

УДК 338.45:621.311

Братковська К.О.,  
к.е.н., доцент кафедри електротехніки  
та енергетичного менеджменту  
Запорізька державна інженерна академія

## ПРОСТОРОВА ОПТИМІЗАЦІЯ ІНВЕСТИЦІЙ В ПРОГРАМИ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

Bratkovska K.O.,  
cand.sc.(econ.), assistant professor of the department  
of electrical engineering and energy management  
Zaporizhzhya State Engineering Academy

## SPATIAL OPTIMIZATION OF INVESTMENT IN ENERGY SAVING PROGRAM

**Постановка проблеми.** Рівень технічних можливостей підвищення енергоефективності у суспільному виробництві України зумовлює достатньо високий інвестиційний потенціал цієї сфери, який разом з дефіцитним українським бюджетом є передумовами залучення приватного капіталу. Інвестиційна привабливість для приватного інвестора в свою чергу забезпечується низькими операційними витратами, прийнятним співвідношенням «ризик-дохідність» та невисокими термінами окупності.

Економічна ефективність інвестицій в енергозбереження залежить від рівня тарифів на енергоресурси, які з урахуванням вимог МВФ щодо кредитування України зараз поступово наближаються до дійсної вартості і будуть продовжувати зростати в середньо- та довгостроковій перспективі.

Нестабільність політичної ситуації є одним з чинників несприятливого інвестиційного клімату як для вітчизняних, так і для іноземних інвесторів, у тому числі міжнародних фінансових організацій. Обмеженість фінансових ресурсів у конкретному інвестиційному періоді, потреба в інвестиціях, що перевищує наявні інвестиційні ресурси, та необхідність максимізації сумарного можливого приросту капіталу як інвесторів, так і отримувачів інвестицій зумовлюють актуальність пошуку шляхів підвищення ефективності інвестицій в сфері енергозбереження та енергоефективності, у тому числі за рахунок їх просторової оптимізації.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На думку багатьох фахівців, зокрема, А.І. Шевцова, А.Ф. Мельник, В.М. Гейця [2; 6; 8] енергоефективність та енергозбереження сьогодні є одним з найважливіших пріоритетів соціально-економічного розвитку країни в глобальному, національному та регіональному вимірах, і тому мають бути інтегровані у всіх сферах діяльності держави: муніципалітети, енергетика, транспорт, ЖКГ тощо.

Високий технічний потенціал енергозбереження характеризується наступними цифрами: у порівнянні з країнами ЄС витрати енергії для опалення в Україні у 2–4 рази вищі (181–190 кВт·год/м<sup>2</sup> в рік, клас будівель F, E проти європейських показників 30–45 кВт·год/м<sup>2</sup>/рік, клас будівель D, C) [1, с.15; 3, с.6], в той час як комплексна термомодернізація споруд сьогодні дозволяє досягати як ДБН-значення (клас B), так і перспективного значення енергоспоживання (клас A). Найбільші втрати теплової енергії в будинках спостерігаються через зовнішні стіни – 40 %, а потенціал енергозбереження складає 70 %. Для інших елементів будівель потенціал економії складає не менше 35 % [2; с.39].

Проте зазначене недостатньо ефективно сприяє процесам інвестування в даному напрямку: за інформацією на 2013 рік в рамках виконання регіональних програм підвищення енергоефективності, у тому числі на об'єктах соціальної сфери та комунального господарства, які мають найбільший потенціал енергозбереження, на фінансування енергозберігаючих заходів з державного та місцевих бюджетів було виділено 7,7 %, власні кошти підприємств склали 15 %, а інші джерела – 77 %, в той час як сумарний обсяг залучених коштів на реалізацію склав лише 20 % від запланованого програмами обсягу фінансування [2, с.67].

До того ж, невідповідність нормативно-правової бази регулювання іноземних інвестицій сучасним міжнародним нормам [7] та низька інвестиційна привабливість заважають залученню іноземного капіталу, не зважаючи на велику кількість міжнародних програм технічної допомоги у сфері енергоефективності [5]. Одним з чинників інвестиційної привабливості є показники економічної ефективності проектів, які можна покращити за рахунок використання певних підходів до формування

програм енергозбереження стосовно комбінації обраних незалежних проектів з урахуванням їх альтернатив та послідовності їх реалізації. Таким чином, доцільно розглядати просторову оптимізацію програм енергозбереження, а критерій оптимальності розглядати з точки зору отримувача інвестицій, коли у випадку фінансування з власних джерел очікуваний прибуток інвестора та його ризик дорівнюють нулю [4, с.262].

**Постановка завдання.** Враховуючи високий технічний потенціал підвищення енергоефективності та зростання тарифів на енергоресурси, що забезпечує інвестиційну привабливість енергозберігаючим проектам, метою роботи є дослідити можливість покращення показників економічної ефективності програм енергозбереження суб'єктів господарювання за рахунок просторової оптимізації заходів у її складі.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Визначенню ефективної програми енергозбереження суб'єктів господарської діяльності відповідає максимальний приріст прибутку в результаті реалізації  $n$  незалежних проектів з  $m$  альтернатив:

$$NPV_{ПЕЗ} = \sum_{i=1}^n NPV_i \rightarrow \max; \quad (1)$$

де  $NPV_i$  – чиста приведена вартість  $i$ -го проекту з  $n$  у складі програми енергозбереження, грн.;

$$NPV_i = \sum_{j=1}^m NPV_{ij} \cdot X_{ij} \rightarrow \max; \quad (2)$$

$NPV_{ij}$  – чиста приведена вартість  $i$ -го проекту при реалізації  $j$ -ої альтернативи з  $m$ , грн.;

$X_{ij}$  – умовна змінна, що відображає реалізацію  $j$ -ої альтернативи  $i$ -го проекту, приймає значення «1» при виборі альтернативи та «0» при відмові від неї;

$$\sum_{j=1}^m X_{ij} = 1. \quad (3)$$

Враховуючи, що у складі програми енергозбереження можуть бути проекти щодо зниження обсягів енергоспоживання (безпосередньо енергозберігаючі заходи) та щодо зниження вартості виробництва енергії (проекти впровадження ефективних джерел енергії), грошові потоки програми енергозбереження суб'єкта господарювання з  $n$  заходів, для кожного з яких можуть бути запропоновані  $m$  альтернатив, пропонується визначати наступним чином:

$$CF_{ПЕЗ} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (\Delta Q_{ij} \cdot X_{ij}) \cdot C_{Тбаз} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (C_{Тбаз} - C_{Тij} \cdot X_{ij}) \cdot (Q_{баз} - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (\Delta Q_{ij} \cdot X_{ij})); \quad (4)$$

де  $C_{Тij}$  – собівартість теплової енергії при реалізації  $i$ -го проекту впровадження ефективного джерела енергозабезпечення підприємства у вигляді  $j$ -ої альтернативи, грн/Гкал або грн/кВт·год.

$Q_{баз}$  – обсяг споживання теплової енергії у базовому варіанті, Гкал або кВт·год;

$\Delta Q_{ij}$  – економія теплової енергії внаслідок реалізації  $i$ -го енергозберігаючого проекту у вигляді  $j$ -ої альтернативи, Гкал або кВт·год.

При визначенні чистої приведеної вартості за формулою спрощеного розрахунку (враховуємо, що річний грошовий потік є постійним, що можливо при компенсації щорічного зростання тарифів на енергоресурси рівнем реальної інфляції) отримуємо наступну цільову функцію з обмеженням:

$$\left\{ \begin{array}{l} NPV_{ПЕЗ} = \left( \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (\Delta Q_{ij} \cdot X_{ij}) \cdot C_{Тбаз} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (C_{Тбаз} - C_{Тij} \cdot X_{ij}) \cdot (Q_{баз} - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (\Delta Q_{ij} \cdot X_{ij})) \right) \times \\ \times \frac{1 - (1 + \alpha)^{-Ti}}{\alpha} - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (I_{0ij} \cdot X_{ij}) \rightarrow \max; \\ \sum_{j=1}^m X_{ij} = 1; \end{array} \right. \quad (5)$$

де  $\alpha$  – ставка дисконту, в.о.;

$Ti$  – життєвий цикл  $i$ -го проекту, років;

$I_{0i}$  – початкові капітальні витрати, грн.

Запропонована просторова оптимізація інвестицій враховує поєднання незалежних, альтернативних та взаємодоповнюючих заходів у найбільш вигідній комбінації і сприятиме забезпеченню максимального значення чистої приведеної вартості всієї сукупності енергозберігаючих проектів у складі програми енергозбереження.

Розглянемо доцільність використання запропонованого підходу до складання програми енергозбереження на прикладі закладів охорони здоров'я, які на регіональному і муніципальному рівнях є найбільшими бюджетними споживачами теплової енергії і характеризуються чи не одним з найбільших потенціалом енергозбереження (у системах опалення закладів охорони здоров'я технічний потенціал енергозбереження становить 80 % [1]), а зростання витрат на оплату послуг тепlopостачання при використанні природного газу як базового палива для виробництва теплової енергії прогнозується найближчим часом у 3-4 рази.

Для зниження потреб в енергоресурсах на опалення та електропостачання у закладах охорони здоров'я міста Запоріжжя розроблена бюджетна програма «Термомодернізація будівель департаменту охорони здоров'я Запорізької міської ради на 2015–2025 роки» [1]. Запропоновані у звітах з енергетичного аудиту закладів охорони здоров'я енергозберігаючі заходи згруповані по двох пакетах в залежності від капіталоємності та очікуваної економії енергії. Набір заходів, що входить до Пакету №1, а саме: часткова модернізація системи опалення, заміна вікон та балконних блоків, часткова модернізація системи внутрішнього освітлення дозволить несуттєво (17-28 %) знизити споживання енергії. Пакет №2 передбачає більш глибоку модернізацію будівель: комплексна модернізація системи опалення, фасаду, дахового та підвального переkritтя, заміна вікон та балконних блоків, часткова модернізація системи вентиляції та внутрішнього освітлення тощо дозволить знизити потреби в енергоресурсах на 48-77 %, тобто приблизно в 3 рази від базового рівня споживання та досягнути середньоєвропейських показників енергоефективності будівель.

Результат аналізу енергозберігаючих заходів у закладах охорони здоров'я у вигляді питомих капітальних вкладень на економію 1 кВт·год теплової енергії та середній показник по всіх Пакетах представлений в таблиці 1.

Таблиця 1

**Порівняльний аналіз Пакетів енергозберігаючих заходів будівель департаменту охорони здоров'я Запорізької міської ради**

Заклади	Номер Пакету	Базове споживання енергії на опалення, 106 кВт год	Річна економія енергії на опалення		Капіталовкладення, тис. грн	Простий строк окупності, роки	Питоми капітальні вкладення на економію 1 кВт·год теплової енергії, грн/кВт·год
			тис. кВт·год	%			
Дитяча поліклініка №3	1	744,5	134 498	18	1 437	17,2	0,01068
	2		553 838	74	5 016	14,8	0,00906
Міська клінічна лікарня №3	1	944,9	265 352	28	2 101	12,8	0,00792
	2		670 273	71	6 693	16,3	0,00999
Дитяча поліклініка №6	1	129,9	14 237	11	215	24,4	0,01510
	2		62 760	48	713	18,7	0,01136
Центральна районна поліклініка Шевченківського району	1	671,2	179 445	27	1 251	11,2	0,00697
	2		517 607	77	3 683	11,6	0,00712
Центральна поліклініка №1 Хортицького району	1	610	156 416	26	1 188	12,3	0,00760
	2		443 841	73	3 991	14,8	0,00899
Центральна лікарня Орджонікідзевського району	1	1 458,1	233 181	16	1 608	11,1	0,00690
	2		1 004 274	71	7 102	11,6	0,00707
Міська поліклініка ім. 8 Марта	1	677,1	155 531	23	813	8,4	0,00523
	2		509 219	75	3 202	10,3	0,00629
Центр. поліклініка Жовтневого району	1	148,1	25 497	17	178	11,2	0,00698
	2		103 521	70	996	15,8	0,00962
Середній показник питомих капітальних вкладень на економію 1 кВт год теплової енергії по Пакету №1 = 0,0084 грн/кВт·год							
Середній показник питомих капітальних вкладень на економію 1 кВт год теплової енергії по Пакету №2 = 0,0087 грн/кВт·год							

Джерело: авторський розрахунок

Очевидно, що питомі вкладення на економію 1 кВт год теплової енергії при впровадженні Пакету №1 або Пакету №2 в будівлях департаменту охорони здоров'я Запорізької міської ради суттєво не відрізняються. Обидва пакети при суттєвій різниці в обсязі інвестицій та очікуваному економічному ефекті характеризуються близькими за значенням показниками термінів окупності, які до того ж є інвестиційно непривабливими.

Розглянемо більш детально формування програми енергозбереження багатoproфільної лікарні N м. Запоріжжя. Хірургічний корпус побудований у 1987 р., будівля поліклініки – в 1969 р. Загальна площа будівель складає 16365 м<sup>2</sup>. Вартість теплової енергії становить 1579,2 грн/Гкал. Витрати на опалення будівлі 3,5 млн. грн.

У ролі технічних рішень щодо зниження витрат на опалення будівель хірургічного корпусу та поліклініки розглянуті наступні заходи: теплоізоляція фасадів будівель (3 варіанти), зміна джерела тепlopостачання (3 варіанти: газова котельня, котельня на твердому паливі та електричне опалення) та енергозберігаючі заходи згідно Муніципального енергетичного плану м. Запоріжжя (Пакет №1 з 3 заходів та Пакет №2 з 6 заходів), їх характеристика наведена у таблиці 2. При цьому базовим варіантом для оцінки ефективності прийнятих рішень вважається початковий стан: фасадна теплоізоляція відсутня, джерело тепlopостачання - теплові мережі концерну «Міські теплові мережі».

**Таблиця 2**

**Технічні рішення щодо зниження витрат на опалення будівель хірургічного корпусу та поліклініки багатoproфільної лікарні N м. Запоріжжя – вихідні дані для оптимізації програми енергозбереження**

№	Енергозберігаючі заходи	Капітальні вкладення, тис.грн	Економія теплової енергії в порівнянні з базовим варіантом, Гкал (* електричної енергії, кВт·год)	Собівартість теплової енергії, грн./Гкал
1	2	3	4	5
	Базові			
1	Теплоізоляція 1	4672,17	1006,01	-
2	Теплоізоляція 2	4876,25	1011,97	-
3	Теплоізоляція 3	9021,4	1011,97	-
4	Газова котельня	6951,6	-	1032,73
5	Котельня на твердому паливі	6997,75	-	586,12
6	Електричне опалення	6131,61	-	1319,16
	Пакет 1			
7	Часткова модернізація системи опалення	1092,62	321	-
8	Заміна вікон	2126,4	733,75	-
9	Часткова модернізація системи освітлення	153,9	154655*	-
	Пакет 2			
10	Комплексна модернізація системи опалення	2975,88	557,33	-
11	Модернізація фасаду	4942,32	1706,87	-
12	Модернізація дахового перекриття	768,1	479,95	-
13	Модернізація підвального перекриття	226,58	284,68	-
14	Заміна вікон	2126,47	807,13	-
15	Часткова модернізація системи вентиляції	2459,47	851,63	-

*Джерело: авторський розрахунок*

При оптимізації програми енергозбереження у вигляді різних комбінацій заходів згідно з отриманим виразом (5) приймаємо, що з пакетів можуть бути обрані незалежні заходи у довільній комбінації в залежності від міркувань економічної доцільності згідно обмежень задачі оптимізації. Проаналізуємо результати оптимізації, представлені в таблиці 3.

Таблиця 3

**Аналіз впровадження різних комбінацій енергозберігаючих заходів з підвищення енергоефективності багатопрофільної лікарні N м.Запоріжжя**

Варіант програми енергозбереження	Номери заходів, що входять в програму енергозбереження	Сумарна чиста приведена вартість, грн
1	1,6,7,8,9	520 599,2
2	1,4,7,8,9	957 334,2
3	1,5,7,8,9	1 637 072
4	2, 4, 7, 8, 9	940 700,2
5	2,4,7,8,9,12	-11 666 962
6	1,5,7,8,9,15	-4 773 250
7	1,5,7,8,9,13	-506 345
8	1,5,7,8,9,12	-1 976 188
9	1,5,7,8,9,10	-2 556 652

Джерело: авторський розрахунок

Максимальне значення чистої приведеної вартості програми енергозбереження багатопрофільної лікарні N м. Запоріжжя NPV=1637072 грн. відповідає впровадженню теплоізоляції за варіантом №1, встановленню котельні на твердому паливі, частковій модернізації системи опалення та внутрішнього освітлення, заміни вікон. В той же час реалізація заходів з комплексної модернізації системи опалення, модернізації дахового та підвального перекриття та часткової модернізації системи вентиляції не є ефективними для впровадження в даній програмі енергозбереження при існуючих умовах. Термін окупності обраних за результатами просторової оптимізації заходів у складі програми енергозбереження складає 4,14 роки при інвестиціях близько 15 млн. грн та зниженні витрат на енергоресурси на 3,63 млн. грн щорічно. Такий показник значно привабливіший за середні значення термінів окупності аналогічних закладів охорони здоров'я за результатами енергетичних аудитів. Показник витрати енергії для опалення становитиме 45 кВт·год/м<sup>2</sup> в рік, що відповідає класу енергоспоживання будівель В. Отже, запропонований підхід формування програми енергозбереження у вигляді просторової оптимізації енергозберігаючих заходів сприятиме залученню інвесторів у сектор енергозбереження за рахунок покращення його інвестиційної привабливості, та доведенню показників енергоефективності до рівня європейських.

**Висновки з проведеного дослідження.** Проблема забезпечення високого рівня енергоефективності в Україні не може бути вирішена в одну мить. Подолання перешкод на шляху енергозбереження та підвищення енергоефективності суспільного виробництва сприятиме забезпеченню національної енергетичної безпеки держави, підвищенню рівня конкурентоспроможності суб'єктів господарювання, у тому числі за рахунок зниження видатків на паливно-енергетичні ресурси, покращенню інвестиційної привабливості як самої енергозберігаючої діяльності, так і підприємств, які будуть її впроваджувати.

Запропонований підхід до формування програм енергозбереження у вигляді просторової оптимізації енергозберігаючих заходів за критерієм максимального чистого приведеного прибутку від енергозбереження дозволяє обрати кращі альтернативи реалізації окремих незалежних проектів підвищення енергоефективності, що сприяє покращенню показників економічної ефективності програми енергозбереження за рахунок комплексного підходу, зниженню витрат на тепло- та електропостачання суб'єктів господарської діяльності, доведенню показників енергоефективності до європейського рівня.

Результати, отримані на прикладі покращення показників економічної ефективності програми енергозбереження N закладу охорони здоров'я м. Запоріжжя свідчать про можливість поширення такого підходу на програми енергозбереження суб'єктів господарювання інших видів діяльності, які характеризуються високим технічним потенціалом енергозбереження та недостатньою початковою інвестиційною привабливістю.

#### Література

1. Бюджетна цільова програма «Термомодернізація будівель управління з питань охорони здоров'я Запорізької міської ради». Муніципальний енергетичний план Запоріжжя. – Запоріжжя: ТОВ Енергосервісна компанія «Екологічні Системи», 2014. – 30с.
2. Енергоефективність у регіональному вимірі. Проблеми та перспективи. Аналітична доповідь / За заг. ред. Шевцова А.І. – Дніпропетровськ, Національний інститут стратегічних досліджень, 2014. – 78 с.
3. Желєзний А. Огляд державного механізму стимулювання енергозбереження в муніципальних та житлово-комунальних будівлях Чехії / А. Желєзний. – К. : Національний екологічний центр України, 2012. – 10 с.

4. Ильяшенко С.Н. Оптимизация структуры инвестиционных ресурсов при многоканальном инвестировании инновационных проектов. Инновационное развитие топливно-энергетического комплекса: проблемы и возможности : монография / С.Н. Ильяшенко ; Под общ. ред. Г.К. Вороновского, И.В. Недина. – К. : Знання України, 2004. – С. 260-264.
5. Каталог кредитних, грантових програм та програм міжнародної технічної допомоги в сфері енергоефективності. – К. : Громадська організація «Асоціація енергоаудиторів ЖКГ», 2015. – 32 с.
6. Модернізація суспільного сектору економіки в умовах глобальних змін : монографія / За ред. д.е.н., проф. А.Ф. Мельник. – Тернопіль: ТНЕУ, «Економічна думка». – 2009 – 528 с.
7. Носова О. Инвестиционные перспективы Украины: экономико-правовая модель : монография / О. Носова. – К. : LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. – 316 с.
8. Соціально-економічний стан України: наслідки для народу та держави: національна доповідь / За заг. ред. В.М. Гейця [та ін.]. – К. : НВЦ НБУВ, 2009. – 687 с.

#### References

1. *Biudzhethna tsilova prohrama «Termomodernizatsiia budivel upravlinnua z pytan okhorony zdorovua Zaporizkoi miskoi rady»*. *Munitsypalni enerhetychni plan Zaporizhzhia* [The budget target program "Buildings thermomodernization of Health Department of Zaporizhia city council" of Municipal energy plan of Zaporozhye] (2014), TOV Energoservisna kompaniya "Ekologichni Sistemi", Zaporizhzhia, Ukraine, 30 p.
2. Shevtsov, A.I. (2014), *Enerhoefektivnist u rehionalnomu vymiri. Problemy ta perspektyvy. Analitichna dopovid* [Energy efficiency in regional terms. Problems and prospects. Analytical report], Natsionalnyi institut stratehichnykh doslidzhen, Dnipropetrovsk, Ukraine, 78 p.
3. Zheleznyi, A. (2012), *Ohliad derzhavnogo mehanizmu stimuluuvannia enerhozberezhennia v munitsipalnykh ta zhytlovo-komunalnykh budivliakh Chehii* [Review of the state mechanism to encourage energy savings in municipal and residential buildings Czech Republic], Natsionalnyi ekolohichniy tsentr Ukraini, Kyiv, Ukraine, 10 p.
4. Ilyashenko, S.N. (2004), *Optimizatsiya struktury investitsionnykh resursov pri mnogokanalnom investirovanii innovatsionnykh projektov. Innovatsionnoe razvitie toplivno-energeticheskogo kompleksa: problemy i vozmozhnosti* [Optimization of investment resources structure in multi-channel investment innovative projects. Innovative development of fuel and energy sector: Challenges and Opportunities], Znania Ukrainy, Kyiv, Ukraine, pp. 260-264
5. *Kataloh kredytnykh, hrantovykh program ta program mizhnarodnoi tekhnichnoi dopomohy v sferi enerhoefektyvnosti* [Catalogue of loan and grant programs and programs of technical assistance in the field of energy efficiency] (2015), Hromadska organizatsiya «Asotsiatsiya energoauditoriv ZhKG», Kyiv, Ukraine, 32 p.
6. Melnyk, A.F. (2009), *Modernizatsiia suspilnoho sektoru ekonomiky v umovakh hlobalnykh zmin* [Modernization of public sector in conditions of global change], monograph, TNEU, "Ekonomichna dumka", Ternopil, Ukraine, 528 p.
7. Nosova, O. (2014), *Investitsionnye perspektyvy Ukrainy: ekonomiko-pravovaya model* [Investment prospects in Ukraine: economic and legal model], monograph, LAP LAMBERT Academic Publishing, Kyiv, Ukraine, 316 p.
8. Heets, V.M. (2009), *Sotsialno-ekonomichniy stan Ukrainy: naslidky dlia narodu ta derzhavy: natsionalna dopovid* [Social and economic condition of Ukraine: consequences for people and the state: national report], NVTS NBUV, Kyiv, Ukraine, 687 p.