

УДК 631.371:620.92(075):330.138

Амерханов Р.А.¹, Долинский А.А.², Драганов Б.Х.³

¹Кубанский государственный аграрный университет

²Институт технической теплофизики НАН Украины

³Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины

ОСНОВЫ ЭКСЕРГОЭКОНОМИЧЕСКОГО МЕТОДА ОПТИМИЗАЦИИ ЭНЕРГОПРЕОБРАЗУЮЩИХ СИСТЕМ

Викладаються основи ексерго-економічного методу оптимізації. Наведено приклад оптимізації сонячно-теплоаккумуляційної з теплонасосною установкою системи теплопостачання.

Излагаются основы эксергоэкономического метода оптимизации. Приведен пример оптимизации солнечно-теплоаккумуляционной с теплонасосной установкой системы теплоснабжения.

Bases of exergy-economic method of optimization are expounded. The example of optimization of solar-heat-accumulate is resulted with the thermo pump setting of the solar system of heat supplied system are presented.

E – эксергия потока;
 F – топливо;
 K – капитальные затраты;
 N – срок эксплуатации;
 P – продукт;
 c – удельная стоимость эксергии;
 C – стоимость;
 f – эксергоэкономический фактор;
 Z – затраты;
 η – КПД.

Нижние индексы:
 k – компонент;
 F – топливо;
 n – количество внешних источников;
 z – дисконтированные затраты.
Верхние индексы:
 cl – инвестиционные затраты;
 $fuel$ – топливо;
 OM – эксплуатация и обслуживание.

При анализе и синтезе энергетических систем, в отличие от ранее применявшихся методов термодинамического анализа, в настоящее время предпочитают использовать эксергетический метод, учитывающий не только количество, но и качество потоков эксергии и в этом его несомненное преимущество. Особенностью эксергетического метода является универсальность, связанная с тем, что использование эксергии позволяет оценивать запасы и потоки энергии всех видов, входящих в баланс любой энерготехнологической системы, посредством единого критерия эффективности.

В общем случае оптимизации при изменении параметров, структуры и поэлементного состава анализируемой системы необходим учет не только энергетических, но и технико-экономических

характеристик системы. В этом случае целесообразно применение термoeкономического принципа [1-4], который широко использует экономические характеристики, заложенные в эксергетической оценке функционирования систем.

Следует, что для решения оптимизационных задач необходимо объединить в одном аппарате методы эксергетического анализа энергопреобразующих систем с математическими методами теории графов. Такой подход был назван [4] эксерготопологическим.

Под эксергетическим потоковым графом системы произвольной структуры будем понимать граф $E = (A, \Gamma) = (A, U)$, множество $A = \{a_1, a_2, \dots, a_K, \dots, a_K\}$ вершин которого соответствует отдельным элементам системы, множество дуг

$U = \{a_k, a_l\}$, $k \neq l$, $k = 1, 2, \dots, K$, $l = 1, 2, \dots, K$ – распределению эксергетических потоков в системе, а Γ представляет собой многозначное отображение множества A в себя.

Эксергетических потоковый граф представим в матричной форме.

Матрицей инцидентий эксергетического потокового графа $E(A, U)$, $U = \{u_1, u_2, \dots, u_j, \dots, u_n\}$ является матрица размером $m \times n$, элементы которой отвечают условиям:

$m_{lj} = 1$, если a_l является конечной вершиной дуги u_j , т.е. j -й эксергетический поток входит в l -й элемент системы;

$m_{lj} = -1$, если a_l является начальной вершиной дуги u_j , т.е. j -й эксергетический поток выходит из l -го элемента системы;

$m_{lj} = 0$, если a_l не является ни начальной, ни конечной вершиной дуги u_j , т.е. j -й эксергетический поток и l -й элемент не связаны.

Алгоритм AE_Σ – определения потерь эксергии в системе. Алгоритм состоит из следующих основных шагов:

(I) Построить соответствующий данной

системе эксергетический потоковый граф $E = (A, U)$, матрицу инцидентий и рассчитать эксергии потоков по дугам $E_j, j = 1, 2, \dots, n$.

(II) Для всех элементов $i = 1, 2, \dots, m$ определить входящие ($M_{ij} = 1$) выходящие ($M_{ij} = -1$) потоки, рассчитать: суммы $E_i^{вх}$ и $E_i^{вых}$ потоков эксергии i -тых элементов.

(III) Рассчитать суммарные потери эксергии:

$$\sum E_\Sigma = \sum_{i=1}^m E_i \quad (1)$$

Алгоритм AZ_E – определение эксергоэкономических затрат в системе. Поскольку величина термоэкономических затрат Z_E в системе так же, как и эксергетических потерь, является аддитивной, то алгоритм AZ_E во многом схож с AE_Σ .

Основные шаги алгоритма AZ_E .

(I) Повторить шаг (I) алгоритма AE_Σ .

(II) Рассчитать годовые неэнергетические (капитальные и связанные с ними) затраты в $K_i, i = 1, 2, \dots, m$ в каждом из элементов.

(III) Повторить шаг (II) алгоритма AE_Σ , но вместо расчета степени термодинамического

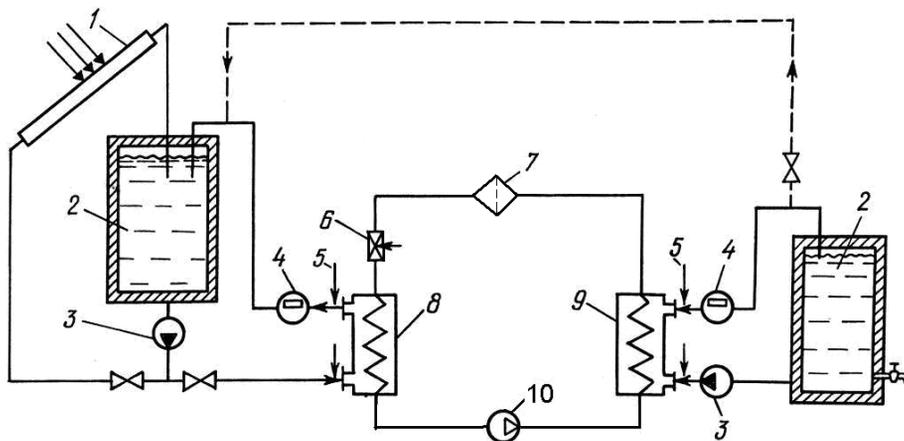


Рис. 1. Схема геолоустановки с тепловым насосом:
 1 – геолоколлектор; 2 – баки-аккумуляторы; 3 – насосы; 4 – расходомеры;
 5 – термометры; 6 – дроссельный клапан; 7 – фильтр; 8 – испаритель;
 9 – конденсатор; 10 – компрессор.

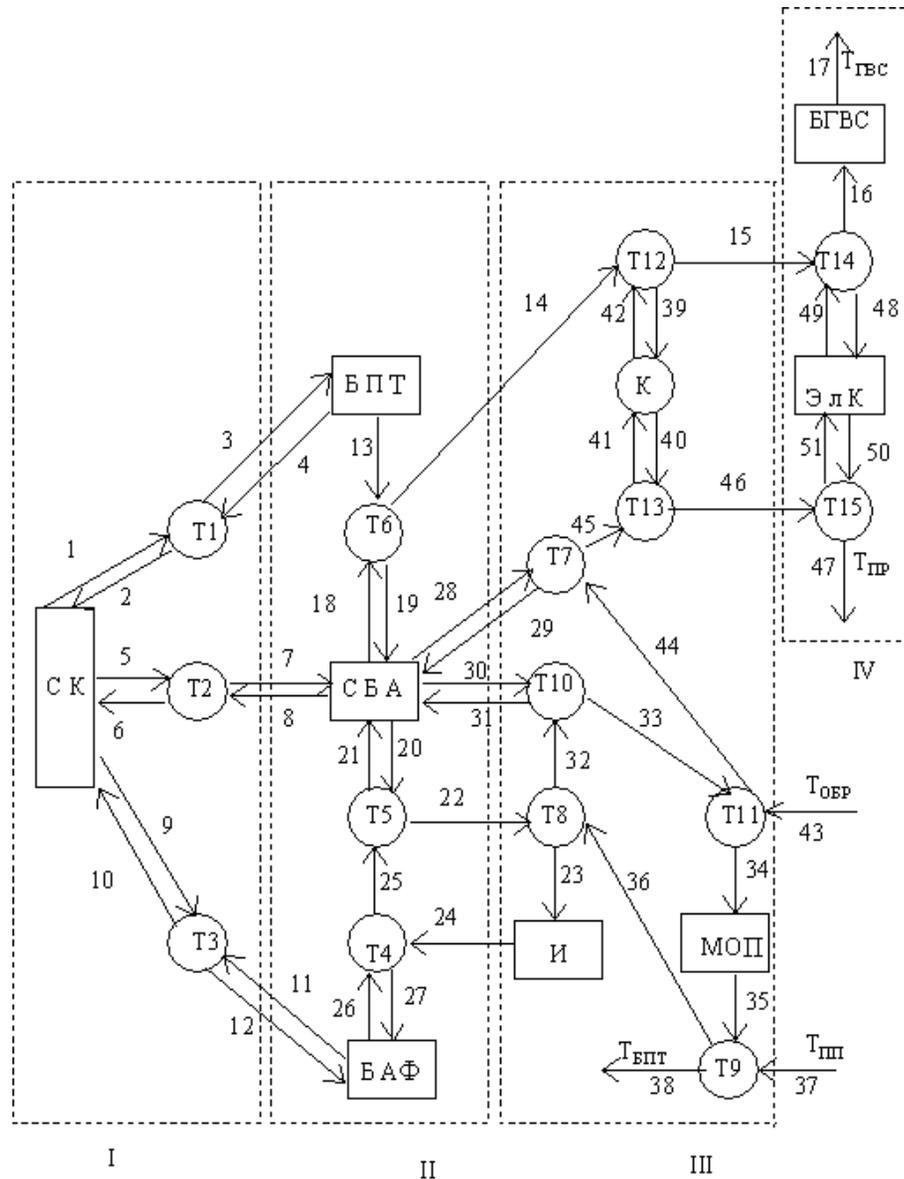


Рис. 2. Структурная схема СТНССА:

СК – солнечный коллектор; **T1–T15** – теплообменники;
И – испаритель; **К** – конденсатор; **СБА** – сезонный бак-аккумулятор;
БПТ – бак промежуточных температур; **БАФ** – бак антифриза;
БГВС – бак горячего водоснабжения; **ЭлК** – электрокотел;
МОП – маслоохладитель и переохладитель ТНУ;
 индексы: **ГВС** – горячего водоснабжения; **СО** – системы отопления;
обр – обратной воды; **пп** – питательного потока;
БПТ – блока промежуточных температур.

совершенства рассчитать термозкономические затраты в *i*-том элементе солнечной теплонасосной системы теплоснабжения с сезонным аккумуля-

мулированием (СТНССА)

$$Z_{\Sigma} = \sum_n C_n E_n, \quad (2)$$

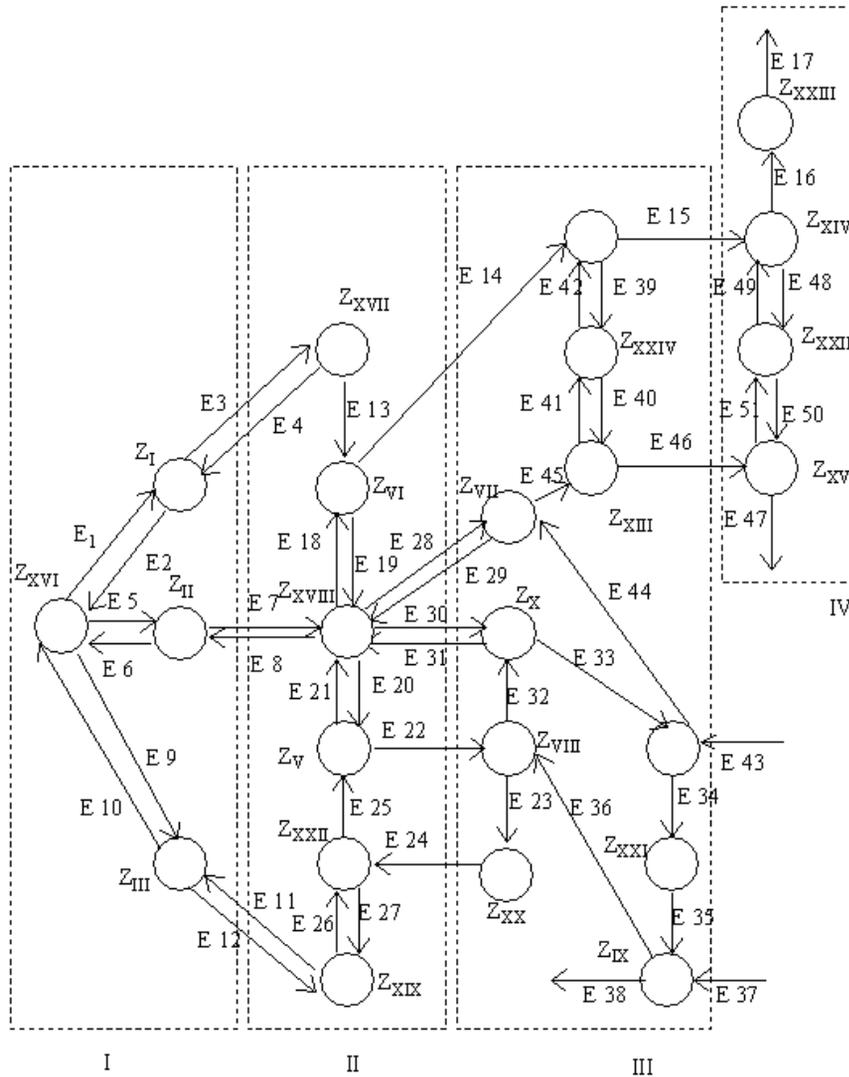


Рис. 3. Граф эксергоэкономических затрат ТНССА, представленной на рис. 2.

где C_n цена 1 кВт эксергетических потерь в элементах системы.

Приведенные обобщенные алгоритмы позволяют определять как эксергетические, так и экономические характеристики любой структуры и любого функционального назначения.

В качестве примера решим оптимизационную задачу солнечной теплонасосной системы теплоснабжения с сезонным аккумулярованием (ТНССА) (рис. 1) [3].

На рис. 2 представлена графотопологическая схема структуры ТНССА.

Нетрудно видеть, что структурированная схема ТНССА легко трансформируется в граф термоэкономических затрат, представленный на рис. 3. Здесь $Z_i (i=I, II, \dots, XXIII)$ – термоэкономические затраты в соответствующем элементе ТНССА. Номера индексов i совпадают с номерами теплообменников на схеме рис. 2 (например, Z_v – термоэкономические затраты в теплообменнике Т5).

Кроме того, в графе на рис. 3 отражено следующее соответствие элементов ТНССА вер-

Табл. 1. Матрица инцидентов графа, изображенного на рис. 3

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	...	45	46	47	48	49	50	51
I	1	-1	-1	1														
II					1	-1	-1	1										
III									1	-1								
IV																		
V																		
VI					-1	1												
VII												-1						
VIII			1	-1														
IX																		
X																		
XI																		
XII																		
XIII												1	-1					
XIV														-1	1			
XV													1	-1			1	-1
XVI	-1	1																
XVII																		
XVIII																		
XIX																		
XX																		
XXI																		
XXII															1	-1	-1	1
XXIII																		

шинам графа: СК – Z_{XVI} , БПТ – Z_{VII} , СБА – Z_{VIII} , БАФ – Z_{XIX} , И – Z_{XX} , МОП – Z_{XXI} , ЭлК – Z_{XXII} , БГВС – Z_{XXIII} .

Матрица инцидентов графа термоэкономических затрат в СТНССА показана в табл. 1.

В соответствии с алгоритмом AZ_{Σ}^{opt} необходимо сформировать дерево решений (граф возможных термоэкономических затрат в СТНССА), общий вид которого показан на рис. 4.

Как следует из анализа графа термоэкономических затрат, приведенного на рис. 4, в дан-

ном случае дерево решений будет содержать четыре уровня (см. рис. 4).

Уровень I (рис. 4) содержит четыре висячие вершины, отражающие возможные суммарные термоэкономические затраты в зоне I, включающей в себя (см. рис. 2) солнечный коллектор и три теплообменника – T1, T2, T3.

Число вершин уровня II равно четырем в соответствии с четырьмя типоразмерами солнечного коллектора ($A_{СК} = 1000, 2000; 3000, 4000 \text{ м}^2$). Соответственно возможные затраты на уровне I

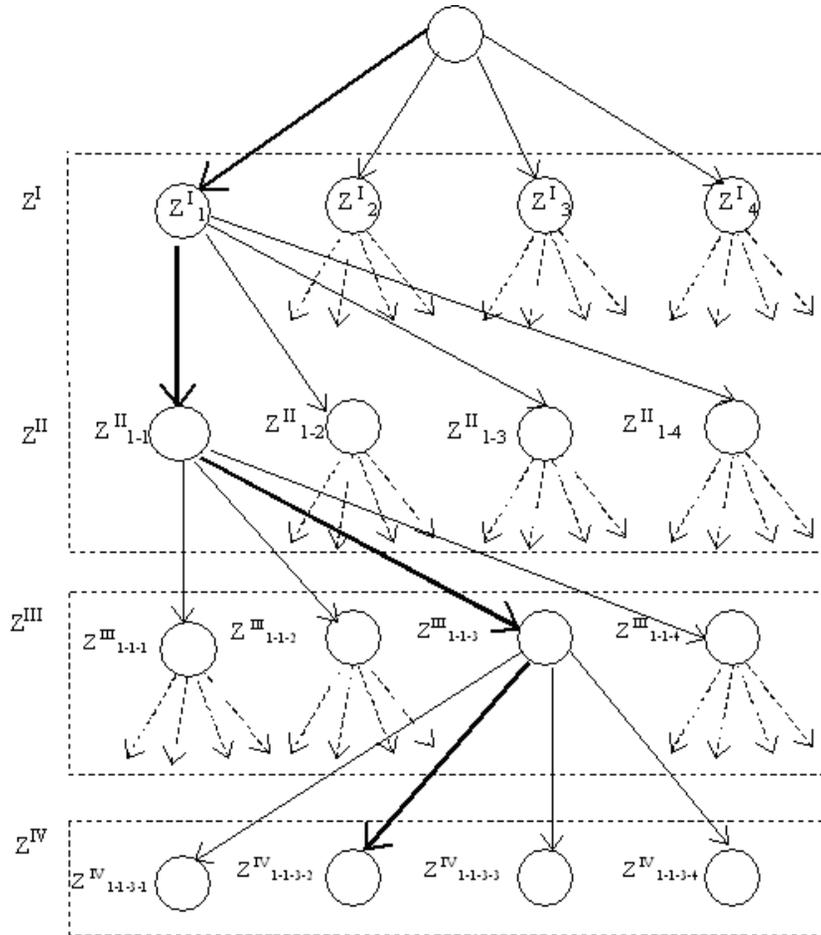


Рис. 4. Дерево эксергоэкономических затрат в СТНССА.

$$Z_k^I = Z_k^I + Z_k^{II} + Z_k^{III} + Z_k^{IV},$$

где $k = 1, 2, 3, 4$ – отражает четыре типоразмера коллектора и необходимые для этого коллектора теплообменники.

Нетрудно видеть, что $Z_1^I < Z_2^I < Z_3^I < Z_4^I$, поскольку с увеличением площади коллектора возрастает не только стоимость самого коллектора, но и стоимость теплообменников Т1, Т2, Т3.

Уровень III, отражающий возможные термоэкономические затраты на тепловой насос и вспомогательное теплообменное оборудование, содержит четыре вершины, характеризующие коэффициент использования теплового насоса. Здесь основным отличием от предыдущих двух уровней является неизменная стоимость самого оборудования, но при этом существенно разнят-

ся затраты на электроэнергию в зависимости от коэффициентов использования теплового насоса $n = 0,2; 0,4; 0,6; 1,0$.

Уровень IV отражает возможные термоэкономические затраты на электродвигатель, теплообменники Т14 и Т15, а также на бак горячего водоснабжения (БГВС). Включение БГВС в эту зону является условным, поскольку затраты на его работу не зависят от времени работы электродвигателя.

Все приведенные выше процедуры могут быть реализованы для СТНССА мощностью 0,5 МВт (табл. 2).

Применение алгоритма AZ_{Σ}^{opt} в соответствии с описанной выше методикой позволило получить минимальное значение термоэконо-

Табл. 2. Результаты моделирования СТНССА мощностью 0,5 МВт

$\eta_{\text{ТНУ}}$	$V_{\text{СБА}}, \text{ м}^3$	Термоэкономические затраты в солнечном коллекторе и электрокотле, руб/год, в зависимости от площади $A_{\text{СК}}, \text{ м}^2$							
		СК	ЭлК	СК	ЭлК	СК	ЭлК	СК	ЭлК
		1000		2000		3000		4000	
1,0	15000	994,7	927,6	1380,8	1330,1	1606,7	1606,1	1766,9	1810,8
0,8	15000	929,1	925,9	1315,2	1331,4	1541,1	1605,0	1701,3	1809,2
0,4	15000	797,9	731,3	1184,0	1102,3	1409,9	1409,1	1570,1	1635,8
0,2	15000	732,3	660,5	1118,4	1058,1	1344,3	1362,8	1504,5	1602,9
1,0	11000	933,5	909,0	1319,5	1290,1	1545,4	1535,7	1705,7	1719,4
0,8	11000	867,9	824,9	1254,0	1292,7	1479,8	1535,4	1640,1	1719,5
0,4	11000	736,7	709,6	1122,8	1062,4	1348,6	1333,0	1508,9	1540,2
0,2	11000	671,1	641,3	1057,2	1017,7	1283,0	1293,4	1443,3	1503,6
1,0	7000	844,2	809,3	1230,3	1219,2	1456,1	1438,7	1616,4	1582,8
0,8	7000	778,6	765,0	1164,7	1219,0	1390,5	1438,9	1550,8	1582,3
0,4	7000	647,4	669,4	1033,5	1000,7	1259,3	1238,5	1419,6	1394,0
0,2	7000	581,8	615,0	967,9	955,6	1193,7	1187,7	1353,9	1351,2
1,0	3000	676,9	735,9	1062,9	1094,5	1288,8	1254,3	1449,1	1351,5
0,8	3000	611,3	733,3	997,4	1002,7	1223,2	1154,8	1383,41	1347,5
0,4	3000	480,1	602,5	866,2	897,0	1092,0	1348,4	1252,2	1136,1
0,2	3000	414,5	565,3	803,6	842,0	1026,4	989,0	1186,6	1100,3

мических затрат для всячей вершины $Z_{1-1-3-2}$. Поэтому оптимальной с термоэкономической точки зрения СТНССА мощностью 0,5 МВт является система, содержащая солнечный коллектор $A_{\text{СК}} = 1000 \text{ м}^2$ ($V_{\text{СБА}} = 3000 \text{ м}^3$; $n = 0,8$).

Здесь минимальное значение термоэкономических затрат:

$Z_{\Sigma}^{\text{opt}} = Z_{1-1-3-2} = 80048 \text{ руб/год}$ (по данным на 2003 г.).

В дереве решений на рис. 4 оптимальный вариант показан «жирными» ветвями, связывающими различные уровни дерева (зоны СТНССА).

Предлагаемый метод позволяет однозначно определить оптимальный вариант из 16 исходных вариантов, равноценных в функциональном и энергетическом отношениях. Как показывает предварительно выполненный анализ, для опре-

деления минимальных затрат методом прямого перебора надо было бы рассчитать полных 64 варианта системы.

Для оценки степени эффективности энергопреобразующих систем во второй половине XX столетия были разработаны основы эксергоэкономической, объединившей эксергетический метод анализа и экономическую теорию [5-10]. Задача эксергоэкономической оптимизации заключается в получении максимально возможной энергетической эффективности при минимальных затратах. Этот метод позволяет минимизировать расходы и максимизировать энергетические показатели энергопреобразующей системы в их взаимозависимости.

Стоимость любого теплового потока (входящего или выходящего) определяется произве-

дением цены, c_k эксергии этого потока (удельной стоимости эксергии) и величины эксергии E_k потока

$$C_k = c_k \cdot E_k \quad (3)$$

Существенным экономическим показателем анализируемой системы является стоимость полученной продукции

$$C_p = \sum c_F \cdot F + \sum c_Z \cdot Z + C_R, \quad (4)$$

где C_p – стоимость продукта, т.е. полезного эффекта; c_F , c_P – соответственно цена топлива F и продукта P , сформированные рынком; c_Z – дисконтированные капитальные затраты от Z ; C_R – постоянная стоимость остатка как функция совершенства проекта.

Следует подчеркнуть, что в задаче минимизации стоимости энергетической системы входят три группы переменных: термодинамического анализа (F, P); проектирования и производства (Z); экономического анализа (c_F, c_P, c_Z). Каждая группа переменных имеет собственные методы формирования величин, следовательно, должна быть представлена соответствующими моделями.

Из эксергоэкономического анализа следует:

- $E_{D,k}$ – абсолютная деструкция энергии

$$E_{D,k} = E_{F,k} - E_{P,k} - E_{L,k}; \quad (5)$$

- ε_k – эксергетическая эффективность

$$\varepsilon_k = \frac{E_{P,k}}{E_{F,k}} = 1 - \frac{E_{D,k} + E_{L,k}}{E_{F,k}}; \quad (6)$$

- y_k – относительная деструкция эксергии

$$y_{D,k} = \frac{E_{D,k}}{E_{F,k}}. \quad (7)$$

Критерии эксергоэкономического анализа:

- цена эксергии топлива

$$c_{F,k} = \frac{C_{F,k}}{E_{P,k}}; \quad (8)$$

- цена эксергии продукта

$$c_{P,k} = \frac{C_{P,k}}{E_{P,k}}; \quad (9)$$

- стоимость, связанная с деструкцией эксергии

$$C_{D,k} = c_{F,k} E_{D,k}; \quad (10)$$

- стоимость, связанная с потерями эксергии

$$C_{L,k} = c_{F,k} E_{L,k}. \quad (11)$$

В общем случае эксергоэкономический критерий оптимизации имеет вид [1, 6, 10]

$$Z_\Sigma = \frac{\sum C_n E_n + \overline{K}_n}{\sum_k E_k}, \quad (12)$$

где C_n , E_n – стоимость и годовое потребление эксергии из внешних источников; \overline{K}_n – годовые капитальные и связанные с ним затраты в n -м элементе системы; E_k – годовой расход эксергии

для получения k -го продукта.

Следует, что комплексная система оптимизации имеет целью выбор таких значений параметров системы (технологических, конструктивных и пр.), которые обеспечили бы оптимальные или близкие к оптимальному значения критерия эффективности

$$Z_{opt} = \text{extr} \{ Z(x_j) \}, \quad (13)$$

$$x_j \in R^n,$$

где R^n – n -мерное действительное векторное пространство.

Следует отметить, что сформированная задача представляет собой многоэкстремальную большеразмерную задачу дискретного нелинейного программирования, дополненная соответствующими ограничениями.

Указанный метод особо эффективен при оптимизации энергопотребляющих систем в процессе эксплуатации.

Стоимость эксплуатации энергопреобразующей системы логически определяется как, д.е./кВт [5, 6]

$$Z \equiv Z^{Cl} + Z^{fuel} + Z^{OM} . \quad (14)$$

Экономическая модель действительной энергопреобразующей системы представляет совместное решение системы уравнений [10]:

- капитальные (инвестиционные) затраты системы, д.е./кВт

$$Z^{Cl} = a \bar{a} \frac{1}{t_A} ; \quad (15)$$

для каждого элемента системы:

$$Z^{Cl} = a_k x_k^n (1+b)^y / N_k ; \quad (16)$$

- затраты на начальную энергию для функционирования системы, д.е./кВт

$$Z_{fuel} = w c_F ; \quad (17)$$

- стоимость эксплуатации и обслуживания, д.е./кВт

$$Z^{OM} = b \frac{1}{t_A} + d ; \quad (18)$$

- амортизационные отчисления, д.е./кВт

$$a = \frac{q^n (1-q)}{q^n - 1} \left(1 + \frac{i+r}{100} \frac{CP}{2} \right) ; \quad (19)$$

- коэффициент дисконтирования

$$q^{-1} = \left(1 + \frac{i+t+v}{100} \right)^{-1} ; \quad (20)$$

- удельное энергопотребление,

кДж/(кВт·ч)

$$w = \frac{3600}{\eta} ; \quad (21)$$

- среднее время работы системы, час/год

$$\tau_A = \frac{\text{Годовое производство полезного эффекта}}{\text{Номинальная мощность}} , \quad (22)$$

где c_F – цена топлива (д.е./кДж); \bar{a} – инвестиционная стоимость (д.е./кВт); b – затраты на ремонт и обслуживание, зависящие от установленной мощности (д.е./кВт); d – затраты на ремонт и обслуживание, зависящие от поколения используемой техники (д.е./кВт); i – банковский процент инвестиционных затрат на создание системы (%/год); r – инфляционный коэффициент (%/год); n – срок службы объекта (год); CP – время создания объекта (год); t_A – годовые налоги (%/год); v – годовая страховка (%/год); x – характеристика k -го элемента, a – цена единицы оборудования; n, y – показатели функций; N – срок эксплуатации.

Эксергоэкономической оценкой служит эксергоэкономический фактор

$$f_k = \frac{Z_k}{Z_k + c_{F,k} (E_{D,k} + E_{L,k})} , \quad (23)$$

где $Z_k = Z_k^{Cl} + Z_k^{OM}$ – стоимость капитальных и затрат для k -го элемента; $c_{F,k}$ – цена эксергии топлива; $E_{D,k}$ и $E_{L,k}$ – абсолютные значения деструкции и потери эксергии для k -го элемента системы.

Для иллюстрации на примере изложенного метода оптимизации рассмотрим варианты теплоснабжения (рис. 5) [11]. Для всех вариантов тепловая мощность системы теплоснабжения промышленного потребителя равна $Q = 3$ МВт, а температура теплоносителя $t_{wp} = 120$ °С.

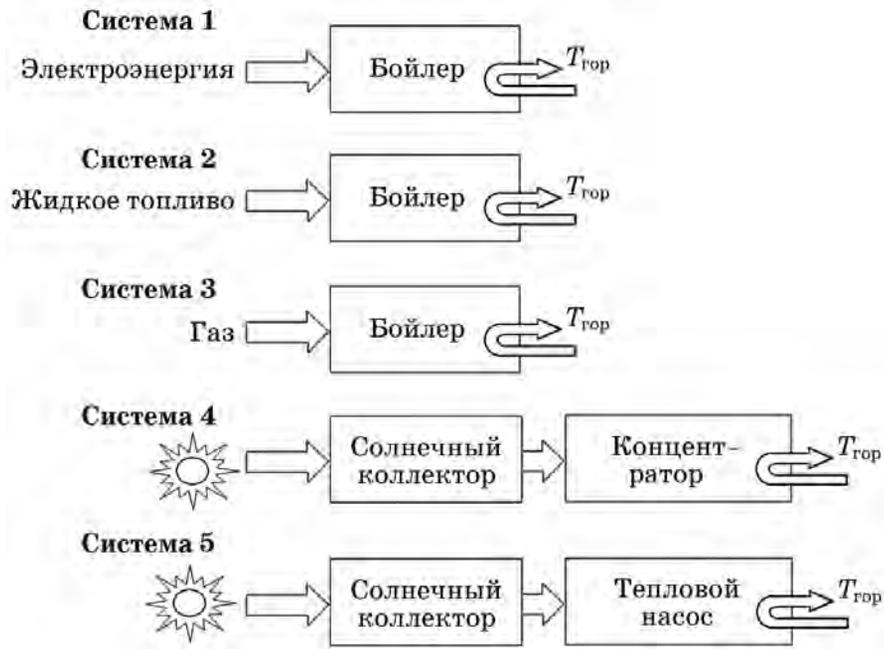


Рис. 5. Схемы традиционных, солнечной и гелиотеплонасосной систем теплоснабжения.

Принимаем следующие исходные данные:

- КПД отопительного котла (бойлера) на жидком топливе $\eta = 0,75$;
- КПД компрессора теплового насоса $\eta_k = 0,85$;

– температурный напор в конденсаторе и испарителе теплового насоса $\Delta t = 10 \text{ }^\circ\text{C}$.
 Характеристика параметра x для k -того элемента (уравнение 15) приведена в табл. 3.

Табл. 3

Элемент	Основная характеристика (величина x)	Значение
Солнечный коллектор	теплообменная поверхность	21206 м ²
Компрессор*	эффективная поверхность	587 кВт
Конденсатор*	теплообменная поверхность	129,2 м ²
Испаритель*	теплообменная поверхность	102,9 м ²
Водогрейный котел	расход жидкого топлива	4050 кг/ч
Аккумулятор	теплопроизводительность	3000 кВт

* Значение параметра x для компрессора, конденсатора и испарителя приведены для конкретного теплового насоса.

Экономическая модель системы (величина α в ур. 9) представлена в табл. 4.

Табл. 4

Элемент	Средняя закупочная цена за единицу оборудования
Солнечный коллектор	13 Евро/м ²
Компрессор	292 Евро/кВт
Конденсатор	13 Евро/м ²
Испаритель	74 Евро/м ²
Водогрейный котел	190,3 Евро/кг·ч
Аккумулятор	$8,47 \cdot 10^{-6}$ Евро/кДж

Средняя закупочная цена на энергоноситель:
 – жидкое топливо – $2,2 \cdot 10^{-6}$ Евро/кДж;
 – электроэнергия – $3,48 \cdot 10^{-2}$ Евро/кВт·ч.

Для определения капитальных (инвестиционных) затрат для каждого элемента необходимо знать параметры n , b , y , N (табл. 5).

Табл. 5

Элемент	n	b	y	N (годы)
Солнечный коллектор	1	0,06	4	20
Компрессор	0,95	0,06	2	10
Конденсатор	0,6	0,06	2	15
Испаритель	0,53	0,06	16	15
Водогрейный котел	0,5	0,06	16	20

Проведем анализ рассматриваемых вариантов систем отопления на основании эксергоэкономического фактора f (табл. 6).

Табл. 6

Системы	$Z^{cl} + Z^{OH}$ Евро/год	Z^{fuel} Евро/год	f
Система 1	4035	734140	0,01
Система 2	5044	226286	0,022
Система 3	5044	288000	0,017
Система 4	42020	556353	0,07
Система 5	73911	149146	0,331

Видно, что система 1 имеет наименьшее значение f . Системы 2 и 3 незначительно отличаются друг от друга. Эффективность системы

4 примерно в 3,5 раза выше эффективности систем 2 и 3. Максимальное значение коэффициента эффективности – у варианта 5. Можно сделать вывод, что при использовании тепловых насосов (естественно, обосновано) можно получить высокие показатели эксергоэкономического фактора.

Выводы

Изложенный метод оптимизации и пример приложения его к решению оптимизации ряда энергопотребляющих систем позволяют отметить преимущество концепции эксергоэкономической оптимизации – определение эффективности энергетических и экономических показателей в их взаимозависимости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Харари Ф. Теория графов. – М.: Мир,

1973. – 300 с.

2. *Эксергетические* расчеты технических систем: Справ. пособие / В.М. Бродянский, Г.П. Верхивкер, Я.Я. Карчев и др.; Под ред. А.А. Долинского, В.М. Бродянского. – К.: Наук. думка, 1991. – 360 с.

3. *Амерханов Р.А.* Оптимизация сельскохозяйственных энергетических установок с использованием возобновляемых видов энергии. – М.: Колос, 2003. – 532 с.

4. *Wu C. and Niculshin V.* Method of thermoeconomical optimization of energy intensive systems with linear structure on graphs // *International journal of Energy Research*, 24, 615-623 (2000).

5. *Bejan A., Tsatsaronis G., Moran M.* Thermal Design and Optimization. – New York; J. Wiley, 1996. – 530 p.

6. *Тсатсаронис Дж.* Взаимодействие термодинамики и экономики для минимизации стоимости энергопреобразующей системы (научн.

ред. и перев. с англ. проф. Т.В. Морозюк). – Одесса: Студия "Негоциант", 2002. – 152 с.

7. *Лозано М.А., Валеро А.* Теория эксергетической стоимости // *Энергия*, Т. 18, 1993, № 9. – Пергамон Пресс. – С. 939-960.

8. *Долинский А.А., Драганов Б.Х., Дубровин В.А.* Оптимизация технических систем методом эксергоэкономики // *Промышленная теплотехника*. – 2003. – № 4. – С. 28-31.

9. *Драганов Б.Х.* Термoeкономическая оптимизация энергетических систем при эксплуатационном и экологическом решениях их работы // *Экотехнологии и ресурсосбережение*. – 2006. – № 2. – С. 8-10.

10. *Долинский А.А., Драганов Б.Х., Морозюк Т.В.* Альтернативное теплоснабжение на базе тепловых насосов: критерии оценки // *Промышленная теплотехника*. – 2007. – Т. 29. – № 6. – С. 67-71.

Получено 18.12.2009 г.

УДК 644.1

Гридин С.В., Колесниченко Н.В., Носовская О.А.

Донецкий национальный технический университет

ОПТИМИЗАЦИЯ АККУМУЛЯЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ТИПОВОГО ЖИЛОГО ЗДАНИЯ

Акумуляційна система теплопостачання складається з електричних котлів та бака-акумулятора (БА). Для оптимізації системи визначено значення температур подачі води, об'ємів БА, характеристика опалювальних приладів і товщина ізоляційних плит з урахуванням мінімального терміну окупності.

Аккумуляционная система теплоснабжения состоит из электрических котлов и бака-акумулятора (БА). Для оптимизации системы определены интервалы значений температур подачи воды, объемов БА, характеристика отопительных приборов и толщина изоляционных плит с учетом минимального срока окупаемости.

Consider the system of accumulation for heating. It consists of electric boilers and tank battery. To optimize the system defined by intervals values of the temperature of water supply, the volume of the tank battery, the characteristic of heating appliances and the thickness of insulation boards subject to the minimum payback period.

B – расход;

c – теплоемкость;

F – площадь поверхности;

k – коэффициент теплопередачи;

$k \cdot F$ – характеристика отопительного прибора

после реконструкции;

$(k \cdot F)'$ – характеристика отопительного

прибора при температурном графике 95/70;

n – продолжительность;

Q – тепловая мощность, количество тепла;