

ОПТИМІЗАЦІЯ МЕТОДОМ ТЕОРЕТИКО-ГРАФОВИХ ПОБУДОВ КОГЕНЕРАЦІЙНИХ ГЕОТЕРМАЛЬНИХ СИСТЕМ

Б. Х. Драганов, доктор технічних наук

А. О. Бурдін, студент магістратури

e-mail: nni.elektrik@gmail.com

Анотація. *Наведена принципова схема теплопостачання при використанні геотермальних вод. Викладено основи когенераційної геотермальної системи. Виконано аналіз методу оптимізації енергетичних систем на основі теоретико-графових побудов.*

Ключові слова: *когенерація, геотермальне джерело, тепловий насос, критерій ефективності, енергія орієнтованих граф, матриця, алгоритм*

Газова складова геотермального флюїда після сепарації і системи очищення поділяється на два потоки: один потік прямує до газопоршневого двигуна, другий – до газового водогрійного котла.

Мережева вода спочатку підігрівається в газовому водогрійному котлі, потім у системі охолодження двигуна і теплообміннику-утилізаторі та прямує або в систему гарячого водопостачання, або до споживача тепла.

Геотермальна вода після сепарації розділяється на два потоки: один іде в систему гарячого водопостачання, а другий в систему опалення. Вода другого потоку, пройшовши теплообмінник гарячого водопостачання, прямує в збірний колектор. Вода другого потоку, пройшовши теплообмінник системи опалення, частково прямує на тепловий насос, а решта вода прямує в збірний колектор. Вода після теплового насоса також прямує в збірний колектор.

Мета досліджень – розробити метод оптимізації когенераційної геотермальної системи на основі графових побудов.

Матеріали та методика досліджень. Схема аналізованої когенераційної установки наведена на рис. 1.

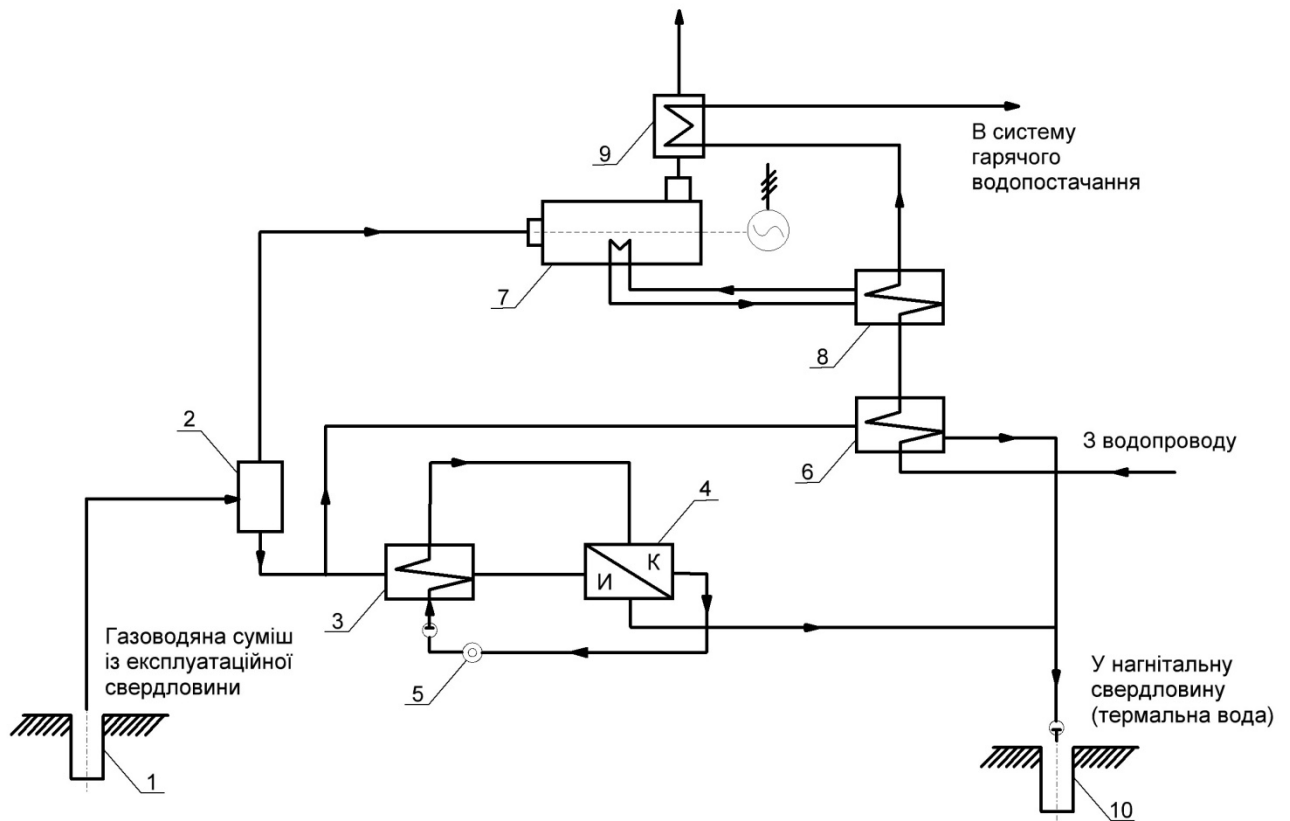


Рис.1. Технологічна схема когенераційної геотермальної установки з тепловим насосом в системі опалення:

- 1 – свердловина експлуатаційна; 2 – сепаратор; 3 – теплообмінник системи опалення; 4 – тепловий насос; 5 – споживачі теплоти;
 6 – теплообмінник системи ГВП; 7 – газопоршневий двигун;
 8 – теплообмінник системи охолодження двигуна; 9 – утилізатор теплоти вихлопних газів; 10 – нагрівальна свердловина

Оптимізація системи, що вивчається – це визначення найкращих з усіх можливих варіантів системи щодо обраного критерію її ефективності.

Комплексна, системна оптимізація має на меті вибір таких значень параметрів системи (технологічних, конструктивних тощо), які забезпечували б оптимальні або близькі до оптимального значення критерію ефективності [2]:

$$Z_{opt} = \text{extr}_{x_j \in R^n} \{Z(x_j)\}, \quad (1)$$

при обмеженнях:

$$f_i(x_j) > 0, i = 1, 2, \dots, m; \quad (2)$$

$$q_k(x_j) > 0, k = 1, 2, \dots, L, \quad (3)$$

де R^n – n -мірний дійсний векторний простір.

Неважко помітити, що сформована умова оптимізації є багатоекстремальною великорозмірною задачею дискретного нелінійного програмування, ускладнену обмеженнями (2), (3).

Критерій ефективності (КЕ) системи – це показник, за яким можна оцінити ступінь відповідності системи виконанню своїх функцій. Критерій ефективності використовується для порівнювальної оцінки різних систем, а також для аналізу, синтезу і оптимізації досліджуваної системи. Одними із найбільш розповсюджених критеріїв ефективності є енергетичні, тобто значення ексергії.

Ексергія – це максимально можлива корисна робота (працездатність), вироблена деякою речовиною, яка за хімічним складом відрізняється від навколишнього середовища ($\mu \neq \mu_0$), знаходиться при тиску і температурі, відмінних від аналогічних характеристик навколишнього середовища ($p \neq p_0$) і ($T \neq T_0$), якщо цю робочу речовину можна перевести із початкового стану в кінцевий, яка знаходиться в рівновазі з навколишнім середовищем [3, 4].

Питома фізична ексергія потоку робочої речовини визначається за рівнянням:

$$e = h - h_0 - T_0(s - s_0), \quad (4)$$

Поняття ексергії як максимальної працездатності зручно використовувати при розгляді ступеня досконалості різних процесів з точки зору перетворення енергії. Якщо процес протікає повністю оборотно, то отримана сумарна працездатність речовини (це ж відноситься і до механічної роботи) повинна бути рівна витраченій працездатності. За наявності незворотності зменшення працездатності і являється втратою енергії.

Найефективнішими математичними методами в цьому випадку є методи теорії графів. Наведемо основні положення теорії графів, яка використовується при оптимізації енергетичних структурних схем.

Характеризуючи проблематику теорії графів, можна відмітити, що деякі напрями застосування цієї теорії мають більш комбінаторний характер, інші – більш геометричний. До перших відносяться, наприклад, задачі з побудови графіків із заданими властивостями. Геометричний (топологічний) характер властивий багатьом групам задач [5].

Граф $G(X, \Gamma)$ заданий, якщо задано непорожню множину $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ і багатозначне відображення Γ множини x у множину X . Елементи множини X зображують точками і називають вершинами графа (V), а відображення Γ – відрізками, що з'єднують елемент x з елементами підмножини Γ_x . Зазначені відрізки називають ребрами E або дугами E графа.

При визначенні ребра можна приймати чи не приймати до уваги порядок розміщення двох його кінців. Якщо цей порядок істотний, то це орієнтований граф.

Для вирішення завдань математичного моделювання, аналізу та оптимізації енергетичних систем звертаються до топологічних моделей системи. Вони дозволяють встановити залежність взаємозв'язку між змінами технологічної топології і кількісними характеристиками досліджуваної системи від вхідних змінних, що впливають на систему.

Можна виділити чотири групи поточкових графів енергозберігаючих систем: параметричні поточкові графи (ППГ), матеріальні поточкові графи (МПГ), теплові поточкові графи (ТПГ) і енергетичні поточкові графи (ЕПГ). При вирішенні оптимізаційної задачі для енергозберігаючих систем в першу чергу будемо звертатися до параметричних і енергетичних поточкових графам.

Параметричні поточкові графи – це зважені по дугам і вершинам зв'язкові орграфи, що відображають перетворення елементами досліджуваної системи параметрів фізичних потоків системи.

Ексергетичні потокові графи – це зважені за дугами зв'язкові орграфи, що відображають перетворення елементами розглянутої системи витрат ексергії потоків речовини і енергії, а також втрати ексергії в елементах системи.

Граф можна уявити за допомогою матриць. Матричне подання графів дозволяє відобразити структурні особливості графів [6].

Нехай є орграф $G(V, E)$, що складається з $v = |V|$ вершин і $e = |E|$ дуг. Матриця інциденцій $|S|$ орграфа $G(V, E)$ – це матриця порядку $(v \times e)$, рядки якої відповідають вершинам, а стовпці – ребрам графа з елементами:

-1, якщо j -а дуга виходить із i -ї вершини;

$S_{ij}=+1$, якщо j -а дуга входить в i -у вершину;

0, якщо j -а дуга не інцидентна i -й вершині.

Таким чином, для вирішення поставлених задач необхідно об'єднати в одному апараті методи ексергетичного аналізу енергоперетворюючих систем з математичними методами теорії графів [7, 8].

Результати досліджень. Алгоритм ексергетичного і термoeкономічного аналізу енергетичних систем записується так.

Алгоритм $АП_{\Sigma}$ - визначення втрат ексергії в енергетичній системі.

Алгоритм складається з таких основних кроків:

I. Побудувати відповідний даній системі ексергетичний потоковий граф $E=(A, U)$, матрицю інциденцій $\|M_{ij}\|$ і розрахувати ексергії потоків по дугам E_j , $j=1, 2, \dots, n$.

II. Для всіх елементів $i=1, 2, \dots, m$ визначити вхідні ($M_{ij}=1$) і вихідні ($M_{ij}=-1$) потоки, розрахувати суми E_j^{BX} і E_j^{BIX} потоків ексергії i -х елементів і ступеня їх термодинамічної досконалості.

III. Розрахувати сумарні втрати ексергії:

$$P_{\Sigma} = \sum_{i=1}^m P_i . \quad (5)$$

Зрозуміло, що величина E_{Σ}^{BX} є сумою таких потоків E_j , яким у матриці інциденцій відповідають стовпці, які не мають -1, тобто ці потоки не виходять

ні з одного елемента розглянутої системи, а є лише вхідними для неї або стовпець містить лише +1.

На основі викладеного вище наведемо метод вирішення оптимізаційної задачі для розглянутої когенераційної системи.

На рис. 2 наведений ексергетичний потоковий граф для схеми, наведеної на рис. 1, а на рис. 3 відповідна матриця інциденцій.

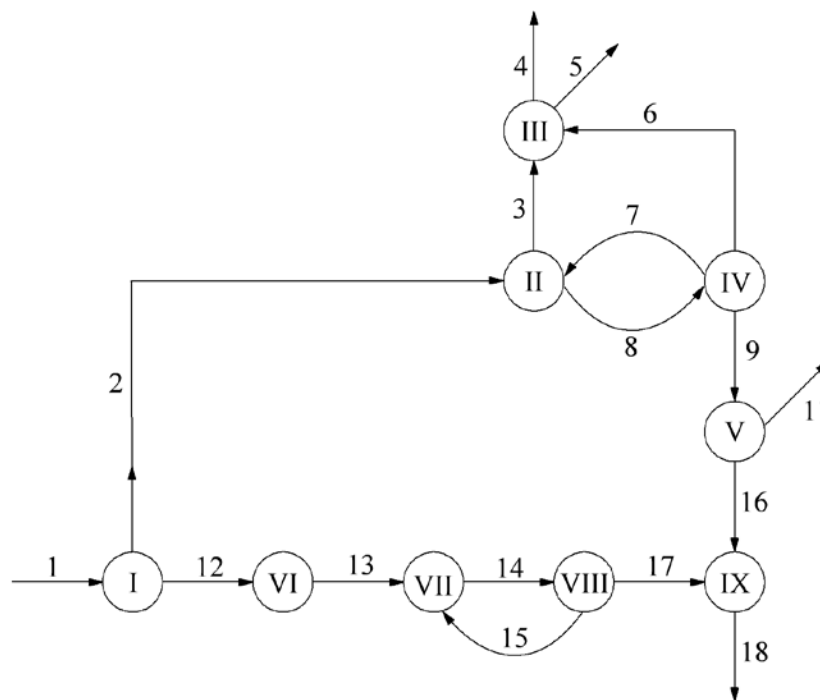


Рис. 2. Ексергетичний потоковий граф системи, наведеної на рис. 1

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
|------|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| I | 1 | -1 | | | | | | | | | | -1 | | | | | | |
| II | | 1 | -1 | | | | 1 | -1 | | | | | | | | | | |
| III | | | 1 | -1 | -1 | 1 | | | | | | | | | | | | |
| IV | | | | | | -1 | -1 | 1 | -1 | | | | | | | | | |
| V | | | | | | | | | 1 | 1 | -1 | | | | | -1 | | |
| VI | | | | | | | | | | | | 1 | -1 | | | | | |
| VII | | | | | | | | | | | | | 1 | -1 | 1 | | | |
| VIII | | | | | | | | | | | | | | 1 | -1 | | -1 | |
| IX | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | 1 | -1 |

Рис. 3. Матриця інциденцій структури, зображеної на рис. 2

Аналогічно можна побудувати теплові і матеріальні потокові графи і відповідні матриці інциденцій. Скануючи за рядками матриць інциденцій за допомогою ЕВП, знаходять значення параметрів теплових і масових потоків, а також втрати ексергії в елементах системи, визначають ступінь енергетичної досконалості розглянутої системи. Можна виконати розрахунки і для інших варіантів, як за структурою, так і за значенням вихідних параметрів аналізованої вихідної системи і таким чином визначити найефективніше рішення за енергетичними показниками.

Висновки

Метод теоретико-графових побудов має перевагу, яка полягає в тому, що досліджувані структури представлені в наочній формі і зручно вибрати можливі варіанти рішення. Позитивна особливість ексергії порівняно з енергією полягає в тому, що для кожного конкретного випадку можна визначити втрати ексергії і оцінити точно енергетичні показники.

Список літератури

1. Басок Б.И. Когенерация в децентрализованной и возобновляемой энергетике / Б.И. Басок, Т.А. Резакова, Ю.Б. Матвеев. – К: ИТТФ НАН Украины, 2013. –407 с.
2. Долинский А.А. Оптимизация энергетических систем / А.А. Долинский, Б.Х. Драганов. – К.: ТОВ "ЦП КОМПРИНТ", 2015. –56 с.
3. Шоргут А.А. Эксергия / А.А. Шоргут. – М.: Энергия, 1968.
4. Харари Ф. Теория графов / Ф. Харари. – М.:Мир, 1973. – 300 с.
5. Новиков П. С. Элементы математической логики / П. С. Новиков. – М.: Наука, 1973.
6. Draganov B.H. Determination of thermophysical characteristics of the underground heat accumulatore // International conference of Thermal Energy storage, 1994. – Espoo. Finland. – 1994. – P26.

7. Долинский А. А. Оптимизация энергетических систем методом теоретико-графовых построений / А. А. Долинский. - К.: Академперіодика, 2013. --67 с.

8. Эксергетические расчёты технических систем / Под ред. А.А. Долинского, В.М. Броденского. – К.: Наукова думка, 1991. – 360 с.

ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДОМ ТЕОРЕТИКО-ГРАФОВЫХ ПОСТРОЕНИЙ КОГЕНЕРАЦИОННЫХ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ СИСТЕМ

Б. Х. Драганов, А. А. Бурдин

***Аннотация.** Приведена принципиальная схема теплоснабжения при использовании геотермальных вод. Изложены основы когенерационной геотермальной системы. Выполнен анализ метода оптимизации энергетических систем на основе теоретико-графовых построений.*

***Ключевые слова:** когенерация, геотермальный источник, тепловой насос, критерии эффективности, эксергия ориентированных граф, матрица, алгоритм*

OPTIMIZATION METHOD OF GRAPH-THEORETIC CONSTRUCTING COGENERATION OF GEOTHERMAL SYSTEMS

B. Draganov, A. Burdin

***Annotation.** Shows a schematic diagram of heating using geothermal water. Fundamentals of geothermal co-generation system. The analysis method of optimization of energy systems based on graph-theoretic constructions.*

***Key words:** cogeneration, geothermal source heat pump efficiency criteria exergy directed graph matrix algorithm*