

УДК 620.91:
697.1

¹ШОВКАЛЮК М. М., ²ПАХУНОВА К. Ю., ²ШЕВЧЕНКО О. М.

¹ Навчально-науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту
КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

² Навчально-науковий інститут теплової та ядерної енергетики КПІ ім. Ігоря
Сікорського, Україна

АНАЛІЗ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЖИТЛОВОЇ БАГАТОКВАРТИРНОЇ БУДІВЛІ ІЗ УРАХУВАННЯМ СОЦІАЛЬНО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ФАКТОРІВ

Вступ. Зважаючи на енергозалежність України, підвищення енергоефективності житлового фонду є надзвичайно актуальним завданням. Будівля є складною енергетичною системою, для вивчення якої застосовується системний підхід; тому актуальності набувають методи енергетичного моделювання з використанням програмних комплексів.

Мета. Проведення енергообстеження з опитуванням мешканців та визначення енергетичних характеристик із застосуванням програмних продуктів для енергоаудиторів для моделювання і вибору обладнання.

Методика. Дослідження включало інструментальні виміри, техніко-економічний аналіз з використанням інженерних методик розрахунку, анкетування мешканців, моделювання у спеціалізованих програмних продуктах RETScreen, DesignBuilder, Audytor OZC, PV-SOL та T-SOL; використано метод інтегрованої вартості для вибору джерела теплоти.

Результати. Отримано структуру енергоспоживання будівлі та проведено оцінювання потенціалу енергозбереження з урахуванням особливостей експлуатації та технічних можливостей; запропоновано три пакети енергозберігаючих заходів. За допомогою розроблених моделей в спеціалізованих програмах виконано моделювання енергоспоживання до та після впровадження заходів та підбрано обладнання для використання сонячної енергії. Дослідження проводилося в рамках роботи над магістерською дисертацією.

Наукова новизна. Розглянуто можливості різного програмного забезпечення для моделювання енергетичних характеристик житлової будівлі, наведено порівняльний аналіз результатів та здійснено вибір одного із заходів на основі аналізу руху грошових коштів.

Практична значимість. За допомогою програмного забезпечення побудовано 3D моделі і виконано прикладні дослідження енергетичних характеристик та розроблено пропозиції для термомодернізації існуючої житлової будівлі з урахуванням фактичних умов експлуатації, запропоновано три пакети заходів «Мінімальний», «Оптимальний», «Максимальний».

Ключові слова: енергозбереження; термомодернізація; житлова будівля; моделювання енергоспоживання.

Вступ. Європейський підхід до аналізу енергетичної ефективності будівель [1] вимагає урахування зовнішніх кліматичних умов і внутрішнього мікроклімату, конструктивних особливостей огорожень, умов експлуатації і характеристик інженерних систем і джерел енергії. Питання підвищення енергетичної ефективності житлових будівель із прийняттям закону [2] в умовах посилення вимог до теплоізоляційних властивостей огорожень [3] і зростання вартості енергоресурсів набуває все більшої актуальності. Розробка проєктів підвищення енергоефективності будівлі можлива за допомогою енергетичного моделювання [4]. Можливості застосування спеціалізованих програмних продуктів під час виконання наукових досліджень показано в [5, 6], де висвітлено питання верифікації енергетичної моделі будівлі. Для моделювання можуть використовуватися різні програмні продукти [7].

Постановка завдання: поглиблення існуючих підходів до розробки енергоефективних проєктів житлових будівель із застосуванням моделювання; виконання опитування мешканців з метою урахування соціальних аспектів під час вибору заходів. Враховуючи рекомендації

європейських та українських стандартів, доцільним також є оцінювання терміну окупності заходів з підвищення енергетичної ефективності на основі аналізу життєвого циклу.

Загальна характеристика та опис об'єкта дослідження. Об'єкт дослідження – існуючий багатоквартирний 213-квартирний будинок з даховою котельнею (ОСББ у місті Буча Київської області, рис. 1). 9-ти поверхову будівлю побудовано за індивідуальним проектом (П-подібна компоновка) у 2009 році. Кондиціонований об'єм 41500 м³, опалювальна площа 15400 м², чиста висота приміщення 2,7 м. Кількість мешканців в будівлі – близько 1000 людей.



Рис. 1. Загальний вигляд житлової багатоквартирної будівлі П-подібної компоновки

Зовнішні стіни із силікатної цегли $\delta = 0,5$ м з облицюванням червоною цеглою з утепленням внутрішньої поверхні стіни мінераловатними плитами $\delta = 0,05$ м з приведеним опором теплопередачі стін 2,32 м²·К/Вт, що не відповідає нормам [3]. Будівля має неопалювальний підвал та горизонтальну покрівлю. На технічний поверх виходять витяжні шахти системи вентиляції. Дахова котельня, де встановлено 6 водогрійних модулів Колві, працює лише в опалювальний період. Виконані розрахунки ККД котлоагрегатів за прямим балансом показали, що приведений ККД існуючих котлів знизився з паспортного значення 92%, до реального 85%. Автоматика погодного регулювання не працює, здійснюється вручну. Гаряче водопостачання – за рахунок електробойлерів, що встановлено в квартирах (в трикімнатних квартирах – два, в кожному санвузлах). Теплова потужність на опалення – 1,152 МВт. Система опалення – двотрубна з супутнім рухом теплоносія, подача зверху-вниз, на опалювальних приладах встановлені ручні вентиля. Наявні численні втручання в систему з заміною та перенесенням опалювальних приладів на балкони, внаслідок чого система розбалансована, опалювальні прилади квартир «середніх поверхів» в холодні періоди не прогріваються, а температура зворотного теплоносія на стояках відрізняється до 7 °С. Фактична температура в приміщеннях по одному стояку коливається від 17 °С до 26 °С [9]. Незважаючи на розбалансованість системи опалення, температура повітря в приміщеннях не знижується нижче 17 °С за рахунок перетоків з сусідніх приміщень та теплових надходжень від сонця, людей та приладів [8]. Це показали вимірювання, виконані протягом 5 днів у декількох найбільш типових та у проблемних квартирах [8].

Тариф на опалення для мешканців ОСББ складається з: абонентської плати за обслуговування котельні, тарифу за спожиту теплоенергію (затверджується загальними зборами на

початку опалювального періоду у грн/м² опалювальної площі, а за результатами сезону здійснюється перерахунок). Експлуатація дахової котельні дозволяє встановлювати тарифи для опалення будинку значно нижче, ніж у регіоні, а також для централізовано опалення.

Ведеться загальнобудинковий облік витрат газу, теплоти та електроенергії. В квартирах встановлено поквартирні лічильники холодної води та електроенергії (в більшості квартир – з двозонним тарифом день/ніч), також є технічний облік споживання зовнішнього освітлення та одного з п'яти ліфтів для можливості коректних розрахунків тарифів за утримання будинку.

Основні етапи та методи дослідження. Дослідження енергетичних будівлі виконувалося в декілька етапів: виконання детального енергетичного обстеження і формування трьох пакетів енергозберігаючих заходів; опитування мешканців шляхом анкетування [9] з оцінюванням впливу особливостей поведінки на енергоспоживання будівлі; моделювання енергоспоживання в програмних продуктах RETScreen, DesignBuilder, Audytor OZC, PV-SOL та T-SOL [10].

Енергетичне обстеження включало: збір вихідних даних: вивчення режимів експлуатації, уточнення фактичних геометричних і теплотехнічних показників огорожень і порівняння з проектними характеристиками, дослідження умов мікроклімату (температури і вологості); інструментальні вимірювання та тепловізійну зйомку; економічну оцінку доцільності запропонованих енергозберігаючих заходів.

Для будівлі були запропоновані можливі заходи з енергозбереження за трьома пакетами з оцінкою економічної доцільності (табл. 1), проведений огляд інвестиційних можливостей для фінансування (до військових дій) [11].

Таблиця 1

Пакети рекомендованих заходів з енергозбереження

№	Назва заходу	Пакети, T _{ок} , p.		
1	Встановлення частотного перетворювача на насоси	Мінімальний, 1,5, p.	Оптимальний, 4,5 p.	Максимальний, 14,3 p.
2	Утеплення та герметизація входу в підвал			
3	Налагодження погодного регулювання			
4	Встановлення тамбурних дверей			
5	Модернізація освітлення з датчиками руху			
6	Модернізація вентиляції (з рекуператорами)			
7	Заміна частини котельних потужностей			
8	Заміна вікон місць загального користування (МЗК)			
9	Заміна вікон квартир на енергоефективні			
10	Утеплення перекриття технічного поверху			
11	Утеплення зовнішніх стін			
12	Прилади-розподільвачі з модернізацією системи			
13	Балансування з модернізацією системи опалення			

Результати опитувань мешканців. На наступному етапі за попередньо розробленими анкетами проводилося опитування серед мешканців будівлі [9]. Анкетування виявило, що найбільш комфортно внутрішньою температурою внутрішнього повітря для більшості мешканців є 22÷24 °C (44%), причому обігрівачі та кондиціонери використовують близько половини власників, що не відповідає нормативним вимогам і для холодного, і теплого періодів. Це доцільно враховувати під час побудови енергетичних балансів існуючих багатоквартирних житлових будівель. Рівень задоволеності мешканців послугами опалення, зважаючи на розбалансованість системи: 55% – цілком задоволені; 35% – задоволені (є зауваження); здебільшого незадоволені – 10% квартир. До якості холодної води є зауваження у більшості жителів (53%), а близько 30% незадоволені послугою водопостачання. Лише 44%

мешканців використовують ручні вентиля на батареях для регулювання витрат теплоенергії, і лише половина квартир економлять кошти на електроенергію, використовуючи побутові пристрої вночі (табл. 2); тобто існує суттєвий резерв економії у разі більш свідомого відношення до енерговитрат [9]. Також встановлено наступний цікавий факт: більшість (77%) підтримує участь ОСББ у кредитних програмах фінансування заходів з підвищення енергоефективності, але лише 42% власників цікавилися більш детальною інформацією щодо них.

Таблиця 2

**Опитування мешканців щодо використання регулювання споживання енергії
(кількість квартир, що взяли участь – 137, розподіл по парадним рівномірний)**

Можливості регулювання витрат тепло/електроенергії			Родини, що використовують можливості регулювання енергоспоживання для зменшення витрат залежно від кількості дітей		
Відповідь	Вентиля на батареях	Нічний тариф на ел/енергію			
Так	44%	49%	Вид впливу	2 дитини	3 дитини
Ні	30%	32%	вентиля	44%	72%
Немає технічної можливості	26%	19%	Нічний тариф	58%	55%

Джерело: [9].

Вивчення умов експлуатації є важливим під час розробки пакету заходів з енергозбереження для багатоквартирних будівель. Більш приваблива окупність заходів не є пріоритетною для мешканців, тому що існують такі проблеми як: недотоп в квартирах при однаковій поквартирній оплаті через розбалансованість системи опалення, перетоки через міжквартирні перегородки та ін. При отриманні кредитів на енергоефективні проєкти потрібно мати більшість голосів мешканців (зокрема, для проєктів Фонду енергоефективності – 2/3 голосів), тому заходи обговорювалися на загальних зборах і найбільшу кількість голосів набрали наступні: модернізація системи освітлення з установкою датчиків руху – 70%, квартирний облік теплоти за рахунок приладів-розподільовачів – 65% (хоча він є довгоокупним); автоматика погодного регулювання і частотне регулювання насосів – 60% [9].

Наступним етапом дослідження проводилося енергетичне моделювання будівлі.

Побудова моделей та результати енергетичного моделювання у спеціалізованих програмних продуктах. Програмний продукт EnergyPlus використовувався в дослідженнях енергетичних характеристик будівлі, а у графічному інтерфейсі DesignBuilder створювалася геометрія будівлі із виконанням зонування приміщень (рис. 2). За допомогою програмного продукту DesignBuilder було виконано 3D модель будівлі та проведене динамічне моделювання енергоспоживання з врахуванням теплофізичних властивостей внутрішніх і зовнішніх огорожень, умов експлуатації, інженерних мереж, теплових надходжень, повітрообміну, інерційних властивостей, погодних умов [12] тощо.

В спеціалізованому програмному продукті DesignBuilder було проведено цикли розрахунків, а для калібрування енергетичної моделі проводилося порівняння фактичних даних (споживання енергоносіїв за останні три роки з перерахунком на стандартні погодні умови та кількість днів опалення) з результатами моделювання. Створено три моделі будівлі: actual – відображає реальні конструктивні і теплотехнічні характеристики огорожень, інженерних мереж, температурні умови та повітрообмін; baseline – умови комфортності, повітрообміну доведені до нормативних показників; proposed – теплотехнічні характеристики відповідають сучасним вимогам (утеплення входу в підвал та встановлення тамбурних дверей, стелі в підвалі, підлоги над проїздами, підлоги в даховій котельні, заміна вікон МЗК, перекриття техповерху), а також враховано налагодження погодного регулювання.

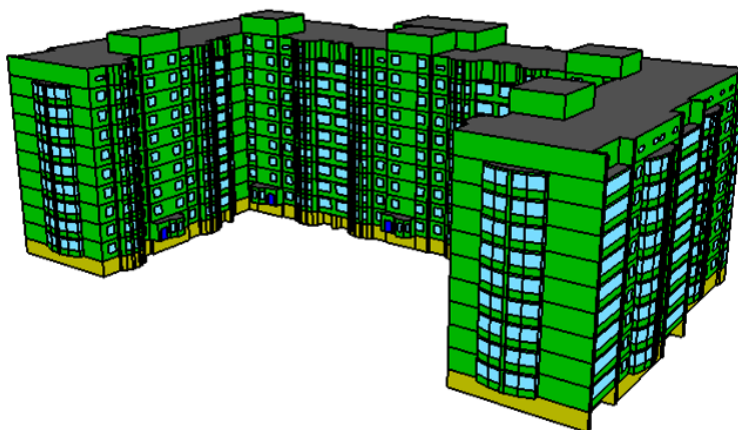


Рис. 2. Розроблена 3D модель в DesignBuilder

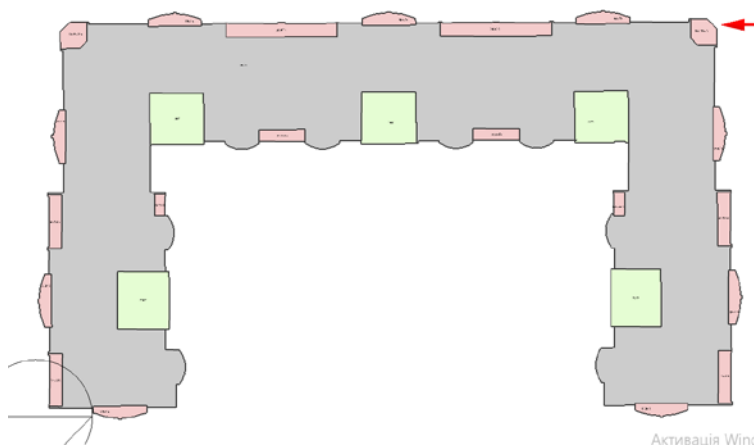


Рис. 3. Вигляд енергетичної моделі із виділенням окремих розрахункових зон

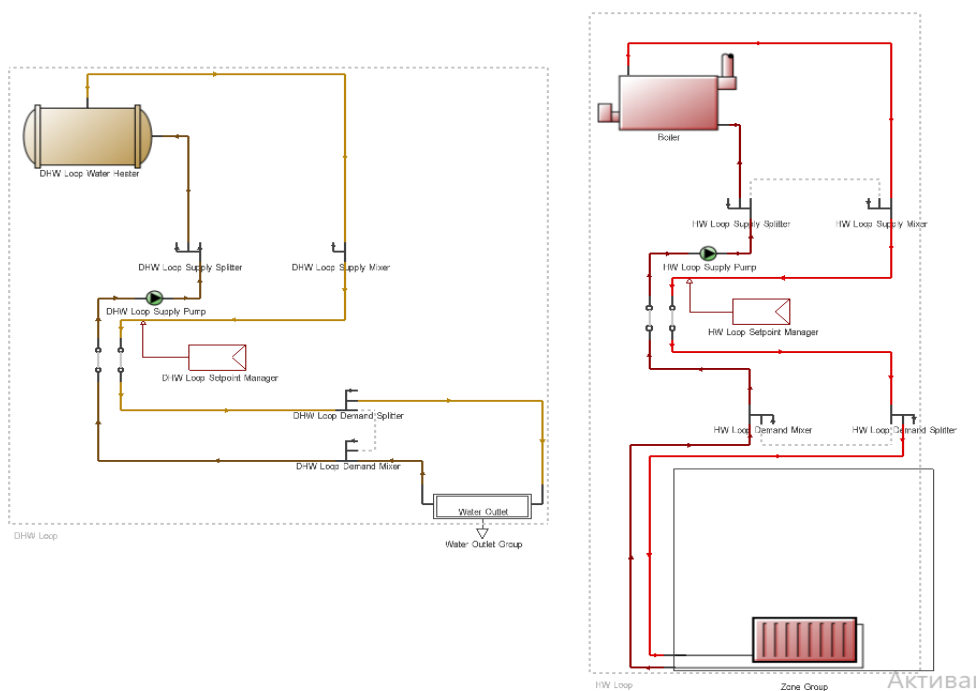


Рис. 4. Інженерні системи житлової будівлі під час енергетичного моделювання

Задавалися характеристики огорожень будівлі, параметри мікроклімату приміщень і режими експлуатації у відповідних розділах програмного продукту. У розділі «HVAC system» було обрано тип системи опалення, вентиляції та гарячого водопостачання з прийнятими параметрами теплоносія. Схематичне зображення системи інженерних систем наведено на рис. 4. В результаті енергетичного моделювання було побудовано графіки: енергетичні баланси, витрати палива, навантаження; графіки температури, швидкості і тиску повітря, сонячної радіації; параметри умов комфортності (температури, вологості, CO₂). Програма створює звіт з погодинними значеннями та результатами розрахунків, будує графіки для порівняння енергоспоживання.

Від фактичних даних (за показами лічильників) у побудованій моделі споживання теплоенергії відрізняється на 2,6%, а електроенергії на 1%, тому можемо вважати, що модель з достатнім ступенем точності передає фактичне споживання будівлі (1776725 кВт-год/рік теплової енергії та 311489 кВт-год/рік електричної енергії).

Для моделі baseline порівняно з фактичною моделлю спостерігається ріст споживання теплоти на 17 %. Після реалізації запропонованих заходів маємо зниження споживання на 27%. Для порівняння результатів створено модель житлового будинку у програмному продукті RETscreen, що має меншу функціональність. Фактичний стан був прийнятий за базовий рівень, а далі визначалося споживання після впровадження пропозицій з підвищення енергоефективності, результати зведено у табл. 3.

Таблиця 3

**Порівняння споживання теплової енергії при моделюванні
в DesignBuilder та RETscreen**

Модель	Actual	Baseline	Proposed
DesignBuilder			
Абсолютне значення	1823966	2084025	1521338
Відхилення	2,6% від фактичного	17,3% від фактичного	27% від «Baseline» 17% від фактичного
RETscreen			
Абсолютне значення	-	2001068	1400780
Відхилення	-	11,2% від фактичного	30% від «Baseline» 21% від фактичного

Програма DesignBuilder не має можливості розподілення витрат енергії на енергопотребу і енергоспоживання, що потрібно аналізувати при енергетичній сертифікації [2]. RETscreen дозволяє розрахувати споживання теплової та електричної енергії та виконувати розрахунок дисконтованого терміну окупності пакету заходів з термомодернізації, але має обмеження щодо урахування характеристик огорожень, інженерних систем та обладнання.

Для досліджуваної будівлі також було побудовано 3D модель (рис. 5) в спеціалізованому програмному продукті Audytor OZC, що використовується енергоаудиторами в Україні, визначено енергетичні характеристики будівлі до та після впровадження пакету заходів «Максимальний». Отримано, що після комплексної термомодернізації і реалізації заходів щодо інженерних систем теплове навантаження зменшиться до 0,723 МВт, а розрахункова енергопотреба будівлі – на 49,5%.

Для даної будівлі на даху надбудови дахової котельні запропоновано встановити сонячну електростанцію (СЕС) та сонячні колектори з підключенням до електромережі (табл. 4). Споживання на потреби МЗК складає 44700 кВт-год, запропонована СЕС компенсує 38,9%. У будівлі запроєктовано централізоване ГВП від котельні, яка не експлуатується, гаряча вода готується у квартирних електробойлерах. Пропонується частково готувати

гарячу воду за допомогою енергії сонця. За допомогою програмних продуктів PV-Sol Premium та T-Sol було проведено підбір систем [10].

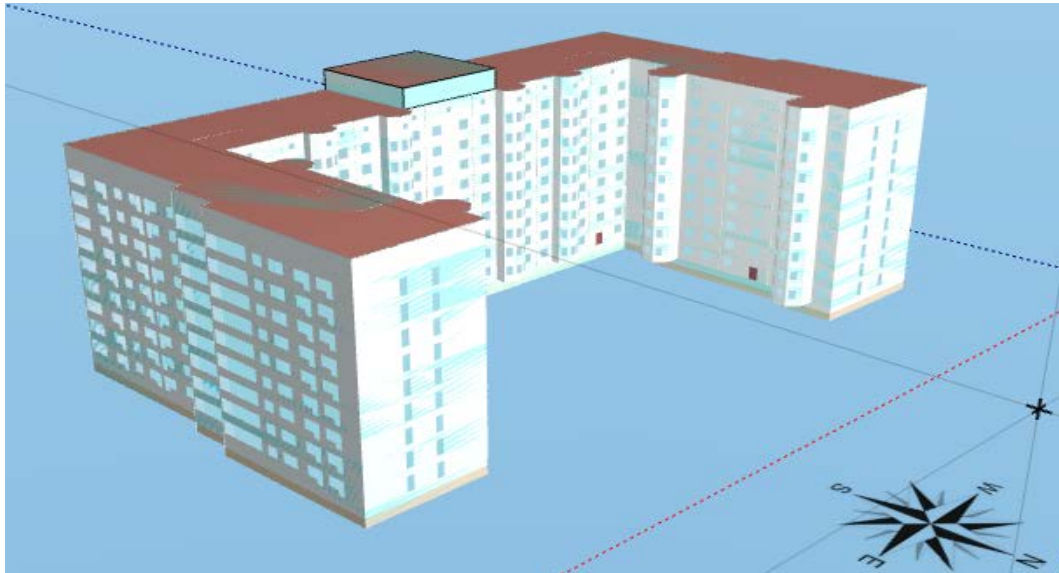


Рис. 5. Модель будівлі у програмному продукті Audytor OZC

Таблиця 4

Оцінка можливостей використання сонячної енергії

Найменування	Значення
Параметри сонячної електростанції: сонячні модулі фірми «JaSolar» моделі JAM72S10-400MR, інвертор «Huawei Technologies» типу «SUN2000-12KTL-M1»	
Вихідна потужність, кВт	54
Коефіцієнт продуктивності, %	65,5
Негативний вплив через затінення, %/рік	28,7
Річна генерація (мережа змінного струму), (кВт·год)/рік	46661
Зниження викидів CO ₂ , кг/рік	21887
Споживання від ФЕС/ від загальної мережі	17848 / 26946
Рівень самозабезпечення, %	38,9
Параметри системи сонячних колекторів: 203 вакуумних сонячних колектори, типу «Vitosol 200-T SD2» (Viessmann), підключені до баку-акумулятора	
Теплова потужність системи, кВт	274,16
Загальна площа поверхні колекторів, м ²	584,6
Частка заміщення ГВП, %/рік / Ефективність системи, %	58 / 48,1
Зниження викидів CO ₂ , кг/рік	72717,42

Результати вибору джерела теплоти на основі аналізу руху грошових коштів

Останні дослідження підходів щодо оцінки термомодернізації будівлі показують необхідність застосування аналізу життєвого циклу будівлі та врахування соціальних аспектів. Вибір джерела теплоти в комплексі з огороженнями будівлі на базі функції інтегрованої вартості запропоновано і описано в роботі [13]. Вибір джерела теплоти можна здійснювати за допомогою методу аналізу руху грошових потоків:

$$B = \sum_{t=0}^n \frac{B_t^{\text{обслг}}}{(1+E)^t} + \sum_{t=0}^n \frac{B_t^{\text{енерг}}(1+l \cdot t)}{(1+E)^t} + I_o + I_{iz} + I_{co}, \quad (1)$$

де $B_t^{\text{енерг}}$ – річні затрати за спожиті енергоносії, грн;
 $B_t^{\text{обслг}}$ – інші затрати, грн;
 I_o – капітальні затрати на придбання теплогенеруючого обладнання, грн;
 I_{iz} – витрати, направлені на покращення теплового захисту будівлі, грн;
 I_{co} – витрати на придбання приладів опалення, грн;
 l – коефіцієнт, що враховує приріст цін на енергоносії;
 n – час, для якого визначаються інтегральні дискontовані витрати, роки;
 E – ставка дискontування відповідно до рівня інфляції, типу фінансування, долей;
 B – чиста теперішня вартість системи «джерело–прилад опалення–огородження».

Метод дозволяє оцінити термін окупності для заходів з термомодернізації будівлі з різними системами теплопостачання з урахуванням багатьох факторів. Враховуючи, що реальний ККД котлів, що експлуатуються в даховій котельні, є значно нижче ніж паспортний, було розглянуто два варіанти модернізації: сучасні газові котли або електрокотли. З отриманого графіку (рис. 6) видно, що дискontований термін окупності для газових котлів складає 12,5 років, а для електричних котлів – 9 років (розрахунки виконані для цін і тарифів довоєнного стану).

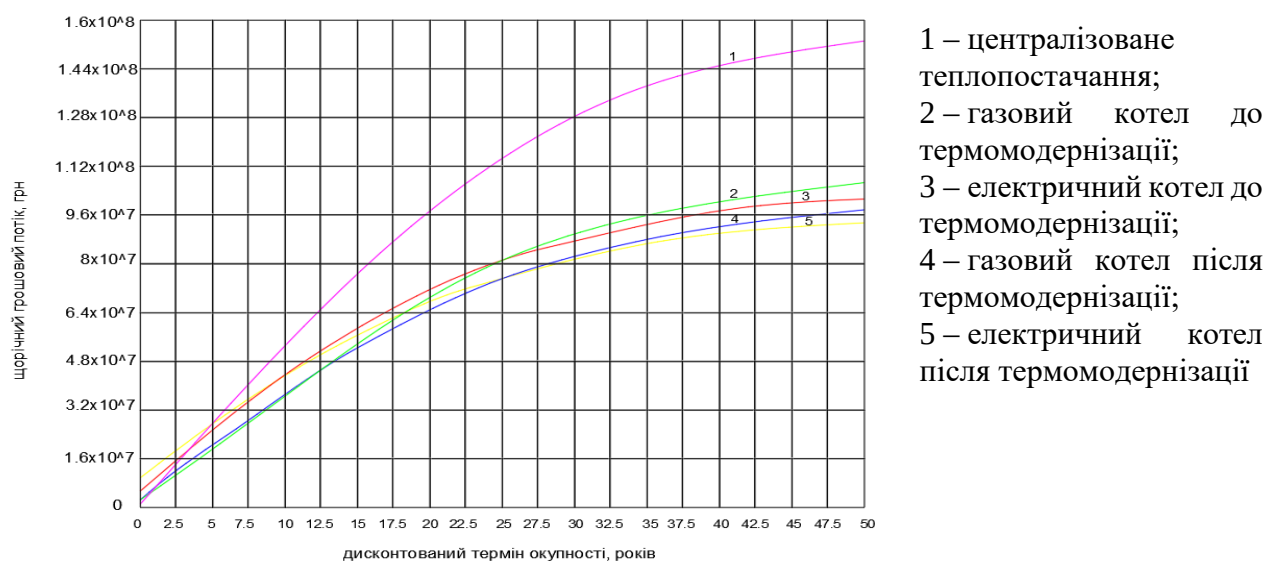


Рис. 6. Розрахунок грошових потоків на основі методу інтегрованої вартості

Висновки. В ході дослідження виконано детальне енергетичне обстеження житлової будівлі, необхідні вимірювання, інженерно-економічні розрахунки та розроблено три пакети енергозберігаючих заходів. З метою детального вивчення умов експлуатації інженерних систем проведено опитування мешканців з метою урахування громадської думки та визначено пріоритетність впровадження заходів, які можуть бути підтримані загальними зборами ОСББ. Для вивчення енергетичних характеристик виконано енергетичне моделювання в програмних продуктах з побудовою 3D моделей. Застосування спеціалізованих програмних продуктів дозволяє визначити структуру енергоспоживання та потенціал енергозбереження житлових будівель для різних вихідних умов відносно фактичного та базового рівня з урахуванням не тільки технічних аспектів, але й соціальних. Виконано оцінку можливостей використання сонячної енергії для будинку та за допомогою програмних продуктів PV-Sol Premium та T-Sol

було проведено підбір систем. Проведено необхідні розрахунки та здійснено вибір джерела теплоти в комплексі з огороженнями будівлі на базі функції інтегрованої вартості.

References

1. Directive 2010/31/eu of the European parliament and of the council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings. Official Journal of the European Communities. 2010, L153. p. 13-35.
2. On energy efficiency of buildings: Law of Ukraine [On the energy efficiency of buildings: Law of Ukraine №2118-VIII 03.08.2022]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19> [in Ukrainian].
3. DBN V.2.6–31:2021 Teplova izoliatsiia ta enerhoefektyvnist budivel [Thermal insulation and energy efficiency of buildings]. Kyiv. 27 p. [in Ukrainian].
4. Pavlenko, A. M. (ed.) (2020). Efficiency of using energy in housing sector. Kielce, Politechnika Świętokrzyska. 155 p.
5. Shevchenko, O. M., Shovkaliuk, M. M. (2019). Enerhoefektyvnyi kampus KPI: instrumenty ta metody doslidzhen [KPI energy efficient campus: tools and research methods]. Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnologii ta dizainu. Seriya Tekhnichni nauky – Bulletin of Kyiv National University of Technology and Design. Technical Sciences Series, 4 (136), 97–105 [in Ukrainian].
6. Shovkaliuk, M. M., Vashchyshyn, R. L. (2021). Analiz enerhetychnykh kharakterystyk budivli navchalnoho korpusu skladnoi konfigurasii iz rozrobkoiu propozyitsii po pidvyshchenniu enerhoefektyvnosti [Analysis of the energy characteristics of the building of the educational building of a complex configuration with the development of proposals for increasing energy efficiency]. Tekhnologii ta inzhynirynh – Technologies and engineering, 3, 49–59 [in Ukrainian].
7. Korzhenko, O. V., Shovkaliuk, M. M. (2020). Porivniannia proqramnykh produktiv dlia modeliuvannia enerhospozhyvannia budivli [Comparison of software products for building energy consumption simulation]. Tezy I mizhnar. int.-konf. "Shliakhy rozvytku nauky v suchasnykh kryzovykh umovakh" – Theses I international int.-conf. "Paths of development of science in modern crisis conditions" (28–29.05.2020). Dnipro. Vol. 1, P. 495–496 [in Ukrainian].
8. Deshko, V., Bilous, I., Shovkaliuk, M., Hurieiev, M. (2020). Evaluation of differentiated impact of apartment building occupants' behavior on energy consumption. 2020 IEEE 7th International conference on smart system. Kyiv, Ukraine, May 12–14. P. 196–200.
9. Shovkaliuk, M. M., Pakhunova, K. Yu. (2020). Sotsialni aspekty pid chas vyboru zakhodiv z enerhoberezhennia dlia zhytlovykh budivel [Social aspects when choosing

Література

1. Directive 2010/31/eu of the European parliament and of the council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast). Official Journal of the European Communities. 2010. L153. P. 13–35.
2. Про енергетичну ефективність будівель: Закон України №2118-VIII від 03.08.2022. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19>.
3. ДБН В.2.6–31:2021 Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. К., 2021. 27 с.
4. Efficiency of using energy in housing sector. Under the general editorship of A. M. Pavlenko. Kielce, Politechnika Świętokrzyska, 2020. 155 p.
5. Шевченко О. М., Шовкалюк М. М. Енергоефективний кампус КПІ: інструменти та методи досліджень. Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія Технічні науки. 2019. № 4 (136). С. 97–105.
6. Шовкалюк М. М., Ващишин Р. Л. Аналіз енергетичних характеристик будівлі навчального корпусу складної конфігурації із розробкою пропозицій по підвищенню енергоефективності. Технології та інжиніринг. 2021. № 3. С. 49–59.
7. Корженко О. В., Шовкалюк М. М. Порівняння програмних продуктів для моделювання енергоспоживання будівлі. Тези доп. I міжнар. інт.-конф. "Шляхи розвитку науки в сучасних кризових умовах" (28–29.05.2020). Дніпро, 2020. Т. 1. С. 495–496.
8. Deshko V., Bilous I., Shovkaliuk M., Hurieiev M. Evaluation of differentiated impact of apartment building occupants' behavior on energy consumption. 2020 IEEE 7th International conference on smart system. Kyiv, Ukraine, May 12–14, 2020. P. 196–200.
9. Шовкалюк М. М., Пахунова К. Ю. Соціальні аспекти під час вибору заходів з енергозбереження для житлових будівель.

energy saving measures for residential buildings]. *Tezy V Vseukr. nauk-prakt. konf. "Enerhoefektyvnist: nauka, tekhnologii, zastosuvannia"* – Theses V Ukrainian science and practice conf. "Energy efficiency: science, technology, application" (25.11.2020). Kyiv. Vol. 1, P. 47–52 [in Ukrainian].

10. Shovkaliuk, M. M., Pakhunova, K. Yu. (2021). Otsinka mozhlyvosti vykorystannia soniachnoi enerhii dlia zhytlovoi bahatokvartyrnoi budivli [Assessment of the possibilities of using solar energy for a residential multi-apartment building]. *Materialy II mizhnar. nauk.-prakt. internet-konf. – Materials of the 2nd International Scientific and Practical Internet Conference* (Berdiansk, 29.10.2021). P. 70–73 [in Ukrainian]

11. Shovkalyuk, M. M., Politykina, N. V. (2018). Otsinka enerhetychnykh parametriv bahatokvartyrnoho budynku z dakhovoiu kotelneiu ta mozhlyvosti spivfinansuvannia enerhozberihaiuchykh zakhodiv [Assessment of the energy parameters of an apartment building with a rooftop boiler room and the possibility of co-financing energy-saving measures]. *International scientific and practical conference "Prospects for the development of technical sciences in EU countries and Ukraine"* (Poland, 21–22 December 2018). P. 138–142 [in Ukrainian].

12. Sait z pohodnymy failamy prohrannoho zabezpechennia EnergyPlus [Website with weather files of EnergyPlus software]. URL: https://energyplus.net/weather-region/europe_wmo_region_6/UKR%20%20 [in Ukrainian].

13. Deshko, V., Buiak, N. (2009). Ekonomichno dotsilnyi teplovyi zakhyst budivli z riznymy dzherelamy teploty [Economically feasible thermal protection of a building with various heat sources]. *Naukovi visti Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu Ukrainy "Kyivskiy politekhnichnyi instytut"* – Scientific news of the National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", № 3, P. 74–81 [in Ukrainian].

Тези V Всеукр. наук-практ. конф. "Енерго-ефективність: наука, технології, застосування" (25.11.2020). Київ, 2020. Т. 1. С. 47–52.

10. Шовкалюк М. М., Пахунова К. Ю. Оцінка можливостей використання сонячної енергії для житлової багатоквартирної будівлі. *Матеріали II Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції* (Бердянськ, 29 жовтня 2021 р.). С. 70–73.

11. Шовкалюк М. М., Політикін Н. В. Оцінка енергетичних параметрів багатоквартирного будинку з даховою котельнею та можливості співфінансування енергозберігаючих заходів. *Intern. scientific and pract. conf. "Prospects for the development of technical sciences in EU countries and Ukraine"* (Poland, 21–22.12.2018). P. 138–142.

12. Сайт з погодними файлами програмного забезпечення EnergyPlus. URL: https://energyplus.net/weather-region/europe_wmo_region_6/UKR%20%20.

13. Дешко В. І., Буяк Н. А. Економічно доцільний тепловий захист будівлі з різними джерелами теплоти. *Наукові вісті Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут"*. 2009. № 3. С. 74–81.

SHOVKALIUK MARYNA

PhD, Ass.Professor

Educational and Scientific Institute of Energy
Saving and Energy Management
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky
Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine
<http://orcid.org/0000-0002-1898-3493>
Scopus Author ID: 57220179453
Researcher ID: K-5822-2017
E-mail: madam.mari@gmail.com

PAKHUNOVA KATERYNA

Master

Educational and Scientific Institute of Thermal and
Nuclear Power Engineering
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky
Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine
<http://orcid.org/0000-0002-4572-0664>
E-mail: pahunovakaterina845@gmail.com

SHEVCHENKO OLENA

PhD, Ass.Professor

Educational and Scientific Institute of Thermal
and Nuclear Power Engineering

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic
Institute", Ukraine

<http://orcid.org/0000-0001-9304-5432>

Scopus Author ID: 55839779200

Researcher ID: AAK-1436-2020

E-mail: alenashevchenko@ukr.net

¹SHOVKALIUK M. M., ²PAKHUNOVA K. Yu., ²SHEVCHENKO O. M.

¹Educational and Scientific Institute of Energy Saving and Energy Management
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine

²Educational and Scientific Institute of Thermal and Nuclear Power Engineering
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine

ANALYSIS OF THE ENERGY CHARACTERISTICS OF THE RESIDENTIAL HOUSE TAKING INTO SOCIAL AND EXPLOITATIVE FACTORS

Introduction. In view of the energy dependence of Ukraine, improving the energy efficiency of the housing stock is an extremely urgent task. The building is a complex energy system, for the study of which a systematic approach is used; therefore, the methods of energy modeling using software systems become relevant.

Purpose. Conducting an energy survey with a survey of residents and determining energy characteristics using software products for energy auditors for modeling and equipment selection.

Methodology. The study included instrumental measurements, a feasibility study using engineering calculation methods, a survey of residents, modeling in specialized software products RETScreen, DesignBuilder, Audytor OZC, PV-SOL and T-SOL; the integrated cost method was used to select the heat source.

Findings. The structure of energy consumption of the building was obtained and an assessment of the energy saving potential was carried out, taking into account the features of operation and technical capabilities; three packages of energy-saving measures have been proposed. Using the developed models in specialized programs, modeling of energy consumption before and after the implementation of measures was carried out and equipment for the use of solar energy was selected. The study was carried out as part of the work on a master's thesis.

Originality. The possibilities of different software for modeling the energy characteristics of a residential building are considered, a comparative analysis of the results and the choice of one of the measures based on cash flow analysis

Practical value. With the help of the software, 3D models were built and applied studies of energy characteristics were carried out and proposals were developed for the thermal modernization of an existing residential building, taking into account the actual operating conditions, three packages of measures "Minimum", "Optimal", "Maximum" were proposed.

Keywords: energy saving; thermal modernization; residential building; energy consumption modeling.