

УДК 697.317

В. А. ВОЛОЩУК, канд. техн. наук; докторант Національний Технічний Університет України «Київський політехнічний інститут», Київ

ВПРОВАДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ РІШЕНЬ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ МІСЦЕВИХ ТА ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ ПРИ ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННІ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДІВ В УМОВАХ УКРАЇНИ

В роботі пропонується та обґрунтовується можливість впровадження енергоефективних рішень з теплозабезпечення типового навчального закладу в умовах України. На основі розроблених методологічних підходів зроблена кількісна оцінка та оптимізація комплексного рішення, а також алгоритм його реалізації, що враховує і влаштування власного джерела теплоти із використанням біопалива і підсилення теплозахисту огорожувальних конструкцій будівель.

Ключові слова: теплозабезпечення, теплова ізоляція, біопаливо, оптимізація.

Вступ. Стан теплозабезпечення населених пунктів України знаходиться на критичному рівні. Існуючі системи морально та фізично застаріли. Енергоефективність всієї технологічної ланки теплозабезпечення (виробництво, транспортування та споживання теплової енергії) – дуже низька. Природний газ, що імпортується і ціна на який весь час зростає, виступає основним видом первинного палива.

Аналіз основних досягнень та літератури. Серед багатьох критеріїв обґрунтування рішень зі створення, модернізації чи реконструкції системи теплозабезпечення варто виділити такі, які характеризують рівень створення теплового комфорту, економічну доцільність та екологічну прийнятність [1, 2].

Як відмічається в [3], найбільше зниження затрат енергії на опалення в умовах України забезпечується саме за рахунок додаткового теплозахисту будівель, більшість з яких було збудовано в період колишнього Радянського Союзу з низьким рівнем опору теплопередачі зовнішніх огорожень. На сьогоднішній день уже добре відпрацьовані технології виробництва теплової енергії, що базуються на спалюванні біопалива [4], а також теплонасосні технології [5].

Необхідно відмітити, що збільшення рівня теплозахисту огорожувальних конструкцій будівель підвищує температуру внутрішніх поверхонь огорожень будівлі і тим самим значно покращує внутрішній тепловий комфорт. Чим вища температура цих внутрішніх поверхонь, тим вища так звана радіаційна температура і тим кращий тепловий комфорт. При цьому температура внутрішнього повітря може бути і зниженою [6]. Але, як показує аналіз, таке рішення часто важко втілити через необхідність значних капіталовкладень і, як результат, великі терміни окупності [7].

Аналіз літературних джерел показав, що саме впровадженню комплексних рішень з теплозабезпечення населених пунктів, масивів або окремих будівель поки що мало приділяється уваги. Часто пропонується рішення, що стосуються якогось окремого елемента системи теплозабезпечення (джерело теплоти, система транспортування теплоти, тощо), і мають досить низький загальний ефект. Потребують розробки та детального висвітлення більш конкретні схеми з підвищення ефективності теплозабезпечення споживачів.

Мета роботи. В роботі пропонується та обґрунтовується схема впровадження енергоефективних рішень з теплозабезпечення типового навчального закладу України. При цьому, спочатку пропонуються результати аналізу з доцільності влаштування

© В.А. Волощук, 2015

тільки додаткової теплової ізоляції зовнішніх огорожень як навчальних корпусів так і гуртожитків. Також проводяться дослідження з можливості встановлення власного джерела теплоти із використанням біопалива. Після цього розглядається комплексне рішення та алгоритм його реалізації, що враховує і влаштування власного джерела теплоти і підсилення теплозахисту огорожувальних конструкцій будівель.

Методологічні підходи для проведення аналізу. Економічна доцільність інвестування у проекти сьогодні визначається, виходячи із таких показників: чистий дисконтований дохід; індекс прибутковості; внутрішня норма прибутковості; термін окупності. На початковому етапі досліджень в якості критерію економічної доцільності вибору рішення будемо користуватись бездисконтним терміном окупності, T_0 , років

$$T_0 = \frac{K}{\Delta}, \quad (1)$$

де K – інвестиції в будівництво (реконструкцію), грн; Δ – прибуток за рахунок можливого скорочення річних експлуатаційних витрат при впровадженні енергоефективного рішення

$$\Delta = c - c_{EFF}, \quad (2)$$

де c , c_{EFF} – відповідно експлуатаційні витрати до та після впровадження енергоефективного рішення, грн/рік.

Необхідну витрату теплоти на опалення всієї площі будівлі за опалювальний період, згідно [8], пропонується визначати за формулою

$$Q_{SP.HEAT} = [Q_k - (Q_{INNER} + Q_S) \nu \zeta] \beta_h, \quad (3)$$

де Q_k – загальні тепловтрати через огорожувальну оболонку будинку, кВт·год; Q_{INNER} – побутові теплонадходження протягом опалювального періоду, кВт·год; Q_S – теплові надходження через вікна від сонячної радіації протягом опалювального періоду, кВт·год; ν – коефіцієнт, що враховує здатність огорожувальних конструкцій будинків акумулювати або віддавати тепло при періодичному тепловому режимі; ζ – коефіцієнт авторегулювання подавання тепла в системах опалення; β_h – коефіцієнт, що враховує додаткове теплоспоживання системою опалення, пов'язане з дискретністю номінального теплового потоку номенклатурного ряду опалювальних приладів і додатковими тепловтратами через зарадіаторні ділянки огорож, тепловтратами трубопроводів, що проходять через неопалювані приміщення.

Будемо розглядати будівлю, що має форму прямокутного паралелепіпеда. Саме такий тип будівель характерний як для країн буюшого СРСР так і багатьох інших країн. Крім того, приймемо, що прозорі огороження (вікна) влаштовані тільки на вертикальних зовнішніх огороженнях. Горишне перекриття – не має прозорих частин.

Тоді загальні тепловтрати через огорожувальну оболонку будинку, кВт·год, за опалювальний період можна визначити як

$$Q_k = \chi_1 D \left\{ \xi \left[F_{VERT}^{TOTAL} \left(\frac{1}{R_{VERT}^{ENC}} + \phi^W \left(\frac{1}{R_{VERT}^W} - \frac{1}{R_{VERT}^{ENC}} \right) \right) + \frac{F_{RF}}{R_{RF}} + \frac{F_{FL}}{R_{FL}} \right] + \chi_2 c n \beta_V \gamma \eta V_h \right\}, \quad (4)$$

де $\chi_1 = 0,024$ – розмірний коефіцієнт; D – осереднене значення кількості градусо-діб в районі розміщення будинку, град·доба; ξ – коефіцієнт, що враховує додаткові тепловтрати, які пов'язані з орієнтацією огорожень за сторонами світу, наявністю

кутових приміщень, надходженням холодного повітря через входи в будинок; F_{VERT}^{TOTAL} , F_{VERT}^{ENC} , F_{VERT}^W , F_{RF} , F_{FL} – відповідно площі: вертикальної огорожувальної конструкції загалом, її непрозорої частини, прозорої частини, та горищного і підвального перекриття, м²; $\phi^W = F_{VERT}^{ENC} / F_{VERT}^W$ – коефіцієнт застосування огорожувальної конструкції; R_{VERT}^{ENC} , R_{VERT}^W , R_{RF} , R_{FL} – відповідно приведені опір теплопередачі непрозорої, прозорої вертикальної огорожувальної конструкції, горищного і підвального перекриття, м²·град/Вт; $\chi_2 = 0,278$ – розмірний коефіцієнт; c – питома теплоємність повітря, кДж/(кг·К); n – середня кратність повітрообміну будинку протягом опалювального періоду, год⁻¹; β_V – коефіцієнт зниження об'єму повітря у будинку, що враховує наявність внутрішніх огорожувальних конструкцій; γ – середня густина повітря, що надходить до приміщення за рахунок інфільтрації та вентиляції, кг/год; η – коефіцієнт впливу зустрічного теплового потоку в огорожувальних конструкціях; V_h – опалюваний об'єм будинку, м³.

Побутові теплонадходження протягом опалювального періоду, кВт·год, визначимо за формулою [8]

$$Q_{INNER} = \chi_1 q_{INNER} \frac{D}{t_{IN} - \bar{t}_{H.S}} A_r, \quad (5)$$

де χ_1 – розмірний коефіцієнт, див. формулу (2); q_{INNER} – питомі побутові тепловиділення на 1 м² житлової або розрахункової площі будівлі, у разі відсутності даних приймаються рівними 10 Вт/м²; $\bar{t}_{H.S}$ – середня температура опалювального періоду, °С; t_{IN} – температура повітря всередині будинку; A_r – житлова або розрахункова площа будівлі, м², яку при відсутності даних можна визначати як [8]

$$A_r = k_R \cdot A_h, \quad (6)$$

де A_h – опалювальна площа будівлі, м²; k_R – коефіцієнт, який рівний відношенню A_r / A_h .

Для спрощення тепловими надходженнями через вікна від сонячної радіації протягом опалювального періоду знехтуємо. Таке спрощення допустиме, оскільки для більшості будинків, які вже збудовані, архітектурні рішення з метою максимального використання сонячної енергії для пасивного обігріву протягом опалювального періоду майже не використовувались. В існуючих будівлях теплонадходження сонячної враховано датою початку та кінця опалювального періоду.

Тоді залежність для визначення розрахункових витрат енергії на опалення та вентиляцію будинку буде мати такий вигляд

$$Q_{SP.HEAT} = \left\{ \chi_1 D \xi \left[F_{VERT}^{TOTAL} \left(\frac{1}{R_{VERT}^{ENC}} + \phi^W \left(\frac{1}{R_{VERT}^W} - \frac{1}{R_{VERT}^{ENC}} \right) \right) + \frac{F_{RF}}{R_{RF}} + \frac{F_{FL}}{R_{FL}} \right] + \chi_1 D \chi_2 c n \beta_V \gamma_3 \eta V_h - \chi_1 q_{INNER} \frac{D}{t_{IN} - \bar{t}_{H.S}} k_R A_h \nu \zeta \right\} \beta_h, \quad (7)$$

Додаткові капітальні вкладення, євро, в підвищення опору теплопередачі огорожувальних конструкцій будівлі представимо у вигляді

$$\Delta K_{INS} = i_{INS.VERT}^{ENC} F_{VERT}^{TOTAL} (1 - \phi^W) + c_{INS.VERT}^{ENC} V_{INS.VERT}^{ENC} + i_{INS.VERT}^W \phi^W F_{VERT}^{TOTAL} + c_{INS.VERT}^W \phi^W F_{VERT}^{TOTAL} R_{VERT}^W + i_{INS.RF} F_{RF} + c_{INS.RF} V_{INS.RF} + i_{INS.FL} F_{FL} + c_{INS.FL} V_{INS.FL}, \quad (8)$$

де $i_{INS.VERT}^{ENC}$, $i_{INS.RF}$, $i_{INS.FL}$ – вартість будівельно-монтажних робіт при влаштуванні 1 м² теплоізоляційного шару відповідно на непрозорому вертикальному зовнішньому огороженні, горищному та підвальному перекритті, грн/м²; $c_{INS.VERT}^{ENC}$, $c_{INS.RF}$, $c_{INS.FL}$ – вартість 1 м³ теплоізоляційного матеріалу відповідно для непрозорого вертикального зовнішнього огороження, горищного та підвального перекриття, грн/м³; $V_{INS.VERT}^{ENC}$, $V_{INS.RF}$, $V_{INS.FL}$ – об’єм теплоізоляційного матеріалу відповідно для непрозорої частини вертикального зовнішнього огороження, горищного і підвального перекриття, м³; $i_{INS.VERT}^W$ – вартість будівельно-монтажних робіт при збільшенні опору теплопередачі 1 м² прозорої частини вертикального зовнішнього огороження (вікна), грн/м²; $c_{INS.VERT}^W$ – вартість збільшення на 1 м²·град/Вт опору теплопередачі 1 м² прозорої частини вертикального зовнішнього огороження (вікна), євро·Вт/(м²·град); R_{VERT}^W – опір теплопередачі прозорої частини вертикального огороження після термомодернізації, м²·град/Вт.

У свою чергу, об’єм теплоізоляційного матеріалу для непрозорої частини вертикального зовнішнього огороження, горищного і підвального перекриття, м³, можна визначити відповідно за залежностями

$$V_{INS.VERT}^{ENC} = \lambda_{INS.VERT}^{ENC} F_{VERT}^{TOTAL} (1 - \phi^W) (R_{VERT}^{ENC'} - R_{VERT}^{ENC''}), \quad (9)$$

$$V_{INS.RF} = \lambda_{INS.RF} F_{RF} (R_{RF}' - R_{RF}''), \quad (10)$$

$$V_{INS.FL} = \lambda_{INS.FL} F_{FL} (R_{FL}' - R_{FL}''), \quad (11)$$

де $\lambda_{INS.VERT}^{ENC}$, $\lambda_{INS.RF}$, $\lambda_{INS.FL}$ – коефіцієнт теплопровідності теплоізоляційного матеріалу, що наноситься відповідно на непрозору частину вертикального зовнішнього огороження, горищне і підвальне перекриття, Вт/(м·град); $R_{VERT}^{ENC'}$, $R_{VERT}^{ENC''}$, R_{RF}' , R_{RF}'' , R_{FL}' , R_{FL}'' – відповідно загальний приведений опір теплопередачі непрозорої вертикальної поверхні, горищного і підвального перекриття до та після встановлення теплової ізоляції, м²·град/Вт.

Тоді, прийнявши, що вартість будівельно-монтажних робіт при збільшенні опору теплопередачі всіх типів зовнішнього огороження, а також вартість теплоізоляційного матеріалу і коефіцієнти теплопровідності для непрозорих огорожень (вертикальних стін та горищного і підвального перекриття) однакові і рівні відповідно i_{INS} , c_{INS} та $\lambda_{INS.RF}$, формулу (8), можна записати як

$$\Delta K_{INS} = i_{INS} (F_{VERT}^{TOTAL} + F_{RF} + F_{FL}) + c_{INS.VERT}^W \phi^W F_{VERT}^{TOTAL} R_{VERT}^W + c_{INS} \lambda_{INS} \left[F_{VERT}^{TOTAL} (1 - \phi^W) (R_{VERT}^{ENC'} - R_{VERT}^{ENC''}) + F_{RF} (R_{RF}' - R_{RF}'') + F_{FL} (R_{FL}' - R_{FL}'') \right]. \quad (12)$$

Для подальшого аналізу будемо користуватися питомими показниками. Необхідну витрату теплоти на опалення та вентиляцію віднесемо до 1 м² опалювальної площі A_h , $q_{SP.HEAT} = Q_{SP.HEAT} / A_h$. Цей показник є зручним при аналізі певної групи

будівель, житлових районів, міст, тощо, де часто дані даються у вигляді загальної площі житлового фонду, загальної площі офісних та громадських будівель, тощо.

Як показав аналіз, для типу будівель у формі прямокутного паралелепіпеду з кількістю поверхів 4...11 на 1 м² опалювальної площі припадає в середньому 0,45 м² загальної площі вертикального зовнішнього огороження ($F_{VERT}^{TOTAL}/A_h = 0,45 \text{ м}^2/\text{м}^2$), 0,16 м² загальної площі горищного перекриття ($F_{RF}/A_h = 0,16 \text{ м}^2/\text{м}^2$) та 0,16 м² загальної площі підвального перекриття ($F_{FL}/A_h = 0,16 \text{ м}^2/\text{м}^2$). Також, якщо висота поверху становить $h_{FL} = 2,8$ м, то відношення опалювального об'єму до опалювальної площі становить $V_h/A_h = 2,8 \text{ м}^3/\text{м}^2$.

Отже, щорічний дохід Δ за рахунок зменшення затрат енергії на обігрів 1 м² опалювальної площі будинку при збільшенні опору теплопередачі його огорожувальної конструкції, грн/(м²·рік), можна визначити як

$$\Delta = c_E (q'_{SP.HEAT} - q''_{SP.HEAT}), \quad (13)$$

де c_E – вартість теплової енергії, євро/(кВт·год); $q'_{SP.HEAT}$, $q''_{SP.HEAT}$ – витрати теплової енергії на опалення будинку відповідно до та після влаштування теплової ізоляції, визначаються із використанням формули (7), кВт·год/м².

Серед інших енергоефективних рішень при теплозабезпеченні будинків можна розглядати варіант влаштування власного джерела енергії. Часто тут пропонується власна котельня на газовому паливі. З огляду на перспективу краще розглядати рішення з встановлення котельні на біопаливі, теплового насоса або комбінацію цих технологій.

В даній роботі пропонується варіант власної котельні на біопаливі.

Однією із типових оптимізаційних задач в даному випадку є обґрунтування встановленої потужності базового та пікового джерела. Пікове теплове навантаження має місце тільки у період відносно низьких температур навколишнього середовища. Для покриття цих навантажень доцільно використовувати окремі пікові джерела теплоти. Решта теплового навантаження – базове навантаження – покривається базовим джерелом теплоти. Пікове джерело характеризується більш високими експлуатаційними затратами, але меншими капітальними вкладеннями у порівнянні з базовим. Якщо розглядати задачу встановлення котла на біопаливі, то його можна пропонувати як базове джерело теплоти, оскільки такий тип установки потребує більші капітальні вкладення, але характеризується меншими експлуатаційними затратами у порівнянні з газовим або електричним котлом, які доцільно в даному випадку пропонувати для покриття пікових теплових навантажень.

Прибуток за рахунок можливого скорочення річних експлуатаційних витрат при переході від існуючого джерела теплоти до джерела на основі біопалива пропонується визначити за формулою

$$\Delta = Q_{YEAR} c_{REPL} - \left[\frac{Q_{YEAR}^{BASE}}{\eta_{YEAR}^{BASE}} c_{BASE} + \frac{(Q_{YEAR} - Q_{YEAR}^{BASE})}{\eta_{YEAR}^{PEAK}} c_{PEAK} + S_{AM} + S_{REP} + S_{OTHER} \right], \quad (14)$$

де Q_{YEAR} – середньорічна кількість теплоти, яку необхідно подати споживачу, кВт·год/рік; c_{REPL} – вартість енергії від існуючого джерела, євро/(кВт·год); Q_{YEAR}^{BASE} – середньорічна кількість теплоти, яка подається від джерела теплоти із спалюванням біопалива, кВт·год/рік; η_{YEAR}^{BASE} , η_{YEAR}^{PEAK} – відповідно середньорічні ККД виробництва та подачі до споживача теплоти від котельні, що працює на біопаливі та

пікового джерела теплоти; c_{BASE} , c_{PEAK} – вартість первинної енергії (біопалива, природного газу, електричної енергії), що використовується відповідно для покриття базового та пікового теплового навантаження, грн/(кВт·год), при цьому $c_{BASE} < c_{PEAK}$; $Q_{YEAR} - Q_{YEAR}^{BASE}$ – різниця, що визначає середньорічну кількість теплоти, яку покриває пікове джерело, кВт·год/рік; $S_{AM} + S_{REP} + S_{OTHER}$ – відповідно амортизаційні витрати, затрати на ремонт та інші витрати, грн/рік.

Загальні капітальні затрати на встановлення джерела теплоти можна представити у вигляді

$$K = k_{BASE} \alpha Q_{DESIGN} + k_{PEAK} (1 - \alpha) Q_{DESIGN}, \quad (15)$$

де k_{BASE} , k_{PEAK} – відповідно питомі капіталовкладення у котельню на біопаливі (базове джерело теплоти) та пікове джерело теплоти, євро/кВт встановленої потужності; Q_{DESIGN} – розрахункова потужність теплового навантаження, кВт; α – частка покриття котельні на біопаливі розрахункової потужності теплового навантаження.

Результати аналізу. Отже, зрозуміло, що з економічної точки зору на першому етапі доцільніше влаштувати власне джерело для теплозабезпечення навчальних корпусів, для яких встановлений найвищий тариф.

Для отримання більш об'єктивної інформації пропонується всі ціни привести до однієї розмірності – євро. При цьому, для нівелювання різкого стрибка курсу гривни за останній період приймається, що 1 євро = 11 грн. Цей курс відповідає більш стабільному періоду курсу валюти. Відповідно і тарифи на енергоносії, і ціни на обладнання та матеріали є більш реальними, ніж сьогодні, в період різкого росту курсу гривни.

Капітальні вкладення в підвищення опору теплопередачі огорожувальних конструкцій існуючих будівель до значень передбачених існуючими нормами [8] визначались згідно формули (12). При цьому, ціни на матеріал та будівельно-монтажні роботи розраховувались згідно даних моніторингу асоціації енергоаудиторів України [9].

Виходячи із запропонованих підходів, для приведення теплозахисних характеристик існуючих будівель України до нормативних вимог необхідно вкласти 42 євро на 1 м² опалювальної площі. Дохід від реалізації такого енергоефективного рішення пропонується визначати за формулою (13).

На рис. 1 показаний графік залежності від вартості теплової енергії бездисконтного терміну окупності інвестицій в підвищення опору теплопередачі всіх видів огорожувальних конструкцій будівлі, розміщеної в 1-й кліматичній зоні, відповідно до будівельних норм України [8]. При цьому була використана запропонована методологія розрахунку.

Із рис. 1 бачимо, що термін окупності рішення з метою приведення теплозахисних характеристик існуючих будівель України 1-ї кліматичної зони до нормативних вимог є різним для різних видів споживачів. Ця різниця обумовлена тарифом на теплову енергію. Для населення, куди відносяться і гуртожитки навчальних закладів, встановлений найнижчий тариф. Тому і термін окупності для цієї категорії споживачі найвищий – 21 рік. Бюджетні та комерційні споживачі, куди також відносяться і навчальні корпуси здійснюють оплату по найвищим тарифам. Відповідно і термін окупності найменший – біля 5 років.

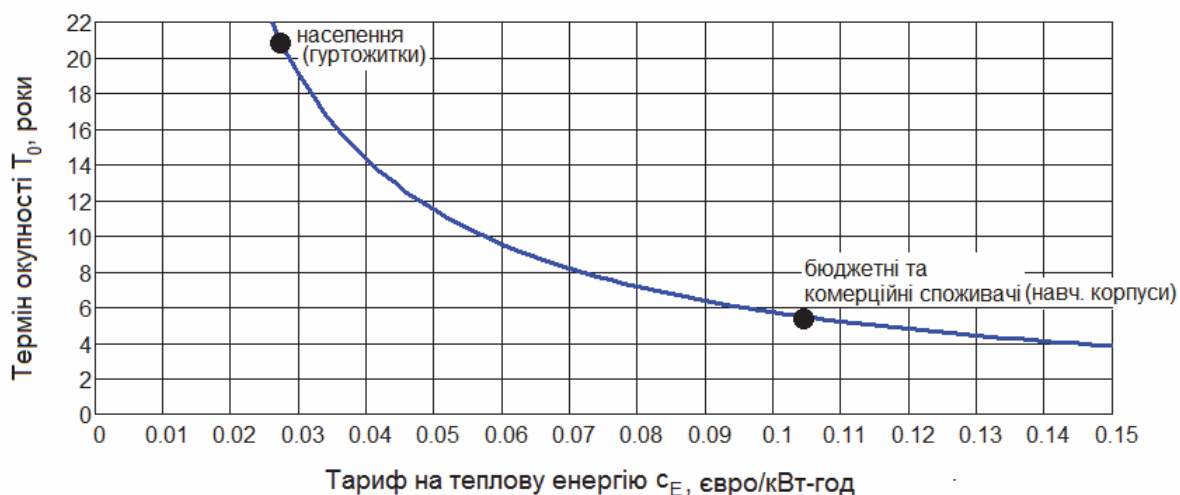


Рис. 1 – Термін окупності інвестицій в підвищення опору теплопередачі всіх видів огорожувальних конструкцій будівлі, розміщеної в 1-й кліматичній зоні, відповідно до будівельних норм України

На рис. 2 наведені приклади результатів визначення терміну окупності інвестицій T_0 у влаштування котельні на біопаливі від її встановленої потужності α для певного діапазону зміни цін на енергоносії (c_{REPL} , c_{BASE} , c_{PEAK}) при середньорічних ККД котельні, що працює на біопаливі, та пікового джерела теплоти рівних відповідно $\eta_{YEAR}^{BASE} = 0,8$; $\eta_{YEAR}^{PEAK} = 0,95$ для 1-ї кліматичної зони України. Базовій вартості біопалива відповідає ціна пелет, які мають теплоту згорання 19 МДж/кг і реалізуються в Україні за ціною 0,091 євро/кг, що в перерахунку на прийняту розмірність становить $c_{BASE} = 0,019$ євро/(кВт-год). Питомі капіталовкладення у котельню на біопаливі (базове джерело теплоти) та пікове джерело теплоти прийняті в розмірі відповідно $k_{BASE} = 200$ євро/кВт, $k_{PEAK} = 60$ євро/кВт. Крім того, у капітальні вкладення додатково закладені витрати на будівельно-монтажні роботи в розмірі 25 % від k_{BASE} та k_{PEAK} . Очевидно, що параметри k_{BASE} та k_{PEAK} можуть зазнавати змін у часі. Але, у порівнянні із можливою динамікою змін цін на енергоносії, їх на даному етапі досліджень прийняли постійними. Результати розрахунків приведені до 1 м² опалювальної площі A_h .

Отже, із рис. 2 видно, що при вказаних значеннях цін на енергоресурси існує оптимальне значення встановленої потужності котельні на біопаливі $\alpha \approx 0,5$, при якому термін окупності T_0 найменший. Хоча при певних цінах c_{REPL} , c_{BASE} , c_{PEAK} значення терміну окупності T_0 у всьому діапазоні α змінюється несуттєво (лінії 2 та 3 на рис. 3а,б). Разом з тим, із рис. 2 також бачимо, що щорічний дохід при переході на тепло забезпечення від власної котельні на біопаливі при $\alpha = 0 \dots 0,5$ зростає, а потім, при $\alpha > 0,5$, залишається майже незмінним при вказаних умовах. Аналогічні результати отримані і при інших цінах c_{REPL} , c_{BASE} , c_{PEAK} .

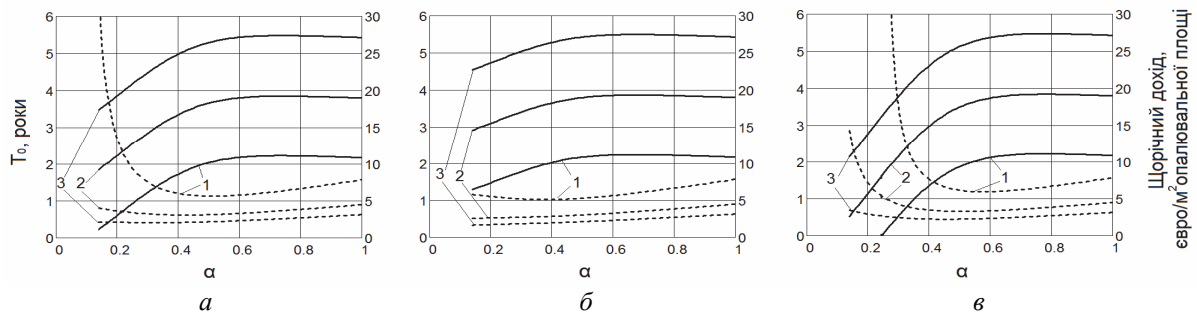


Рис. 2 – Залежність терміну окупності інвестицій T_0 (штрихові лінії) та щорічного доходу (суцільні лінії) при влаштуванні котельні на біопаливі від її встановленої потужності:
 $a - c_{PEAK} = 0,113$ євро/(кВт·год) - вартість електроенергії; $b - c_{PEAK} = 0,6 \times 0,113$ євро/(кВт·год) - вартість природного газу; $v - c_{PEAK} = 1,5 \times 0,113$ євро/(кВт·год);
 $1 -$ вартість теплової енергії від джерела, що змінюється $c_{REPL} = 0,104$ євро/(кВт·год);
 $2 - c_{REPL} = 1,5 \times 0,104$ євро/(кВт·год); $3 - c_{REPL} = 2 \times 0,104$ євро/(кВт·год);
 $c_{BASE} = 0,019$ євро/(кВт·год); $\eta_{YEAR}^{BASE} = 0,8$; $\eta_{YEAR}^{PEAK} = 0,95$

На рис. 3. показані результати розрахунку залежності терміну окупності інвестицій T_0 від вартості теплової енергії від джерела, що змінюється. Бачимо, що для навчальних корпусів, при існуючих цінах на енергоносії $c_{PEAK} = 0,113$ євро/(кВт·год); $c_{BASE} = 0,019$ євро/(кВт·год); та $c_{REPL} = 0,105$ євро/(кВт·год) даний термін окупності складає всього один рік. При можливому підвищенні ціни c_{REPL} термін окупності складає менше одного року. Як показують розрахунки, цей показник не змінюється суттєво при зростанні ціни на пелети навіть у два рази. Згідно розрахунків, для гуртожитків, через низьку ціну на тепло від централізованих систем тепlopостачання, дохід при реалізації такого рішення має навіть від'ємне значення.

На рис. 4. показаний графік покриття теплового навантаження котельнею на біопаливі та піковим джерелом теплоти типової будівлі, що розміщена у 1-й кліматичній зоні України. При цьому огороження будівлі мають теплотехнічні характеристики періоду бувшого Радянського Союзу. Бачимо, що загальна встановлена теплова потужність джерела для теплозабезпечення такої будівлі складає 80 Вт/м^2 опалювальної площі. Встановлена потужність пікової котельні, згідно вищенаведеного аналізу, складає 40 Вт/м^2 опалювальної площі, що відповідає $\alpha = 0,5$. На рис. 4. показана також шкала для визначення витрати палива котла на біопаливі в кг/м^2 опалювальної площі. Визначено, що в даних умовах, за весь опалювальний період для опалення 1 м^2 опалювальної площі будинку необхідно 34 кг пелет.

Підсумовуючи отримані результати можна сказати, що для навчальних закладів України з метою зменшення витратків на теплозабезпечення своїх будівель можна рекомендувати перехід на власні джерела теплоти. При цьому, у першу чергу, це джерело повинне передбачати тепlopостачання тільки навчальних корпусів. Додаткове утеплення можна пропонувати вже як наступну стадію підвищення енергоефективності. Зважаючи на досить короткий термін окупності влаштування власної котельні на біопаливі, кошти на утеплення будівель можна взяти із доходів за рахунок переходу на власне джерело теплозабезпечення. Підвищення опору теплопередачі огорожень навчальних корпусів знизить їх розрахункове теплове навантаження, що дає змогу використати вивільнену потужність котельні для тепlopостачання гуртожитків.

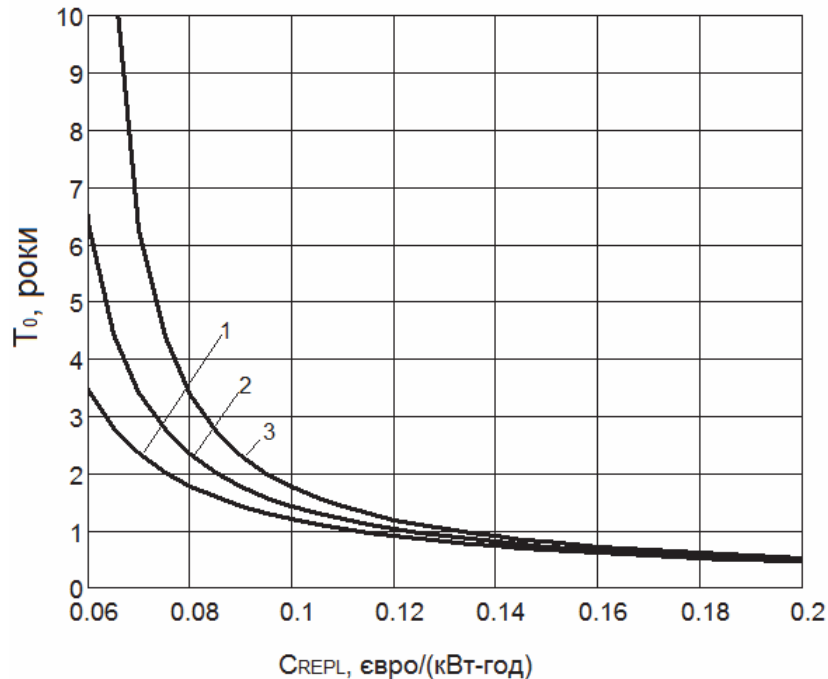


Рис. 3 – Залежність терміну окупності інвестицій T_0 від вартості теплової енергії джерела, що змінюється, при встановленій потужності котельні на біопаливі $\alpha = 0,5$: ціна первинного палива пікового джерела $c_{PEAK} = 0,113$ євро/(кВт·год) (електрична енергія для юридичних організацій):

1 – при вартості біопалива $c_{BASE} = 0,019$ євро/(кВт·год); 2 – $c_{BASE} = 1,5 \times 0,019$ євро/(кВт·год);

3 – $c_{BASE} = 2 \times 0,019$ євро/(кВт·год); $\eta_{YEAR}^{BASE} = 0,8$; $\eta_{YEAR}^{PEAK} = 0,95$

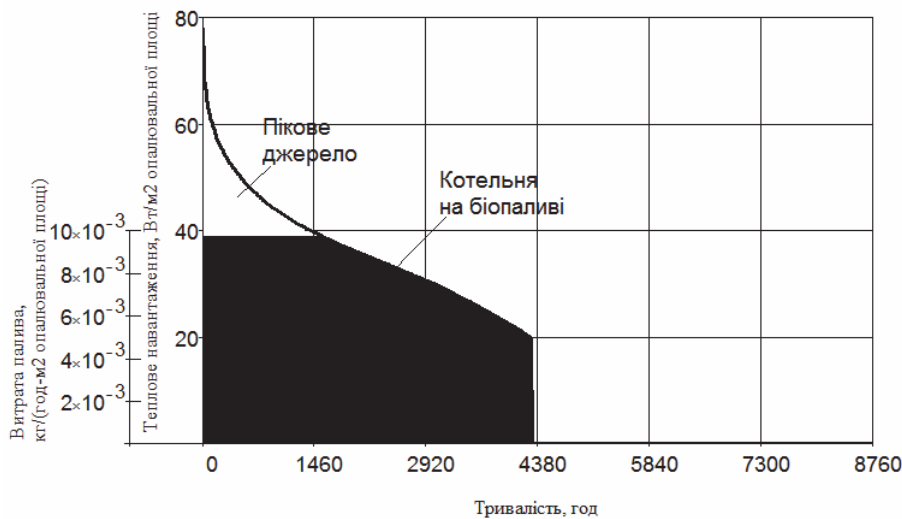


Рис. 4 – Графік покриття теплового навантаження базовим та піковим джерелом теплоти існуючої типової будівлі, що розташована у першій кліматичній зоні України

Висновки:

1) В роботі наведені методологічні підходи з визначення доцільності впровадження рішень з додаткового утеплення зовнішніх огорожень типової будівлі, а також переходу на тепло забезпечення будівлі із використанням біопалива.

2) Використовуючи дані підходи, зроблений кількісний аналіз доцільності впровадження енергоефективних рішень з тепло забезпечення для навчальних закладів України, на основі якого пропонується наступна схема реалізації цих рішень:

- спочатку встановлюється власна котельня на біопаливі для теплозабезпечення навчальних корпусів (капіталовкладення складають 11 євро/м² опалювальної площі);
- після реалізації терміну окупності такого рішення (1 рік) в наступні роки пропонується щорічний дохід (10 євро/м² опалювальної площі) використовувати для утеплення навчальних корпусів (необхідні інвестиції складають 42 євро/м² опалювальної площі);
- після утеплення навчальних корпусів необхідна для їхнього теплозабезпечення встановлена потужність котельні знижується від 80 до 40 Вт/м² опалювальної площі. Вивільнену потужність котельні можна використати для теплозабезпечення гуртожитків.

Список літератури: 1. Руководство по оценке эффективности инвестиций в энергосберегающие мероприятия [Текст] / А. Н. Дмитриев, И. Н. Ковалев, Ю. А. Табунщиков, Н. В. Шилкин. – М. : АВОК-ПРЕСС, 2005. – 120 с. – ISBN 5-98267-016-2. 2. Kolokotsa, D. Decision support methodologies on the energy efficiency and energy management in buildings [Text] / D. Kolokotsa, C. Diakaki, E. Grigoroudis, G. Stavrakakis & K. Kalaitzakis // *Advances in Building Energy Research*. – 2009. – Vol. 3. – P. 121–146. – DOI: 10.3763/aber.2009.0305. 3. Карп, І. М. Шляхи рішення проблем комунальної енергетики [Текст] / І. М. Карп, С. С. Нікітін // *Житлово-комунальне господарство України*. – 2011. – № 6(39). – С. 16–22. 4. Український Пелетний Союз [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.uup.org.ua/> – 01.01.2015 р. 5. Ajah, A. N. On the robustness, effectiveness and reliability of chemical and mechanical heat pumps for low-temperature heat source district heating: a comparative simulation-based analysis and evaluation [Text] / A. N. Ajah, A. Mesbah, J. Grievink, P. M. Herder, P. W. Falcao, S. Wennekes // *Energy*. – 2008. – No 33(6). – P. 908–929. 6. Gabriel I. Vom Altbau zum Niedrigenergie- und Passivhaus / I. Gabriel, H. Ladener. – Ökobuch ; Auflage : 8. Bearb. u. Erg, 2009. – 262 p. 7. Market Assessment. Residential Sector of Ukraine: Legal, Regulatory, Institutional, Technical and Financial Considerations. Final report, prepared for European Bank for Reconstruction and Development. – One Exchange Square, London, EC2A 2JN, 2011. – 185 p. 8. Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6-31:2006. – [Чинний від 2007.04.01]. – Киев : Мінбуд України, 2006. – 80 с. 9. Асоціація енергоаудиторів [Електронний ресурс] – Режим доступу: www.aea.org.ua – 01.01.2015 р.

Bibliography (transliterated): 1. Dmitriev, A. N., et al. *Rukovodstvo po ocenke jeffektivnosti investicij v jenergosberegajushhie meroprijatija [Guide on evaluation of economic performance of investments into energy-saving activities]*. Moscow : Avok-Press, 2005. Print. 2. Kolokotsa, D., et al. "Decision support methodologies on the energy efficiency and energy management in buildings." *Advances in Building Energy Research* 3 (2009): 121–146. DOI: 10.3763/aber.2009.0305. Print. 3. Karp, I. M., and Ye. Ye. Nikitin. "Ways of solving problems in communal sector." *Housing and Communal Services of Ukraine* 6(39) (2011): 16–22. Print. 4. "Ukrainian Pellet Union." Web 01 January 2015 <<http://www.uup.org.ua/>>. 5. Ajah, A. N., et al. "On the robustness, effectiveness and reliability of chemical and mechanical heat pumps for low-temperature heat source district heating: a comparative simulation-based analysis and evaluation." *Energy* 33(6) (2008): 908–929. Print. 6. Gabriel, I., and H. Ladener. *Vom Altbau zum Niedrigenergie- und Passivhaus*. Ökobuch; Auflage: 8. Bearb. u. Erg, 2009. Print. 7. *Market Assessment. Residential Sector of Ukraine: Legal, Regulatory, Institutional, Technical and Financial Considerations. Final report, prepared for European Bank for Reconstruction and Development*. One Exchange Square, London, EC2A 2JN, 2011. Print. 8. DBN V.2.6-31:2006. Thermal isolation of buildings. Kiev : Minbud Ukraine, 2006. [Ukr] Print.. 9. "Association of energy auditors." Web 01 January 2015 <www.aea.org.ua>.

Надійшла (received) 01.01.2015