УДК 332.873: 658.18

В.А. ДЕНИСОВ
Інститут загальної енергетики НАН України, м. Київ

ІЄРАРХІЧНА МОДЕЛЬ ОПТИМІЗАЦІЇ ЕКОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЖИТЛОВО-КОМУНАЛЬНОГО ГОСПОДАРСТВА

Запропоновано ієрархічну модель оптимізації екологічних параметрів житлово-комунального господарства України. Розраховано оптимальні екологічні та економіко-енергетичні параметри техспособів виробництва, постачання та споживання житлово-комунальних послуг на даний час та перспективу.

Ключові слова: модель, оптимізація екологічних параметрів, енергоефективність, рівновага, інвестиції, ЖКГ, сценарій розвитку.

Прискорені темпи концентрації виробництва, організація великих промислових об'єднань, глобалізація економіки приводять до посилення дії техногенних процесів на навколишнє середовище, створюючи реальну небезпеку виснаження як невідновлюваних, так і відновлюваних ресурсів. Раціональне використання природних ресурсів, впровадження нових ресурсозберігаючих технологій вимагають переходу на нові еколого-економічні відносини, в основі яких лежать зв'язаність, відповідність, збалансованість природних і виробничих потенціалів, еколого-економічний баланс. Для вирішення цих завдань використовуються:

поняття еколого-економічної системи (ЕЕС), для якої сформульовані загальна структура, завдання і принципи управління;

метод ієрархічного управління, що враховує вимоги стійкого розвитку ЕЕС.

Стійкий розвиток визначено як процес, що відповідає потребам сьогодення, але не позбавляє майбутні покоління можливості задовольняти свої потреби. В основі стратегії стійкого розвитку лежить ідея рівноваги між навколишнім середовищем, економікою і населенням Землі [1–3]. При моделюванні управління стійким розвитком ЕЕС представлена як ієрархічна керована динамічна система (ІКДС) [4]. У ролі ІКДС розглядається як вся ЕЕС, так і окремі її складові.

Впливаючи на ЕЕС, кожне підприємство має власні цілі, які в загальному випадку не відповідають вимогам стійкого розвитку. Відповідні реакції ЕЕС, зважаючи на природу останньої, носять спонтанний характер, що запізнюється, тому необхідно використовувати різні механізми управління для забезпечення стійкого розвитку системи. Забезпечення стійкого розвитку ЕЕС вимагає застосування механізмів ієрархічного управління, що містять адміністративні, економічні і психологічні складові у вигляді примушення, спонуки і переконання.

Метод примушення надає можливість підтримувати систему в стійкому стані незалежно від стратегій управління, вживаних на об'єктах нижчих рівнів ієрархії. Економічно такий підхід до управління, як правило, виявляється невигідним порівняно з методом спонуки, який надає велику свободу дій при ухваленні управлінських рішень на всіх рівнях ієрархії. З іншого боку, якщо на верхньому рівні управління недостатньо економічних важелів дії на об'єкти нижчих рівнів, то метод спонуки може не працювати.

Найбільш ефективним методом управління стійким розвитком системи є метод переконання, що має на увазі добровільну кооперацію об'єктів всіх рівнів управління для досягнення мети, що об'єктивно відповідає їх загальним інтересам. В цьому випадку стійкий розвиток ЕЕС досягається економічно найвигіднішим для всіх об'єктів управління способом.

Вибір методу управління в конкретній ЕЕС залежить від можливостей дії, вибраних цілей і об'єктивних умов.

Як відомо, апарат моделювання, що використовується сьогодні, не вирішує головну проблему збільшення невисокої здатності моделей складних систем до передбачення. Шлях побудови складніших моделей, що точніше відображають поведінку об'єкта, і розвитку нових могутніх математичних методів, адекватних складності нових моделей у зв'язку з принциповою обмеженістю представлення складних систем як пасивних об'єктів, зв'язок вихідних і вхідних змінних для яких описується за допо-

© В.А. ДЕНИСОВ, 2011

могою перехідних функцій нехай навіть і вельми складного вигляду, а також таких, що враховують динаміку і тимчасові запізнювання і просторовий розподіл процесів в системі, є малоперспективним.

Складні системи, як правило, не мають єдиного критерію функціонування. Такого роду системи функціонують в умовах багатокритеріальності, причому ці критерії можуть бути не тільки екстремальними, а й мати характер обмежень. Це спонукає формулювати відразу декілька критеріїв і варіювати їх вибір залежно від ситуації, що склалася, і внутрішніх потреб самої системи [6]. Процес цілеспрямованої зміни параметрів і структури системи включає визначення критеріїв її функціонування і виконання цих критеріїв.

Викладені вище міркування застосовано під час побудови ієрархічної моделі оптимізації екологічних параметрів у процесі модернізації та розвитку житлово-комунального господарства. Розрахунки виконано за умови дотримання рівноваги обсягів потреб і споживання житлово-комунальних послуг (ЖК послуг), а також заданих обмежень на екологічні та економіко-енергетичні параметри, що характеризують технології, технологічні способи (техспособи) та житлово-комунальне господарство (ЖКГ) в цілому, причому процес модернізації та розвитку ЖКГ розглядається як послідовність станів оптимальної рівноваги для кожного рівня ієрархії в кожний з дискретних моментів часу під дією фінансових надходжень як управлінь. Розраховано оптимальні екологічні та економіко-енергетичні параметри техспособів виробництва, постачання та споживання житлово-комунальних послуг на даний час та перспективу.

При виконанні розрахунків враховано такі властивості моделі:

1. Використовується ієрархія відображень множин параметрів, тобто об'єкти та технології кожного рівня r характеризуються своєю множиною екологічних та економіко-енергетичних параметрів, на основі яких розраховуються параметри для наступних або попередніх рівней ієрархії.

2. Для кожного рівня ієрархії та кожного відліку часу τ розраховуються параметри стану оптимальної рівноваги $\Omega_{\tau rk}$, з урахуванням часових та ієрархічних взаємозв'язків.

3. У кожному стані оптимальної рівноваги виконуються баланси або мінімізуються небаланси обсягів потреб $V_{\tau rk}^{потреби}$ споживання $V_{\tau rk}^{споживання}$ для кожної з k ЖК послуг рівня ієрархії r на момент часу τ:

$$V_{\tau rk}^{потреби} - V_{\tau rk}^{споживання} \to 0.$$

4. Виконуються баланси фінансових надходжень $I_{\tau rk}^{надходжень}$ та платежів $I_{\tau rk}^{платежів}$:

$$I_{\tau rk}^{надходжень} \geq I_{\tau rk}^{платежів}.$$

5. Виконуються баланси встановленої $W_{\tau rk}^{вст}$, максимально допустимої $W_{\tau rk}^{макс_доп}$ та максимальної пікової $W_{\tau rk}^{макс_пік}$ потужностей згідно з заданими графіками споживання ЖК послуг для характерних періодів.

6. Враховується імовірність обсягів впровадження $P_{\tau rk}^{впров}$ та використання $P_{\tau rk}^{V_використ}$ нових невідомих технологій.

7. Мінімізуються витрати паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) $B_{\tau rk}$.

8. Вироблення, відпуск, транспортування та поставка, а також споживання кожної k-ї ЖК послуги здійснюється системоутворюючим техспособом (СУТС), що є комбінацією елементарних техспособів (ЕТС).

9. Розрахунок параметрів стану оптимальної рівноваги $\Omega_{(\tau+1)rk}$ для наступного відліку часу $\tau + 1$ виконується як оптимальний перехід із стану $\Omega_{\tau rk}$ під дією фінансових надходжень $I_{\tau rk}^{надходжень}$ як управлінь:

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

Серед усіх екологічних та економіко-енергетичних параметрів, що характеризують техспособи виробництва, постачання та споживання житлово-комунальних послуг, вибрано певний набір, названий цільовим вектором, для якого введена міра μ^*, яка використовується як складова для формування цільової функції (критерію мінімізації) μ.

Мінімізація здійснюється при заданих обмеженнях на обсяги фінансування експлуатації та розвитку ЖКГ, а також платежів за екологічне навантаження ЖКГ на навколишнє середовище.

Формули попередніх розрахунків для кожної *k*-ї ЖК послуги

Обсяг відпущеної ЖКП:

$$V_k^{відпущ} = \sum_m^M x_{mk}^{вироб} \cdot (1 - \alpha_{mk}^{ал_пот}), \qquad (1)$$

де $x_{mk}^{вироб}$ – обсяг k-ї ЖК послуги, виробленої за

допомогою m-го ЕТС; $\alpha_{mk}^{вл_пот}$ коефіцієнт власних потреб.

Оптимізація розподілення потоків транспортування ЖК послуги:

$$V_k^{поставлене} = \sum_{l}^{L} (1 - k_{lk}^{втрат}) \cdot s_{lk}^{протяж} \cdot x_{lk}^{част_транс}, \quad (2)$$

де $V_k^{відпущ} = \sum_{l}^{L} x_{lk}^{част_транс}$; $x_{lk}^{част_транс}$ – обсяг відпущеної k-ї ЖК послуги, переданої за допомогою l-го ЕТС; $s_{lk}^{протяж}$ – протяжність l-го ЕТС; $k_{lk}^{втрат}$ – коефіцієнт втрат k-ї ЖК послуги на одиницю протяжності l-го ЕТС.

Обсяг споживання k-ї ЖК послуги:

$$V_k^{споживання} = V_k^{поставлене}, \quad (3)$$

з іншого боку, обсяг поставленої ЖК послуги розподіляється між елементарними техспособами споживання:

$$V_k^{споживання} = \sum_{j}^{J} v_{jk}^{спож}, \quad (4)$$

де k – номер ЖК послуги; j – номер ЕТС споживання ЖК послуги; $v_{jk}^{спож}$ – обсяг споживання k-ї ЖКП за допомогою j-го ЕТС.

Обсяг потреб k-ї ЖК послуги:

$$V_k^{потреби} = \sum_{j=1}^{J} q_{jk} \cdot T_{jk}^{споживання} \cdot 24 \cdot n, \quad (5)$$

де q – мінімальна питома норма споживання k-ї ЖК послуги; T – кількість днів споживання k-ї ЖК послуги; n – кількість споживачів або обсяг обслуговування.

Обсяг витрат ПЕР k-ї ЖК послуги:

$$B_k = \sum_{m}^{M} b_{mk} \cdot x_{mk}^{вироб},$$

де x – обсяг застосування ЕТС вироблення k-ї ЖК послуги; b – питомі витрати ПЕР на одиницю x.

Вартість модернізації:

$$I^{модернізації} = \sum_{k} \Big(\sum_{m}^{M} d_{mk} \cdot x_{mk}^{вироб} + \sum_{l}^{L} d_{lk} \cdot s_{lk}^{протяж} + \sum_{j}^{J} d_{jk} \cdot v_{jk}^{спож} \Big), \quad (6)$$

де d – питома вартість модернізації.

Під час розрахунків кожний з існуючих, модернізованих та нових ЕТС розглядається в моделі як окремий, із своїми територіально-адміністративними, техніко-економічними та екологічними параметрами. Водночас, при використанні існуючого ЕТС вважається, що вартість модернізації дорівнює 0.

При визначенні оптимального складу та допустимих потужностей ЕТС вироблення, транспортування та відпуску ЖК послуг, з урахуванням графіків споживання ЖК послуг для характерних періодів, потрібно забезпечити можливість споживання необхідних обсягів ЖК послуг у кожний момент часу.

Оптимізаційні розрахунки виконували відповідно до критерію мінімізації витрат ПЕР та мінімізації викидів парникових газів та шкідливих речовин у навколишнє середовище при досягненні балансу між потребою в енергії з боку кінцевих споживачів ЖК послуг та потужностей, які забезпечують її виробництво, з урахуванням втрат під час транспортування.

Виконані розрахунки

Знаючи мінімальну нормативну питому потребу k-ї ЖК послуги на одного споживача або на одиницю площі споживання, розраховано необхідний обсяг $V_k^{потреби}$ k-ї ЖК послуги за формулою (5). Приклад розрахунку обсягів необхідного теплопостачання наведено нижче. Вихідними даними для цього розрахунку є:

стан та обсяг житлового фонду для кожної з адміністративно-територіальних одиниць;

сценарій розвитку площі, що підлягає опаленню;

сценарій зміни мінімальної питомої норми теплопостачання за рахунок впровадження енергозберігаючих технологій в житловий фонд:

ліквідація перегрівання приміщень в осінньо-весняний період;

ізоляція трубопроводів опалення та гарячого водопостачання, що проходять через неопалювальні приміщення;

утеплення стін житлових будинків;

заміна старих вікон сучасними склопакетами;

утеплення під'їздів (ремонт, скління та ущільнення вікон і дверей у під'їздах, встановлення вхідних дверей);

облаштування шатрових покрівель з утепленням горищ;

ремонт та ізолювання будинкових систем тепловодопостачання;

герметизація міжпанельних швів житлових будинків;

ремонт м'яких покрівель житлових будинків;

Таблиця

Показник	Рік										
	2010	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**	**2020**
Витрати ПЕР, тис. т у. п.	20 451	19 134	18 014	16 949	15 978	15 093	14 285	13 546	12 871	12 253	11 686
Викиди CO_2, тис. т	34 859	32 614	30 702	28 886	27 230	25 720	24 342	23 083	21 932	20 878	19 912
Викиди шкідливих речовин, тис. т	169,48	158,49	149,35	140,52	132,47	125,13	118,42	112,29	106,69	101,56	96,86

проведення реконструкції житлових будинків.

Розрахунок обсягів заміни ветхих труб теплових мереж. Вихідними даними для цього розрахунку є:

загальна протяжність теплових мереж (ТМ);

протяжність ветхих теплових мереж;

нормативні втрати тепла в теплових мережах;

середні втрати тепла в ТМ при ізоляції з мінеральної вати після двох років експлуатації;

середні втрати в ТМ при ізоляції пінополіуретаном;

вартість прокладання ТМ при ізоляції пінополіуретаном, тис. грн/км;

фінансові обмеження витрат на модернізацію ТМ.

Окремі результати розрахунків наведено в таблиці.

ВИСНОВКИ

Розгляд економіко-енергетичного балансу ЖКГ як еколого-економічної системи, для якої сформульовані загальна структура, завдання і принципи управління, надав змогу створити нову ієрархічну модель оптимізації екологічних параметрів ЖКГ України. Врахування структурних особливостей підгалузей ЖКГ дозволило застосувати метод ієрархічного управління, що враховує вимоги стійкого розвитку еколого-економічної системи. При моделюванні управління стійким розвитком еколого-економічна система ЖКГ представлена як ієрархічна керована динамічна система, для якої враховано властивості як всієї системи, так і окремих її складових.

Застосування механізмів ієрархічного управління та розгляд процесу модернізації та розвитку ЖКГ як послідовності станів оптимальної рівноваги для кожного рівня ієрархії в кожний з дискретних моментів часу під дією фінансових надходжень як управлінь надало змогу розраховувати оптимальні екологічні та економіко-енергетичні параметри техспособів виробництва, постачання та споживання житлово-комунальних послуг на даний час та перспективу. Зокрема, розраховано задачі достатньо великих розмірів, визначено оптимальні еколого-економічні параметри техспособів виробництва, постачання та споживання ЖКП на даний час та перспективу з урахуванням заданих обмежень на обсяги фінансування експлуатації та розвитку ЖКГ, а також платежів за екологічне навантаження ЖКГ на навколишнє середовище.

1. *Рюмина Е.В.* Анализ эколого-экономических взаимодействий. – М.: Наука, 2000. – 158 с.
2. *Данилов-Данилян В.И., Лосев К.С.* Экологический вызов и устойчивое развитие. – М.: Прогресс-Традиции, 2000. – 415 с.
3. *Новая парадигма* развития России. Комплексные исследования проблем устойчивого развития / Под ред. В.А. Коптюга, В.М. Матросова, В.К. Левашова. – М.: Academia; Изд-во МГУК, 1999. – 459 с.
4. *Угольницкий Г.А.* Управление эколого-экономическими системами. – М.: Вузовская книга, 1999. – 132 с.
5. *Гринченко С.Н.* Иерархическая оптимизация в природных и социальных системах: селекция вариантов приспособительного поведения и эволюции систем “достаточно высокой сложности” на основе адаптивных алгоритмов случайного поиска. Электронный журнал “Исследовано в России” [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://1421zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2000/108.pdf, Институт проблем информатики РАН.
6. *Растригин Л.А.* Адаптация сложных систем. Методы и приложения. – Рига: Зинатне, 1981. – 394 с.

Надійшла до редколегії: 11.05.2011