

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ І СИСТЕМ

УДК 332.873: 658.18

В.А. ДЕНИСОВ

Інститут загальної енергетики НАН України, м. Київ

ВИЗНАЧЕННЯ ДОЦІЛЬНИХ ОБСЯГІВ ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ЖИТЛОВО-КОМУНАЛЬНОМУ ГОСПОДАРСТВІ

Запропоновано математичну модель та програмно-інформаційні засоби для визначення доцільних обсягів використання енергозберігаючих технологій в житлово-комунальному господарстві. Житлово-комунальне господарство розглядається як складна динамічна керована система із заздалегідь заданою ієрархічною структурою. Сформульовано задачу ієрархічного управління такою системою. Розглянуто формування оптимальної сукупності напрямів та обсягів інвестування енергозберігаючих заходів житлово-комунального господарства.

К л ю ч о в і с л о в а: модель, ієрархічна структура, визначення доцільних обсягів, енергоефективність, рівновага, інвестиції, ЖКГ, сценарій розвитку.

Будь-яка достатньо складна система, будь то природна або штучна, характеризується ієрархічною структурою. Тому ієрархії є предметом досліджень в різних галузях науки, зокрема економіці, техніці, управлінні та інше [1].

Під час розгляду багаторівневих систем часто доводиться відмовлятися від вимоги строгої глобальної оптимальності дій, що управляють, і локальних рішень [2], оскільки на практиці строгий оптимум може бути таким, що не реалізовується з однієї з багатьох, наприклад, таких причин:

- недостатність інформації про чинники, що впливають на результати ухвалених рішень або дій, що управляють;

- обмеження в часі або обмеження можливостей локальних блоків, що приймають рішення і тому подібне.

У той самий час, завдання може бути сформульовано у вигляді вимоги отримати поліпшені характеристики замість оптимальних.

Більшість робіт з проблем математичного моделювання ієрархічних систем присвячено організаційним системам [2–6]. У багатьох роботах та оглядах [7] запропоновано різні класифікації ієрархічних систем.

Надалі розглядається модель ієрархічної системи, яка у термінах системного підходу описується поняттям складної динамічної керованої системи із заздалегідь заданою ієрар-

хічною структурою, та алгоритми покрокового поліпшення параметрів моделі цієї системи.

Як відомо, ієрархічною структурою називається структура складної системи, в якій існує розподілення множини складаючих її елементів на підмножини і елементи різних рівнів, що володіють певним ступенем саморегулювання та пов'язані багатоступінчатими відносинами підпорядкування підсистем одних («нижчих») рівнів іншим («вищим»).

При моделюванні та оптимізації моделі системи, що розглядається, та враховуючи її структуру та властивості використовуються:

- ієрархія відображень множин параметрів, тобто об'єкти та процеси кожного рівня r характеризуються своєю множиною параметрів, на основі яких розраховуються параметри для наступних або попередніх рівней ієрархії;

- для кожного об'єкта k , кожного рівня ієрархії r та кожного відліку часу τ розраховуються поліпшені параметри стану системи, з урахуванням часових та ієрархічних взаємозв'язків.

Розрахунок поліпшених параметрів стану системи [8] $\Omega_{(\tau+1)rk}$ для наступного періоду часу $\tau+1$ виконується як оптимальний перехід із стану $\Omega_{\tau rk}$ під дією фінансових надходжень $I_{\tau rk}$ надходжень як управління:

$$\Omega_{\tau rk} | I_{\tau rk} \text{ надходжень} \Rightarrow \Omega_{(\tau+1)rk}.$$

© В.А. ДЕНИСОВ, 2012

ISSN 1562-8965. Проблеми загальної енергетики, 2012, вип. 2 (29)

Вимоги на обсяги фінансових надходжень $I_{\tau k}^{\text{надходжень}}$ формулюються з урахуванням таких міркувань. Для забезпечення функціонування кожного об'єкта k , кожного рівня ієрархії r для кожного відліку часу τ необхідно мати фінансові ресурси $I_{\tau k}^{\text{платежів}}$ для покриття:

- вартості експлуатації $I_{\tau k}^{\text{експлуатації}}$;
- платежів за екологічне навантаження навколишнього середовища $I_{\tau k}^{\text{екології}}$;
- платежів за модернізацію (вивід з експлуатації застарілого і установку нового) обладнання $I_{\tau k}^{\text{модернізації}}$.

Отже маємо

$$I_{\tau k}^{\text{платежів}} = I_{\tau k}^{\text{експлуатації}} + I_{\tau k}^{\text{екології}} + I_{\tau k}^{\text{модернізації}}.$$

Джерелом покриття згаданих вище платежів є $I_{\tau k}^{\text{надходжень}}$, яке включає бюджетне $I_{\tau k}^{\text{бюджетне}}$ та інвестиційне $I_{\tau k}^{\text{інвест}}$ фінансування, а також отриману виручку $I_{\tau k}^{\text{виручка}}$ від реалізації послуг:

$$I_{\tau k}^{\text{надходжень}} = I_{\tau k}^{\text{бюджетне}} + I_{\tau k}^{\text{інвест}} + I_{\tau k}^{\text{виручка}}.$$

Оптимізація здійснюється за таких обмежень на співвідношення фінансових надходжень $I_{\tau k}^{\text{надходжень}}$ та обов'язкових платежів $I_{\tau k}^{\text{платежів}}$:

$$I_{\tau k}^{\text{надходжень}} \geq I_{\tau k}^{\text{платежів}}.$$

Під час аналізу процесів різних рівнів ієрархії використано принципи системного підходу [9]. Для фіксованого рівня r ієрархії процеси, що здійснюються на цьому рівні, розглядаються як єдине ціле, як система процесів. Принциповим при цьому є врахування таких положень:

- процес в цілому і його окремі етапи є формою зміни системи у просторі та часі;
- процес організовується для досягнення певного результату;
- на кожному рівні ієрархії виділено основні процеси, які забезпечують кінцевий результат рівня, і процеси, які забезпечують і обслуговують основні процеси;
- природним або штучним чином (при моделюванні) процес розділено на окремі етапи, а етапи, в свою чергу – на операції;
- етапи (операції) кожного процесу знаходяться в своєму ієрархічному підпорядкуванні;
- для процесу в цілому і його окремих етапів встановлено однаковий за формою показник, що характеризує процес в цілому або його

окремий етап з погляду досягнення певного кінцевого результату (ефективності процесу).

При моделюванні кожний елемент системи розглядається як складна система, з урахуванням його специфіки. Система складається з множини елементів, які утворюють її структуру та формують поведінку за певних умов. Елемент – це така складова системи, яка є неподільною з огляду на виконання конкретної функції. Кожна система є елементом системи вищого порядку, а будь-який елемент може розглядатися як відносно самостійна система, що складається з елементів нижчого порядку. Отже, у системі елемент є мінімальною одиницею, здатною до відносно самостійного виконання певної функції.

Система характеризується низкою таких властивостей:

- цільова спрямованість;
- наявність чітко визначених меж;
- ієрархічність;
- інтегративність;
- комунікативність;
- структурованість;
- адаптивність;
- здатність до розвитку.

Ознака цільової спрямованості системи означає наявність певної мети або набору цілей. Мета формулюється як досягнення встановленого рівня показників діяльності або оптимізація критеріальної функції за наявності певних обмежень, зокрема часового інтервалу, та формалізується через критеріальну функцію.

Більшість задач системного аналізу полягає в пошуку оптимального значення критеріальної функції за наявності певних обмежень. На практиці часто формулюють не одну, а множину цілей, для яких передбачається встановлення ієрархії, формалізованої через побудову багатокритеріальних моделей.

З огляду на ознаку ієрархічності кожна система або підсистема має перебувати на певному рівні ієрархії, тобто бути елементом системи вищого порядку (поширення ієрархії вгору) і водночас складатися з підпорядкованих систем (поширення ієрархії донизу). При об'єднанні в систему кожна ланка ієрархії набуває якісно нових властивостей, яких бракує в ізольованому стані, і водночас втрачає певні характеристики. Отже, на кожному рівні ієрархії відбуваються складні зміни якісного характеру.

Система повинна мати чітко окреслені межі, які дають можливість відрізнити елементи, що входять до її складу, від навколишнього середовища, тобто всього того, що не входить до системи. Точне окреслення меж системи, крім того, уможливує дослідження форми її взаємодії з довкіллям, зокрема, порядок обміну інформацією, технологіями, ресурсами, вплив системи на середовище та середовища на внутрішню структуру системи.

Здатність системи до розвитку є необхідною умовою її життєздатності, що забезпечується через самовдосконалення та самозбереження. Розвиток системи – це перехід з одного стану в інший зі збереженням основних системних ознак. Стан системи описується набором параметрів, які найповніше характеризують її в кожний момент часу.

Сам процес розвитку системи передбачає дотримання динамічної рівноваги. З одного боку, динамічність означає постійний розвиток, пристосування до змін навколишнього середовища, удосконалення, перехід на вищі рівні ієрархії. З іншого боку – в процесі динамічного розвитку система має підтримувати рівновагу як здатність до збереження основних системних ознак за відсутності зовнішніх збурюючих дій або за постійних таких дій.

Нормальне функціонування системи потребує належного ресурсного забезпечення. Важливу роль відіграє чітке визначення середовища, до якого належать сукупність процесів, явищ, параметрів, що впливають на систему, але не підконтрольні їй. Взаємодія системи із середовищем описується поняттями входу та виходу. Вхід – це сукупність інформаційних, фінансових, матеріальних, енергетичних, речових компонентів, що надходять у систему із середовища і призначені для перетворення в ній. Під виходом системи розуміють сукупність компонентів, які є результатом трансформації вхідних потоків і надходять із системи в середовище.

Класична постановка задачі управління динамічною системою (УДС) [10] припускає, що управління ухвалюються єдиним органом на основі одного критерію оптимальності. Критерій оптимальності може бути записаний у вигляді:

$$\mu = \sum_{\tau=1}^T g(\Omega(\tau), u(\tau), \xi(\tau)) \rightarrow \max ,$$

де g – значення критерію оптимальності у момент часу τ ; Ω – вектор стану УДС у момент часу τ ; u – вектор управляючих дій у момент часу τ ; ξ – вектор випадкових зовнішніх дій у момент часу τ .

Вирішенню цієї задачі в різних варіантах присвячено роботи по теорії оптимального управління (Беллман, 1960 р.; Понтрягін та інші, 1961 р.).

Разом з тим у випадку моделювання такої складної системи як ЖКГ або його підгалузі модель УДС виявляється недостатньою. В нашому випадку класична модель УДС узагальнюється у вигляді моделі ієрархічно керованої динамічної системи (ІКДС) з $r \in R$ рівнями адміністративно-територіальної ієрархії та галузевою (підгалузевою) інфраструктурою, що деталізована за структурою свого технологічного $k \in K$ наповнення.

Задача ієрархічного управління такою динамічною системою формулюється так:

$$\Omega_{\sigma k} \in \Phi_{\sigma k} | \tau = 1, 2, \dots, T;$$

$$\Omega_{\sigma k} | u(\tau, r, k), \xi(\tau, r, k) \Rightarrow \Omega_{(\tau+1)rk} | \tau = 1, 2, \dots, T;$$

$$\mu_{\sigma k} = \sum_{r=1}^R \sum_{k=1}^K g(\Omega(\tau, r, k), u(\tau, r, k), \xi(\tau, r, k)) \rightarrow \max;$$

$$u(\tau, r, k) \in U(\tau, r, k) | \tau = 1, 2, \dots, T;$$

$$\xi(\tau, r, k) \in \Xi(\tau, r, k) | \tau = 1, 2, \dots, T;$$

$$\Omega_{0rk} \in \Omega_0 | \tau = 1, 2, \dots, T;$$

де $\Omega_{\sigma k}$ – вектор стану структури технологічного наповнення k рівня r ІКДС у момент часу τ ; $\Phi_{\sigma k}$ – множина допустимих станів структури технологічного наповнення k рівня r ІКДС у момент часу τ ; $u(\tau, r, k)$ – вектор управляючих дій для структури технологічного наповнення k рівня r ІКДС у момент часу τ ; $\xi(\tau, r, k)$ – вектор випадкових зовнішніх дій для структури технологічного наповнення k рівня r ІКДС у момент часу τ ; $\mu_{\sigma k}$ – критерій оптимальності для структури технологічного наповнення k рівня r ІКДС у момент часу τ ; $U(\tau, r, k), \Xi(\tau, r, k)$ – множини можливих значень управляючих та випадкових зовнішніх дій для структури технологічного наповнення k рівня r ІКДС у момент часу τ ; Ω_0 – відомий початковий стан ІКДС; T – період моделювання ІКДС.

Ефективний розподіл фінансових та інвестиційних ресурсів є особливо значущим для такої великої галузі народного господарства, як житлово-комунальне господарство, для якого характерні різноманітність сфер діяльності, велика інерційність реагування на ухвалювані організаційні і управлінські рішення, висока інтенсивність фінансових і інформаційних потоків та залежність від зовнішніх джерел фінансування. Житлово-комунальне господарство України забезпечує першочергові потреби населення. Проте на даний час у своїй більшості підприємства галузі працюють фактично за рахунок тих виробничих потужностей, що були накопичені до початку 90-х років ХХ ст. Відсутність інвестицій в галузь та обігових коштів підприємств призвели до значного погіршення технічного стану основних фондів, підвищення аварійності об'єктів житлово-комунального господарства, забруднення довкілля промисловими викидами і відходами, в тому числі й побутовими, збільшення питомих витрат та непродуктивних витрат матеріальних та енергетичних ресурсів, що негативно впливає на рівень та якість комунальних послуг та негативно впливає на оточуюче природне середовище.

Витрати на реалізацію енергоефективних і природоохоронних програм і заходів потребують значних коштів. Однак протягом найближчих 5–10 років країна буде обмежена у фінансових ресурсах, необхідних для поліпшення стану навколишнього природного середовища та забезпечення раціонального використання природних ресурсів. Тому першорядне значення має визначення оптимального складу фінансових активів, обсягів інвестицій, оптимальне управління фінансовими потоками для забезпечення платоспроможності і фінансової стійкості галузі, оскільки це рішення визначає обсяги реконструкції і впровадження прогресивних енергозберігаючих технологій.

Це приводить до необхідності вирішення завдання оптимізації з урахуванням відразу декількох критеріїв, таких як максимізація прибутку, мінімізація ризиків тощо.

Звичайно, моделювання таких процесів ґрунтується на використанні алгоритмів розподілу ресурсів. Прийнято вважати, що метою порівняльного аналізу варіантів розподілу ресурсів є виявлення єдиного, най-

кращого по низці характеристик, рішення. Але такий підхід є спрощенням завдання. Методи аналізу, які при цьому використовуються, не можуть бути узагальнені на випадок вибору множини рішень. Часто кінцеве рішення залежить від суб'єктивних поглядів експертів, які визначають відносну важливість критеріїв, а методи повного перебору при вирішенні задач багатокритеріальної оптимізації можуть бути застосовані тільки для задач малих розмірностей. До того ж, застосовність методів багатокритеріальної оптимізації, в більшості випадків, обмежена вимогами лінійності, нерозривності, унімодалності (і так далі) функцій, що оптимізуються.

Найбільш відповідним по суті і адекватним по складності математичним апаратом для аналізу інвестиційних і фінансових рішень можуть служити методи еволюційних обчислень [10].

У нашому випадку завдання розподілу фінансових і інвестиційних ресурсів полягає у формуванні оптимальної сукупності напрямів інвестування і визначенні розміру інвестування на кожне з вибраних напрямів.

Застосування цього підходу до розглянутої вище моделі ієрархічно керованої динамічної системи (КДС) з $r \in R$ рівнями адміністративно-територіальної ієрархії та галузевою (підгалузевою) інфраструктурою, що деталізована за структурою свого технологічного $k \in K$ наповнення, приводить до формулювання завдання в такому вигляді.

Розглядається $R \times K$ множина n можливих напрямів інвестування, кожне з яких характеризується своїм набором параметрів. Також є множина з m показників (наприклад, рентабельність, ризик тощо), за допомогою яких відбувається оцінка ефективності кожної сфери, яка інвестується. Для оцінки оптимальності розподілу фінансових потоків між напрямками визначається множина компонент вектора μ_{trk} . Кожна компонента цього вектора є оцінкою ефективності функціонування даного напрямку. Тоді завдання оптимального розподілу фінансування обсягом I полягає в знаходженні такого розподілу інвестицій, який максимізує (мінімізує) значення критеріїв – компонент вектора μ_{trk} .

Рішення – вектор μ_{trk}^* є вектором всіх екстремальних допустимих значень, які дося-

Таблиця 1 – Прогнозний розрахунок площі будівель млн м², обладнаних централізованим опаленням на 2008–2025 рр.

Регіон	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
АР Крим	27,21	27,19	27,68	28,17	28,67	29,17	29,68	30,19	30,70	31,22	31,73	32,26	32,79	33,32	33,85	34,39	34,93	35,48
Вінницька	13,29	13,28	13,52	13,76	14,01	14,25	14,50	14,75	15,00	15,25	15,50	15,76	16,02	16,28	16,54	16,80	17,06	17,33
Волинська	10,04	10,03	10,21	10,40	10,58	10,76	10,95	11,14	11,33	11,52	11,71	11,90	12,10	12,29	12,49	12,69	12,89	13,09
Дніпропетровська	59,00	58,95	60,01	61,08	62,16	63,25	64,35	65,45	66,56	67,68	68,81	69,94	71,08	72,23	73,39	74,56	75,73	76,91
Донецька	67,12	67,06	68,27	69,49	70,71	71,95	73,20	74,45	75,72	76,99	78,27	79,56	80,86	82,17	83,49	84,82	86,15	87,50
Житомирська	13,19	13,18	13,42	13,66	13,90	14,14	14,39	14,63	14,88	15,13	15,39	15,64	15,89	16,15	16,41	16,67	16,93	17,20
Закарпатська	12,50	12,49	12,71	12,94	13,17	13,40	13,63	13,86	14,10	14,34	14,57	14,81	15,06	15,30	15,55	15,79	16,04	16,29
Запорізька	27,77	27,74	28,25	28,75	29,26	29,77	30,29	30,80	31,33	31,85	32,38	32,92	33,46	34,00	34,54	35,09	35,65	36,20
Івано-Франківська	11,09	11,08	11,28	11,48	11,68	11,89	12,09	12,30	12,51	12,72	12,93	13,14	13,36	13,57	13,79	14,01	14,23	14,45
Київська	38,34	38,30	38,99	39,69	40,39	41,10	41,81	42,52	43,25	43,97	44,71	45,44	46,18	46,93	47,69	48,44	49,21	49,97
Кіровоградська	13,24	13,22	13,46	13,70	13,94	14,19	14,43	14,68	14,93	15,18	15,43	15,69	15,95	16,20	16,46	16,73	16,99	17,25
Луганська	34,53	34,50	35,12	35,75	36,38	37,02	37,66	38,30	38,95	39,61	40,27	40,93	41,60	42,27	42,95	43,63	44,32	45,01
Львівська	23,46	23,44	23,86	24,29	24,71	25,15	25,58	26,02	26,46	26,91	27,36	27,81	28,26	28,72	29,18	29,64	30,11	30,58
Миколаївська	14,89	14,87	15,14	15,41	15,68	15,96	16,23	16,51	16,79	17,08	17,36	17,65	17,93	18,22	18,52	18,81	19,11	19,41
Одеська	24,56	24,54	24,98	25,42	25,87	26,33	26,78	27,24	27,70	28,17	28,64	29,11	29,59	30,07	30,55	31,03	31,52	32,01
Полтавська	22,36	22,34	22,75	23,15	23,56	23,97	24,39	24,81	25,23	25,65	26,08	26,51	26,94	27,38	27,82	28,26	28,70	29,15
Рівненська	11,26	11,25	11,45	11,65	11,86	12,07	12,28	12,49	12,70	12,91	13,13	13,34	13,56	13,78	14,00	14,23	14,45	14,67
Сумська	18,12	18,11	18,43	18,76	19,09	19,43	19,76	20,10	20,44	20,79	21,13	21,48	21,83	22,19	22,54	22,90	23,26	23,62
Тернопільська	9,87	9,86	10,04	10,21	10,40	10,58	10,76	10,94	11,13	11,32	11,51	11,70	11,89	12,08	12,27	12,47	12,66	12,86
Харківська	53,20	53,15	54,11	55,07	56,05	57,03	58,02	59,01	60,01	61,02	62,04	63,06	64,09	65,13	66,17	67,22	68,28	69,35
Херсонська	12,08	12,07	12,29	12,51	12,73	12,95	13,18	13,40	13,63	13,86	14,09	14,32	14,56	14,79	15,03	15,27	15,51	15,75
Хмельницька	15,25	15,24	15,52	15,79	16,07	16,35	16,64	16,92	17,21	17,50	17,79	18,08	18,38	18,68	18,98	19,28	19,58	19,89
Черкаська	19,53	19,52	19,87	20,22	20,58	20,94	21,30	21,67	22,04	22,41	22,78	23,16	23,53	23,91	24,30	24,68	25,07	25,46
Чернівецька	5,51	5,51	5,61	5,71	5,81	5,91	6,01	6,12	6,22	6,32	6,43	6,54	6,64	6,75	6,86	6,97	7,08	7,19
Чернігівська	13,37	13,36	13,60	13,85	14,09	14,34	14,59	14,84	15,09	15,34	15,60	15,85	16,11	16,37	16,64	16,90	17,17	17,44
м. Київ	58,47	58,42	59,47	60,53	61,60	62,68	63,77	64,86	65,96	67,07	68,19	69,31	70,44	71,58	72,73	73,89	75,05	76,22
м. Севастополь	6,44	6,44	6,55	6,67	6,79	6,91	7,03	7,15	7,27	7,39	7,51	7,64	7,76	7,89	8,01	8,14	8,27	8,40
Усього:	635,69	635,12	646,58	658,12	669,76	681,47	693,27	705,16	717,13	729,19	741,33	753,55	765,86	778,26	790,74	803,31	815,96	828,70

**Таблиця 2 – Прогнозний розрахунок площі приватних сільських будівель млн м²,
обладнаних автономним опаленням на 2006–2025 рр**

Регіон	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
АР Крим	16,07	16,19	16,30	16,42	16,53	16,65	16,77	16,88	17,00	17,11	17,23	17,35	17,46	17,58	17,69	17,81	17,93	18,04
Вінницька	7,85	7,91	7,96	8,02	8,08	8,13	8,19	8,25	8,30	8,36	8,42	8,47	8,53	8,59	8,64	8,70	8,76	8,81
Волинська	5,93	5,97	6,02	6,06	6,10	6,14	6,19	6,23	6,27	6,31	6,36	6,40	6,44	6,49	6,53	6,57	6,61	6,66
Дніпропетровська	34,84	35,10	35,35	35,60	35,85	36,10	36,35	36,60	36,86	37,11	37,36	37,61	37,86	38,11	38,36	38,62	38,87	39,12
Донецька	39,64	39,92	40,21	40,50	40,78	41,07	41,35	41,64	41,93	42,21	42,50	42,78	43,07	43,36	43,64	43,93	44,21	44,50
Житомирська	7,79	7,85	7,90	7,96	8,02	8,07	8,13	8,18	8,24	8,30	8,35	8,41	8,47	8,52	8,58	8,63	8,69	8,75
Закарпатська	7,38	7,43	7,49	7,54	7,59	7,65	7,70	7,75	7,81	7,86	7,91	7,97	8,02	8,07	8,13	8,18	8,23	8,29
Запорізька	16,40	16,52	16,64	16,76	16,87	16,99	17,11	17,23	17,35	17,47	17,58	17,70	17,82	17,94	18,06	18,18	18,29	18,41
Івано-Франківська	6,55	6,60	6,64	6,69	6,74	6,78	6,83	6,88	6,93	6,97	7,02	7,07	7,11	7,16	7,21	7,26	7,30	7,35
Київська	22,64	22,80	22,97	23,13	23,29	23,46	23,62	23,78	23,95	24,11	24,27	24,44	24,60	24,76	24,93	25,09	25,25	25,42
Кіровоградська	7,82	7,87	7,93	7,99	8,04	8,10	8,15	8,21	8,27	8,32	8,38	8,44	8,49	8,55	8,61	8,66	8,72	8,78
Луганська	20,39	20,54	20,69	20,83	20,98	21,13	21,27	21,42	21,57	21,72	21,86	22,01	22,16	22,30	22,45	22,60	22,75	22,89
Львівська	13,85	13,95	14,05	14,15	14,25	14,35	14,45	14,55	14,65	14,75	14,85	14,95	15,05	15,15	15,25	15,35	15,45	15,55
Миколаївська	8,79	8,85	8,92	8,98	9,04	9,11	9,17	9,24	9,30	9,36	9,43	9,49	9,55	9,62	9,68	9,74	9,81	9,87
Одеська	14,50	14,61	14,71	14,82	14,92	15,03	15,13	15,24	15,34	15,45	15,55	15,65	15,76	15,86	15,97	16,07	16,18	16,28
Полтавська	13,21	13,30	13,40	13,49	13,59	13,68	13,78	13,87	13,97	14,06	14,16	14,26	14,35	14,45	14,54	14,64	14,73	14,83
Рівненська	6,65	6,70	6,74	6,79	6,84	6,89	6,94	6,98	7,03	7,08	7,13	7,18	7,22	7,27	7,32	7,37	7,42	7,46
Сумська	10,70	10,78	10,86	10,93	11,01	11,09	11,17	11,24	11,32	11,40	11,47	11,55	11,63	11,71	11,78	11,86	11,94	12,02
Тернопільська	5,83	5,87	5,91	5,95	6,00	6,04	6,08	6,12	6,16	6,21	6,25	6,29	6,33	6,37	6,42	6,46	6,50	6,54
Харківська	31,42	31,64	31,87	32,10	32,32	32,55	32,78	33,00	33,23	33,46	33,68	33,91	34,14	34,36	34,59	34,82	35,04	35,27
Херсонська	7,13	7,19	7,24	7,29	7,34	7,39	7,44	7,50	7,55	7,60	7,65	7,70	7,75	7,80	7,86	7,91	7,96	8,01
Хмельницька	9,01	9,07	9,14	9,20	9,27	9,33	9,40	9,46	9,53	9,59	9,66	9,72	9,79	9,85	9,92	9,98	10,05	10,11
Черкаська	11,54	11,62	11,70	11,79	11,87	11,95	12,04	12,12	12,20	12,29	12,37	12,45	12,54	12,62	12,70	12,78	12,87	12,95
Чернівецька	3,26	3,28	3,30	3,33	3,35	3,37	3,40	3,42	3,44	3,47	3,49	3,51	3,54	3,56	3,59	3,61	3,63	3,66
Чернігівська	7,90	7,96	8,01	8,07	8,13	8,18	8,24	8,30	8,35	8,41	8,47	8,53	8,58	8,64	8,70	8,75	8,81	8,87
м. Київ	34,53	34,78	35,03	35,28	35,53	35,78	36,03	36,27	36,52	36,77	37,02	37,27	37,52	37,77	38,02	38,27	38,52	38,77
м. Севастополь	3,80	3,83	3,86	3,89	3,91	3,94	3,97	4,00	4,02	4,05	4,08	4,11	4,13	4,16	4,19	4,22	4,24	4,27
Усього:	375,42	378,13	380,84	383,55	386,26	388,97	391,67	394,38	397,09	399,80	402,51	405,22	407,93	410,64	413,34	416,05	418,76	421,47

Таблиця 3 – Середній доцільний обсяг теплової енергії для тепlopостачання з урахуванням середньої температури та тривалості опалювального сезону, тис. Гкал / рік

Регіон	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
АР Крим	2 037	1 974	1 949	1 864	1 783	1 705	1 630	1 559	1 511	1 465	1 419	1 376	1 333	1 292	1 252	1 214	1 176	1 140
Вінницька	2 072	2 008	1 983	1 896	1 814	1 734	1 659	1 586	1 537	1 490	1 444	1 399	1 356	1 314	1 274	1 235	1 196	1 160
Волинська	1 423	1 379	1 362	1 302	1 245	1 191	1 139	1 089	1 056	1 023	992	961	931	903	875	848	822	796
Дніпропетровська	8 438	8 177	8 075	7 723	7 385	7 063	6 755	6 460	6 261	6 068	5 880	5 699	5 523	5 353	5 188	5 028	4 873	4 722
Донецька	10 767	10 435	10 304	9 855	9 425	9 013	8 620	8 244	7 989	7 743	7 504	7 272	7 048	6 831	6 620	6 416	6 218	6 026
Житомирська	2 032	1 970	1 945	1 860	1 779	1 701	1 627	1 556	1 508	1 461	1 416	1 373	1 330	1 289	1 250	1 211	1 174	1 137
Закарпатська	1 263	1 224	1 209	1 156	1 106	1 058	1 011	967	937	909	881	853	827	802	777	753	730	707
Запорізька	3 733	3 618	3 573	3 417	3 268	3 125	2 989	2 858	2 770	2 685	2 602	2 522	2 444	2 368	2 295	2 225	2 156	2 089
Івано-Франківська	1 531	1 483	1 465	1 401	1 340	1 281	1 225	1 172	1 136	1 101	1 067	1 034	1 002	971	941	912	884	857
Київська	5 911	5 729	5 657	5 410	5 174	4 948	4 732	4 526	4 386	4 251	4 120	3 993	3 870	3 750	3 635	3 522	3 414	3 308
Кіровоградська	2 001	1 939	1 915	1 831	1 751	1 675	1 602	1 532	1 485	1 439	1 395	1 351	1 310	1 269	1 230	1 192	1 156	1 120
Луганська	5 356	5 191	5 126	4 902	4 688	4 484	4 288	4 101	3 974	3 852	3 733	3 618	3 506	3 398	3 293	3 191	3 093	2 998
Львівська	3 395	3 290	3 249	3 107	2 972	2 842	2 718	2 599	2 519	2 441	2 366	2 293	2 222	2 154	2 087	2 023	1 961	1 900
Миколаївська	1 752	1 698	1 676	1 603	1 533	1 466	1 402	1 341	1 300	1 260	1 221	1 183	1 147	1 111	1 077	1 044	1 012	980
Одеська	2 753	2 668	2 634	2 519	2 409	2 304	2 204	2 108	2 043	1 980	1 918	1 859	1 802	1 746	1 692	1 640	1 590	1 541
Полтавська	3 697	3 583	3 538	3 384	3 236	3 095	2 960	2 830	2 743	2 659	2 577	2 497	2 420	2 345	2 273	2 203	2 135	2 069
Рівненська	1 677	1 625	1 605	1 535	1 468	1 404	1 343	1 284	1 244	1 206	1 169	1 133	1 098	1 064	1 031	999	969	939
Сумська	3 282	3 180	3 141	3 003	2 872	2 747	2 627	2 512	2 435	2 360	2 287	2 216	2 148	2 082	2 018	1 955	1 895	1 837
Тернопільська	1 462	1 417	1 399	1 338	1 280	1 224	1 171	1 120	1 085	1 052	1 019	988	957	928	899	871	844	818
Харківська	9 038	8 759	8 650	8 272	7 911	7 566	7 235	6 920	6 706	6 499	6 299	6 104	5 916	5 734	5 557	5 385	5 219	5 058
Херсонська	1 409	1 365	1 348	1 290	1 233	1 179	1 128	1 079	1 045	1 013	982	952	922	894	866	840	814	789
Хмельницька	2 294	2 224	2 196	2 100	2 008	1 921	1 837	1 757	1 702	1 650	1 599	1 550	1 502	1 456	1 411	1 367	1 325	1 284
Черкаська	3 017	2 924	2 887	2 761	2 641	2 526	2 415	2 310	2 239	2 170	2 103	2 038	1 975	1 914	1 855	1 798	1 742	1 689
Чернівецька	748	725	716	684	655	626	599	573	555	538	521	505	490	474	460	446	432	419
Чернігівська	2 220	2 152	2 125	2 032	1 944	1 859	1 778	1 700	1 648	1 597	1 547	1 500	1 453	1 409	1 365	1 323	1 282	1 243
м. Київ	9 016	8 738	8 629	8 252	7 892	7 548	7 218	6 903	6 690	6 484	6 284	6 090	5 902	5 720	5 544	5 373	5 207	5 046
м. Севастополь	367	356	351	336	321	307	294	281	272	264	256	248	240	233	226	219	212	205
Усього:	92 693	89 831	88 708	84 836	81 133	77 592	74 205	70 966	68 777	66 656	64 599	62 607	60 675	58 804	56 990	55 232	53 528	51 877

Таблиця 4.1 – Фінансування енергозберігаючих заходів в житловому фонді

	2010		2015				2020				2025				2030			
	Вихідна точка		Песимістичний		Оптимістичний		Песимістичний		Оптимістичний		Песимістичний		Оптимістичний		Песимістичний		Оптимістичний	
	млн грн	млн грн	млн грн	млн грн	млн грн	млн грн	млн грн	млн грн	млн грн	млн грн	млн грн	млн грн	млн грн	млн грн	млн грн	млн грн	млн грн	млн грн
Що фінансується																		
Житлове Господарство	30714	34750	196193	46940	231343	39317	383417	63705	516339	44483	595244	80471	885162	50328	834907	97236	133781	3
Енергозбереження в Житловому господарстві	227	257	1 451	347	1 711	291	2 836	471	3 820	329	4 403	595	6 548	372	6 176	719	9 896	
Стіни-утеплення мінеральною ватою	95	108	610	146	719	122	1 191	198	1 604	138	1 849	250	2 750	156	2 594	302	4 156	
Стіни-утеплення пінопластом	41	46	261	63	308	52	511	85	688	59	793	107	1 179	67	1 112	129	1 781	
Однокамерні склопакети	64	72	406	97	479	81	794	132	1 069	92	1 233	167	1 833	104	1 729	201	2 771	
Двокамерні склопакети	18	21	116	28	137	23	227	38	306	26	352	48	524	30	494	58	792	
Енергозберігаючі склопакети	9	10	58	14	68	12	113	19	153	13	176	24	262	15	247	29	396	

Таблиця 4.2 – Обсяги впровадження енергозберігаючих заходів в житловому фонді

Що впроваджується	2010		2015				2020				2025				2030			
	Вихідна точка		Песимістичний		Оптимістичний		Песимістичний		Оптимістичний		Песимістичний		Оптимістичний		Песимістичний		Оптимістичний	
	млн м ²	Середня ціна грн за м ²	млн м ²	млн м ²	млн м ²	млн м ²	млн м ²	млн м ²	млн м ²	млн м ²	млн м ²	млн м ²	млн м ²	млн м ²	млн м ²	млн м ²	млн м ²	млн м ²
Стіни-утеплення мінерального ватю	0,477	200	0,54	3,048	0,729	3,594	0,611	5,956	0,99	8,021	0,691	9,247	1,25	13,75	0,782	12,97	1,51	20,782
Стіни-утеплення пінопластом	0,102	400	0,116	0,653	0,156	0,77	0,131	1,276	0,212	1,719	0,148	1,981	0,268	2,947	0,168	2,779	0,324	4,453
Однокамерні склопакети	0,159	400	0,18	1,016	0,243	1,198	0,204	1,985	0,33	2,674	0,23	3,082	0,417	4,583	0,261	4,323	0,503	6,927
Двокамерні склопакети	0,023	800	0,026	0,145	0,035	0,171	0,029	0,284	0,047	0,382	0,033	0,44	0,06	0,655	0,037	0,618	0,072	0,99
Енергозберігаючі склопакети	0,008	1160	0,009	0,05	0,012	0,059	0,01	0,098	0,016	0,132	0,011	0,152	0,021	0,226	0,013	0,213	0,025	0,341

Таблиця 5.1 – Обсяги впровадження енергозберігаючих технологій для автономного опалення; песимістичний сценарій на 2010–2030 роки

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Газові обігрівачі	72	74	76	78	79	81	84	86	88	90	92
Витрати умовного палива, т у.л./рік	9412	9648	9889	10136	10389	10649	10915	11188	11468	11755	12049
Сумарна вартість впроваджених технологій, млн грн	20	21	21	22	23	23	24	24	25	26	26
Конвектори газіві	2416	2477	2539	2602	2667	2734	2802	2872	2944	3018	3093
Витрати умовного палива, т у.л./рік	367700	376892	386315	395973	405872	416019	426419	437080	448007	459207	470687
Сумарна вартість впроваджених технологій, млн грн	163	167	171	176	180	184	189	194	199	204	209
Теплові насоси	185	190	194	199	204	209	215	220	225	231	237
Витрати умовного палива, т у.л./рік	21932	22480	23042	23618	24208	24814	25434	26070	26722	27390	28074
Сумарна вартість впроваджених технологій, млн грн	49	50	51	52	54	55	56	58	59	61	62
Вихрові термогенератори	40	41	42	43	44	45	46	47	49	50	51
Витрати умовного палива, т у.л./рік	14027	14378	14737	15106	15483	15870	16267	16674	17091	17518	17956
Сумарна вартість впроваджених технологій, млн грн	7	7	7	7	8	8	8	8	8	9	9
Індукційні котли	2944	3018	3094	3171	3250	3331	3415	3500	3588	3677	3769
Витрати умовного палива, т у.л./рік	1275183	1307063	1339739	1373233	1407563	1442752	1478821	1515792	1553687	1592529	1632342
Сумарна вартість впроваджених технологій, млн грн	394	404	414	425	435	446	457	469	481	493	505
Конденсаційні газіві котли	869	891	913	936	959	983	1008	1033	1059	1086	1113
Витрати умовного палива, т у.л./рік	77341	79274	81256	83287	85370	87504	89692	91934	94232	96588	99003
Сумарна вартість впроваджених технологій, млн грн	53	54	56	57	59	60	62	63	65	66	68
За усіма техно-	6527	6690	6857	7029	7205	7385	7569	7759	7953	8151	8355
логіями	1765594	1809734	1854978	1901352	1948886	1997608	2047548	2098737	2151205	2204986	2260110
Сумарна вартість впроваджених технологій, млн грн	686	703	721	739	758	776	796	816	836	857	879

Таблиця 5.2 – Обсяги впровадження ЕЗ технологій для автономного опалення; песимістичний сценарій на 2010–2030 роки

	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Газові обігрівачі	92	94	97	99	102	104	107	110	112	115	118
Витрати умовного палива, т у.л./рік	12049	12350	12659	12975	13299	13632	13973	14322	14680	15047	15423
Сумарна вартість впроваджених технологій, млн грн	26	27	27	28	29	30	30	31	32	33	34
Конвектори газіві	3093	3171	3250	3331	3414	3500	3587	3677	3769	3863	3960
Витрати умовного палива, т у.л./рік	470687	482454	494515	506878	519550	532539	545853	559499	573486	587823	602519
Сумарна вартість впроваджених технологій, млн грн	209	214	219	225	230	236	242	248	254	261	267
Теплові насоси	237	243	249	255	261	268	275	282	289	296	303
Витрати умовного палива, т у.л./рік	28074	28776	29496	30233	30989	31764	32558	33372	34206	35061	35937
Сумарна вартість впроваджених технологій, млн грн	62	64	65	67	69	70	72	74	76	78	80
Вихрові термогенератори	51	52	54	55	56	58	59	61	62	64	65
Витрати умовного палива, т у.л./рік	17956	18405	18865	19336	19820	20315	20823	21344	21877	22424	22985
Сумарна вартість впроваджених технологій, млн грн	9	9	9	9	10	10	10	10	11	11	11
Індукційні котли	3769	3863	3960	4059	4160	4264	4371	4480	4592	4707	4825
Витрати умовного палива, т у.л./рік	1632342	1673151	1714979	1757854	1801800	1846845	1893016	1940342	1988850	2038571	2089536
Сумарна вартість впроваджених технологій, млн грн	505	517	530	544	557	571	585	600	615	630	646
Конденсаційні газіві котли	1113	1141	1169	1198	1228	1259	1290	1323	1356	1390	1424
Витрати умовного палива, т у.л./рік	99003	101478	104015	106615	109280	112012	114813	117683	120625	123641	126732
Сумарна вартість впроваджених технологій, млн грн	68	70	71	73	75	77	79	81	83	85	87
За усіма техно-	8355	8564	8778	8998	9223	9453	9689	9932	10180	10434	10695
логіями	2260110	2316613	2374528	2433891	2494739	2557107	2621035	2686561	2753725	2822568	2893132
Сумарна вартість впроваджених технологій, млн грн	879	900	923	946	970	994	1019	1044	1070	1097	1125

гаються окремими компонентами на множині допустимих значень цих компонент. Таке ідеальне рішення, як правило, недосяжне. Тому шукається такий варіант, відстань якого на множині компонент вектора рішення до ідеального мінімальна. Отримане в результаті рішення і є оптимальним розподілом інвестиційних ресурсів.

Виконані розрахунки

Описаний вище підхід надав можливість розрахувати оптимістичні та песимістичні сценарії розвитку енергетичного сектора ЖКГ та його підгалузей.

Виконано:

- прогнозний розрахунок площі (млн м²) будівель, обладнаних централізованим опаленням на 2008–2025 рр. (табл. 1);
 - прогнозний розрахунок площі приватних сільських будівель (млн м²), обладнаних автономним опаленням на 2006–2025 рр. (табл. 2);
 - середній доцільний обсяг теплової енергії для тепlopостачання з урахуванням середньої температури та тривалості опалювального сезону, (тис. Гкал /рік) (табл. 3);
 - обсяги фінансування та впровадження енергозберігаючих заходів в житловому фонді (табл. 4.1, 4.2);
 - обсяги впровадження енергозберігаючих технологій для централізованого та автономного опалення 2010–2030 рр. (табл. 5.1, 5.2);
- та інші.

ВИСНОВКИ

Запропоновано математичну модель для визначення доцільних обсягів використання енергозберігаючих технологій в житлово-комунальному господарстві. Житлово-комунальне господарство розглядається як складна динамічна керована система із заздалегідь заданою ієрархічною структурою. Сформульовано задачу ієрархічного управління такою системою. Розглянуто формування оптимальної сукупності напрямів та обсягів інвестування енергозберігаючих заходів житлово-комунального господарства.

Розраховано оптимістичні та песимістичні сценарії розвитку житлового та енергетичного сектора ЖКГ та його підгалузей до 2030 року.

1. Воронин А.А., Мишин С.П. Оптимальные иерархические структуры. – М.: РАН, 2003. – 214 с.
2. Месарович М., Мако Д., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем. – М.: Мир, 1973.
3. Мишин С.П. Оптимальное управление структурой организационной системы // Сборник трудов международной научно-технической конференции «Современные сложные системы управления». Липецк, 12–14 марта 2002 г. – С. 101–102.
4. Мишин С.П. Оптимизация иерархических структур // Материалы международной научной конференции «Современные сложные системы управления». – Старый Оскол: СТИ, 2002 г. – С 100–105.
5. Мишин С.П. Структура многоуровневой системы в изменяющейся внешней среде // Труды международной научно-практической конференции «Теория активных систем». Москва, 19–21 ноября 2001 г. – Том 1. – С 54–55.
6. Новиков Д.А. Механизмы функционирования многоуровневых организационных систем. – М.: Фонд «Проблемы управления», 1999.
7. Губко М.В. Математические модели оптимизации иерархических структур. – М.: Ленанд, 2006. – 264 с.
8. Денисов В.А. Ієрархічна модель оптимізації екологічних параметрів житлово-комунального господарства // Проблеми загальної енергетики. – 2011. – № 4 (27). – С 35–38.
9. Жариков О.Н. Системный подход к управлению: учеб. пособие для вузов /О.Н. Жариков, В.И. Королевская, С.Н. Хохлов; под ред. В.А. Персианова. – М.: Юнити-Дана, 2001. – 62 с.
10. Угольницкий Г.А. Иерархическое управление устойчивым развитием. – Москва : Изд-во физико-математической литературы, 2010. – 336 с.
11. Емельянов В.В., Курейчик В.М., Курейчик В.В. Теория и практика эволюционного моделирования. – Г.: Физматлит, 2003. – 432 с.

Надійшла до редакції 02.04.2012