

## ВИБІР СТРУКТУРИ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

Ю. В. Хацкевич, к.т.н., доц.

«Національний гірничий університет, м. Дніпропетровськ  
просп. К. Маркса, 19, 49050, м. Дніпропетровськ, Україна  
E-mail: yuliakhatskevych@gmail.com

Запропоновано вирішення задачі вибору структури системи енергопостачання з метою зменшення витрат паливно-енергетичних ресурсів на основі еволюційного пошуку. Складено правило вибору найкращих рішень для реалізації алгоритму пошуку. Сформульовано функції генерації рішень у процесі еволюційного пошуку. Показано результати застосування запропонованого підходу.

**Ключові слова:** структура системи теплопостачання, нелінійна оптимізація, еволюційний пошук, енергоефективність.

**Вступ.** З метою підвищення енергоефективності та надійності енергопостачання відбувається ускладнення систем, що його забезпечують. Підприємства та житлові будівлі все частіше переходять на власне, автономне енергопостачання. Розповсюджується практика застосування декількох типів джерел енергії. Сучасні ефективні джерела тепла, що використовують відновлювану енергію, такі, як теплові насоси, геліосистеми, доцільніше використовувати у складних системах, що містять основні, резервні, пікові джерела теплової енергії, тобто системи теплопостачання окремих будівель або підприємств стають все більш складними [1]. Тому при будівництві або реконструкції систем теплопостачання постає питання вибору її структури, вибору типів і потужностей джерел енергії, що доцільно застосовувати в даній системі. Правильний вибір має забезпечити зменшення експлуатаційних витрат і використання паливно-енергетичних ресурсів.

**Аналіз попередніх досліджень.** Проблема полягає у тому, що для кожного об'єкту має бути власне техніко-економічне обґрунтування вибору типів джерел енергії та їх потужностей у складі загальної системи теплопостачання. Вибір рішення у кожному конкретному випадку залежить від технічних характеристик об'єкту, капітальних та експлуатаційних витрат, наявності та доцільності використання природних ресурсів. На основі цієї інформації необхідно співставити велику кількість варіантів, щоб вибрати комплектацію, що є найкращою саме для даного об'єкту. Також відомо, що вартість генеруючого обладнання нелінійно збільшується при зрості номінальної потужності. З урахуванням цих факторів задача вибору комплектації системи теплопостачання стає досить складною задачею нелінійної оптимізації. Сучасні розробки у цьому напрямку ведуться, але зазвичай у якості об'єкту енергопостачання в них розглядається місто, мікрорайон [2]. При виборі рішення щодо теплопостачання окремого підприємства або будівлі такі алгоритми застосовувати недоцільно.

**Мета роботи.** Показати алгоритм вирішення задачі вибору структури джерел енергії системи теплопостачання для мінімізації паливно-енергетичних витрат підприємства або окремої будівлі.

**Матеріал і результати дослідження.** Пропонується наступна постановка задачі вибору системи

енергопостачання. Для заданого об'єкту відомі потреби у тепловій  $Q_T$  енергії. Згідно з технологічними можливостями та наявністю ресурсів обираються типи джерел енергії, що можуть бути застосовані на даному об'єкті. Кількість систем, що можливо застосувати, позначимо  $n$ .

Для кожного типу джерела теплопостачання заданий дискретний ряд потужностей обладнання виду  $q_{1j}, q_{2j}, \dots, q_{mj}$ , де  $m(j)$  – кількість типорозмірів обладнання для системи теплопостачання номеру  $j$  ( $j=1, \dots, n$ ). Для цього набору обладнання відоме:

– значення капітальних витрат на впровадження  $K_{1j}, K_{2j}, \dots, K_{mj}$ ;

– значення витрат паливно-енергетичні ресурси для роботи обладнання  $\Pi_{1j}, \Pi_{2j}, \dots, \Pi_{mj}$ ;

– значення експлуатаційних витрат  $E_{1j}, E_{2j}, \dots, E_{mj}$ .

Необхідно визначити потужності кожного типу джерела енергії, що буде використовуватися в даному об'єкті. Пропонується їх подати у вигляді:

$$\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_s, \dots, \delta_n; \quad (1)$$

$$x_i \in \{q_{1j}, q_{2j}, \dots, q_{mj}\}. \quad (2)$$

Шукані значення мають вдовольняти обмеженню відповідно для системи теплопостачання:

$$\sum_{i=1}^n x_i = Q_T. \quad (3)$$

Для створення енергоощадної системи необхідно забезпечити мінімум паливно-енергетичних витрат при її експлуатації:

$$\Pi = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \Pi_{ij} \rightarrow \min. \quad (4)$$

Найчастіше більш доцільним для власника є мінімізація всіх експлуатаційних витрат, а не тільки витрат палива та ресурсів:

$$E = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m E_{ij} \rightarrow \min. \quad (5)$$

При цьому необхідно враховувати обмеження, що зазвичай існує для капітальних витрат на створення системи теплопостачання:

$$K = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m K_{ij} \leq K_{np}, \quad (6)$$

де  $K_{np}$  – найбільше припустиме значення капітальних витрат.

Для вирішення поставленої задачі пропонується використати метод випадкового пошуку, а саме – еволюційний. Цей метод є зручним для розв'язання задач нелінійної оптимізації. У даному випадку пошук необхідно вести у просторі можливих потужностей елементів системи тепlopостачання (2). Розв'язання задачі зводиться до знаходження мінімуму (4) або (5) з урахуванням обмежень (3) і (6).

Пропонується еволюційний алгоритм пошуку у вигляді [3, 4]:

$$X_{sk} = S(G(X_{sk-1})); \quad (7)$$

$$s = 1, \dots, N_b, \quad k = 1, 2, \dots \quad (8)$$

де  $X_{sk}$  – множина найкращих рішень, що були відібрані на  $k$ -му кроці  $s$ -ої гілки ітераційного процесу пошуку;  $S(\cdot)$  – функція вибору рішень;  $G(\cdot)$  – функція генерації рішень;  $s$  – порядковий номер гілки еволюційного пошуку;  $k$  – порядковий номер шагу ітераційного процесу пошуку;  $N_b$  – загальна кількість гілок еволюції.

Пропонується генерувати шукані елементи як неперервні величини, отримані значення округляти до найближчого із стандартного ряду потужностей (2). Функцію генерації можна навести у вигляді:

$$x^i_j = x^i_r (1 + \xi_i), \quad (9)$$

де  $r$  – випадковий номер, що вибирається з рівною ймовірністю з множини найкращих рішень  $r \in \{1, 2, \dots, N_n\}$ ;  $\xi_i$  – випадкова величина, що має нормальний розподіл із нульовим математичним очікуванням і дисперсією  $\sigma_i^2$ . Значення дисперсії визначається наступним за значеннями найкращих рішень, що були відібрані на попередньому кроці ітераційного процесу пошуку, і за їхніми відхиленнями від середнього:

$$\sigma_i^2 = \frac{1}{N_g N_n - 1} \sum_{j=1}^{N_g} \sum_{i=1}^{N_n} (x^i_{lj} - x^i_0)^2, \quad (9)$$

де  $x^i_0$  – середні значення змінних серед усіх відібраних на даному кроці  $R_S$  – кращих для всіх гілок еволюційного пошуку:

$$x^i_0 = \frac{1}{N_g N_n} \sum_{j=1}^{N_g} \sum_{i=1}^{N_n} (x^i_{lj})^2, \quad (10)$$

Після отримання випадкових значень за допомогою виразів (8)–(10) вони округляються до найближчого значення зі стандартного ряду потужностей (2) для  $i$ -того типу обладнання

$$x^i_j = q^i_j, \quad \text{для якого } \Delta = |x^i_j - q^i_j| = \Delta_{\min}. \quad (11)$$

Еволюційний пошук ведеться за декількома гілками, найкращі рішення в яких взаємно впливають одне на інше через використання показників  $x^i_0$  і  $\sigma_i^2$ . Такий принцип застосовується для підвищення схожості алгоритму пошуку до єдиного значення найкращого рішення, відібраного в усіх гілках.

Для вирішення задачі сформульовано правило вибору найкращих рішень у вигляді:

$$X_1 R_S X_2 = \left[ K(X_1) \leq K_{np} \cap K(X_2) > K_{np} \right] \cup \left[ K(X_1) \leq K_{np} \cap K(X_2) \leq K_{np} \right] \cup \left[ K(X_1) \leq K_{np} \cap K(X_2) \leq K_{np} \cap \Pi(X_1) = \Pi(X_2) \cap E(X_1) < E(X_2) \right]. \quad (12)$$

Вибір реалізується наступним чином. Кращим із двох рішень є те, для якого капітальні витрати не перевищують найбільшого припустимого значення. При виконанні цієї вимоги для обох рішень кращим визнається те, для якого менші витрати палива та енергії при експлуатації системи енергопостачання. При рівності витрат палива співставлення варіантів виконується за величиною експлуатаційних витрат. Виконання вимоги (2) контролюється на етапі генерації рішень, і при відборі згідно з правилом (7) беруть участь тільки ті рішення, для яких виконується обмеження (2).

Якщо ставиться задача обрати систему, що забезпечить мінімум витрат при експлуатації без урахування, скільки при цьому буде витрачатися палива, бінарне відношення вибору прийме вид:





$$X_1 R_S X_2 = \left[ K(X_1) \leq K_{np} \cap K(X_2) > K_{np} \right] \cup \left[ K(X_1) \leq K_{np} \cap K(X_2) \leq K_{np} \cap E(X_1) < E(X_2) \right] \quad (13)$$

Було розроблено програмне забезпечення для вказаного алгоритму пошуку. За допомогою цього програмного забезпечення було вибрано рішення щодо модернізації системи тепlopостачання одного з промислових підприємств міста Дніпропетровськ. Підприємство складається з промислових цехів та адміністративних приміщень. Опалювальна площа складає 12653 тис. м<sup>2</sup>, розрахункове загальне навантаження для системи опалення 20,5 і 6,2 МВт для підігріву повітря в системі вентиляції. Існуюча система опалення – централізована від газової котельні заводу. Щорічна витрата природного газу на тепlopостачання складала 4,4 млн. м<sup>3</sup>.

Вибір здійснювався серед наступних варіантів, що було визнано технічно доцільними для даного підприємства.

1. Централізована система опалення від газової котельні.
2. Децентралізована система опалення від мінікотельні на газовому паливі.
3. Децентралізована система опалення від мінікотельні на рідкому паливі (мазуті, дизельному паливі).
4. Децентралізована система опалення від мінікотельні, що використовують електричну енергію.
5. Децентралізована система низькотемпературних інфрачервоних випромінювачів на газовому паливі.
6. Децентралізована система високотемпературних інфрачервоних випромінювачів, що використовують електричну енергію.
7. Система опалення, що використовує вторинні енергетичні ресурси підприємства.

У результаті застосування запропонованого підходу було отримане наступне технічне рішення (рис. 1).

-  Децентралізоване теплопостачання від інфрачервоних газових нагрівачів
-  Теплопостачання за рахунок використання ВТЕР
-  Децентралізоване теплопостачання від міні-котельні на газовому паливі
-  Централізоване теплопостачання від існуючої котельні заводу

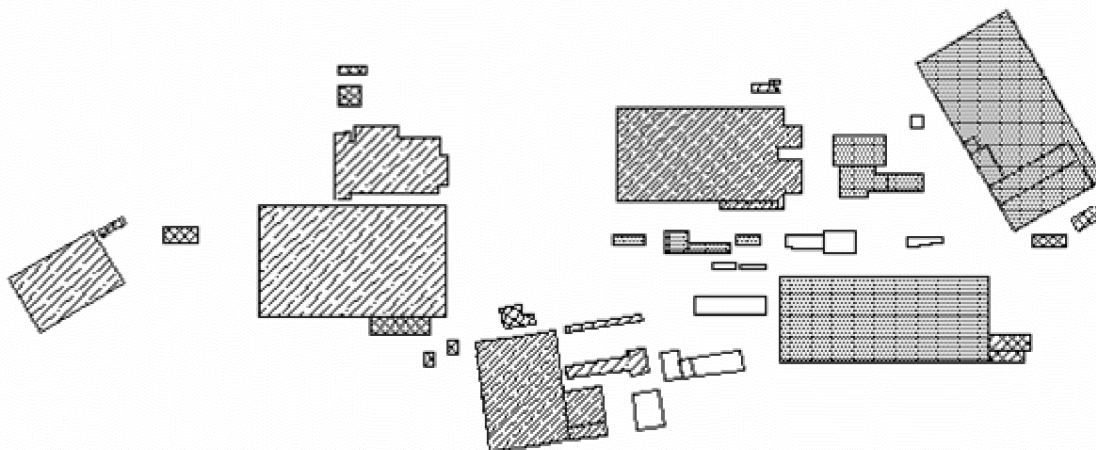


Рисунок 1 – План промислового підприємства із позначенням типів обраних систем теплопостачання

Запропоноване рішення забезпечило зменшення витрат паливно-енергетичних ресурсів на 3,4 млн. м<sup>3</sup>. Строк окупності проекту становить 1,4 року.

**Висновки.** Сформульовано задачу вибору структури енергоощадної системи теплопостачання. Запропоновано алгоритм її вирішення на основі еволюційного пошуку. Сформульовано функції генерації рішень для поставленої задачі та правила вибору найкращих рішень пошуку. Показано результати застосування запропонованого підходу. Найбільш складною частиною такого методу є підготовка технологічно можливих варіантів реалізації системи енергопостачання з розрахунком відповідних експлуатаційних і капітальних витрат. Необхідно продовжувати дослідження з метою зменшення обсягів попередньої інформації і узагальнення підходів до її розрахунків.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Праховник А.В. Малая энергетика: распределенная генерация в системах энергоснабжения. – Київ: Освіта України, 2007. – 464 с.

2. European SmartGrids Technology Platform / European Commission. Directorate-General for Research Sustainable Energy System, EUR 22040, 2006. – 44 p.

3. Иродов В.Ф., Хацкевич Ю.В. Развитие методов эволюционного поиска и его применение для задач идентификации // Интеллектуальные системы принятия решений и проблемы вычислительного интеллекта: материалы международной научной конференции. Том 1. – Херсон: ХНТУ, 2010. – С. 332–335.

4. Иродов В.Ф., Хацкевич Ю.В. К вопросу развития одной схемы поиска наиболее предпочтительных решений // Системный анализ та інформаційні технології: матеріали 12-ї Міжнародної науково-технічної конференції SAIT 2010, Київ, 25–29 травня 2010 р. / ННК “ПСА” НТУУ “КПІ”. – К.: ННК “ПСА” НТУУ “КПІ”, 2010. – С. 250.

Стаття надійшла 12.05.11.

Рекомендовано до друку д.т.н., проф.  
Сінчуком О.М.

## ВИБОР СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

*Ю. В. Хацкевич, к.т.н., доц.*

*Национальный горный университет, г. Днепропетровск*

*просп. К. Маркса, 19, 49050, г. Днепропетровск, Украина*

*E-mail: yuliakhatskevych@gmail.com*

Предложено решение задачи выбора структуры системы теплоснабжения с целью уменьшения расхода топливно-энергетических ресурсов на основе алгоритма эволюционного поиска. Составлено правило выбора наиболее предпочтительных решений для реализации алгоритма поиска. Сформулированы функции генерации решений в процессе эволюционного поиска. Показаны результаты применения предложенного подхода.

**Ключевые слова:** структура системы теплоснабжения, нелинейная оптимизация, эволюционный поиск, энергоэффективность.

## CHOICE OF HEAT SUPPLY SYSTEM STRUCTURE

*Yu. Khatskevych, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Prof.*

*“National Mining University Dnepropetrovsk,*

*prosp. K. Marks, 19, 49050, Dnepropetrovsk, Ukraine*

*E-mail: yuliakhatskevych@gmail.com*

The solution for problem of heat supply system structure choice to reduce consumption of fuel-energy resources based on evolutionary algorithm is proposed. It is build choice rules for this algorithm realization. Function for solutions generation in the process of evolutionary search is formulated. It is shown the results of proposed approach.

**Key words:** heat supply system structure, nonlinear optimization, evolutionary search, energy efficiency.