{оп}} \cdot (t_B - t_3), \quad (8)$$

де k_i – коефіцієнт теплопередачі через i -ту огорожувальну конструкцію, Вт/(м²·К);

F_i – площа поверхні i -ї огорожувальної конструкції, м²;

c – питома теплоємність повітря, Дж/(кг·К);

$M_{\text{інф}}$ – масова витрата повітря при інфільтрації, кг/с; $t_{\text{в}}$ – внутрішня температура приміщені, °С;

$t_{\text{з}}$ – зовнішня температура повітря, °С.

$k_{\text{ТВ}}$ – коефіцієнт, який визначається за формулою

$$k_{\text{ТВ}} = \sum_{i=1}^4 k_i \cdot F_i + c \cdot M_{\text{інф}} \quad (9)$$

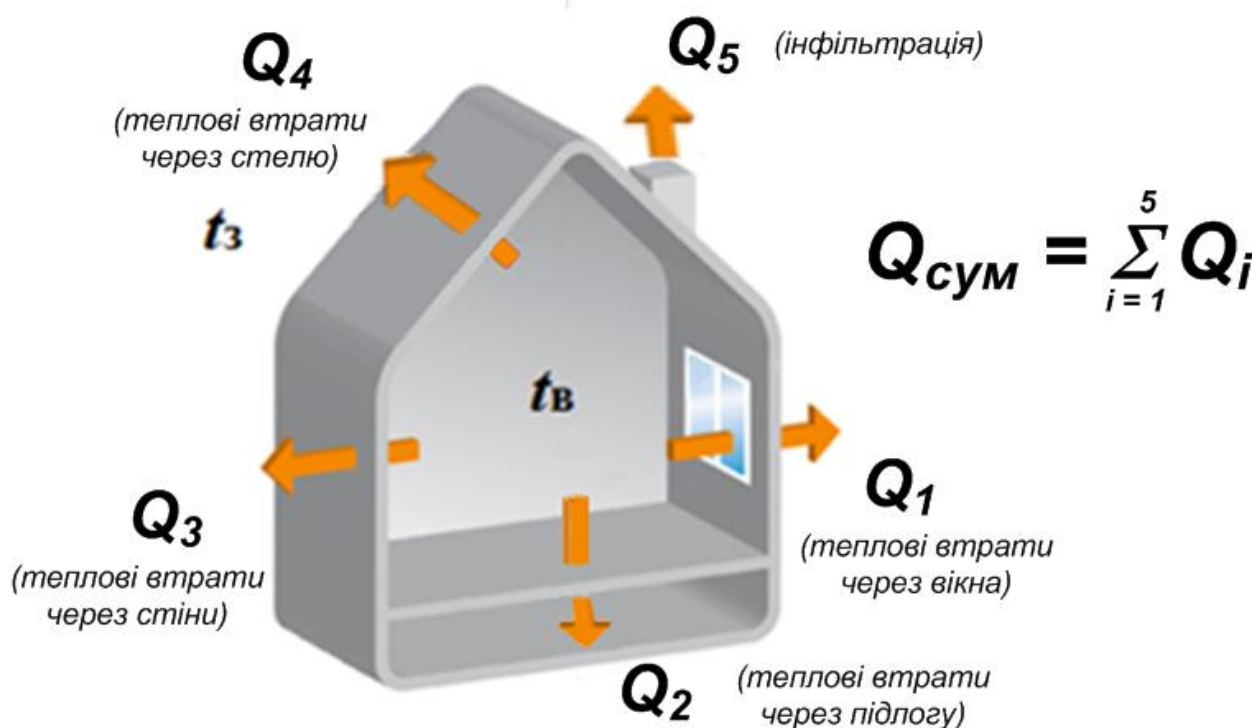


Рис. 2. Складові сумарних теплових втрат через огорожувальні конструкції будівлі

Представлений метод передбачає можливість збільшення показників ефективності шляхом додавання нових показників до складових загальної ефективності. Зокрема, до групи показників, що характеризують економічний ефект енергозберігаючого заходу може бути добавлений термін окупності капітальних вкладень.

2. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ЗАХОДІВ, РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЛЯ ВПРОВАДЖЕННЯ НА НАТУРНОМУ ОБ'ЄКТІ

Опис об'єкту досліджень. В якості натурального об'єкту для проведення досліджень було обрано будівлю Комунального закладу «Харківський палац дитячої та юнацької творчості» (КЗ ХПДЮТ – «Палац піонерів») 1993 р. забудови, яка складається із двох корпусів і має багаторівневу складну Т-подібну форму (рис. 3). Згідно з проектною документацією на будівлю: її будівельний об'єм складає $80\,375\text{ м}^3$, загальна площа будівлі дорівнює $15\,159\text{ м}^2$; корисна площа $13\,712\text{ м}^2$; проектна витрата теплової енергії на опалення 1 м^2 загальної площі дорівнює 183 Вт/м^2 .



Рис. 3. Загальний вигляд натурального об'єкту – будівлі КЗ ХПДЮТ

Теплопостачання будівлі на потреби опалення та гарячого водопостачання здійснюється від теплових мереж підприємства КП «Харківські теплові мережі». Фактичні обсяги теплоспоживання будівлі у Гкал, усереднені за 4 роки, складають: річний – $1870,3$; щомісячні:

січень – 429,6; травень – 41,8; вересень – 21,1;
лютий – 378,6; червень – 11,0; жовтень – 128,3;
березень – 241,2; липень – 0,0; листопад – 286,2;
квітень – 104,2; серпень – 1,7; грудень – 226,7.

Досліджуваний захід з енергозбереження. Для натурального об'єкту рекомендовано використання альтернативного джерела теплопостачання – геліосистеми. Елементами геліосистеми є сонячні колектори, які перетворюють теплову енергію Сонця в теплову енергію теплоносія, який використовується в системах опалення та гарячого водопостачання будівлі КЗ ХПДЮТ і, в разі потреби, інших будівель. В геліосистемі рекомендується використовувати сучасні енергоефективні сонячні колектори плоского типу, наприклад, колектори серії SKT 1.0 від компанії Buderus (Німеччина) (рис. 4 [9]) або аналогічні пристрої, представлені на ринку.

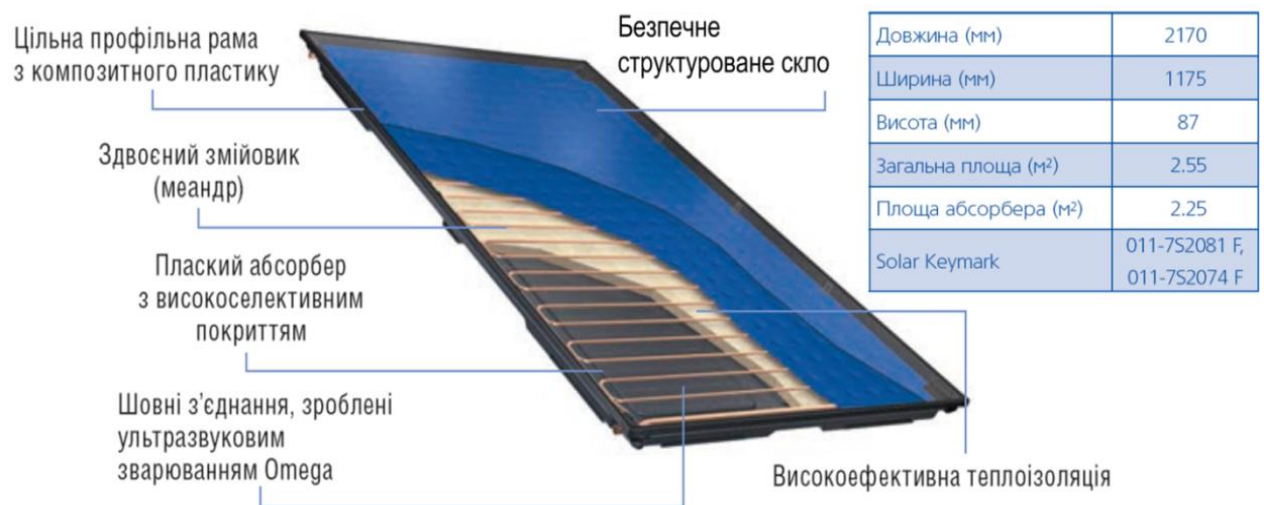


Рис. 4. Структура і технічні характеристики рекомендованого типу сонячного колектору – SKT 1.0

Ділянка можливого розташування геліосистеми загальною площею 1080 м² – 30 м × 36 м розташована з південної сторони одного з корпусів КЗ ХПДЮТ (рис. 5).

На рекомендованій до використання ділянці у відповідності до встановлених вимог [10] можуть бути розміщені 180 колекторів рекомендованого типу: 3 ряди по 60 штук (рис. 6). Для забезпечення максимальної теплопродуктивності сонячних колекторів (табл. 1) рекомендується регулювати кут нахилу їх панелей до земної поверхні в діапазоні 23 ... 73 ° (табл. 2).

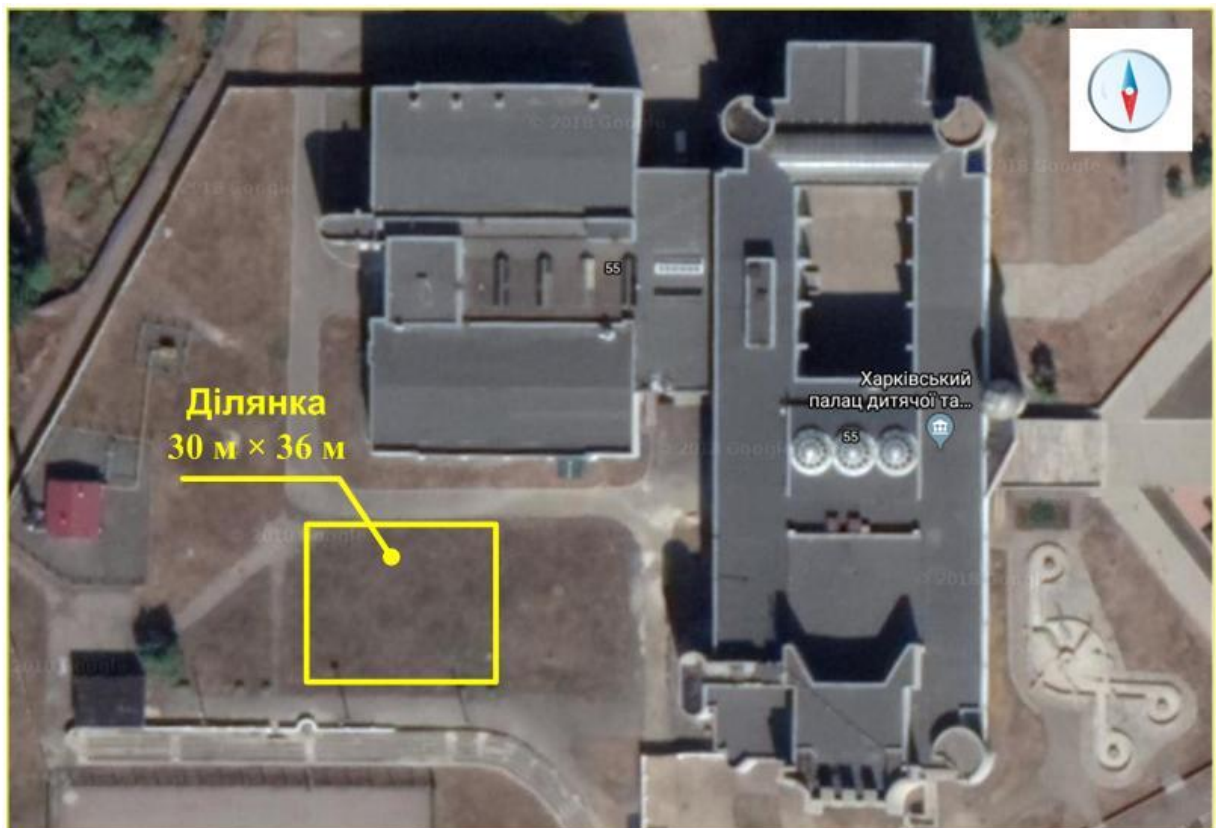


Рис. 5. Ділянка можливого розташування геліосистеми

Таблиця 1

Значення питомої середньомісячної теплопродуктивності сонячних колекторів в кліматичній зоні Харкова – Ес, кВт·год/(м²·день) [10]

Місяць року												Рік
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1,19	2,02	3,05	3,92	5,38	5,46	5,56	4,88	3,49	2,10	1,19	0,9	3,26

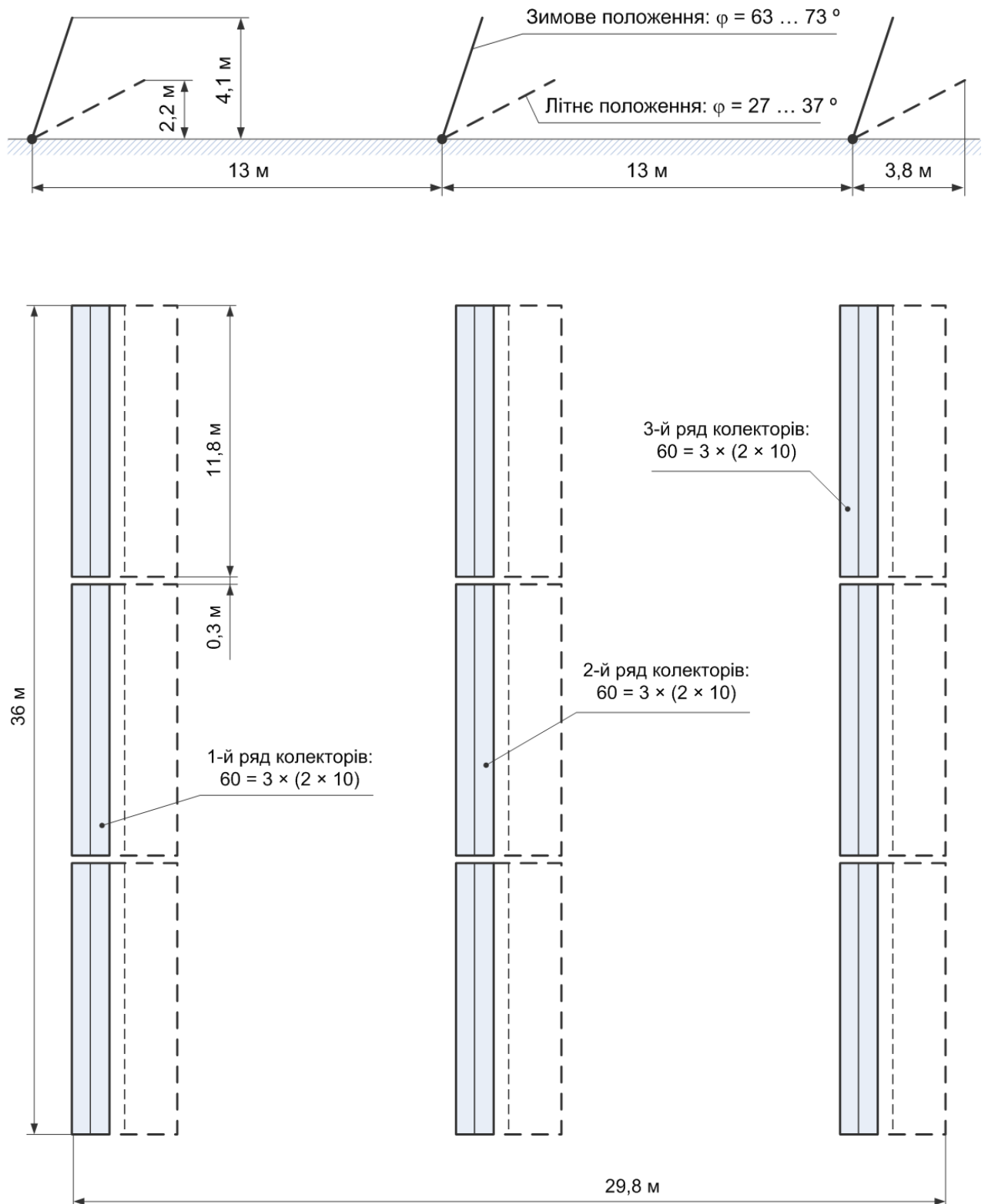


Рис. 6. Схема розташування рядів сонячних колекторів геліосистеми з 180 = 3×60 панелей типу SKT 1.0

Таблиця 2

Значення оптимальних кутів нахилу сонячних колекторів

Місяць року	Географічна широта місцевості							
	45°	46°	47°	48°	49°	50°	51°	52°
1. Січень	66°	67°	68°	69°	70°	71°	72°	73°
2. Лютий	58°	59°	60°	61°	62°	63°	64°	65°
3. Березень	47°	48°	49°	50°	51°	52°	53°	54°
4. Квітень	36°	37°	38°	39°	40°	41°	42°	43°
5. Травень	26°	27°	28°	29°	30°	31°	32°	33°
6. Червень	22°	23°	24°	25°	26°	27°	28°	29°
7. Липень	24°	25°	26°	27°	28°	29°	30°	31°
8. Серпень	32°	33°	34°	35°	36°	37°	38°	39°
9. Вересень	43°	44°	45°	46°	47°	48°	49°	50°
10. Жовтень	55°	56°	57°	58°	59°	60°	61°	62°
11. Листопад	64°	65°	66°	67°	68°	69°	70°	71°
12. Грудень	68°	69°	70°	71°	72°	73°	74°	75°

Оцінка ефективності використання альтернативного джерела теплопостачання – геліосистеми.

Для визначення основної енергетичної характеристики геліосистеми – її середньомісячної теплової продуктивності – Q_m (кВт·год) використовується формула [10]:

$$Q_m = E_c \cdot s \cdot \eta \cdot N,$$

де E_c – питома середньомісячна теплопродуктивність сонячних колекторів в кліматичній зоні Харкова, кВт·год/(м²·день) (див. табл. 2);

s – площа поверхні одного сонячного колектору, м² (для колекторів рекомендованого типу складає 2,55 м²);

η – ККД сонячного колектору (для колекторів рекомендованого типу складає 0,80);

N – кількість сонячних колекторів в геліосистемі.

Результати розрахунків середньомісячних та річної теплопродуктивностей геліосистеми, яка може розміщуватись на рекомендованій ділянці (рис. 7), свідчать про те, що вона здатна виробляти 376,7 Гкал теплової енергії на рік або 20,7% від існуючого обсягу теплоспоживання будівлі КЗ ХПДЮТ.

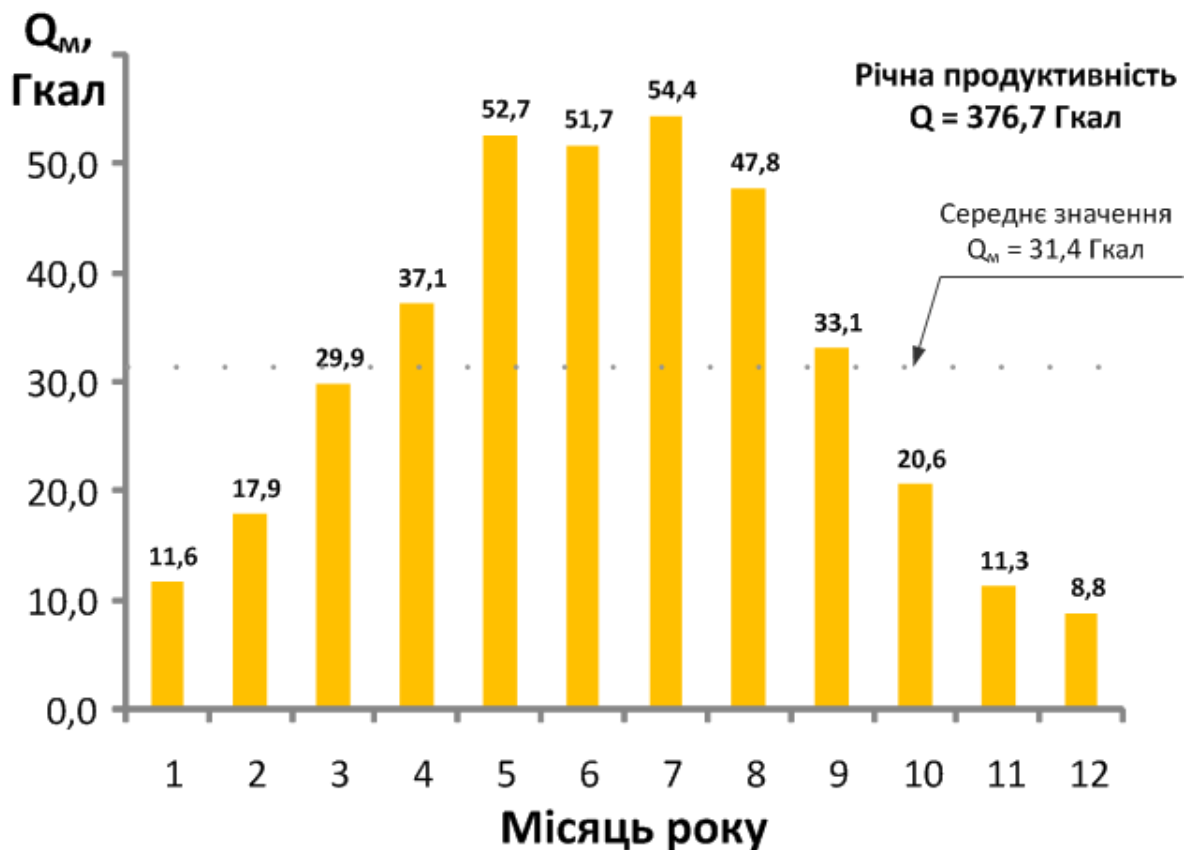


Рис. 7. Діаграма середньомісячної теплопродуктивності геліосистеми з 180-ти колекторів SKT 1.0

В разі потреби теплопродуктивність геліосистеми може бути збільшена у 2,3 рази – до 880 Гкал/рік, якщо використовувати дах будівлі для розміщення додаткової кількості з 240-ти сонячних колекторів – 4 ряди по 60 шт (рис. 8).

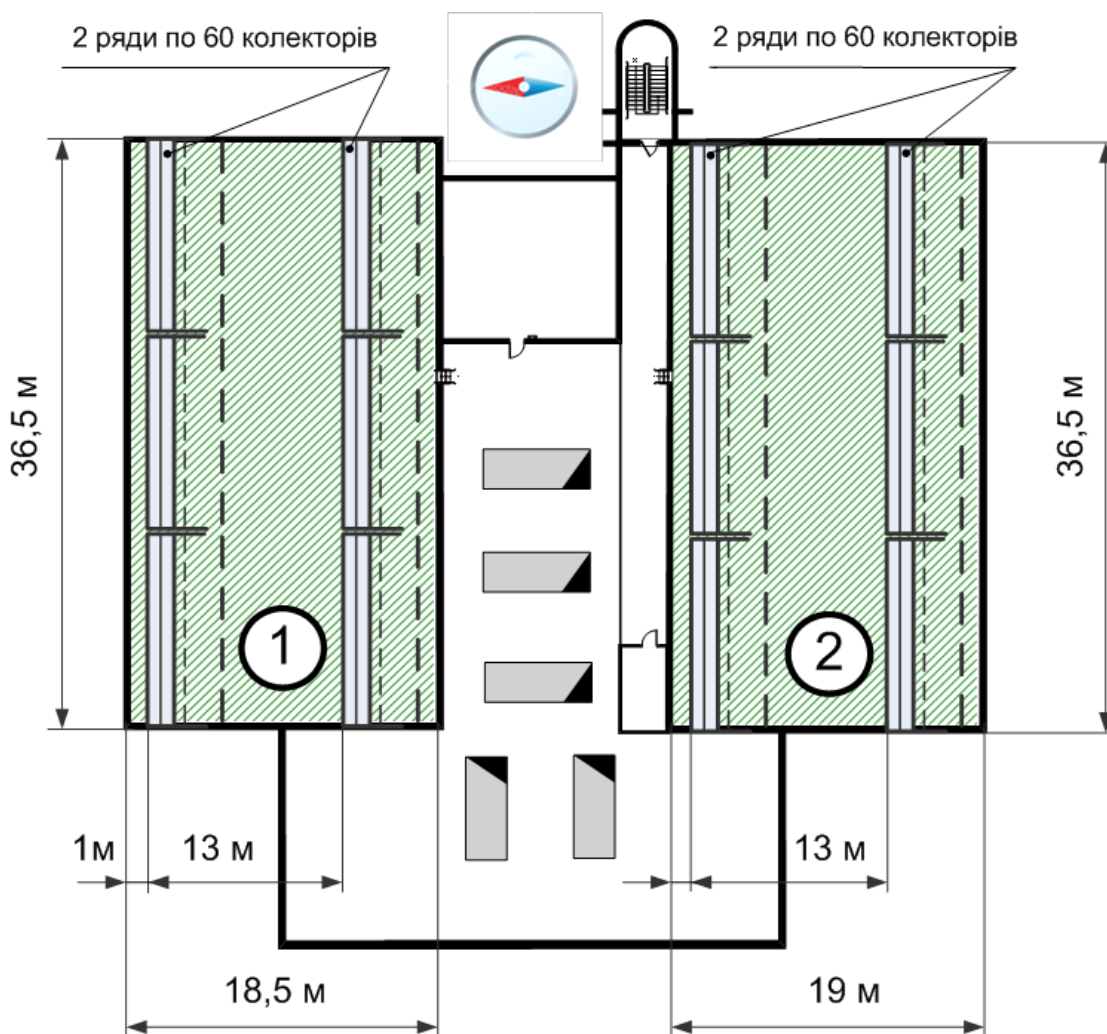


Рис. 8. Загальний вигляд додаткової ділянки для розміщення геліосистеми

Багатокритеріальна оцінка ефективності використання геліосистеми показує, що цей захід дозволяє додатково отримати такий річний ефект: енергетичний – додатковий обсяг теплової енергії – 376,7 Гкал або 20,2%, з якого може використовуватись: будівлею КЗ ХПДЮТ – 212,3 Гкал або 11,4%, іншими будівлями (в період з травня по вересень) – 164,4 Гкал або 8,8%; при цьому потреба КЗ ХПДЮТ в тепловій енергії забезпечується: в період з травня по вересень – на 100%, в опалювальний період – на 2,8 ... 35,6%; екологічний – скорочення витрати природного газу – 47,7 тис. м³, зменшення викидів у атмосферу CO₂ і NO_x – 92,6 т і 0,101 т, відповідно; економічний – скорочення плати за теплову енергію – 721,3 тис. грн.; орієнтовний термін окупності заходу складає 5 років.

ВИСНОВКИ

1. Створено метод багатокритеріальної оцінки ефективності енергозберігаючих заходів при теплозабезпеченні будівель. В якості критеріїв оцінки ефективності досліджуваних заходів в цьому методі використовуються показники: 1) енергетичного ефекту – абсолютне та відносне значення зекономленої теплової енергії; 2) екологічного ефекту – кількості: зекономленого палива, зменшення викидів у атмосферу парникових газів і забруднюючих речовин; 3) економічного ефекту – вартості зекономлених теплової енергії і палива.

2. Проведено експериментальне відпрацювання створеного методу на базі натурного об'єкту – будівлі Комунального закладу «Харківський палац дитячої та юнацької творчості» із загальною опалювальною площею понад 13 700 м². В ході досліджень оцінено ефективність використання альтернативного джерела теплопостачання – геліосистеми, яка складається з 180-ти сонячних колекторів. Встановлено, що цей захід має такий річний ефект: енергетичний – додатковий обсяг теплової енергії – 376,7 Гкал або 20,2%; екологічний – скорочення витрати природного газу – 47,7 тис. м³,

зменшення викидів у атмосферу CO₂ і NO_x – 92,6 т і 0,101 т, відповідно; економічний: скорочення плати за теплову енергію – 721,3 тис. грн.; орієнтовний термін окупності заходу складає 5 років.

3. Результати досліджень продемонстрували такі властивості запропонованого методу оцінки ефективності енергозберігаючих заходів, як: висока інформативність результатів, забезпечення можливості проведення багатокритеріальної оптимізації параметрів систем теплопостачання і теплоспоживання об'єкта досліджень, здатність до удосконалення шляхом збільшення кількості досліджуваних показників ефективності.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. The Covenant of Mayors for Climate and Energy Reporting Guidelines / Covenant of Mayors & Mayors for climate and energy // Adapt Offices and the Joint Research Centre of the European Commission, 2016. – 78 s.

2. Ковалко М.П., Денисюк С.П. Енергозбереження – пріоритетний напрямок державної політики України. – Київ: Українські енциклопедичні знання, 1998. – 512 с.

3. Alibekova A., Shaimerdenova G., Agilbaeva M. Ecological problems of thermal power plants // Journal of Industrial Technology and Engineering, 2013. – № 4(09). – Pp. 40-44.

4. Варламов Г.Б., Дідик І.С. Основні особливості реалізації принципу екологічної рівноваги на екологічному об'єкті // Молодий вчений: наук. журнал. – Херсон, 2016. – № 1, Ч. 3. – С. 104-107.

5. Бараннік В.О., Земляний М.Г. Енергозбереження – пріоритетний напрям енергетичної політики та підвищення енергетичної безпеки України // 36. наук, праць Міжнар. наук.-практ. конф. «Енергоефективність – 2004». – О., 2004. – С. 97-108.

6. Маляренко В.А., Щербак І.Є. Аналіз споживання паливно-енергетичних ресурсів України та їх раціонального використання // Вісник НТУ

«ХП». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування, 2013. – № 14(988). – С. 118-126.

7. Тарифи на теплову енергію для бюджетних установ, інших споживачів (крім населення) і релігійних організацій. КП «Харківські теплові мережі»[електронний ресурс] / режим доступу: http://www.hts.kharkov.ua/КРНТС_v2_public_info_tarify.php.

8. Исаченко В.П., Осипова В. А., Сукомел А. С. Теплопередача: учебник для вузов. – М: Энергия, 1975. – 488 с.

9. Плоскі сонячні колектори Logasol SKT 1.0. Бударус Україна [електронний ресурс] / режим доступу: <https://www.buderus.ua/products/solar/skt10.html>.

10. Вовчак В., Тесленко О., Самченко О., Сушкова Д. Кращі з доступних технологій для житлово-комунального господарства України. Керівництво з відбору технологій / Під редакцією С. Єрмілова. - К.: «Поліграф плюс», 2016. - 134 с.