МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ, МОДЕЛІ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕКОНОМІЦІ

УДК 330.142.2 : 658.26

ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗПОДІЛУ ІНВЕСТИЦІЙНОГО КАПІТАЛУ ЗА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИМИ КОМПОНЕНТАМИ

Л.В. Малинська. Полтавська державна аграрна академія.
С.М. Малинський, кандидат фізико-математичних наук. Полтавський національний технічний університет ім. Ю. Кондратюка.

Analyzes the different approaches to define the optimal distribution of investment capital on the energy-effective components. The new approach is suggested, which involves the use of non-linear utility function instead of the set of linear forms. The algorithm of this function construction is developed based on the analysis of dynamics of the movement of boundary utilities of energy-saving activities. The numerical calculation of the resources distribution confirms the falling of boundary utilities by all activities.

Вступ. Питання ефективного використання енергетичних ресурсів є нагальною потребою сучасного суспільства. Заклади бюджетної сфери мають значний потенціал енергозбереження, реалізація якого певною мірою буде сприяти енергетичній, економічній та екологічній безпеці країни. Виняткова роль у цьому процесі закладів національної освіти полягає у формуванні новітньої свідомості, створенні й розповсюдженні нових знань, інноваційних розробок у напрямі ефективного енергоспоживання та використання відновлювальних джерел енергії.

Втілення заходів енергозберігаючої політики у бюджетних установах стикається з рядом проблем, однією з яких є необхідність визначення напрямів розподілення наявного або потенційного інвестиційного капіталу з метою отримання найбільшої економії енергії.

Огляд останніх джерел досліджень і публікацій. Основним аналітичним інструментом, який використовується для оцінювання ефективності інвестиційного проекту, є визначення чистої поточної вартості, про що зазначають О. М. Суходоля [1], Ю. В. Дзядикевич [2] та інші. Але можливість отримання надходжень у грошовому вигляді для проектів з енергозбереження, що реалізуються у бюджетних закладах, є обмеженою.

Задачі оптимізації вибору енергоефективного інвестиційного проекту, опубліковані у працях Є.Є. Нікітіна, А.А. Долинського, В.І. Дешко, Н.А. Буяк [3-5], вирішуються за лінійними моделями.

Постановка завдання. Метою дослідження є розроблення нового підходу до вирішення задачі оптимізації розподілу інвестиційного капіталу за енергоефективними компонентами – застосування нелінійної енергетичної функції корисності. Методи досліджень, використані при написанні статті, ґрунтуються на діалектиці та комплексному підході до вивчення економіко-екологічних проблем.

Основний матеріал і результати. У процесі розроблення енергозберігаючого проекту виникає питання, яким чином зробити розподіл сум початкових інвестиції та інших вкладень за енергоефективними заходами, щоб отримати оптимальний результат, тобто найбільший ефект за обсягами зекономленої енергії. Застосування лінійної моделі оптимізації дає зміщення грошових потоків на один (іноді два) заходи, всі інші види заходів обнуляються. Для розв'язання цієї проблеми вводяться додаткові критерії значимості впливу заходів [3], але при цьому виникають питання ранжування вибраних критеріїв, їх повноти та обґрунтування.

З метою уникнення описаної ситуації для визначення оптимального розподілу інвестиційного капіталу за енергоефективними компонентами запропоновано застосовувати енергетичну функцію корисності та методику її розрахунку. Запропонована назва «енергетична функція корисності» (далі – ЕФК) вказує на аналогію до функції корисності в теорії споживання, коли визначається, на які товари слід витратити гроші з метою отримання найбільшої користі [6]. У теорії споживання кожний товар має свою ціну й корисність, так само кожний енергозберігаючий захід потребує грошових витрат і приносить певний корисний ефект (економічний, екологічний, енергетичний, безпека та надійність функціонування організації). Оптимальний набір товарів при обмеженні у грошах відповідає екстремуму функції корисності. Аналог – оптимальний набір енергозберігаючих заходів відповідає екстремуму ЕФК також при обмеженні у грошових засобах.

Надалі можна буде побачити, що аналогія ще глибша, наприклад, гранична корисність товару – гранична корисність енергозберігаючого заходу (формально математично – це перші частинні похідні функції корисності). Від'ємність других частинних похідних функції корисності у теорії споживання та ЕФК вказує на зменшення корисності товару (заходу), тобто відбувається насичення ним або повна відмова від нього. Наприклад, для сучасного споживача з появою нових мобільних і супутникових видів зв'язку значно знизилася корисність стаціонарних телефонів. А суттєвий приклад у сфері споживання енергії – прийняття у Німеччині рішення про повну відмову від атомної енергетики з поступовим насиченням енергетичного ринку енергією з відновлювальних джерел. Основа мотивації – екологічна й енергетична безпека.

Лінійна модель, яка є більш простою та поширеною, не відображає динаміку граничної корисності, а використання квадратичної форми дозволяє врахувати два аспекти: гранична корисність та ефект зменшування граничної корисності (аналогічно до 1-го закону Госсена, який наголошує, що гранична корисність товару спадає при насиченні цим товаром [6; 8]. Тому енергетичну функцію корисності будемо будувати за квадратичною формою (аналогічно до функції корисності Неймана-Моргенштерна):

$$ЕФК(\bar{x}) = \sum_{i=1}^{n} b_i x_i + \sum_{i \le j} a_{ij} x_i x_j \,, \qquad (1)$$

де x_i – кількісний вираз об'єму i-го заходу, вектор $\bar{x}$ $(x_1, x_2, \ldots, x_n)$;

b_i, a_{ij} – коефіцієнти квадратичної форми.

Крім того, на змінні x_i накладається обмеження, яке задається початковим обсягом інвестицій Z та коефіцієнтами c_i, що визначають ціну одиниці об'єму i-го заходу. Це обмеження має лінійний вигляд

$$\sum_{i-1}^{n} c_i x_i = \mathrm{Z} \,. \qquad (2)$$

Таким чином, знаходження оптимального розподілу x_i відповідає задачі визначення умовного екстремуму $ЕФК(\bar{x})$.

Знаходження коефіцієнтів ЕФК є складною задачею, для вирішення якої можливими є три підходи. Перший – використання інтерполяційної формули Ньютона для функції багатьох змінних [7], в цьому випадку для знаходження коефіцієнтів потрібний підрахунок кінцевих різниць першого та другого порядків. Другий – регресійно-кореляційний аналіз, у якому для побудови адекватної моделі економетричної багатофакторної регресії необхідна наявність статистичних спостережень за значний період [8]. Третій – аналіз руху граничних корисностей енергозберігаючих заходів, які описуються лінійними рівняннями з природним напрямом падіння корисності; перевагою останнього є те, що він потребує відносно небагато вихідних даних: вартість, об'єми та початкові корисності вибраних заходів.

Для застосування першого підходу необхідно знати прирости ЕФК при покроковому парному аналізі заходів, що потребує значної кількості спостережень, яке виражається порядком

$$\frac{n(n+1)}{2} \,,$$

де n – кількість заходів. У цьому випадку коефіцієнти ЕФК визначають за формулами:

$$b_i = \frac{E(x_i') - E(x_i^0)}{h_{x_i}};$$

$$a_{ij} = \frac{E(x_i', x_j') + E(x_i^0, x_j^0) - E(x_i^0, x_j') - E(x_i', x_j^0)}{h_{x_i} \cdot h_{x_j}}, \quad i \neq j$$

$$a_{ii} = \frac{E(x_i'') + E(x_i^0) - 2E(x_i')}{2 \cdot h_{x_i}^2} \qquad (3)$$

де x_i^0, x_i', x_i'' – три послідовних стану i-го заходу (початковий, стан після першого кроку, стан після другого кроку);

$E(x_i^0), E(x_i'), E(x_i'')$ – обсяги енергії, що витрачаються системою у відповідному стані;

h_{x_i} – крок, який визначає приріст обсягів відповідного заходу.

Тоді формула (1) буде мати вигляді

$$ЕФК(\bar{x}) = \sum_{i=1}^{n} \frac{E(x_i') - E(x_i^0)}{h_{x_i}} x_i + \sum_{i<j} \frac{E(x_i', x_j') + E(x_i^0, x_j^0) - E(x_i^0, x_j') - E(x_i', x_j^0)}{h_{x_i} \cdot h_{x_j}} x_i x_j + \sum_{i=j} \frac{E(x_i'') + E(x_i^0) - 2E(x_i')}{2 \cdot h_{x_i}^2} x_i x_i + \varepsilon \qquad (4)$$

Складність визначення параметрів ЕФК за таким підходом очевидна: потрібно по кожному заходу виконувати багатокрокові заміри результатів експериментів, обробляти велику кількість даних.

Використання економетричного методу, за яким оцінки параметрів квадратичної багатофакторної моделі розраховуються методом найменших квадратів, потребує визначення матриці вихідних статистичних даних, що буде мати розмір, не менший, ніж $\frac{(n+1)(n+2)}{2}$, де n – кількість заходів. Крім того, відомо, що для багатофакторної регресії необхідною є попередня перевірка масиву факторів на мультиколінеарність, на авторегресію [8], що також вимагає громіздких обчислень навіть за невеликої кількості досліджуваних факторів. Наприклад, якщо досліджуються 4 заходи, то потрібно мати дані статистичних спостережень за 15 років.

Таким чином, перший та другий підходи засновані на проведенні розрахунків за даними, які мають апостеріорний характер. Бажано мати ЕФК, побудовану на апріорному підході, яким є третій підхід, заснований на аналізі руху корисностей. Розглянемо алгоритм знаходження коефіцієнтів квадратичної форми ЕФК (1) за цим підходом.

Загальний спожитий обсяг енергії на обігрів, освітлення, вентиляцію та водопостачання будівель бюджетної організації може зменшуватися різною мірою залежно від застосування тих чи інших енергозберігаючих заходів. Запишемо граничні корисності:

$$ГК_i = ЕФК'_{x_i} = b_i + \sum_{j=1; j \neq i}^{n} a_{ij} x_j + 2a_{ii} x_i. \qquad (5)$$

У початковий момент часу $x_i = 0$, а граничні корисності дорівнюють b_i. Це будуть початкові граничні корисності, які відповідають приросту обсягу збереженої енергії до приросту об'єму i-го заходу при нерухомості інших заходів (відсутності приростів по них).

Коли відбувається зростання i-го заходу (знову ж за умови нерухомості інших), то:

$$ГК_i = b_i + 2a_{ii} x_i, \qquad (6)$$

де $2a_{ii}$ – швидкість спадання корисності i-го заходу.

Природно зробити припущення, що $ГК_i$ спадає до нуля при вичерпаності i-го заходу, тобто:

$$b_i + 2a_{ii} \bar{X}_i = 0, \qquad (7)$$

де $\bar{X}_i$ – максимальний обсяг i-го заходу.

З рівняння (7) знаходимо:

$$a_{ii} = \frac{-b_i}{2\bar{X}_i}. \qquad (8)$$

Для визначення коефіцієнтів a_{ij} потрібно розглянути взаємодію i-го та j-го заходів. Запишемо закон спадання корисностей цих заходів за відсутності впливу інших:

$$\begin{cases} ГК_i = b_i - \frac{b_i}{\bar{X}_i} x_i + a_{ij} x_j \\ ГК_j = b_j - \frac{b_j}{\bar{X}_j} x_j + a_{ij} x_i \end{cases}. \qquad (9)$$

Напрям падіння корисностей відповідає руху i-го та j-го заходів, що розглядаються, а рух цих заходів відбувається пропорційно до початкових корисностей:

$$\begin{cases} x_i = b_i t \\ x_j = b_j t \end{cases}, \qquad (10)$$

де t – параметр.

Тобто, при зростанні обсягів застосування заходів відповідні корисності прямують до нуля. Тоді, якщо у систему (9) підставити (10), маємо:

$$\begin{cases} ГК_i = b_i - \frac{b_i}{\bar{X}_i} b_i t + a_{ij} b_j t = 0 \\ ГК_j = b_j - \frac{b_j}{\bar{X}_j} b_j t + a_{ij} b_i t = 0 \end{cases}. \qquad (11)$$

Вирішуючи систему (11), виключаємо параметр і знаходимо коефіцієнт:

$$a_{ij} = -\left(\frac{b_i}{\overline{X}_i} - \frac{b_j}{\overline{X}_j}\right) \Bigg/ \left(\frac{b_i}{b_j} - \frac{b_j}{b_i}\right) \qquad (12)$$

Фактично ми отримали, що величини a_{ij} дорівнюють відношенню різниць питомих корисностей до різниць відношення корисностей.

Оскільки різні заходи мають різні вимірювання, то доцільно перейти до безрозмірних координат. Уведемо відносну змінну $\widetilde{x}_i$, за яку приймається відношення кількісного виразу об'єму *i*-го заходу до його максимально можливого розміру:

$$\widetilde{x}_i = \frac{x_i}{\overline{X}_i}; \quad 0 \le \widetilde{x}_i \le 1 \qquad (13)$$

Тоді, враховуючи формули (12) та (13), коефіцієнт розраховують за залежністю:

$$a_{ij} = -\left(\frac{b_i}{1} - \frac{b_j}{1}\right) \Bigg/ \left(\frac{b_i}{b_j} - \frac{b_j}{b_i}\right) = -\frac{b_i \cdot b_j}{b_i + b_j} \qquad (14)$$

Після визначення коефіцієнтів (8) та (14) енергетична функція корисності буде мати вигляд:

$$ЕФК(\widetilde{x}) = \sum_{i=1}^{n} b_i \widetilde{x}_i - \sum_{i<j} \frac{b_i \cdot b_j}{b_i + b_j} \widetilde{x}_i \widetilde{x}_j - \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n} b_i \widetilde{x}_i^2 + \varepsilon \qquad (15)$$

Цінове обмеження (2) також наведемо у безрозмірних координатах:

$$\sum_{i-1}^{n} c_i x_i = Z \Leftrightarrow \sum_{i-1}^{n} \frac{c_i x_i}{\overline{X}_i} \overline{X}_i = Z \Leftrightarrow \sum_{i-1}^{n} c_i \widetilde{x}_i \overline{X}_i =$$

$$= Z \Leftrightarrow \sum_{i-1}^{n} \widetilde{x}_i Z_i = Z \Leftrightarrow \sum_{i-1}^{n} \widetilde{x}_i \frac{Z_i}{Z} = 1$$

де Z_i – сума коштів, необхідних для втілення *i*-го заходу у повному обсязі.

Задача оптимального розподілу коштів за енергозберігаючими заходами відповідає умовному екстремуму для ЕФК. Розв'язуємо її методом Лагранжа.

Будуємо функцію Лагранжа:

$$\Phi(\widetilde{x}, \lambda) = ЕФК(\widetilde{x}) + \lambda\left(1 - \sum_{i-1}^{n} \widetilde{x}_i \frac{Z_i}{Z}\right) \qquad (16)$$

Далі складаємо систему з *n*+1 рівнянь:

$$\begin{cases} \Phi'_{\widetilde{x}_i} = 0, \quad i = 1,2,\ldots,n \\ \sum_{i-1}^{n} \widetilde{x}_i \frac{Z_i}{Z} = 1 \end{cases} \qquad (17)$$

Або у розгорнутому вигляді:

$$\begin{cases} b_1 - \sum_{j\neq 1} \frac{b_1 \cdot b_j}{b_1 + b_j} \widetilde{x}_j - b_1 \widetilde{x}_1 - \lambda \frac{Z_1}{Z} = 0 \\ b_2 - \sum_{j\neq 2} \frac{b_2 \cdot b_j}{b_2 + b_j} \widetilde{x}_j - b_2 \widetilde{x}_2 - \lambda \frac{Z_2}{Z} = 0 \\ \ldots \\ b_n - \sum_{j\neq 1} \frac{b_n \cdot b_j}{b_n + b_j} \widetilde{x}_j - b_n \widetilde{x}_n - \lambda \frac{Z_n}{Z} \\ \sum_{i-1}^{n} \widetilde{x}_i \frac{Z_i}{Z} = 1 \end{cases} \qquad (18)$$

λ – параметр, який трактується як гранична корисність грошей Z [6], у нашому дослідженні – гранична корисність інвестицій.

Рішенням системи є набір $(\widetilde{x}_1, \widetilde{x}_2, \ldots, \widetilde{x}_n)$, а оптимальний розподіл коштів буде:

$$(\widetilde{x}_1 \cdot Z_1, \widetilde{x}_2 \cdot Z_2, \ldots, \widetilde{x}_n \cdot Z_n); \quad \sum_{i-1}^{n} \widetilde{x}_i Z_i = Z.$$

Розглянемо застосування ЕФК на конкретному умовному прикладі. Візьмемо набір заходів з енергозбереження, які мають відношення до термомодернізації будівлі (див. табл. 1).

З досвіду проведення подібних заходів відомий вплив у відсотках кожного заходу на економію енергії, відсоткові значення економії енергії є аналогом початкової граничної корисності b_i. Крім того, для проведення обчислень треба знати вартість кожного заходу в повному обсязі та наявність грошових засобів (Z = 800 тис. грн.), які потрібно розподілити для впровадження вибраних заходів з метою отримання найбільшої економії енергії. Вихідну інформацію наведено у табл. 1.

За пропонованим алгоритмом відповідна функція ЕФК та грошове обмеження має вигляд

$$ЕФК(\widetilde{x}) = \sum_{i=1}^{4} b_i \widetilde{x}_i - \sum_{i<j} \frac{b_i \cdot b_j}{b_i + b_j} \widetilde{x}_i \widetilde{x}_j - \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{4} b_i \widetilde{x}_i^2;$$

$$\sum \widetilde{x}_i \cdot z_i = 800\,000$$

З метою представлення обчислених за вихідними даними параметрів функції у більш зручній формі значення всіх коефіцієнтів квадратичної форми зведені у табл. 2 (ітерація перша).

Розрахунки за описаним алгоритмом виконано у середовищі табличного процесору MS Excel з використанням надбудови «Пошук рішення». Результати розрахунків також зведені у табл. 2 (ітерація перша).

Аналізуючи отримані результати з розподілу грошей (останній стовпчик табл. 2), можна зробити висновки, що у першому році найбільшу частку інвестицій (близько 54%) потрібно направити на другий захід (утеплення даху), хоча не він мав початкову найбільшу корисність. На утеплення стін слід спрямувати 150 тис. грн. (19%), на вікна – 140 тис. грн. (17%), а на вентиляцію – 80 тис. грн. (10%). У результаті здійснення всіх заходів загальна економія енергії складе 10,7%.

На наступний рік як початкові граничні корисності треба брати такі, які сформувалися після здійснення запропонованих заходів в обсягах $\widetilde{x}_i$. Для перерахунку скористаємося формулою (9) й проведемо повторний розрахунок ЕФК, припустивши, що у наступному році на енергозберігаючі заходи буде виділений такий же обсяг коштів (800 тис. грн.) та загальна вартість кожного з вибраних заходів

Таблиця 1. Вихідні дані до побудови ЕФК (розробка авторів)

№ з/п	Енергозберігаючий захід	Позначення	b_i	z_i, тис. грн.
1	Утеплення стін	x_1	0,25	1 920
2	Утеплення даху	x_2	0,2	960
3	Заміна вікон	x_3	0,15	880
4	Вдосконалення вентиляційних систем	x_4	0,1	480

зменшилася на величину освоєння у першому році, але їх повна оцінка залишилася незмінною. Коефіцієнти функції та результати розрахунків для наступного року (друга ітерація) зведені у табл. 2 (друга ітерація). У другому році основний потік коштів – 50% слід спрямувати на утеплення стін, на другий та третій захід – по 20%, а на останні – 10%. Річна економія енергії дещо знизилась і складає 9,3%, що відповідає зниженню корисностей заходів.

Аналогічно виконаємо розрахунки для третього року (третя ітерація) при тих же припущеннях (табл. 2). На третьому кроці більшу частку коштів

Таблиця 2. Коефіцієнти квадратичної форми ЕФК та результати розрахунків
(розробка та розрахунки авторів)

Ітерація перша									
№ з/п	Матриця коефіцієнтів квадратичної форми						Результати розрахунків		
	a_{ij}	1	2	3	4	b_i	$\tilde{x}_i$	z_i	$\tilde{x}_i * z_i$
1	1	-0,125	-0,1111	-0,0938	-0,0714	0,25	0,0784	1920000	150621,4
2	2		-0,1	-0,0857	-0,0667	0,2	0,4489	960000	430901,8
3	3			-0,075	-0,06	0,15	0,1582	880000	139247,7
4	4				-0,05	0,1	0,1651	480000	79229,14
Функціонал (загальний відсоток економії енергії):						10,7%	Усього, грн.:		800000
Ітерація друга									
№ з/п	Матриця коефіцієнтів квадратичної форми						Результати розрахунків		
	a_{ij}	1	2	3	4	b_i	$\tilde{x}_i$	z_i	$\tilde{x}_i * z_i$
1	1	-0,1152	-0,0746	-0,0816	-0,0613	0,2304	0,2266	1769379	400954,2
2	2		-0,0551	-0,0589	-0,0475	0,1102	0,3086	529098,2	163288,6
3	3			-0,0631	-0,0503	0,1263	0,2183	740752,3	161730,8
4	4				-0,0417	0,0835	0,1847	400770,9	74026,42
Функціонал (загальний відсоток економії енергії):						9,3%	Усього, грн.:		800000
Ітерація третя									
№ з/п	Матриця коефіцієнтів квадратичної форми						Результати розрахунків		
	a_{ij}	1	2	3	4	b_i	$\tilde{x}_i$	z_i	$\tilde{x}_i * z_i$
x_1	1	-0,0891	-0,0534	-0,0635	-0,0493	0,1782	0,3619	1368424	495209,2
x_2	2		-0,0381	-0,0430	-0,0360	0,0762	0,2472	365809,7	90444,29
x_3	3			-0,0493	-0,0403	0,0987	0,2622	579021,5	151837,1
x_4	4				-0,0340	0,0681	0,1913	326744,4	62509,37
Функціонал (загальний відсоток економії енергії):						8,2%	Усього, грн.:		800000

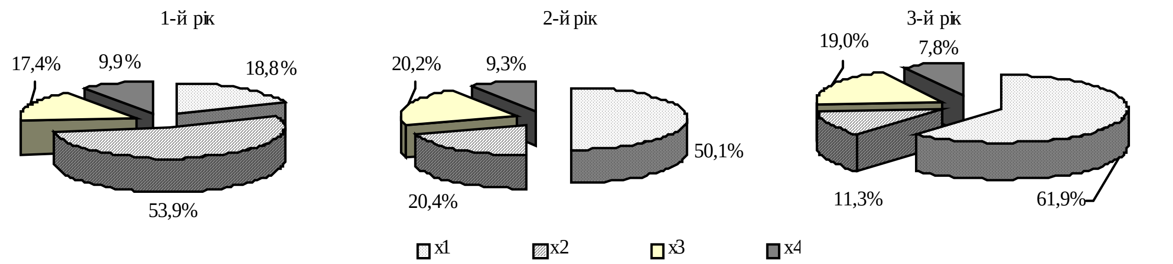

Рис. 1. Динаміка розподілу коштів за енергозберігаючими заходами впродовж трьох років
(розрахунки та розробка авторів)

– понад 60% – слід спрямовувати на утеплення стін, 19% потрібно витратити на утеплення вікон, 11% – на утеплення даху та 8% – на вдосконалення вентиляційної системи. Загальне зменшення обсягів енергоспоживання складає 8,2%.

Перерозподіл грошових потоків за різними заходами по трьох роках окремо наведено на рис. 1.

Ітераційні розрахунки можна продовжувати до повного завершення виконання визначених обсягів вибраних заходів (насичення). Але метою цього дослідження є розроблення методики виконання обчислень за пропонованим підходом до визначення ЕФК, і зроблені кроки показують, що методика працює, тому можна припинити ідентичні розрахунки.

Якщо простежити рух граничної корисності вибраних заходів (рис. 2), то можна побачити, що всі вони описуються спадними функціями, підтверджуючи спадання корисності заходу при збільшенні обсягів його застосування.

Слід відмітити також, що за однакової суми коштів, спрямованих на енергозберігаючі заходи, спостерігається тенденція до зменшення віддачі – якщо у першому році загальна економія енергії складала 10,7%, у другому – 9,3%, то у третьому – вже 8,2%. Цей факт відображає падіння корисності вкладених коштів.

Для визначення рівня виконання обсягів вибраних заходів за три роки зведемо розрахункові дані до табл. 3. Значення показників, отримані у результаті розрахунків за енергетичною функцією корисності, показують, що за три роки другий захід буде реалізований більше ніж на 70%, перший та третій – більше ніж на 50%, а третій – на 45%.

Висновки. Таким чином, запропонована методика побудови енергетичної функції корисності на основі руху корисностей окремих заходів при вартісних обмеженнях дозволяє ефективно вирішити задачу оптимального розподілу коштів на енергозберігаючі заходи. Повторні застосування цього методу (ітерації) дозволяють розподілити кошти, що можуть бути виділені у наступних періодах, з найбільшою користю.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Суходоля, О. М. Енергоефективність економіки в контексті національної безпеки: методологія дослідження та механізми реалізації : монографія / О. М. Суходоля. – К. : НАДУ, 2006. – 424 с.

2. Дзядикевич, Ю. В. Методи оцінки ефективності інвестицій в енергозбереження / Ю. В. Дзядикевич, М. В. Буряк, Р. І. Розум // Інноваційна економіка. – 2011. – № 2. – С. 119-122.

3. Никитин, Е. Е. Оптимизация выбора энергоэффективных проектов модернизации систем теплоснабжения в условиях финансовых ограничений / Е. Е. Никитин // Проблеми загальної енергетики. – 2011. – № 3. – С. 25-31.

4. Долинский, А. А. К вопросу энергоэкономической оптимизации энергетических систем / А. А. Долинский // Пром. теплотехника. – 2009. – Т. 31, № 4. – С. 105-109.

5. Дешко, В. І. Економічно доцільний тепловий захист будівлі з різними джерелами теплоти / В. І. Дешко, Н. А. Буяк // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2009. – № 3. – С. 74-81.

6. Пономаренко, О. І. Сучасний економічний

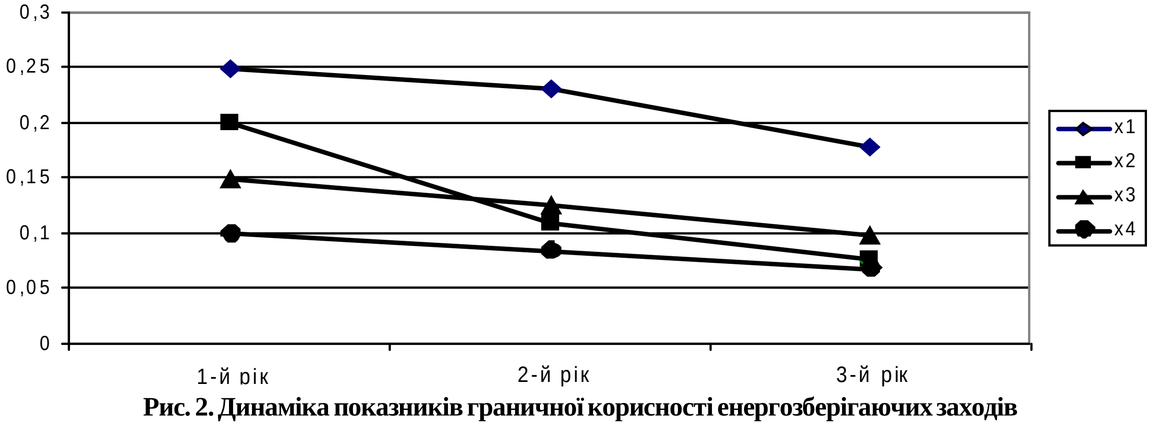

Рис. 2. Динаміка показників граничної корисності енергозберігаючих заходів
(розрахунки та розробка авторів)

Таблиця 3. Об'єми реалізації енергозберігаючих заходів за результатами розрахунків з використанням ЕФК (розрахунки та розробка авторів).

№ з/п	Загальні вартісні обсяги кожного із заходів, тис. грн.	Обсяги впроваджуваних заходів по роках, грн.				Відсоток обсягів здійснених заходів до загального обсягу, %
		1-й рік	*2-й рік*	*3-й рік*	*разом за три роки*	
1	1920000	150621,4	400954,2	495209,2	1046785	54,5
2	960000	430901,8	163288,6	90444,29	684634,6	71,3
3	880000	139247,7	161730,8	151837,1	452815,6	51,5
4	480000	79229,14	74026,42	62509,37	215764,9	45,0

аналіз: у 2 ч., ч. 1. Мікроекономіка : навч. посібн. / О. І. Пономаренко, М. О. Перестюк, В. М. Бурим. – К. : Вища шк., 2004. – 262 с.

7. Демидович, Б. П. Численные методы анализа / Б. П. Демидович, И. А. Марон, Э. З. Шувалова. – М. : Наука, 1967. – 422 с.

8. Леоненко, М. М. Теоретико-ймовірнісні та статистичні методи в економетриці та фінансовій математиці / М. М. Леоненко, Ю. С. Мішура, В. М. Пархоменко, М. Й. Ядренко. – К.: Інформтехніка, 1995.

УДК 330.142.2 : 658.26

Малинський Сергій Маркович, кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри вищої математики. Полтавський національний технічний університет ім. Ю. Кондратюка. **Малинська Лідія Володимирівна**, старший викладач кафедри інформаційних систем і технологій. Полтавська державна аграрна академія. **Оптимізація розподілу інвестиційного капіталу за енергоефективними компонентами**. Проаналізовано різні підходи до знаходження оптимального розподілу інвестиційного капіталу по енергоефективних компонентах. Запропоновано новий підхід, який передбачає застосування нелінійної енергетичної функції корисності замість множини лінійних форм. Розроблено алгоритм побудови цієї функції на основі аналізу динаміки руху граничних корисностей енергозберігаючих заходів. Чисельний розрахунок розподілу коштів підтверджує спадання граничних корисностей по усіх заходах.

Ключові слова: ефективність інвестиційного проекту з енергозбереження, енергозберігаючі заходи, енергетична функція корисності.

УДК 330.142.2 : 658.26

Малинский Сергей Маркович, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры высшей математики. Полтавский национальный технический университет им. Ю. Кондратюка. **Малинская Лидия Владимировна**, старший преподаватель кафедры информационных систем и технологий. Полтавская государственная аграрная академия. **Оптимизация распределения инвестиционного капитала по энергоэффективным компонентам.** Проанализированы различные подходы определения оптимального распределения инвестиционного капитала по энергоэффективным компонентам. Предложен новый подход, который предусматривает использование нелинейной функции полезности вместо множества линейных форм. Разработан алгоритм построения этой функции на основе анализа динамики движения граничных полезностей энергосберегающих мероприятий. Численный расчет распределения средств подтверждает спадание граничных полезностей по всем мероприятиям.

Ключевые слова: эффективность инвестиционного проекта по энергосбережению, энергосберегающие мероприятия, энергетическая функция полезности.

УДК 330.142.2 : 658.26

Malinsky Sergey Markovich, candidate of physical and mathematical sciences, docent of mathematics cathedra. Poltava national technical university named after Yu. Kondratyuk. **Malinskaya Lidiya Vladimirovna**, senior teacher of department of informatic systems and technologies. Poltava state agrarian academy. **Optimization of the distribution of investment capital on the energy-efficient components**. Analyzes the different approaches to define the optimal distribution of investment capital on the energy-effective components. The new approach is suggested, which involves the use of non-linear utility function instead of the set of linear forms. The algorithm of this function construction is developed based on the analysis of dynamics of the movement of boundary utilities of energy-saving activities. The numerical calculation of the resources distribution confirms the falling of boundary utilities by all activities.

***Keywords*:** efficiency of investment project of energy-saving, energy-saving activities, energy utility function.

Стаття отримана редакцією 16.02.2012 р.