

УДК 631:371:519.1

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ МЕТОДОМ ТОПОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Б.Х. Драганов, доктор технических наук

e-mail: nni.elektrik@gmail.com

Изложены основы оптимизации энергетических систем на основе эксергетического анализа и топологических построений. Даны сведения о теории графов, матрицы инцидентий. Приведен пример оптимизации энергопотребляющей геотермальной и теплонасосной системы.

Ключевые слова: математическая модель, эксэргия, идентификация, теория графов, топологическое построение, потоковый граф, алгоритмы, критерий оптимизации.

Оптимизация любой энергосберегающей системы означает вариации структуры и параметров с целью минимизации капитальных и эксплуатационных затрат при соответствующих технических и ресурсных ограничениях, обеспечение защиты окружающей среды, доступность материалов и создание условий эксплуатационной надежности и невысокой стоимости ремонта.

Цель исследований – разработать метод оптимизации энергетических систем на основе топологических моделей, как элемент теории графов.

Материалы и методика исследований. При исследовании сложных технических систем необходимо выполнить структуризацию объекта как системы взаимосвязанных элементов с учетом собственных им специфических характеристик и процессов, привести перечень анализируемых проблем и возможной динамики развития отдельных элементов системы.

Следует отметить, что особенность энергетических систем состоит в том, что совокупность происходящих явлений имеет двойственную природу (детерминированно-стохастическую), проявляющиеся в наложении

стохастических особенностей гидродинамической обстановки в аппарате на процессы массо- и теплопереноса.

Общая постановка задачи идентификации исследуемого процесса характеризуется n -мерным вектором состояний $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$, r -мерным вектором управлений $u = (u_1, u_2, \dots, u_r)^T$, m -мерным вектором наблюдений $y = (y_1, y_2, \dots, y_m)^T$ (по числу измерительных приборов), причем на показания измерительных приборов накладываются как собственные, приборные потери $v(\tau)$, так и потери, обусловленные протекающими явлениями $w(\tau)$. Математическое описание процесса представляется в канонической или нормальной форме управлений состояния:

$$\frac{dy}{d\tau} = f[x(\tau), u(\tau), a(\tau), w(\tau), v(\tau)] \quad (1)$$

где $a(\tau)$ – l -мерный вектор неизвестных параметров системы, состоящих и коэффициентов системы дифференциальных уравнений, а также статистических характеристик (средних значений и дисперсий) потерь объекта $w(\tau)$ и потерь измерений $v(\tau)$.

В общем случае выражение (1) – система нелинейных стохастических дифференциальных уравнений, порядок которой заранее неизвестен.

Частным случаем этой системы является линейная динамическая система с переменными параметрами, форма записи которой имеет вид [1]

$$\dot{x} = A(\tau)x(\tau) + B(\tau)u(\tau); \quad (2)$$

$$y = C(\tau)x(\tau) + D(\tau)u(\tau), \quad (3)$$

где $A(\tau)$ – матрица переменных коэффициентов; $B(\tau)$ – матрица управлений; $C(\tau)$ – матрица параметров на выходе; $D(\tau)$ – матрица обхода.

Решение задачи идентификации предполагает: определение структуры уравнений состояния, т.е. размерности системы по данным наблюдения векторов $u(\tau), y(\tau)$ (и, если возможно, $w(\tau), v(\tau)$); нахождение вектора неизвестных параметров $a(\tau)$ и оценку вектора переменных состояния $x(\tau)$ [2].

Проверка адекватности и идентификация операторов выполняется на основе теории решения обратных задач математической физики, идентификации и оценки параметров состояния динамических систем.

Один из путей решения заключается в формализации процедур на основе топологического принципа описания системы. Для повышения эффективности структуры исследуемой системы необходимо создание специального методологического подхода.

Такой методологический подход получил развитие на основе энергетической концепции движущих сил и потоков, определяющих структуру обобщенной диссипативной функции системы, которая учитывает энергозатраты в системе на протекание необратимых процессов всех видов [3].

Любую энергетическую систему можно представить как упорядоченную совокупность физических компонентов, объединенных между собой точками (полюсами) связи. Каждому простому физическому компоненту соответствует некоторая ветвь графа, называется полюсным графом этого физического компонента [4].

Для решения задач математического моделирования, анализа и оптимизации энергетических систем обращаются к топологическим моделям системы. Они позволяют установить зависимость взаимосвязи между изменениями технологической топологии и количественными характеристиками изучаемой системы от входных переменных, воздействующих на систему.

Можно выделить четыре группы потоковых графов энергосберегающих систем: параметрические потоковые графы (ППГ), материальные потоковые графы (МПГ), тепловые потоковые графы (ТПГ) и эксергетические потоковые графы (ЭПГ). При решении оптимизационной задачи для энергосберегающих систем в первую очередь будем обращаться к параметрическому и эксергетическому потоковым графам [4]. Для обозначения ориентированной инцидентности пользуются символами 1 , -1 , 0 .

Пусть G – граф, имеющий n вершин и m ребер. Графу G можно сопоставить матрицу инцидентий размером $n \times m$, строки и столбцы которой соответствуют вершинам и ребрам графа соответственно. Элемент матрицы принимает значение 1 или 0 в зависимости от того, инцидентно j -е ребро i -й вершине или нет. Для j петли все элементы столбца считаются равными 0.

Граф можно представить при помощи матриц. Матричное представление графов позволяет отобразить структурные особенности графов.

Преимущество графовых моделей заключается в их гибкости, широких возможностях и разнообразии применения. Теоретико-графовые алгоритмы и основанные на них процедуры поиска управляющих решений являются во многих случаях значительно более эффективными, чем другие.

Системная оптимизация имеет целью выбор таких значений параметров системы (технологических, конструктивных и пр.), которые обеспечивали бы оптимальные или близкие к оптимальному значения критерия эффективности [5]:

$$Z_{opt} = \underset{x_j \in R^n}{extr} \{Z(x_j)\} \quad (4)$$

при ограничениях

$$f_i(x_j) > 0, i = 1, 2, \dots, m; \quad (5)$$

$$q_k(x_j) > 0, k = 1, 2, \dots, L; \quad (6)$$

где R^n – n -мерное действительное векторное пространство

Нетрудно увидеть, что сформулированное условие оптимизации представляет собой многоэкстремальную высокоразмерную задачу дискретного нелинейного программирования, усложненную ограничениями (5) и (6).

Для решения поставленных задач необходимо объединить в одном аппарате методы энергетического анализа энергопреобразующих систем с математическими методами теории графов. Такой подход был назван эксерготопологическим.

Результаты исследований. Ниже приведен алгоритм эксергетического и термоэкономического анализа энергетических систем.

Алгоритм $АП_{\Sigma}$ – определение потерь эксергии в энергетической системе.

Алгоритм состоит из следующих основных шагов:

I. Построить соответствующий данной системе эксергетический потоковый граф $E = (A, U)$, матрицу инциденций $\|M_{ij}\|$ и рассчитать эксергии потоков по дугам $E_j, j = 1, 2, \dots, n$.

II. Для всех элементов $i = 1, 2, \dots, m$ определить входящие ($M_{ij} = 1$) и выходящие ($M_{ij} = -1$) потоки, рассчитать суммы E_j^{ex} и E_j^{ex} потоков эксергии i -х элементов и степени их термодинамического совершенства.

III. Рассчитать суммарные потери эксергии

$$P_{\Sigma} = \sum_{i=1}^m P_i. \quad (7)$$

Понятно, что величина E_{Σ}^{ex} представляет собой сумму таких E_j , которым в матрице инциденций отвечают столбцы, не содержащие -1 , т.е. эти потоки не выходят ни из одного элемента рассматриваемой системы, а являются только входящими для нее или, что то же, столбец содержит только $+1$ [6].

На основе изложенного эксерготопологического метода оптимизации приведен пример оптимизации энергетической системы. На рис.1 изображена схема геотермальной системы теплоснабжения потребителей. Для повышения эффективности установки в схему включен абсорбционный термотрансформатор.

В соответствии с изложенным методом оптимизации для схемы, изображенной на рис.1, строится параметрический потоковый граф (ППГ) (рис.2), эксергетический потоковый граф (ЭПГ) (рис.3) и матрица инциденций (рис.4).

Сканируя по строкам матрицы инциденций при помощи ЭВМ, находят значения параметров тепловых массовых потоков, а также потери эксергии в

элементах системы, определяют степень энергетического совершенства системы.

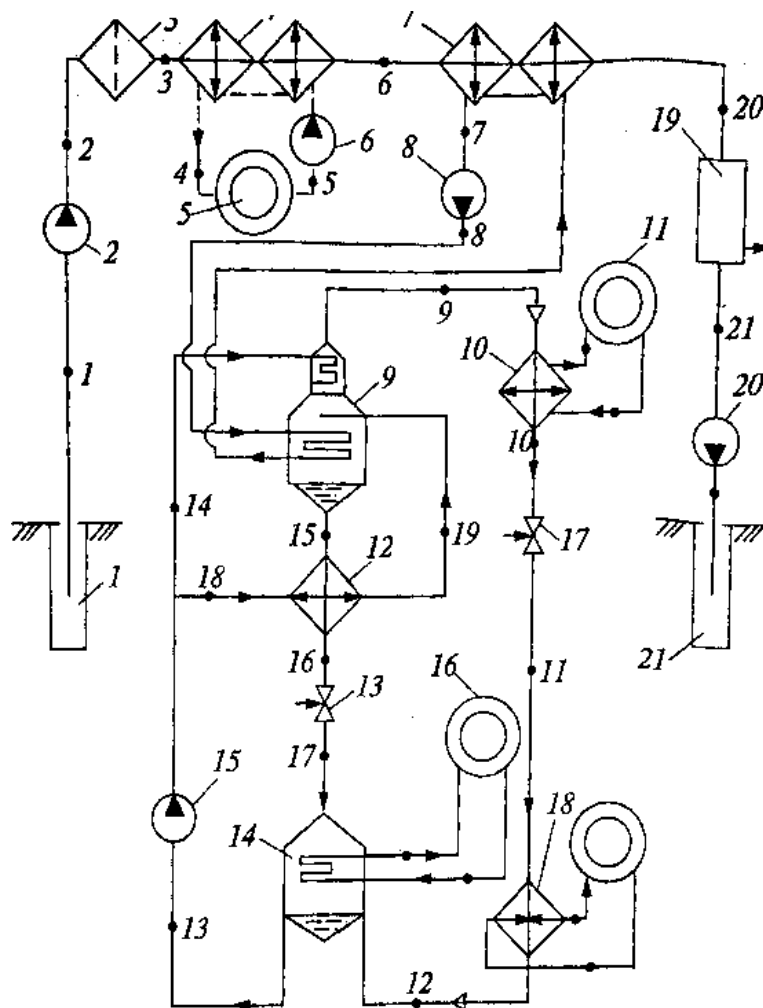


Рис.1. Схема геотермальной системы теплоохлаждения с абсорбционным термотрансформатором:

1 – эксплуатационная скважина; 2,6,8,15,20 – насосы; 3 – фильтр; 4 – скоростные теплообменники; 5,11 – потребители тепла; 7 – теплообменники; 9 – генератор термотрансформатора; 10 – конденсатор; 12 – теплообменник; 13,17 – дросельные вентили; 14 – абсорбер; 16,22 –потребители холода; 18 – испаритель; 19 – сборный бак; 21 – нагнетательная скважина

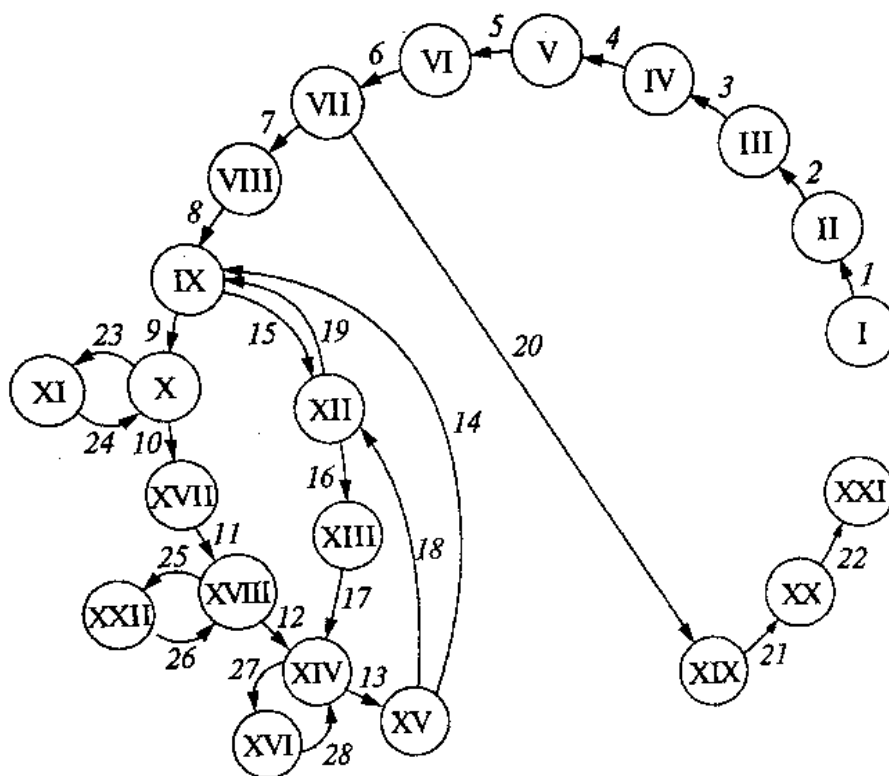


Рис.2. Параметрический потоковый граф

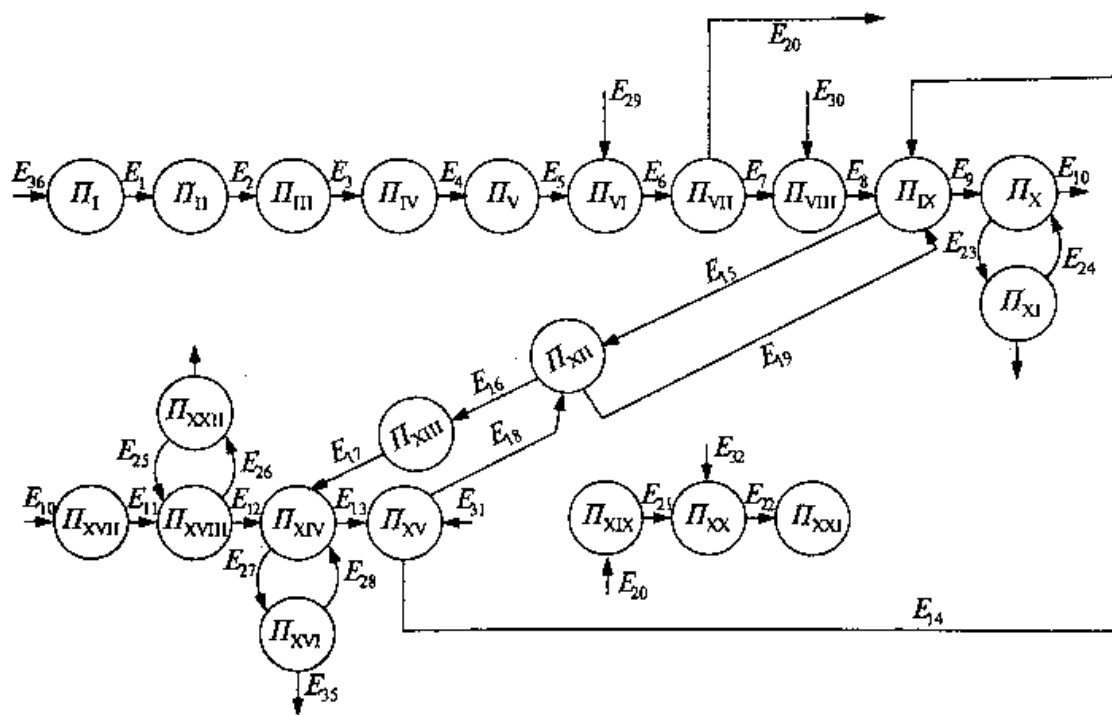


Рис.3. Эксергетический потоковый граф и матрица инцидентий для схемы, изображенной на рис.1

[illegible]

Рис.4. Матрица инцидентов структуры, изображенной на рис.3

Выводы

При решении оптимизационных задач рекомендуется пользоваться методом, основанном на положении теории графов. Преимущество этого метода заключается в том, что возможно значительное количество вариантов и это позволяет определить тот, который в наибольшей степени соответствует критерию оптимизации.

Список литературы

1. Кафаров В.В. Системный анализ процессов химической технологии / В.В. Кафаров, И.Н. Дорохов. – М.: Наука, 1976. – 500 с.
2. Калман Р. Очерки по математической теории. / Р.Калман, П. Фалб, М. Арбиб; пер. с англ. – М.: Мир, 1971. – 400 с.
3. Александровский Н.М. Адаптивная система автоматического управления сложными технологическими процессами / Н.М. Александровский, Е.В. Егоров, Р.А. Кузин. – М.: Энергия, 1973. – 271 с.
4. Харари Ф. Теория графов / Харари Ф. – М.: Энергия, 1973 – 271 с.
5. Niculshin V. Thermodynamic analysis of energy intensive systems on energy topological models/ V. Niculshin, C.Wu.//Proc. of 12-th Intern Symposium on transport phenomena, ISTP, Turkey, 2000. – P. 341-349.
6. Кафаров В.В. Анализ и синтез химико-технологических систем / В.В. Кафаров, В.П. Мешалкин. – М.: Химия, 1991.

ОПТИМІЗАЦІЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ МЕТОДОМ ТОПОЛОГІЧНИХ МОДЕЛЕЙ

Б.Х. Драганов

Викладено основи оптимізації енергетичних систем на основі ексергетичного аналізу й топологічних побудов. Дано відомості про теорії графів, матриці інцидентий. Наведено приклад оптимізації енергоспоживаючої геотермальної й теплонасосної системи.

Ключові слова: математична модель, ексергія, ідентифікація, теорія графів, топологічна побудова, потоковий граф, алгоритми, критерій оптимізації.

OPTIMIZATION OF ENERGY SYSTEMS BY TOPOLOGICAL MODELS

B. Draganov

The foundations of the optimization of energy systems based on exergy analysis and topological constructions. Are given information about graph theory, the incidence matrix. An example of the optimization of energy- geothermal and heat pump systems .

Keywords: mathematical model, exergy , identification, graph theory, topological construction , flow graph , algorithms, optimization criterion