

УДК 332.873:658.18

В.А. ДЕНИСОВ, наук. співроб.**Л.В. ЧУПРИНА**, мол. наук. співроб.

Інститут загальної енергетики НАН України, Київ

ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОПТИМІЗАЦІЇ ОБСЯГІВ ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ЖКГ УКРАЇНИ В УМОВАХ ОБМЕЖЕНИХ ІНВЕСТИЦІЙНИХ РЕСУРСІВ

Запропоновано ієрархічно-структуровану модель житлово-комунального господарства України. На множині компонент, що характеризують визначені об'єкти галузі, задано міру, яка застосовується для вирішення задачі структурно-параметричної оптимізації обсягів використання енергоефективних технологій в ЖКГ України. Виконано серію розрахунків, що підтверджують ефективність запропонованої моделі.

Основною метою проведеного дослідження є розробка економіко-енергетичної моделі оптимального розподілу обмежених фінансових ресурсів для інвестування в енергозберігаючі проекти житлово-комунального господарства (ЖКГ) України, що охоплює підгалузі житлового господарства (ЖГ), комунальної теплоенергетики (КТЕ), водопровідно-каналізаційного господарства (ВКГ), міського електротранспорту (МЕТ), інші (ІНШ), включаючи благоустрій, зовнішнє освітлення, санітарне очищення тощо, та має адміністративно-територіальне розподілення із своєю ієрархією. На кожному рівні адміністративно-територіальної ієрархії розглядається вище-зазначена підгалузева інфраструктура, деталізована за структурою свого технологічного наповнення.

Блок-схему запропонованої економіко-енергетичної моделі ЖКГ наведено на рис. 1. На найвищому рівні галузь у цілому структурована за адміністративно-територіальним принципом, де вирішується задача оптимального, з точки зору максимізації сумарного обсягу економії ПЕР, розподілу інвестицій між обласними підсистемами ЖКГ. На рівні нижче – вирішується відповідна задача оптимального розподілу інвестицій між підгалуззями (ЖГ, КТЕ, ВКГ, МЕТ, ІНШ) обласних підсистем ЖКГ. На наступному рівні – задача оптимального розподілу інвестицій між групами енергозберігаючих проектів (короткострокові, довгострокові, на основі нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії, нових прогресивних технологій тощо).

Зважаючи на високу актуальність, багатогранність і складність оптимального розподілу інвестиційних ресурсів в енергозберігаючі проекти такої енергетично насиченої галузі, як ЖКГ, цій тематиці приділяється достатньо багато уваги в наукових і прикладних дослідженнях.

Зокрема, в роботах [1–6] проведений аналітичний огляд методів системного аналізу і математичного моделювання енергетичних систем, розглянуто методи регулювання, критерії і способи оцінки їх ефективності. Проаналізований клас моделей виробничих систем у формі виробничих функцій, запропоновано економіко-математичні моделі, які характеризують залежності показників ефективності енергозберігаючих технологій від їх технічних параметрів і умов використання, обґрунтовано напрями та методичні підходи до вибору кращих варіантів економії енергоресурсів для конкретних умов виробництва. В цих роботах широко використовуються такі методи дослідження, як імітаційне моделювання, апарат кривих байдужості і численні експерименти на базі сценарного підходу, теорія нечітких множин.

Не зважаючи на різноманіття перерахованих підходів, залишається актуальною задача побудови універсальних алгоритмів багатокритеріальної оптимізації обсягів використання енергоефективних технологій в ЖКГ України в умовах обмежених інвестиційних ресурсів. Математична постановка означеної задачі, сформульована в термінах теорії поточного виробничого планування [6], виглядає наступним чином.

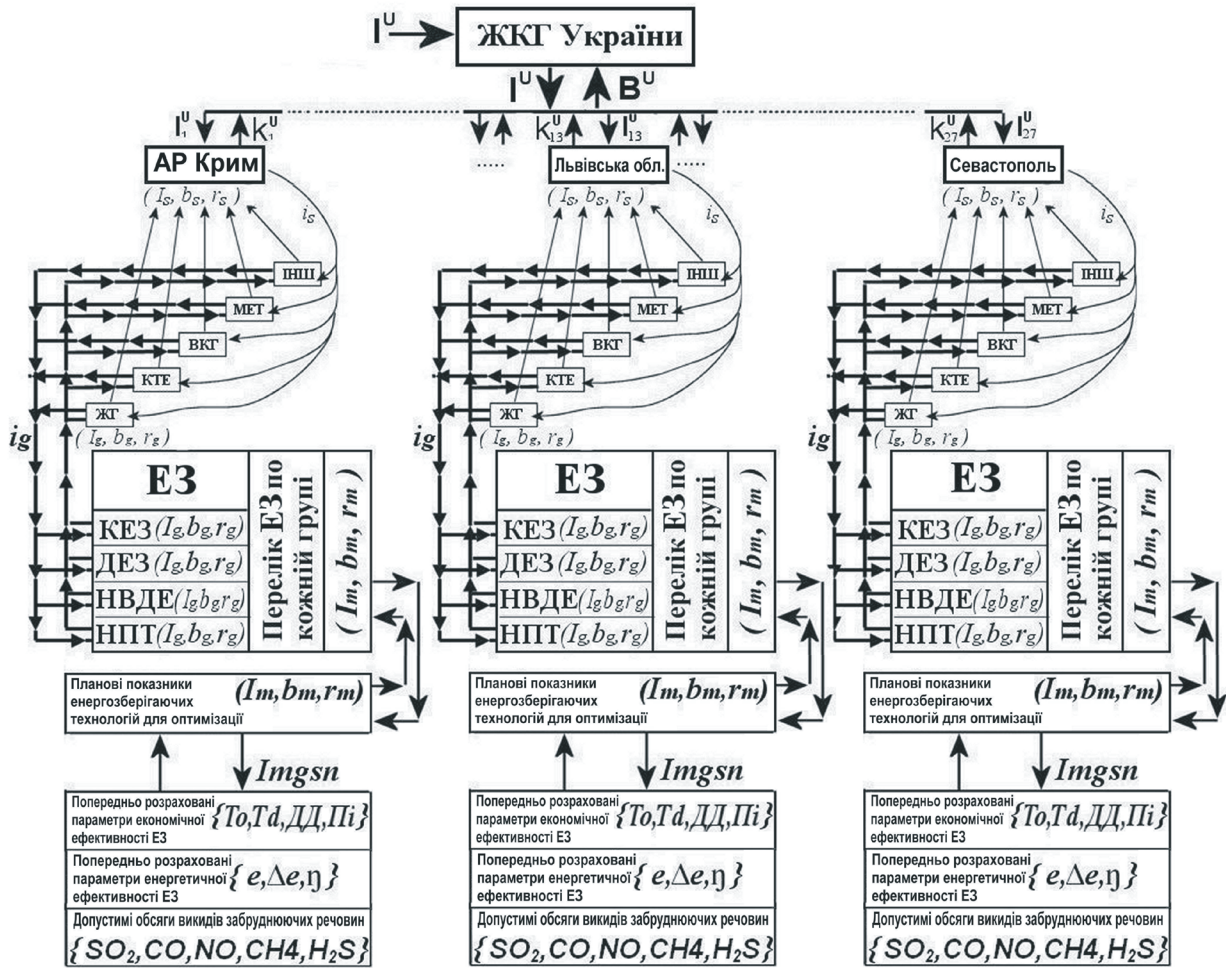


Рис.1. Блок-схема економіко-енергетичної моделі ЖКГ

ЕЗ – енергозберігаючі заходи; КЕЗ – короткострокові ЕЗ; ДЕЗ – довгострокові ЕЗ; НВДЕ – нетрадиційні і відновлювані джерела енергії; НПТ – нові прогресивні технології; I_{mgsn} – плановий обсяг фінансування m -го ЕЗ заходу g -ї групи s -ї підгалузі для n -ї області; i_{mgsn} – обсяг фінансування m -го ЕЗ заходу g -ї групи s -ї підгалузі для n -ї області; ПЕР – паливно-енергетичні ресурси; b_{mgsn} – обсяг економії ПЕР за рахунок впровадження m -го ЕЗ заходу g -ї групи s -ї підгалузі для n -ї області при плановому обсязі фінансування I_{mgsn} ; r_{mgsn} – мінімально необхідний обсяг фінансування m -го ЕЗ заходу g -ї групи s -ї підгалузі для n -ї області; $k_{mgsn} = b_{mgsn}/I_{mgsn}$ – коефіцієнт ефективності фінансування m -го ЕЗ заходу g -ї групи s -ї підгалузі для n -ї області; I^u – сумарний обсяг фінансування ЕЗ заходів; V^u – сумарний обсяг економії ПЕР; To , Td – простий та дисконтований терміни окупності; $ДД$, Π – чистий дисконтований дохід та індекс прибутковості; e , Δe , η – повна енергоемність, зміна енергоемності за період, що аналізується, та коефіцієнт корисної дії; SO_2 , CO , NO , CH_4 , H_2S – допустимі обсяги викидів забруднюючих речовин

Нехай галузь ЖКГ виробляє l видів житлово-комунальних (ЖК) послуг в заданих обсягах Y_h . Ця галузь має в своєму розпорядженні $L-l$ видів виробничих чинників (виробничі потужності, сировина, фінансові ресурси тощо), обсяги яких дорівнюють відповідно c_{l+1} , c_{l+2} , ..., c_L та M придатних ЕЗ заходів. Кожен з цих ЕЗ заходів визначається вектором

$$a^m = (a_1^m, \dots, a_l^m, a_{l+1}^m, \dots, a_L^m), \quad (m = 1, 2, \dots, M),$$

перші l компонент якого характеризують обсяги вироблення ЖК послуг, а останні $L-l$ – обсяги витрат. В свою чергу, ці останні $L-l$ ком-

понент розподіляються на три групи параметрів:

- економічні $\{To_m, Td_m, ДД_m, \Pi_i_m\}$,
- енергетичні $\{e_m, \Delta e_m, \eta_m\}$,
- екологічні $\{SO_{2m}, CO_m, NO, CH_{4m}, H_2S_m\}$.

Вказавши вектор $\pi = (x_1, \dots, x_M)$ з ненегативними компонентами, що визначають інтенсивність застосування кожного з придатних ЕЗ заходів, забезпечимо вироблення h -го виду ЖК послуг в кількості

$$y_h^\pi = \sum_{m=1}^M a_h^m x_m, \quad h=1, 2, \dots, l.$$

Серед усіх компонент, що характеризують обсяги витрат ресурсів, виберемо певний набір, назвемо його цільовим вектором, введемо для цього вектора міру μ^* і будемо використовувати цю міру як базу для формування цільової функції μ . Шукатимемо такий вектор $\pi = (x_1, \dots, x_M)$, який, задовольняючи всім обмеженням, максимізує (мінімізує) цільову функцію. Задачу оптимізації сформулюємо в наступному вигляді. Знайти вектор $\pi = (x_1, \dots, x_M)$ за умов:

– інтенсивності вживаних технологій невід’ємні:

$$x_m \geq 0, m = 1, 2, \dots, M, \quad (1)$$

– обсяги послуг, що виробляються, забезпечені:

$$y_h^\pi = \sum_{m=1}^M a_h^m x_m \geq Y_h, h = 1, 2, \dots, l, \quad (2)$$

– ресурси не перевитрачені:

$$\sum_{m=1}^M a_\pi^m x_m \leq c_q, q = l+1, \dots, L, \quad (3)$$

– цільова функція – максимізована:

$$\mu(\pi) = \max. \quad (4)$$

Вектор $\pi = (x_1, \dots, x_M)$, що задовольне першим трьома умовам є допустимим, а який задовольняє всім чотирма умовам – оптимальним.

Приведена загальна постановка задачі потребує деталізації кожного рівня ієрархії підгалузей ЖКГ та системоутворюючого ланцюжка ЕЗ заходів. Запропоновано наступну послідовність уточнення початкових даних для умов (1) – (4):

1. Визначити перелік модельних ЖК послуг і задати обсяги їх споживання, тобто визначити вихідну інформацію

$$c_{l+1}, c_{l+2}, \dots, c_L \text{ для вектора } \pi = (x_1, \dots, x_M).$$

2. Задати перелік обмежень в межах груп економічних, енергетичних, екологічних параметрів – таким чином визначивши частину обмежень (2), (3).

3. Сформулювати перелік M використовуваних ЕЗ заходів, кожний з яких визначається вектором

$$a^m = (a_1^m, \dots, a_l^m, a_{l+1}^m, \dots, a_L^m), (m = 1, 2, \dots, M).$$

4. Для кожного з M використовуваних ЕЗ заходів вказати останні $L - l$ компонент, котрі визначають розміри витрат, відповідні даному ЕЗ заходу при його одиничній інтенсивності.

Вирішення сформульованих вище оптимізаційних задач отримано в класі задач лінійного програмування.

Задача 1. На основі територіально-підгалузево-технологічного розподілення задачі максимізації сумарного обсягу економії ПЕР – B^u при заданому обсязі фінансування I^u ЕЗ заходів в ЖКГ України виглядає наступним чином:

$$\begin{aligned} & \sum_n \sum_s \sum_g \sum_m k_{mgsn} i_{mgsn} = \\ & = \sum_n \sum_s \sum_g \sum_m (b_{mgsn} / I_{mgsn}) \cdot i_{mgsn} = \\ & = B^u \rightarrow \max \end{aligned} \quad (5)$$

за умов дії обмежень:

$$\begin{aligned} I^u &= \sum_n i_n = \sum_n \sum_s i_{sn} = \sum_n \sum_s \sum_g i_{gsn} = \\ &= \sum_n \sum_s \sum_g \sum_m i_{mgsn}, \end{aligned}$$

$$i_{mgsn} \leq I_{mgsn}; i_{mgsn} \geq r_{mgsn}; i_{mgsn} \geq 0.$$

Позначення у вищевказаних виразах співпадають з позначеннями до рис. 1. В процесі вирішення задачі 1 розраховуються також:

- повний обсяг фінансування,
- результуюча економія ПЕР,
- мінімально-необхідний обсяг фінансування для виконання ремонтних робіт і підтримки працездатності об’єктів,
- коефіцієнти ефективності фінансування для об’єктів, підгалузей, областей.

Задача 2. Для окремого системоутворюючого ланцюжка ЕЗ заходів заданої підгалузі сформульовано задачу мінімізації сумарних обсягів викидів забруднюючих речовин $\{SO_{2mg}, CO_{mg}, NO_{mg}, CH_{4mg}, H_2S_{mg}\}$ при заданих обсягах фінансування ланцюжка ЕЗ заходів I^g і для заданого набору послуг, що виробляються. Для цього на множині компонент, які характеризують обсяги викидів забруднюючих речовин, задаємо міру μ^* , яку будемо використовувати як базу для формування цільової функції.

Задача 3. Розгляд поведінки моделі (5) на множині дискретних моментів часу $t, t=0, 1, 2, \dots, T$, які відповідають рокам, п’ятирічкам і т.п. з інвестиціями I_t^u , що дозволяє надати цій моделі властивостей прогнозної.

Щоб уникнути багатьох вкладених сум, індексацію $\{n\}, \{s\}, \{g\}, \{m\}$, яка раніше використовувалася, замінимо на наскрізну $\{j\} = \Omega(\{n\}, \{s\}, \{g\}, \{m\})$. При цьому слід

пам'ятати, що наскрізна індексація має розмірність добутку всіх вкладених в неї індексів і не містить наочної інформації про рівень ієрархії об'єкта в явному вигляді.

Стан об'єкта j в кожен дискретний момент часу визначено наступними параметрами:

- енергетичної $\{e_{jt}, \Delta e_{jt}, \eta_{jt}\}$,
- економічної $\{To_{jt}, Td_{jt}, DD_{jt}, \Pi_{jt}\}$ та
- екологічної $\{SO_{2jt}, CO_{jt}, NO_{jt}, CH_{4jt}, H_2S_{jt}\}$, ефективності, які в даній моделі є залежними від t .

Алгоритм вирішення задачі наступний. На множині (підмножині) параметрів задається цільова функція:

$$\mu = F(\{e_{jt}, \Delta e_{jt}, \eta_{jt}, To_{jt}, Td_{jt}, DD_{jt}, \Pi_{jt}, SO_{2jt}, CO_{jt}, NO_{jt}, CH_{4jt}, H_2S_{jt}\}),$$

де $t=0,1,2,\dots,T$.

При цьому задача максимізації μ при заданій послідовності обсягів фінансування I_t^u , при виборі у якості критерію оптимізації обсягу економії паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) B^u , записується наступним чином:

$$\sum_t \sum_j k_{jt} i_{jt} = \sum_t \sum_j (b_{jt} / I_{jt}) \cdot i_{jt} = B^u \rightarrow \max \quad (6)$$

де b_{jt} – плановий обсяг економії ПЕР для j -го об'єкта на момент t ,

I_{jt} – плановий обсяг фінансування для j -го об'єкта на момент t ,

i_{jt} – обсяг фінансування, що оптимізується для j -го об'єкта на момент t , при обмеженнях:

$$I^u = \sum_t \sum_j i_{jt}; \quad i_{jt} \leq I_{jt}; \quad i_{jt} \geq r_{jt}; \quad i_{jt} \geq 0.$$

Перелічені обмеження можуть бути легко доповнені обмеженнями на параметри енергетичної, економічної та екологічної ефективності окремих ЕЗ заходів. В процесі вирішення задачі 3 розраховуються повний обсяг фінансування, результуюча економія ПЕР, мінімально-необхідний обсяг фінансування, для виконання ремонтних робіт і підтримки працездатності об'єктів, коефіцієнти ефективності фінансування для об'єктів, підгалузей, областей у момент часу t .

Розрахунки оптимального розподілення запланованих обсягів фінансування ЕЗ заходів в ЖКГ України

Дані по планових обсягах фінансування першочергових ЕЗ заходів в ЖКГ України

протягом 2008–2010 років та планових обсягах економії ПЕР, які можуть бути одержані за рахунок реалізації цих заходів для задачі (6), одержані від робочих груп виконавчих органів з областей та міст Києва і Севастополя [7].

Виконано серію розрахунків оптимального розподілення запланованих обсягів фінансування ЕЗ заходів в ЖКГ України при різних значеннях цих обсягів. В процесі виконання розраховані також коефіцієнти ефективності фінансування ЕЗ заходів, повний оптимальний обсяг фінансування, результуюча економія ПЕР для кожної з областей та міст Києва і Севастополя на 2008, 2009 та 2010 рр.

Деякі з отриманих порівнювальних значень запланованих b_n та оптимальних B^u обсягів сумарної економії ПЕР, що залежать від обсягів фінансування при плановому і оптимальному фінансуванні ЕЗ заходів, представлено в таблиці. Залежність економії ПЕР ΔB від обсягів фінансування при плановому і оптимальному фінансуванні наведено на рис. 2.

Таблиця. Економія ПЕР при плановому і оптимальному фінансуванні ЖКГ України протягом 2008–2010 років

I_n , млн.грн.	b_n , тис.т.у.п.	B^u , тис.т.у.п.	ΔB , тис.т.у.п.
419,64	404,23	821,94	417,71
839,28	808,47	1 517,01	708,55
1 258,92	1 212,70	2 124,89	912,19
1 678,57	1 616,93	2 624,36	1 007,43
2 098,21	2 021,16	2 998,19	977,03
2 517,85	2 425,40	3 333,94	908,55
2 937,49	2 829,63	3 624,01	794,38
3 357,13	3 233,86	3 836,59	602,73
3 776,77	3 638,09	3 973,19	335,10
4 196,41	4 042,33	4 042,33	0,00

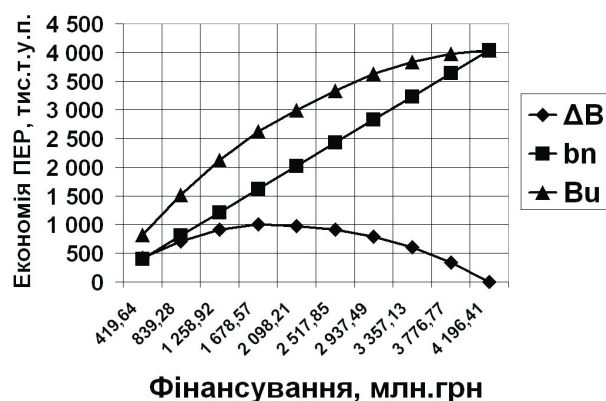


Рис.2. Економія ПЕР при плановому і оптимальному фінансуванні ЖКГ України протягом 2008–2010 років

При оптимальному розподіленні запланованих, наприклад, 1678.57 млн. грн, фінансування ЕЗ заходів в ЖКГ України протягом 2008–2010 років, плановий об-

сяг економії ПЕР 1616,93 тис. т у.п. може бути перевищений на 1007,43 тис.т у.п. При цьому сумарний обсяг економії ПЕР складе 2624,36 тис.т у.п.

ВИСНОВКИ

1. Запропоновано економіко-енергетичну модель житлово-комунального господарства України, як складної галузі, що має ієрархічну структуру та виробляє широкий набір житлово-комунальних послуг. Визначено оригінальний алгоритм оптимального розподілу обмежених фінансових ресурсів, призначених для інвестування в енергозберігаючі проекти в підгалузях ЖКГ, які мають адміністративно-територіальне розподілення зі своєю ієрархією, на кожному рівні якої існує специфічна інфраструктура їх технологічного наповнення. У цілому це надає моделі нові властивості та дозволяє виявляти нові резерви підвищення ефективності використання інвестиційних ресурсів в ЖКГ.
2. На множині різнорідних компонент, які ха-

рактеризують об'єкти ЖКГ, формалізовано оригінальну процедуру визначення міри оптимальності, на базі якої вирішено задачу багатокритеріальної оптимізації розподілу обмежених фінансових ресурсів в підгалузях ЖКГ за умов мінімізації обсягів споживання паливно-енергетичних ресурсів.

3. Виконано серію розрахунків на реальних даних, які підтвердили ефективність запропонованої моделі та дозволили визначити, що потенціальний обсяг економії паливно-енергетичних ресурсів за рахунок оптимального перерозподілу планованих обсягів фінансування ЕЗ заходів в ЖКГ України за 2008–2010рр., може бути збільшений на 37% відсотків.

1. *Кравцова Л.В.* Економічний механізм мотивації впровадження енергозберігаючих технологій у житлово-комунальне господарство, Автореф. дис. ... канд. екон. наук: 08.10.01, Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. — Х., 2006. — 20 с.
2. *Козоріз Г.Г.* Ефективність енергозберігаючих технологій. — Львів, 1998. — 136с. — Бібліогр.: с. 129–136. — ISBN 966-02-0847-2.
3. *Сердюк Т.В.* Організаційно-економічний механізм енергозберігаючої діяльності в промисловості (на прикладі галузі будівельних матеріалів) 2001 року, Автореф. дис. ... канд. екон. наук: 08.07.01 / Наук.-дослід. екон. ін-т М-ва економіки України. — К., 2001. — 19 с.
4. *Хафизов Р.Н.* Системный анализ, моделирование и оптимизация функционирования систем централизованного теплоснабжения в районах крайнего севера, Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук, Самара – 2007.
5. *Шейн А.М.* Имитационное моделирование деятельности предприятий ЖКХ в условиях тарифной реформы, Автореферат дисс. ... кандидата экономических наук, Москва – 2006.
6. *Канторович Л.В., Горстко А.Б.* Оптимальные решения в экономике. М. НАУКА, 1972. — 232с.
7. Галузева програма енергоефективності та енергозбереження у житлово-комунальному господарстві на 2008–2013 р. та на перспективу, проект. –К.: Міністерство з питань житлово-комунального господарства України, Київ 2008. — 27 с.