

А.П. Полив'янчук, Ю.Л. Коваленко, С.В. Романенко, Р.А. Семененко

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна

КОМПЛЕКСНЕ ОЦІНЮВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ТА ЕКОЛОГО-ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ «РОЗУМНИЙ БУДИНОК» В СИСТЕМАХ ОПАЛЕННЯ ЗАКЛАДІВ ОСВІТИ

Представлені результати оцінювання економічного, екологічного і енергетичного ефектів використання технології «розумний будинок» для керування режимами опалення приміщень натурного об'єкту – Комунального закладу «Харківський палац дитячої та юнацької творчості Харківської міської ради Харківської області». Використовувались критерії ефективності: економія теплової енергії і палива та коштів на їх споживання при опаленні будівлі, зменшення викидів CO_2 , NO_x .

Ключові слова: теплопостачання, енергозбереження, натурний об'єкт, система опалення, тепловий режим, «розумний будинок», ефективність.

Вступ

Функціонування систем комунальної енергетики супроводжується значним негативним впливом на навколишнє середовище – викидами CO_2 та забруднюючих речовин у атмосферу, що сприяє розвитку та посиленню локальних і глобальних екологічних проблем. Робота котельних установок і ТЕЦ потребує забезпечення паливом, потреба в якому з розширенням теплових мереж зростає.

Актуальною проблемою вітчизняних комунальних господарств є нераціональне використання теплової енергії при теплозабезпеченні будівель. Негативними наслідками цієї проблеми є надмірне споживання вичерпних природних ресурсів, збільшення екологічного навантаження на навколишнє середовище, систематичне несення невиправданих економічних витрат населенням в опалювальні періоди та ін. За напрямками негативного впливу ці наслідки можна розділити на три групи: енергетичні, екологічні та економічні.

Одним з перспективних заходів щодо вирішення вказаної проблеми є впровадження технології «розумний будинок» для керування системами опалення будівель. Цей захід передбачає використання системи автоматизованого регулювання теплових режимів приміщень будівлі з врахуванням фактичної потреби їх в комфортному тепло забезпеченні – наприклад, системи HERZ Smart Comfort [1, 2] або її аналога. Для забезпечення максимальної результативності даного заходу його ефективність слід розглядати, як комплексну величину, в якій враховуються енергетичні, екологічні та економічні показники.

Мета і завдання дослідження

Мета роботи полягала в комплексному оцінюванні енергетичної, екологічної та економічної ефективності використання технології «розумний будинок» для керування режимами опалення приміщень натурного об'єкту – Комунального закладу «Харківський палац дитячої та юнацької творчості Харківської міської ради Харківської області» (КЗ ХПДЮТ). Для досягнення цієї мети вирішені наступні завдання:

- 1) аналіз будівлі натурного об'єкту та потреби її приміщень у комфортному тепловому забезпеченні;
- 2) розробка методики комплексного оцінювання енергетичної, екологічної та економічної ефективності енергозберігаючих заходів;
- 3) комплексне оцінювання ефективності впровадження системи HERZ Smart Comfort на натурному об'єкті.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

У останні роки значна кількість міст України, зокрема Київ, Харків, Львів, Тернопіль, Чернівці та ін. приєдналися до «Угоди мерів по клімату і енергії» [3], якою передбачається проведення муніципальними органами влади заходів щодо суттєвого зменшення викидів у атмосферу парникових газів – на 30 % до 2030 р. Досягнення такого результату потребує нової стратегії використання і розвитку міських теплових мереж, яка передбачає підвищення екологічної безпеки котельних установок і ТЕЦ за рахунок впровадження інноваційних вискоелективних енергоекологічних технологій спалювання палива у поєднанні з використанням нетрадиційних джерел енергії: теплових насосів, енергії вітру, сонця, біоресурсів, геотермальних джерел, тощо [4].

При цьому слід враховувати такі проблеми теплоенергетики як: застаріла технологія виробництва та обладнання, висока енергомісткість та матеріаломісткість, що перевищують у 2-3 відповідні показники розвинутих країн; відсутність належних природоохоронних систем, відсутність належного правового та економічного механізмів, які стимулювали б розвиток екологічно безпечних технологій та природоохоронних систем та ін. [5]. Разом з цим стимуляція ефективного споживання теплової енергії населенням дозволить зменшити ресурсомісткість теплових мереж, що зумовить зниження забруднення навколишнього середовища і скорочення викидів у атмосферу парникових газів. [6].

Виклад основного матеріалу

Аналіз натурного об'єкту та потреби його приміщень у комфортному тепловому забезпеченні.

Об'єкт досліджень – будівля КЗ ХПДЮТ 1993 р. забудови, складається із двох корпусів, має багаторівневу складну Т-подібну форму (рис. 1).

Згідно з проектною документацією на будівлю: її будівельний об'єм складає 80 375 м³, загальна площа будівлі дорівнює 15 159 м²; корисна площа 13 712 м²; проектна витрата теплової енергії на опалення 1 м² загальної площі дорівнює 183 Вт/м².

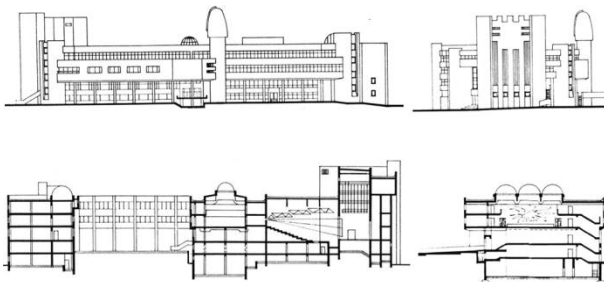


Рис. 1. Загальний вигляд будівлі КЗ ХПДЮТ

Теплопостачання будівлі на потреби опалення та гарячого водопостачання здійснюється від теплових мереж підприємства КП «Харківські теплові мережі». Згідно з проектною документацією загальна розрахункова приєднана потужність будівлі складає 2,784 Гкал/год, в т.ч.: система опалення – 0,834 Гкал/год; система вентиляції – 1,50 Гкал/год; система гарячого водопостачання – 0,45 Гкал/год. Фактичні обсяги теплоспоживання будівлі у Гкал, усереднені за 4 роки, складають: річний – 1870,3. За

ознакою тривалості фактичного використання приміщення будівлі можна поділити на 4 групи: цілодобово; з 9.00 до 19.00 (крім вихідних); з 14.00 до 20.00; за особливим графіком (рис. 2).



Рис. 2. Результати аналізу потреби приміщень будівлі КЗ ХПДЮТ у комфортному тепловому забезпеченні

Методика комплексного оцінювання ефективності енергозберігаючих заходів створена з метою підвищення інформативності процесу оцінювання шляхом врахування при його проведенні різних критеріїв ефективності. Її сутність полягає в тому, що загальна ефективність енергозберігаючих заходів розглядається, як 3-компонентний вектор, складовими якого є енергетичний, екологічний та економічний ефекти від їх впровадження.

При цьому критеріями ефективності є:

– *енергетичного ефекту*: абсолютне – ΔQ (кВт·год) і відносне – δQ (%) значення зекономленої кількості теплової енергії за опалювальний 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 опалювальний період до і після впровадження енергозберігаючих заходів, відповідно, кВт·год;

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

– *екологічного ефекту*: маса (об'єм) зекономленого палива – $\Delta M_{\text{п}}$ (кг) ($\Delta V_{\text{п}}$ (м³)), зменшення маси викидів у атмосферу парникових газів, зокрема – CO₂ і забруднюючих речовин – $\Delta M_{\text{зр}}$ (кг):

$$\Delta M_{\text{п}} = 3,6 \cdot \frac{\Delta Q}{Q_{\text{н}}}, \quad (3)$$

де $Q_{\text{н}}$ – нижча теплота згоряння палива, МДж/кг;

$$\Delta V_{\text{п}} = \frac{\Delta M_{\text{п}}}{\rho_{\text{п}}}, \quad (4)$$

де $\rho_{\text{п}}$ – густина палива, кг/м³;

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

де $K_{\text{зр}}$ – коефіцієнт емісії забруднюючої речовини, г/ГДж;

– економічного ефекту: зменшення плати за кількість теплової енергії, спожитої за опалювальний період – $\Delta C_{оп}$ (грн) та за паливо – $\Delta C_{п}$ (грн):

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

де $c_{он}$ – вартість одиниці теплової енергії згідно встановлених тарифів, грн/Гкал;

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

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

Методика оцінювання енергоефективності використання системи HERZ Smart Comfort на об'єкті досліджень. У приміщеннях, які не використовуються цілодобово, існує можливість введення економного режиму витрати тепла шляхом зниження температури в період відсутності персоналу та відвідувачів. У розрахунку приймається середня комфортна температура в приміщенні, що дорівнює 20 °С. Тимчасове зниження температури доцільно, якщо приміщення не використовується протягом 10-12 годин і більше, що має місце в більшості навчальних і службових приміщень у нічний час, у вихідні та святкові дні. Тимчасове зниження температури не повинно перевищувати 4 °С щоб уникнути порушення вологісного режиму і появи температурних деформацій [2]. Приймалось, що система автоматизованого керування тепловими режимами приміщень забезпечує комфортну температуру лише в приміщеннях, які фактично використовуються персоналом та відвідувачами, в інших приміщеннях вона підтримує температуру економного режиму – меншу на 4 °С від комфортної, тобто 16 °С. В якості вихідних даних для проведення досліджень використано значення опалювальних площ приміщень будівлі та результати аналізу їх потреби в комфортному тепловому забезпеченні (табл. 1, див. рис. 2).

Таблиця 1

Класифікація приміщень натурного об'єкту

Тип приміщень	Режим використання	Площа, м ²	Доля від загальної площі, %
Приміщення з цілодобовим перебуванням персоналу	цілодобово	1079	11,9
Адміністративні приміщення	пн. - пт. з 9.00 по 18.00	1382	15,3
Навчальні приміщення, які використовуються в одну зміну	з 8.00 по 13.00	4208	46,6
Навчальні приміщення, які використовуються у дві зміни	з 8.00 по 18.00	390	4,3
Глядацька зала на 450 місць	2 дні на тиждень з 9.00 по 18.00	615	6,8
Коридори	цілодобово	1365	15,1
Загальна площа		9033	100,0

У розрахунках враховувався діючий на момент проведення досліджень тариф на тепло (без урахування ПДВ) – 1595,6 грн / Гкал [7]. Теплова інерція будівлі не враховувалась. Вважалось, що теплові втрати, орієнтовно, пропорційні площі приміщення. Оптимізацію подачі тепла за часом передбачається провести у всій будівлі, за винятком приміщень з цілодобовим перебуванням персоналу. У розрахунках використовувалися такі співвідношення [8].

Фактичне споживання теплової енергії в опалювальні сезони 2015-2018 рр.:

$$Q_{\phi} = k \cdot F \cdot \Delta t_{\phi}, \quad (8)$$

де k – коефіцієнт теплопередачі, Вт / м²;

F – площа огорожувальних конструкцій, м²;

Δt_{ϕ} – різниця температури повітря в приміщенні і середньомісячної температури зовнішнього повітря в опалювальні сезони 2015-2018 рр., °С, звідки випливає

$$k \cdot F = \frac{Q_{\phi}}{\Delta t_{\phi}}. \quad (9)$$

Розрахункове споживання теплової енергії для середньомісячних температур зовнішнього повітря опалювального сезону за період 1981-2016 рр. до використання терморегулювання (ТР) визначаємо шляхом оптимізації тимчасового температурного режиму будівлі:

$$Q_p = k \cdot F \cdot \Delta t_p = \frac{Q_{\phi}}{\Delta t_{\phi}} \cdot \Delta t_p, \quad (10)$$

де Δt_p – різниця внутрішньої і зовнішньої температур для середньомісячних температур опалювального сезону, °С.

Споживання теплової енергії після ТР, Гкал:

$$Q_{TR} = \frac{Q_p \cdot \tau_{16} \cdot (\Delta t_p - 4)}{\Delta t_p \cdot \tau_{20}} + \frac{Q_p \cdot \tau_{20}}{\tau_{20}}, \quad (11)$$

де τ_{16} – кількість годин у тиждень з температурою в приміщенні 16 °С, год;

τ_{20} – кількість годин у тиждень з температурою в приміщенні 20 °С, год;

$\tau_{т}$ – кількість годин у тиждні, год.

Середньомісячні значення фактичного споживання теплової енергії були скориговані з урахуванням середньомісячних температур зовнішнього повітря в Харкові за тривалий період.

В якості вихідних даних для розрахунків використовувались значення середньомісячного фактичного споживання теплової енергії об'єктом досліджень в опалювальні сезони 2015–2018 рр. (табл. 2).

Таблиця 2

Середньомісячне фактичне споживання теплової енергії будівлею КЗ ХПДЮТ – Q_{ϕ} , Гкал

Місяць	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Жовтень	Листопад	Грудень
Споживання теплової енергії	260,5	235,6	171,2	55,1	65,6	177,4	140,5

Результати досліджень та їх аналіз

У відповідності до вищенаведеної методики проведено оцінювання економії теплової енергії за

всіма приміщеннями будівлі КЗ ХПДЮТ, що підлягають оптимізації температурного режиму. Результати розрахунків (табл. 3) свідчать про те, що застосування оптимізації температурного режиму будівлі

шляхом зниження температури в період відсутності персоналу та відвідувачів дозволить заощадити протягом опалювального сезону 130,3 Гкал теплової енергії і близько 250 тис. грн. на оплату тепла.

Таблиця 3

Результати розрахунків економії теплової енергії по всім приміщенням натурного об'єкту, що підлягають оптимізації температурного режиму

Місяць	Потреба в тепловій енергії до ТР, Гкал	Потреба в тепловій енергії після ТР, Гкал	Економія теплової енергії в результаті ТР, Гкал	Частка зекономленої енергії, %
Січень	258	234,2	23,8	9,2
Лютий	255	231,4	23,6	9,3
Березень	185	163,0	22	11,9
Квітень (за період з 01.04.17 по 14. 04.17)	66	54,0	12	18,2
Жовтень (за період з 15.10.17 по 31. 10.17)	59	49,8	9,2	15,6
Листопад	188	165,5	22,5	12,0
Грудень	160	142,8	17,2	10,7
Опалювальний сезон	1171	1040,7	130,3	11,1

Комплексне оцінювання ефективності впровадження технології «розумний будинок» в системі опалення натурного об'єкту показує, що цей захід дозволяє отримати такий річний ефект (рис. 3): *енергетичний*: економія теплової енергії – 130,3 Гкал або 7,0%; *екологічний*: скорочення витрати природного газу – 16,5 тис. м³, зменшення викидів у атмосферу CO₂ і NO_x – 32,0 т і 0,035 т, відповідно; *економічний*: скорочення плати за опалення – 249,5 тис. грн.

чих речовин, величини зменшення плати за використане паливо та кількість спожитої теплової енергії.

2. Для натурного об'єкту – будівлі КЗ ХПДЮТ оцінено річний ефект від використання технології «розумний будинок» для керування системою опалення: *енергетичний*: економія теплової енергії – 130,3 Гкал або 7,0%; *екологічний*: скорочення витрати природного газу – 16,5 тис. м³, зменшення викидів у атмосферу CO₂ і NO_x – 32,0 т і 0,035 т, відповідно; *економічний*: скорочення плати за опалення – 249,5 тис. грн.

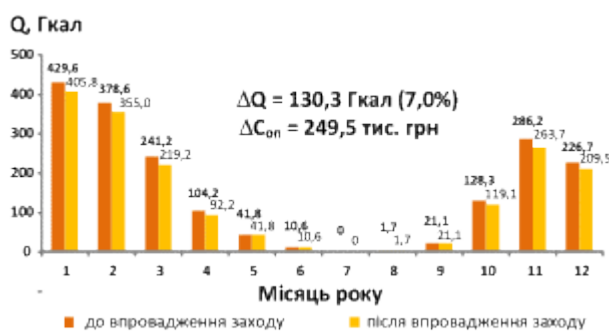


Рис. 3. Результати оцінювання ефективності системи управління тепловими режимами приміщень

Висновки

1. Створено методику комплексного оцінювання ефективності енергозберігаючих заходів, яка дозволяє визначати показники енергетичного, екологічного та економічного ефектів: абсолютне і відносне значення кількості зекономленої теплової енергії, величини зменшення кількості палива, викидів у атмосферу парникових газів і забруднюю-

Література

1. HERZ Smart Comfort: дистанционное управление комфортом дома [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://volar.com.ua/news/herz-smart-comfort-distantionnoe-upravlenie-komfortom-doma.html>.
2. Polivyanchuk, A. Improving the efficiency of thermal energy use when heating buildings through the introduction of technologies «smart home» [Текст] / A. Polivyanchuk, Y. Kovalenko // Вісник Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна. Серія «Екологія», 2018. – Випуск №19. – С. 119-126.
3. The Covenant of Mayors for Climate and Energy Reporting Guidelines / Covenant of Mayors & Mayors for climate and energy (2016). Adapt Offices and the Joint Research Centre of the European Commission, 78.
4. Alibekova, A., Shaimerdenova, G., Agilbaeva, M. (2013). Ecological problems of thermal power plants. *Journal of Industrial Technology and Engineering*, 4(09), 40-44.
5. Варламов, Г.Б. Основні особливості ре-алізації принципу екологічної рівноваги на екологічному об'єкті [Текст] / Г.Б. Варламов, І.С. Дідик // Молодий вчений: наук. журнал. – Херсон, 2016. – № 1, Ч. 3. – С. 104-107.

6. Маляренко, В.А. Аналіз споживання паливно-енергетичних ресурсів України та їх раціонального використання [Текст] / В.А. Маляренко, І.С. Щербак // Вісник НТУ «ХПІ». 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/KPHTS_v2_public_info_tarify.php.
8. Исаченко, В.П. Теплопередача [Текст]: учебник для вузов. [Текст] / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел – М.: Энергия, 1975. – 488 с.

References

1. HERZ Smart Comfort: remote control of home comfort (n.d.) Retrieved from <https://volar.com.ua/news/herz-smart-comfort-distantionnoe-upravlenie-komfortom-doma.html>.
2. Polivyanchuk, A., Kovalenko, Y. (2018). Improving the efficiency of thermal energy use when heating buildings through the introduction of technologies «smart home». *Herald of Kharkiv National University named V. Karazin: ecology*, 19, 119-126.
3. The Covenant of Mayors for Climate and Energy Reporting Guidelines / Covenant of Mayors & Mayors for climate and energy (2016). *Adapt Offices and the Joint Research Centre of the European Commission*, 78.
4. Alibekova, A., Shaimerdenova, G., Agilbaeva, M. (2013). Ecological problems of thermal power plants. *Journal of Industrial Technology and Engineering*, 4(09), 40-44.
5. Varlamov, G., Didik, I. (2016). The main features of the implementation of the principle of environmental equilibrium on the ecological object. *Young scientist: scientific journal*, 1, 3, 104-107.
6. Maiarenko, V., Sherbak, I. (2013). Analysis of consumption of fuel and energy resources of Ukraine and their rational use. *Bulletin of the NTU "KhPI". Series: Power and heat engineering processes and equipment*, 14(988), 118-126.
7. Tariffs for heat energy for budget institutions, other consumers (except for population) and religious organizations. Communal Enterprise "Kharkiv heat networks" (2018). Retrieved from http://www.hts.kharkov.ua/KPHTS_v2_public_info_tarify.php.
8. Isachenko, V., Osipova, V., Sukomel, A. (1975). Heat transfer: textbook for universities. Energy, 488.
- Рецензент:** д-р техн. наук, проф. І.В. Парсаданов, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна
- Автор:** ПОЛИВ'ЯНЧУК Андрій Павлович
д.т.н., проф.
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
E-mail - arpmail@meta.ua
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9966-1938>
- Автор:** КОВАЛЕНКО Юрій Леонідович
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
E-mail - kovalenkoy55@gmail.com
- Автор:** РОМАНЕНКО Сергій Вікторович
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
E-mail - etv1715@gmail.com
- Автор:** СЕМЕНЕНКО Роман Анатолійович
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
E-mail - semenenko_roman@ukr.net

COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF THE ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL-ENERGY EFFICIENCY OF THE USE OF "SMART HOME" TECHNOLOGIES IN HEATING SYSTEMS OF EDUCATIONAL INSTITUTIONS

A.P. Polivyanchuk, Y.L. Kovalenko, S.V. Romanenko, R.A. Semenenko

O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine

The results of a comprehensive assessment of the economic, environmental and energy effects of using the "smart home" technology to control the heating modes of a natural object - the communal institution "Kharkiv Palace of Children's and Youth Creativity of the Kharkiv City Council of the Kharkiv Region" (CI KPCYC) are presented. The following criteria were considered as efficiency criteria: energy effect - absolute and relative reduction of monthly and annual heat consumption; environmental effect - reduction of monthly and annual fuel consumption by the building's heat supply system, reduction of greenhouse gas emissions into the atmosphere — CO₂ and pollutants — NO_x in the production of heat energy; economic effect - monthly and annual reduction of fees for the use of heat and fuel by the object of research. A method for the integrated assessment of the efficiency of energy-saving measures has been created, which makes it possible to determine the indicators of energy, environmental and economic effects. In order to improve the environmental and energy and economic efficiency of the heat consumption system of a full-scale facility, it is proposed to use the "smart home" technology to control the modes of space heating, which provides for the introduction of the HERZ Smart Comfort system or its equivalent for the automated regulation of the thermal conditions of the building premises. in the comfort of providing thermal energy. For the natural object - the building of the CI KPCYC, the annual effect from the "smart" control of the heating system is estimated: energy: energy savings: 130.3 Gcal or 7.0%; ecological: reduction of natural gas consumption - 16.5 thousand m³, reduction of CO₂ and NO_x emissions into the atmosphere - 32.0 tons and 0.035 tons, respectively; economic: reduction of payment for heating - 249.5 thousand UAH.

Keywords: heat supply, energy saving, natural object, heating system, thermal regime, smart home, efficiency.