

УДК 621.311:697.34

Ковалко О. М., к.е.н., доцент, Євтухова Т.О. здобувач,
 Міжнародний науково-технічний університет імені академіка Юрія Бугая

СТРУКТУРИЗАЦІЯ БАЛАНСОВО-ОПТИМІЗАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ КОМУНАЛЬНОЇ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ

Комунальна теплоенергетика (КТЕ) є однією з визначальних складових паливно-енергетичного комплексу країни, що поєднує в собі підприємства теплопостачання, об'єднані в регіональні системи, діяльність яких регулюється державними та місцевими органами влади на національному та регіональному рівнях. Основним призначенням КТЕ є забезпечення кінцевих споживачів, головним чином населення і частково – промислові підприємства, послугами з опалення та гарячого водопостачання [1–3]. З точки зору теорії та практики, система управління КТЕ є багаторівневою, з ієрархічно упорядкованими технологічними і організаційними підсистемами управління, структура та параметри яких знаходяться в складній взаємодії та динамічно змінюються в умовах ринкових відносин.

Низька ефективність використання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) у системах КТЕ в Україні є проблемою національного рівня, що створює загрозу енергетичній безпеці країни і потребує негайного розв'язання, а наявна система управління, яка саме і призвана розв'язати цю проблему – застарілою та неефективно функціонуючою в умовах теперішньої перехідної економіки.

Метою роботи є вирішення задачі оптимального управління енергозбереженням та підвищенням ефективності систем КТЕ в Україні, що базується на ринкових механізмах координування взаємодії учасників відносин у сфері виробництва, надання та споживання послуг з опалення та гарячого водопостачання на всіх рівнях управління.

Тому, розв'язання та наукове обґрунтування теоретичних і практичних питань підвищення ефективності функціонування системи КТЕ за рахунок оптимального управління є актуальним науковим завданням.

Пропонується рішення задачі оптимального управління підвищенням ефективності, що складається з послідовного розв'язання ряду взаємоузгоджених задач оптимізації структури і параметрів системи КТЕ, де на кожному рівні вирішуються задачі знаходження екстремумів власних цільових функцій, а неузгодженість параметрів - мінімізується:

а) на регіональному рівні

$$\begin{cases} ЦФ_{S_0} \rightarrow opt; \\ (ЦФ_{S_0} - \sum_{n=1}^N ЦФ_{S^n}) \rightarrow min. \end{cases}$$

б) на рівні підсистем (підприємств КТЕ та споживачів)

$$\begin{cases} ЦФ_{S_1} \rightarrow opt; \\ ЦФ_{S_2} \rightarrow opt; \\ \dots \\ ЦФ_{S^N} \rightarrow opt. \end{cases} \begin{cases} (ЦФ_{S_0}^1 - ЦФ_{S_1}) \rightarrow min; \\ (ЦФ_{S_0}^2 - ЦФ_{S_2}) \rightarrow min; \\ \dots \\ (ЦФ_{S_0}^N - ЦФ_{S^N}) \rightarrow min. \end{cases}$$

Задля координування міжрівневої взаємодії означених підсистем моделі, значення показників ефективності функціонування системи КТЕ на верхньому рівні пропонованої моделі визначаються шляхом розв'язання задачі лінійного програмування та у вигляді управляючих вказівок надходять до нижче розташованого модуля моделі. У свою чергу, і в кожному нижче розташованому модулі також вирішується оптимізаційна задача, при чому за власними критеріями оптимальності, де показники, встановлені на верхніх рівнях моделі, використовуються в якості обмежень.

Модель реалізовано у вигляді багаторівневої ієрархічно-структурованої системи логіко-математичних балансово-оптимізаційних рівнянь, лінеаризованих на j -х інтервалах ($j = \overline{1, J}$) просторово-часової дискретизації енерго-економічних процесів функціонування складових елементів (підсистем) системи КТЕ на заданому періоді T часу, що розглядається (зазвичай – за опалювальний сезон у цілому з періодом дискретизації день/ніч). Структура побудови моделі системним чином поєднує відомі балансово-оптимізаційні співвідношення і принципи побудови енергетичних моделей [2, 6] з урахуванням специфіки моделювання теплоенергетичних систем [4, 5] та застосування принципів і методів координування взаємодії у багаторівневих системах, що відрізняє її від відомих моделей.

Системи рівнянь енергетичних балансів на рівні підприємств та на рівні регіональної системи КТЕ сформовано у вигляді:

$$\sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I \bar{W}_{S_i}^{n,j} = \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I (\overline{KBVP}_{S_i,ht,el}^{n,j} \cdot \bar{P}_{S_i,ht,el}^{n,j} \cdot T^j / \overline{KEVP}_{S_i,ht,el}^{n,j}) \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^I W_{S_i}^{n,j} = \sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^I (KBVP_{S_i,ht,el}^{n,j} \cdot P_{S_i,ht,el}^{n,j} \cdot T^j / KEVP_{S_i,ht,el}^{n,j}).$$

Для оптимізації параметрів інтенсивності використання виробничих потужностей генеруючих систем КТЕ в якості основного варіюваного параметру за системою рівнянь (1) застосовано коефіцієнти $KBVP_{S_i}^{n,j}$ використання встановленої потужності теплогенеруючого обладнання). Встановлені потужності $P_{S_i}^{n,j}$ теплогенеруючого обладнання технологічних підсистем (для когенераційних установок окремо по тепловому (ht) і електричному (el) навантаженню), коефіцієнти $KEVP_{S_i}^{n,j}$ ефективності використання теплоти первинного палива) та $\bar{W}_{S_i}^{n,j}$ - обсяги доступних ПЕР.

Основні алгоритми розв'язання задач підвищення ефективності управління системами КТЕ, які у роботі розроблені за моделлю на прикладі системи одного з міст обласного підпорядкування в Україні, що складається з трьох підсистем (S_1, S_2, S_3) юридично самостійних місцевих підприємств тепlopостачання. Послідовно знайдено рішення трьох задач управління за представленими нижче сценаріями структурно-параметричної оптимізації системи КТЕ шляхом: (1) максимізації прибутку системи ($Pr_{S_i}^{n,j}$ - прибуток від реалізації теплової та електричної енергії, млн. \$); (2) мінімізації втрат ПЕР у системі ($\Delta W_{S_i}^{n,j}$); (3) мінімізації обсягів викидів CO_2 ($O_{S_i}^{n,j}$):

$$\begin{aligned} \text{ЦФ}_{S_0}^{(1)} &= \sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^I Pr_{S_i}^{n,j} \rightarrow \max; & \text{ЦФ}_{S_0}^{(2)} &= \sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^I \Delta W_{S_i}^{n,j} \rightarrow \min; \\ \text{ЦФ}_{S_0}^{(3)} &= \sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^I O_{S_i}^{n,j} \rightarrow \min. \end{aligned}$$

де зміст індексів цільових функцій ЦФ відповідає наведеному у переліку чинників, які визначають ефективність системи КТЕ, а нумерація цільових функцій – послідовності сценаріїв, які розглядаються. Серед основних типів технологічних підсистем системи КТЕ, призначених для покриття графіка навантаження системи, у роботі розглянуті: вугільні котельні ($i=1$); котельні на природному газі ($i=2$); електричні котельні ($i=3$); когенераційні установки на природному газі ($i=4$) і біодизельному пальному ($i=5$); а також види та обсяги споживаних первинних ПЕР. Результати розрахунків за моделлю втрат ПЕР у підсистемах КТЕ (за рік) за сценаріями максимізації прибутку (рис.1), мінімізації втрат ПЕР (рис.2) і викидів CO_2 (рис.3) та у базовому стані (рис.4) наведено на рисунках.

Як можна бачити з наведених результатів, на прикладі сценарію максимізації прибутку, повністю завантаженими у всіх трьох підсистемах, тобто самими прибутковими серед

встановленого теплогенеруючого устаткування, виявилися вугільні котельні. Когенераційні установки на природному газі були підключені до теплозабезпечення тільки в підсистемі S3 (в підсистемах S1 і S2 вони відсутні).

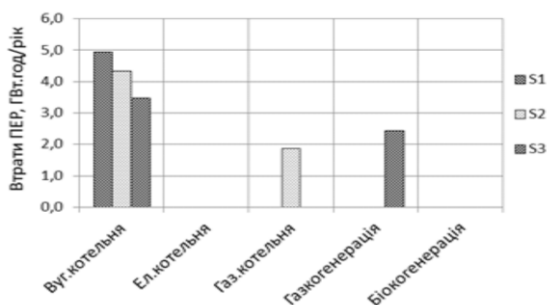


Рисунок 2. Втрати ПЕР у підсистемах КТЕ за сценаріями максимізації прибутку

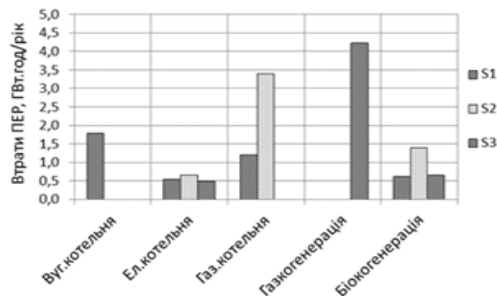


Рисунок 1. Втрати ПЕР у підсистемах КТЕ за сценаріями мінімізації втрат ПЕР

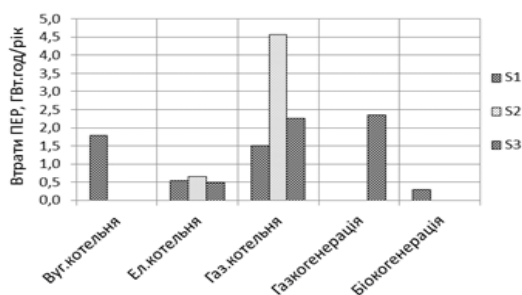


Рисунок 4. Втрати ПЕР у підсистемах КТЕ за сценаріями мінімізації викидів CO₂

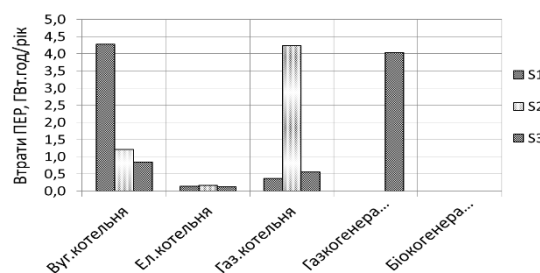


Рисунок 3. Втрати ПЕР у підсистемах КТЕ у базовому стані

Реалізація сценарію управління системою КТЕ на основі результатів структурно-параметричної оптимізації за критерієм максимізації прибутку в умовах існуючої матеріально-технічної бази дозволяє підвищувати економічну ефективність (прибутковість) системи засобами організаційно-технологічного управління, але ж призводить до погіршення енергетичних та екологічних показників її функціонування. Аналогічний ефект виникає при проведенні оптимізаційних розрахунків за сценаріями мінімізації втрат ПЕР та мінімізації викидів CO₂, що підтверджує необхідність пошуку компромісного рішення в задачі підвищення ефективності функціонування систем КТЕ.

У цілому, проведені у роботі дослідження дозволили розробити балансово-оптимізаційну модель та визначити основні складові методу оптимального управління підвищення ефективності функціонування системи КТЕ, а також провести формалізацію рівнянь, які описують поведінку системи, та визначення цільових функцій управління такого роду системами.

Список використаних джерел:

1. Комунальна теплоенергетика України: Стан, проблеми, шляхи модернізації: У 2-х томах / За ред. А.А. Долінського, Б.І. Баска, Є.Т. Базєєва, І.А. Піроженко. – К.: Поліграф-Сервіс, 2007. – Т.1. – 394 с.
2. Ковалко О.М., Новосельцев О.В., Євтухова Т.О. Вступ до теорії енергоефективності багаторівневих систем: методи та моделі енергетичного менеджменту у системі житлово-комунального господарства. – Київ: НАН України, Інститут технічної теплофізики, 2014. – 252 с.
3. Євтухова Т.О. Структурно-функціональні особливості побудови системи управління енергозбереженням у ЖКГ України // Проблеми загальної енергетики. – 2010. – вип.2(22). – С.39-44.
4. Grohnheit P.E., Gram Mortensen B.O. Competition in the Market for Space Heating. District Heating as the Infrastructure for Competition Among Fuels and Technologies // Energy Policy – 2003. – Vol.31, Iss. 9. – P. 817-826.
5. Persson U., Werner S. Heat Distribution and the Future Competitiveness of District Heating // Applied Energy. – 2011. – vol. 88. – P. 568-576.
6. Jebaray S., Sniyan S. A review of Energy Models // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2006. – Vol.10. – P. 281-311.