

УДК 621.311:697.34

МОДЕЛЬ УПРАВЛІННЯ ПІДВИЩЕННЯМ 3-Е ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ КОМУНАЛЬНОЇ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ

Т. О. Євтухова

Інститут загальної енергетики НАН України

вул. Антоновича, 172, м. Київ, 03680, Україна. E-mail: tatyana.eutukhova@yandex.ua

Наведено, що системи комунальної теплоенергетики в Україні характеризуються вкрай низькою ефективністю використання паливно-енергетичних ресурсів, чим створюють загрозу навіть національній безпеці країни. Запропоновано вирішення цієї проблеми шляхом застосування ринкових механізмів координування взаємодії всіх учасників відносин у сфері виробництва, надання і споживання послуг з опалення і гарячого водопостачання. Розроблено багаторівневу (місто, підприємство, споживач) модель управління з ієрархічно упорядкованими технологічними і організаційними підсистемами. Представлено результати проведення багатоваріантних чисельних розрахунків з визначення показників 3-Е ефективності (енергетика-економіка-екологія) функціонування складної системи комунальної теплоенергетики з урахуванням структури її теплогенеруючих підсистем, до кожної з яких входять вугільні котельні, котельні на природному газі, електричні котельні та когенераційні установки на природному газі і біодизельному пальному, які підтверджують ефективність запропонованої моделі.

Ключові слова: теплоенергетична система, енергоефективність, управління, багатокритеріальна оптимізація.

МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЕМ 3-Э ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ КОММУНАЛЬНОЙ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ

Т. А. Евтухова

Институт общей энергетики НАН Украины

ул. Антоновича, 172, г. Киев, 03680, Украина. E-mail: tatyana.eutukhova@yandex.ua

Показано, что системы коммунальной теплоэнергетики в Украине характеризуются крайне низкой эффективностью использования топливно-энергетических ресурсов, что создает угрозу даже национальной безопасности страны. Предложено решение этой проблемы путем применения рыночных механизмов координации взаимодействия всех участников отношений в сфере производства, предоставления и потребления услуг по отоплению и горячему водоснабжению. Разработана многоуровневая (город, предприятие, потребитель) модель управления с иерархически упорядоченными технологическими и организационными подсистемами управления. Представлены результаты проведения многовариантных численных расчетов по определению показателей 3-Э эффективности (энергетика-экономика-экология) функционирования сложной системы коммунальной теплоэнергетики с учетом структуры ее подсистем, в каждую из которых входят угольные котельные, котельные на природном газе, электрические котельные и когенерационные установки на природном газе и биодизельном топливе, подтверждающие эффективность предлагаемой модели.

Ключевые слова: теплоэнергетическая система, энергоэффективность, управление, многокритериальная оптимизация.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Система комунальної теплоенергетики (КТЕ) є однією з визначальних складових паливно-енергетичного комплексу країни, що поєднує в собі підприємства теплопостачання, об'єднані в міські та районні підсистеми, діяльність яких регулюється державними органами. З точки зору теорії та практики, система управління КТЕ є багаторівневою (країна, місто, підприємство, споживач), з ієрархічно упорядкованими технологічними і організаційними підсистемами управління, структура та параметри яких знаходяться в складній взаємодії та динамічно змінюються в умовах ринкових відносин [1–5].

Ситуація з енергозбереженням та ефективністю використання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР), що склалася на сьогодні у системі КТЕ в Україні, на всіх рівнях державного управління призвана проблемно-критичною, такою, що створює загрозу національній безпеці країни і потребує негайного розв'язання, а наявна система управління енергозбереженням та ефективністю, яка саме і призвана розв'язати цю проблему – застарілою і неідеальною в умовах ринкової економіки [1, 2, 6].

Метою роботи є розробка моделі управління енергозбереженням та підвищенням ефективності сис-

тем 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.

Актуальність застосування при побудові такої моделі сучасної концепції 3-Е ефективності, яка охоплює енергетичні, економічні та екологічні складові розв'язання цієї проблеми, також не викликає сумнівів.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Результати огляду різних типів і видів енергетичних моделей, що нараховують 252 посилання на першоджерела, включаючи моделі управління, оптимізації, балансування попиту і пропозиції, прогнозування, планування, застосування традиційних і відновлювальних видів енергії, зменшення викидів забруднюючих речовин тощо, представлені у роботі [7].

Аналіз цих моделей показує, що великі розміри і складність систем КТЕ практично виключають можливість використання для їх аналізу і, особливо управління, аналітичних моделей і потребують застосування інструментів прикладного системного аналізу, які базуються на принципах імітаційного моделювання, за яким математична (як правило,

логіко-математична) модель системи КТЕ реалізується у вигляді програмного комплексу (сукупності програмних модулів підсистем), які дозволяють адекватно відтворювати (імітувати) процеси функціонування системи за багатофакторних умов структурно-параметричних змін і впливів як внутрішніх, так і зовнішніх чинників [2, 8].

Ієрархічна багаторівнева структура моделі системи КТЕ, що розглядається в даній роботі, складається з наступних програмних модулів (підсистем) імітаційного моделювання: модуля урахування погодно-кліматичних умов; модуля управління підвищенням енерготехнологічної, цінової та екологічної ефективності системи КТЕ на місцевому рівні; модуля структурно-параметричної оптимізації систем виробництва теплової енергії і модуля структурно-параметричної оптимізації систем розподілення (транспортування) теплової енергії на рівні підприємств КТЕ; модуля мінімізації витрат і втрат теплової енергії на опалення і гаряче водопостачання житлових і громадських будинків (рівень споживача); модуля техніко-економічної оцінки привабливості залучення інвестицій в проекти з підвищення 3-Е ефективності систем КТЕ.

Задля координування міжрівневої взаємодії означених підсистем моделі (модулів), значення показників ефективності функціонування системи КТЕ на верхньому рівні пропонованої моделі визначаються шляхом розв'язання задачі лінійного програмування та у вигляді управляючих вказівок (параметрів управління) 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. Зрозуміло, що оптимізаційні задачі на нижніх рівнях, як і задача оптимізації системи КТЕ у цілому, не розв'язується з першої спроби і потребує корегування як власних критеріїв оптимальності, так і обмежень для кожної з підсистем, що здійснюється у моделі шляхом ітерацій і поступок.

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, 7] з урахуванням специфіки моделювання теплоенергетичних систем [4, 5, 9] та застосування принципів і методів координування взаємодії у багаторівневих системах [2, 8], що відрізняє її від відомих моделей.

Задля урахування просторово-часових факторів і погодно-кліматичних умов до розгляду введено єдину для всіх модулів і на всіх рівнях моделі незалежну температурно-часову змінну, в якості якої

використано умовну величину – градусо-годину Dh_z^j (Degree-hour), яку на j -му часовому інтервалі z визначатиме як перевищення деякої базової температури $\bar{t}_{баз}^0$ (усередненої на даному інтервалі фактичної або розрахункової середньої температури внутрішнього повітря опалюваної будівлі тощо), °С, над усередненим значенням температури зовнішнього повітря $\bar{t}_{зовн}^0$, °С, за формулою:

$$Dh_z^j = (\bar{t}_{баз}^{0,j} - \bar{t}_{зовн}^{0,j}) \cdot z, \text{ } ^\circ\text{C}\cdot\text{год.}$$

Для оптимізації параметрів інтенсивності використання виробничих потужностей генеруючих систем КТЕ в якості основного варійованого параметру застосовано коефіцієнт $KB_{S_i}^j$ – коефіцієнт використання встановленої потужності (КВВП), який традиційно визначається відношенням середньоарифметичного значення фактичної потужності устаткування за певний інтервал часу до встановленої потужності цього устаткування, або ж, що в нашому випадку є ідентичним, відношенням фактично виробленої цим устаткуванням енергії за певний період часу експлуатації до теоретично досяжного її значення при роботі устаткування на номінальній потужності, де $i = \overline{1, I}$ перелічує задіяні види енергетичного устаткування. Серед основних типів підсистем S_i (наприклад, підприємств тепlopостачання) системи КТЕ, призначених для покриття графіка навантаження системи, будемо розрізняти, але ж не обмежуватися вугільними котельнями ($i = 1$), котельнями на природному газі ($i = 2$), електричними котельнями ($i = 3$) та когенераційними установками на природному газі ($i = 4$) і біодизельному пальному ($i = 5$).

Перелік незалежно варійованих параметрів не обмежується КВВП. Так, до складу варійованих параметрів моделі, які описують її економічний блок, входять ціни і тарифи на види ПЕР та обладнання і матеріали, які купуються на стороні, ціни і тарифи на товари і послуги, які виробляються і надаються споживачу, ставки основних податків, та ставки податків на викиди забруднюючих речовин, банківські ставки на кредити тощо. В якості залежних змінних імітаційної моделі розглядаються теплові потужності окремих видів устаткування системи КТЕ або ж її підсистем та параметри 3-Е ефективності їх функціонування.

Структурно, модель складається з трьох основних модулів: центрального (технологічного) модуля, який включає блоки варійованих параметрів та розрахунку коефіцієнтів ефективності; енергетичного модуля, призначеного для проведення розрахунків енергетичних параметрів; та економіко-екологічного модуля – для розрахунків економічних і екологічних параметрів (прибутку та рентабельності тощо).

Нехай система КТЕ S_0 на рівні країни (регіону, міста тощо) визначається сукупністю $n = \overline{1, N}$ взаємодіючих чи окремо функціонуючих підсистем $S_0 = \{S_0^1(S_i^1), S_0^2(S_i^2), \dots, S_0^N(S_i^N)\}$, кожна з яких у

свою чергу складається з $i = \overline{1, I}$ підсистем нижнього рівня, наприклад, юридично самостійних місцевих підприємств теплопостачання. Серед головних чинників (факторів), що визначають 3-Е ефективність функціонування системи КТЕ, у моделі враховуються наступні:

1. Базова (b) потужність встановленого теплогенеруючого обладнання $P_{S_i}^{b,j}$ кожної з підсистем S_i у цілому достатня для раціонального покриття фактичного (f) навантаження системи КТЕ на кожному j -му часовому інтервалі тривалістю T^j , $P_{S_i}^{b,j} > P_{S_i}^{f,j}$

(для когенераційних установок окремо по тепловому (H) і електричному (E) навантаженню), МВт.

2. Обмеження на коефіцієнт фактичного використання встановленої потужності $KB_{S_i}^j$ теплогенеруючого обладнання на інтервалі часу j для кожного типу підсистем S_i , який розглядається, що дозволяє враховувати як обов'язкові (нижні), так і фактично допустимі (верхні) границі використання обладнання системи КТЕ, $KB_{S_i}^{h,j} \leq KB_{S_i}^j \leq KB_{S_i}^{a,j}$.

3. Енергетична ефективність $\eta_{S_i}^j$ функціонування теплогенеруючого обладнання та розподільних мереж i -х підсистем на інтервалі часу j , яку визначатиме коефіцієнтом ефективності використання теплоти палива (КЕВП), що вираховується відношенням корисно використаної у системі теплоти до нижчої теплоти згорання первинного палива; розрізнятиме теплоенергетичну $\eta_{S_i}^{H,j}$ ефективність функціонування підсистем та електроенергетичну $\eta_{S_i}^{E,j}$.

4. Обмеження $R_{S_i^k}^{b,j} \geq R_{S_i^k}^{f,j}$ на обсяги $R_{S_i^k}^{b,j}$ доступних на j -му часовому інтервалі k -х видів ПЕР: вугілля ($k=1$), електричної енергії ($k=2$), природного газу ($k=3$), відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) тощо ($k=4$), де $R_{S_i^k}^{f,j}$ – обсяги фактично використаних на j -му часовому інтервалі k -х видів ПЕР, $k = \overline{1, K}$, ГВт·год.

5. Умова $W_{S_i^h}^{b,j} \geq W_{S_i^h}^{f,j}$ забезпечення потреб споживача на j -му часовому інтервалі фактично виробленими та наданими видами товарів і послуг, де $W_{S_i^h}^{b,j}$, $W_{S_i^h}^{f,j}$ – обсяги потреб і фактично вироблених та наданих видів товарів і послуг, ГВт·год., індекс h перелічує вироблені та надані види товарів і послуг, $h = \overline{1, H}$.

6. Ціни і тарифи $pr_{S_i^k}^j$ на фактично використані підсистемою S_i на j -му часовому інтервалі k -ті види ПЕР, доларів США/МВт·год. (\$/МВт·год.).

7. Ціни і тарифи $pr_{S_i^h}^j$ на товари і послуги, які виробляються і надаються споживачу підсистемою S_i на j -му часовому інтервалі, \$/МВт·год.

8. Ставки основних податків та податків на викиди забруднювальних речовин і парникових газів тощо $tx_{S_i^q}^j$, де індекс q_i перелічує типи і види податків, $q = \overline{1, Q}$, \$/т.

Основні етапи (алгоритм) розв'язання задач підвищення 3-Е ефективності управління системами КТЕ за запропонованою моделлю покажемо на прикладі системи одного з міст обласного підпорядкування в Україні, що складається з трьох підсистем (S1, S2, S3) юридично самостійних місцевих підприємств теплопостачання. Спочатку послідовно знайдемо рішення трьох задач управління за представленими нижче сценаріями структурно-параметричної оптимізації системи КТЕ шляхом: (1) максимізації прибутку системи (Pr); (2) мінімізації втрат ПЕР у системі (ΔW); (3) мінімізації обсягів викидів CO₂ (O):

$$ЦФ_{КТЕ}^{(1)} = \sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^I \sum_{h=1}^H Pr_{S_i^h}^{f,j} \rightarrow \max;$$

$$ЦФ_{КТЕ}^{(2)} = \sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^I \sum_{h=1}^H \Delta W_{S_i^h}^{f,j} \rightarrow \min;$$

$$ЦФ_{КТЕ}^{(3)} = \sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^I \sum_{h=1}^H O_{S_i^h}^{f,j} \rightarrow \min,$$

де зміст індексів цільових функцій $ЦФ$ відповідає наведеним у переліку чинників, які визначають 3-Е ефективність системи КТЕ, а нумерація цільових функцій – послідовності сценаріїв, які розглядаються.

Результати структурно-параметричної оптимізації системи КТЕ за сценарієм максимізації прибутку наведені на рис. 1–4. Так, на рис. 1 представлені розраховані за моделлю обсяги наданої споживачам теплової енергії кожною з підсистем з розбивкою за типами генеруючого устаткування: вугільні котельні, електричні котельні, котельні на природному газі та когенераційні установки на природному газі і біодизельному пальному. Оптимізаційні розрахунки проведені для п'яти коефіцієнтів навантаження системи (КНС): 0,2 (210 діб), 0,4 (60 діб), 0,6 (55 діб), 0,8 (20 діб) і 1,0 (5 діб), визначених за допомогою графіка навантаження системи КТЕ за тривалістю.

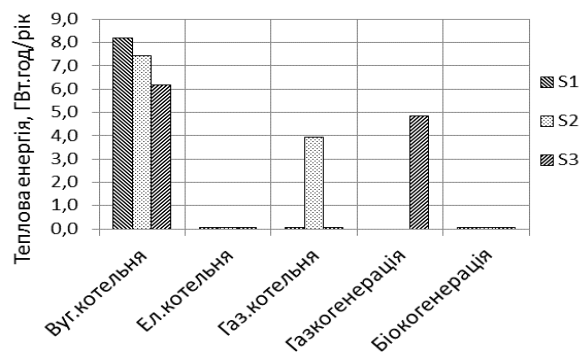


Рисунок 1 – Обсяги теплової енергії наданої споживачам за рік

Як можна бачити з наведених результатів, 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).

При цьому, когенераційними установками, окрім теплової, були згенеровані 2,4 ГВт·год. електричної енергії за рік. Котельні на природному газі виявилися завантаженими частково і тільки у підсистемі S2, де є нестача потужності вугільних котельень для покриття навантаження цієї підсистеми.

На жаль, за означених вище техніко-економічних умов наявні у всіх трьох підсистемах системи КТЕ когенераційні установки на біодизельному пальному та електричні котельні виявилися не конкурентоздатними за ціновим фактором і залишилися не підключеними до теплозабезпечення.

Розраховані за сценарієм максимізації прибутку системи величини втрат за рік ПЕР у підсистемах КТЕ представлені на рис. 2. Їх порівняння з втратами ПЕР у базовому стані системи КТЕ свідчить, що щорічні втрати у підсистемі S1 збільшуються на 1,0 %, у підсистемі S2 – на 3,8 %, а у підсистемі S3 – на 2,4 %.

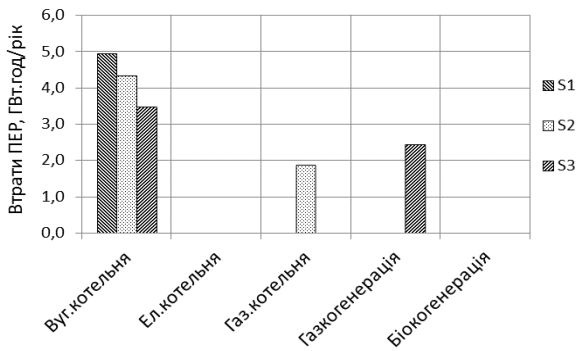


Рисунок 2 – Втрати ПЕР у підсистемах КТЕ за рік

Це вказує на той факт, що намагання отримати максимальний прибуток не завжди приводить до підвищення ефективності використання ПЕР, а як правило навпаки – до зниження енергетичної ефективності системи. Що стосується розрахованих обсягів викидів CO₂, то за сценарієм максимізації прибутку системи у підсистемах вони також зростають по відношенню до базового сценарію.

На рис. 3 наведені економічні результати функціонування розглянутої системи КТЕ за сценарієм максимізації прибутку системи. При цьому, прибуток підсистеми S1 складає практично 156 тис.\$/рік, підсистеми S2 – 72 тис.\$/рік, а підсистеми S3 – 127 тис.\$/рік. Тобто система КТЕ, що розглядається, із збиткової (збиток у базовому режимі функціонування складав – 58 тис.\$/рік) за сценарієм максимізації прибутку системи стає прибутковою (прибуток 355 тис.\$/рік). Це означає, що за даним сценарієм управління частину досягнутої економії система КТЕ в змозі вкладати у реалізацію інвестиційних проектів з підвищення енергоефективності і енергозбереження, тим самим забезпечуючи сталий розвиток підприємств КТЕ.

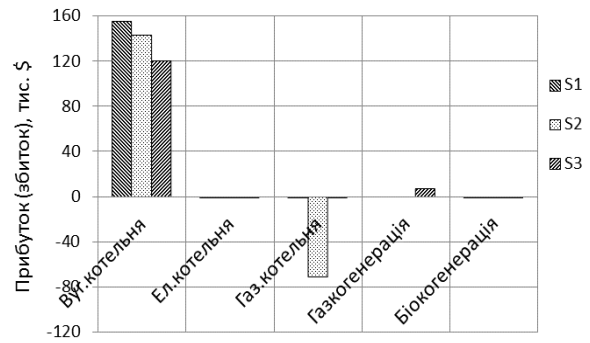


Рисунок 3 – Прибутки (збитки) від діяльності з виробництва та надання послуг з опалення та гарячого водопостачання у системі КТЕ

Результати розрахунків величин питомого прибутку (ПР) на одиницю наданої теплової енергії для кожної з підсистем наведені на рис. 4 (права вертикальна вісь координат) в залежності від зміни коефіцієнтів навантаження системи (КНС). Ці залежності носять нелінійний характер, який визначається змінами ефективності використання теплоти палива при змінах структури теплогенеруючих потужностей підсистем, які у свою чергу залежатимуть від ступеня навантаження системи, виду палива і типу задіяного обладнання.

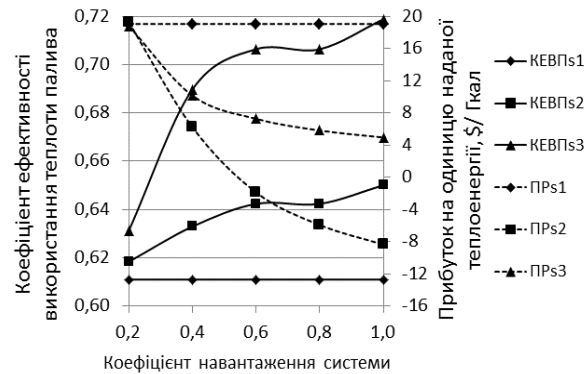


Рисунок 4 – Залежності КЕВП та отриманого прибутку підсистемами КТЕ від зміни навантаження системи

За допомогою лівої вертикальної вісі координат на рис. 4 відображені результати розрахунків досягнутих кожною з підсистем за сценарієм максимізації прибутку системи КТЕ коефіцієнтів ефективності використання теплоти палива (КЕВП) в залежності від зміни КНС.

Подальше проведення багатоваріантного аналізу структурно-параметричних змін системи КТЕ за сценаріями мінімізації втрат ПЕР і мінімізації викидів CO₂ та їх порівняльний аналіз зі сценарієм максимізації прибутку показує, що в перших двох випадках функціонування системи КТЕ стає збитковим, хоча втрати ПЕР і викиди забруднювальних речовин суттєво знижуються. Це свідчить про необхідність залучення процедур пошуку компромісного рішення в задачі сталого підвищення 3-Е ефективності функціонування системи КТЕ.

На рис. 5 представлені результати системного аналізу показників 3-Е ефективності в координатах, що вимірюють економічну ефективність (ліва вісь ординат), екологічну ефективність (права вісь ординат) та енергетичну ефективність (спільна вісь

абсцис), де означено: БАЗ – базовий сценарій; OptPP – сценарій за максимізацією прибутку системи; OptBT – сценарій за мінімізацією втрат ПЕР в системі; OptBK – сценарій за мінімізацією викидів CO₂ у системі КТЕ.

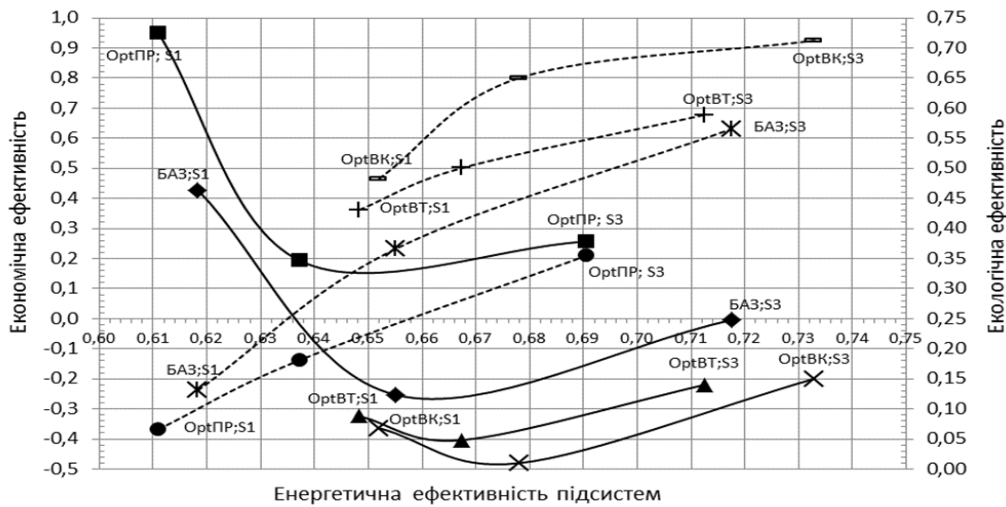


Рисунок 5 – Результати системного аналізу сценаріїв функціонування підсистем системи КТЕ в координатах показників 3-Е ефективності

В якості показника енергетичної ефективності у моделі використовується коефіцієнт ефективності використання теплоти палива, в якості показника економічної ефективності – рентабельність, а показника екологічної ефективності – нормалізоване значення обсягів викидів CO₂.

Зрозуміло, що економічна ефективність функціонування підсистем і системи КТЕ у цілому, як це можна бачити на рис. 5, досягає свого максимально можливого значення за сценарієм максимізації прибутку системи, далі йдуть базовий сценарій; сценарій мінімізації втрат ПЕР в системі та сценарій мінімізації викидів CO₂. За екологічною ефективністю картина на рис. 5 змінюється на протилежну. Енергетична ефективність за сценаріями покращується з такою ж закономірністю.

ВИСНОВКИ. 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 3-Е ефективності функціонування систем КТЕ.

У цілому, за умов суперечливого характеру локальних показників 3-Е ефективності домінуючою має стати стратегія управління складною системою КТЕ, за якою функціонування системи є гарантовано прибутковим, бо вирішувати задачу підвищення 3-Е ефективності системи за напрямками погіршення

її економічного стану не має ніякого сенсу. Розв'язання цієї задачі доцільно здійснювати методом послідовних поступок, на кожній з яких враховувати зміни не тільки параметрів, але й структури системи.

ЛІТЕРАТУРА

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., GramMortensen 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. – PP. 817–826.
5. Persson U., Werner S. Heat Distribution and the Future Competitiveness of District Heating // Applied Energy. – 2011. – Vol. 88. – PP. 568–576.
6. Стратегія енергозбереження в Україні: Аналітично-довідкові матеріали в 2-х томах: Механізми реалізації політики енергозбереження / За ред. В.А. Жовтянського, М.М. Кулика, Б.С. Стогнія. – Київ: Академперіодика, 2006. – Т. 1. – 510 с.

7. Jebaray S., Sniyan S. A review of Energy Models // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2006. – Vol. 10. – PP. 281–311.

8. Дуэль М.А., Приходько А.В. Декомпозиция иерархических многоуровневых систем управления сложными энергообъектами // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. – 2011. – № 6 /3 (54). – С. 49–55.

9. Оперативний контроль температурних режимів і керування тепловими пунктами будівель навчального закладу // А.Л. Перекрест, В.В. Найда, С.С. Романенко, Е.Н. Книжник, А.А. Поронік // *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. – 2013. – Вип. 3/2013(80). – С. 35–43.

MODEL OF IMPROVING THE 3-E EFFICIENCY OF COMMUNAL HEATING ENERGY SYSTEMS

T. Yevtukhova

Institute of General Energy NAS of Ukraine

vul. Antonovicha, 172, Kyiv, 03680, Ukraine. E-mail: tatyana.eutukhova@yandex.ua

Purpose. Communal heating energy (CHE) systems in Ukraine are characterized by an extremely low efficiency of energy resources use that threatening even the country's national energy security. It is proposed to solve this problem through using the market mechanisms of coordination the interaction between all relative participants in the sphere of production, delivery and consumption of heating and hot water supply services. **Methodology.** We have applied the imitation modeling for multi-level hierarchically structured system in the form of energy-balance mathematical equations. **Results.** A multi-level (city, enterprises, and consumers) model of organizational management and technological control with hierarchical ordering of subsystems is developed. Multivariate numerical calculations of 3-E efficiency indicators (energy-economy-ecology) are conducted for a complex CHE system, the structure of which consists of coal-fired boilers, natural gas boilers, electric boilers and cogeneration units on natural gas and biodiesel. The main stages of algorithm for solving the problems of the CHE system 3-E efficiency improving are illustrated by the simulation of the structural-and-parametric three-criteria optimization scenarios for maximizing system profit, minimizing the loss of energy resources in the system, and minimizing CO₂ emissions. **Originality.** For the first time, we have carried out the integrated research of the CHE system based on the principles and methods of the interactions coordination in multi-level system under multi-criteria optimization. **Practical value.** The results of calculations confirm the effectiveness of the proposed model to solve practical tasks of CHE operation improvement. References 9, figures 5.

Key words: heating energy system, energy efficiency, energy management, multi-criteria optimization.

REFERENCES

1. Dolinskyi, A.A., Basok, B.I., Bazyeyev, E.T. and Pirozhenko, I.A. (2007), *Komunalna teploenerhetyka Ukrainy: Stan, problemy, shlyakhy modernizatsiyi v 2-kh tomakh* [Communal Heating Energy System of Ukraine: State, Problems and Ways to Modernize in two volumes], Polygraph Service, Kyiv, Ukraine.

2. Kovalko, O.M., Novoseltsev, O.V. and Yevtukhova, T.O. (2014), *Vstup do teorii enerhoefektyvnosti bahatorivnykh system: metody ta modeli enerhetychnoho menedzhmentu i systemi zhytlovo-komunalnoho hospodarstva* [Introduction to the Theory of Energy Efficiency of Multi-Level Systems: Methods and Models of Energy Management in Housing-and-Communal Sector of Economy], NAN Ukrainy, Instytut Tekhnichnoyi Teplofizyky, Kyiv, Ukraine.

3. Yevtukhova, T.O. (2010), "Structural-and-Functional Features of the Management-and-Control System Building in Housing-and-Communal Sector of Ukraine", *Problemy zahalnoyi enerhetyky*, vol. 2 (22), pp. 39–44.

4. Grohnheit, P.E. and Gram Mortensen, B.O. (2003), "Competition in the Market for Space Heating. District Heating as the Infrastructure for Competition Among Fuels and Technologies", *Energy Policy*, vol. 31, iss. 9, pp. 817–826.

5. Persson, U. and Werner, S. (2011), "Heat Distribution and the Future Competitiveness of District Heating", *Applied Energy*, vol. 88, pp. 568–576.

6. Zhovtyanskyi, V. A., Kulyk, M.M. and Stohniy, B.S. (2006), *Stratehiya enerhozberezhennya v Ukraini: Analitichno-dovidkovi materialy v 2-kh tomakh: Mekhanizmy realizatsiyi polityky enerhozberezhennya* [Energy Conservation Strategy in Ukraine: Analytical and Reference Materials in two volumes: Mechanisms for Implementation of Energy Saving Policy], vol.1, Akadempriodyka, Kyiv, Ukraine.

7. Jebaray, S. and Sniyan, S. (2006), "A review of Energy Models", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol.10, pp. 281–311.

8. Duel, M.A. and Prikhodko, A.V. (2011), "Decomposition of Multilevel Hierarchical Control Systems of Complex Energy Facilities", *Vostochno-Yevropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy*, no. 6/3 (54), pp. 49–55.

9. Perekrest, A.L, Nayda, V.V, Romanenko, S.S., Knizhnik, Y.N. and Poronik, A.A. (2013), "Temperature and Thermal Modes Operational Control of University Buildings", *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*, vol. 3, iss. 80, pp. 35–43.

Стаття надійшла 01.11.2015.