

УДК 621.11

ДРАГАНОВ Б.Х., МИЩЕНКО А.В.

Национальный аграрный университет Украины

К ВОПРОСУ О ТЕПЛОВЫХ НАСОСАХ

Наведено основні відомості про парокompresорні та абсорбційні теплові насоси, дано оцінку їхньої енергетичної ефективності. Приведено рекомендовані схемні рішення теплових насосів, викладено метод енергетичної та економічної оптимізації.

Изложены основные сведения о парокompresорном и абсорбционном тепловых насосах, дана оценка их энергетической эффективности. Приведены рекомендуемые схемные решения тепловых насосов и изложен метод энергетической и экономической оптимизации.

The main information about vapor compression, absorptive heat pumps and evaluation of their power efficiency has been given. The recommended diagrammatical decisions of heat pumps have been given. The method of power and economic optimization was stated.

C_n — годовые капитальные затраты;
 COP — коэффициент преобразования;
 $f_{yi}, f_{\phi i}$ — нелинейные функции i -го элемента;
 h — энтальпия;
 K — конструктивный параметр элемента;
 l — работа;
 N — мощность привода компрессора;
 Q, q — тепловой поток;
 P — давление;
 T, t — температура;
 u — входные внешние параметры элемента;
 Z — критерий оптимальности;
 x — входные внутренние параметры элемента;
 y — выходные параметры элемента;
 Π — цена;
 Γ — топология подключения элемента в систему;

ϵ_x — холодильный коэффициент;
 η — коэффициент полезного действия;
 μ — эффективность теплового насоса;
 ξ — концентрация фазы;
 ψ — отопительный коэффициент;

Индексы:**Верхний:**

D — действительный;

Нижние:

e — эффективный;

i — номер элемента;

$вых$ — выходной;

d — поток, передаваемый потребителю;

K — Карно;

$ком$ — после компрессора;

o — окружающая среда;

$СТС$ — степень термодинамического совершенства.

Принцип работы теплового насоса (ТН) предложил В. Томсон (в последствии — лорд Кельвин) в 1852 г. Он показал, что установка, работающая по принципу холодильной машины, может быть использована для целей отопления. Предложенный Томсоном тепловой насос, названный им умножителем теплоты, использует в качестве рабочего тела воздух окружающей среды.

Применение термотрансформаторов позволяет наиболее рационально удовлетворить возникающие во все возрастающих размерах потребности в теплоте или холоде за счет имеющихся в распоряжении различных источников теплоты и электроэнергии. Согласно прогнозам Мирового

энергетического комитета (МИРЭК) к 2020 г. 70 % коммунального и производственного теплоснабжения в развитых странах будет осуществляться с помощью тепловых насосов. Кроме того, применение тепловых насосов позволяет решить также экологические вопросы.

Для определения энергетической эффективности использования исходной энергии топлива и влияния каждого вида отопления на экологию Комиссией по тепловым насосам Европейского Экономического Сообщества (ЕЭС) в 1991 был проведен анализ систем отопления, распространенных в Европе. Результаты этого анализа приведены в табл. 1.

Табл. 1. Показатели систем отопления по данным ЕЭС

Система отопления	Энергетическая эффективность начальной энергии, %	Выброс CO ₂ , кг/кВт
Электрическое отопление	35	0,55
Котел на жидком топливе и отопление горячей водой	80	0,29
Газовый котел и отопление горячей водой	90	0,21
Тепловой насос с электрическим приводом	110	0,22...0,14
Абсорбционный тепловой насос	130	0,17
Тепловой насос с приводом от газового двигателя	150	0,12

Тепловой насос — это комплекс взаимосвязанных элементов, в которых рабочее вещество осуществляет обратный термодинамический цикл. Такой способ переноса теплоты получил название динамического отопления. Тепловой насос является аналогом холодильной машины по процессам и по принципу действия.

Эффективность холодильной машины характеризуется холодильным коэффициентом, равным отношению количества теплоты q_2 , отводимой от охлаждаемого тела в испарителе, к затраченной на осуществление цикла работе $l = q_1 - q_2$:

$$\varepsilon_x = q_2/l. \quad (1)$$

Эффективность действия теплового насоса оценивается отношением:

$$\mu = q_1/l = \varepsilon_x + 1, \quad (2)$$

где q_1 — теплота, отданная в отопительную систему.

Это объясняется тем, что потребителю передается теплота, эквивалентная затраченной работе компрессора, и низкопотенциальная теплота разных источников: наружный воздух, поверхностные воды (река, озеро, море), подземные воды, грунт, солнечная энергия, низкопотенциальная теплота искусственного происхождения (сбросные воды, вытяжной воздух систем вентиляции и пр.).

Теплонасосные установки используют для отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха, повышения эффективности энергетических установок.

В табл. 2 в качестве примера представлены возможные варианты систем теплонасосных установок.

Теплонасосные установки в сочетании с электрогенератором могут обеспечивать потребителей электроэнергией, теплотой и холодом.

Выбор типа и схемы теплонасосной установки (ТНУ) зависит от структуры энергоносителей региона, системы и мощности систем тепло- и хладоснабжения, условий формирования приходной части энергетического баланса разрабатываемой установки.

Наибольшее распространение получили парокompректорные и абсорбционные тепловые насосы.

На рис. 1 приведена схема теплоснабжения с использованием парокompректорного теплового насоса. Источником теплоты служит геотермальная энергия.

Схема теплоснабжения потребителей при использовании солнечной энергии и абсорбционного теплотрансформатора представлена на рис. 2.

Пример применения теплонасосных установок с целью повышения эффективности энергопотребляющих систем приведен на рис. 3.

В последние 10-15 лет в мировой литературе все больше используется величина COP (англ. — coefficient of performance — коэффициент преобразования) как характеристика процессов преобразования теплоты и работы в термотрансформаторе. Понятие термотрансформатор обобщает все известные на сегодняшний день энергопреобразующие машины, т.е. машины, работающие по прямым термодинамическим циклам, машины, работающие по обратным термодинамическим циклам и машины, работающие по смешанным и гибридным термодинамическим циклам.

Табл. 2. Матрица принципиально возможных сочетаний элементарных частей для систем теплонасосных установок

Вид энергии для привода компрессора	Источник теплоты	Режим работы	Источник дополнительной энергии	Теплоноситель	Система распределения теплоты
Электроэнергия	Воздух: наружный; циркулирующий; сбросной	Моновалентный	Отсутствует	Вода	Температура теплоносителя > 55°
Газ	Вода: грунтовая; поверхностная; охлаждающая; сбросная; промышленные отходы	Бивалентный альтернативный	Топливо: мазут; сжиженный газ; уголь; Природный газ	Воздух	Температура теплоносителя < 55°
Нефть	Грунт	Бивалентный параллельный	Электроэнергия		
	Солнечная радиация		Централизованное теплоснабжение		

Действительная степень термодинамического совершенства систем теплоснабжения

$$COP_{CTC}^D = \frac{Q_d}{N_e} \quad (3)$$

КПД теплонасосной установки

$$\eta_{THU}^D = \frac{COP_D}{COP_K} \quad (4)$$

При определении эффективности тепловых насосов пользуются также формулой, предложенной в [1]:

$$COP_M = 0,74 \frac{T_0}{T_{ком} - T_0} - \left(0,0032 T_0 + 0,765 \frac{T_0}{T_{ком}} \right) + 0,9 \quad (5)$$

Математическая модель *i*-го элемента теплонасосной системы выражается набором функциональных операторов:

$$\begin{aligned} y_i &= f_{y_i}(x_i, u_i, K_i, \Gamma_i), \\ \Phi_i &= f_{\Phi_i}(x_i, u_i, K_i, \Gamma_i), \\ \Psi &= (p, T, h, u_i, \xi). \end{aligned} \quad (6)$$

Конкретизация функциональных связей системы уравнений (6) осуществляется по данным известных литературных источников. Система замыкается набором балансных уравнений *i*-го элемента: расходов, энергии, гидравлических напоров, изменения энтальпии.

В качестве критерия оптимальности примем выражение суммарных термоэкономических затрат в системе

$$\sum_i \sum_j Z_{ij} = Z_{\Sigma}^{\min}, \quad (7)$$

где Z_{ij} — эксергоэкономические затраты в *i*-м элементе (так как $j = 1$).

Для выполнения условия (7) достаточно найти такой оптимальный путь $\bar{C} \subset N$, где

$$\bar{C} = (C_0^{(0)}, C_1^{(1)}, \dots, C_{i_p}^{(p)}, \dots, C_{[n-(p-1)]}^{(k)}), \quad (8)$$

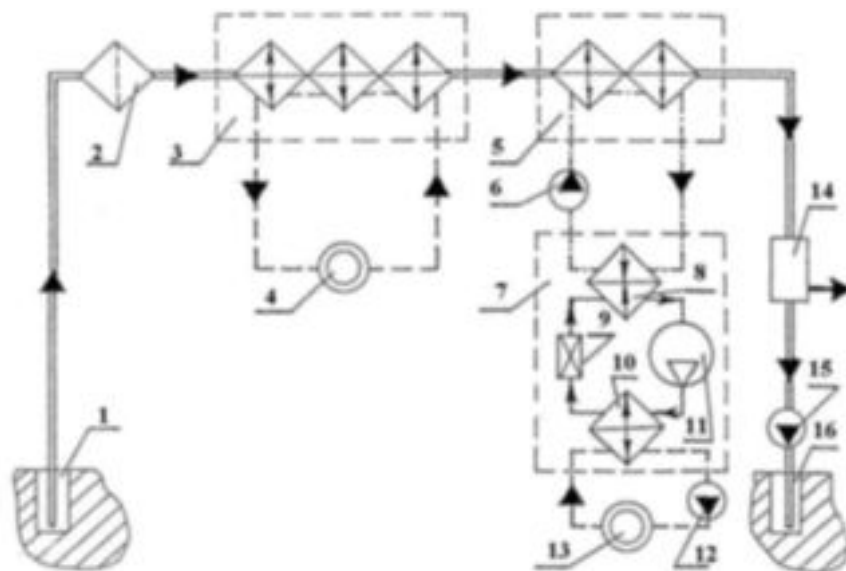


Рис. 1. Схема теплоснабжения от геотермальной воды с использованием теплонасосной установки:
 1 — эксплуатационная скважина; 2 — фильтр; 3 — теплообменники первой ступени системы теплоснабжения потребителей; 4, 13 — потребители; 5 — теплообменники второй ступени; 6, 12, 15 — насосы; 7 — тепловой насос; 8 — испаритель теплового насоса; 9 — дроссельный клапан теплового насоса; 10 — конденсатор теплового насоса; 11 — компрессор теплового насоса; 14 — котел (дублер); 16 — нагнетательная скважина.

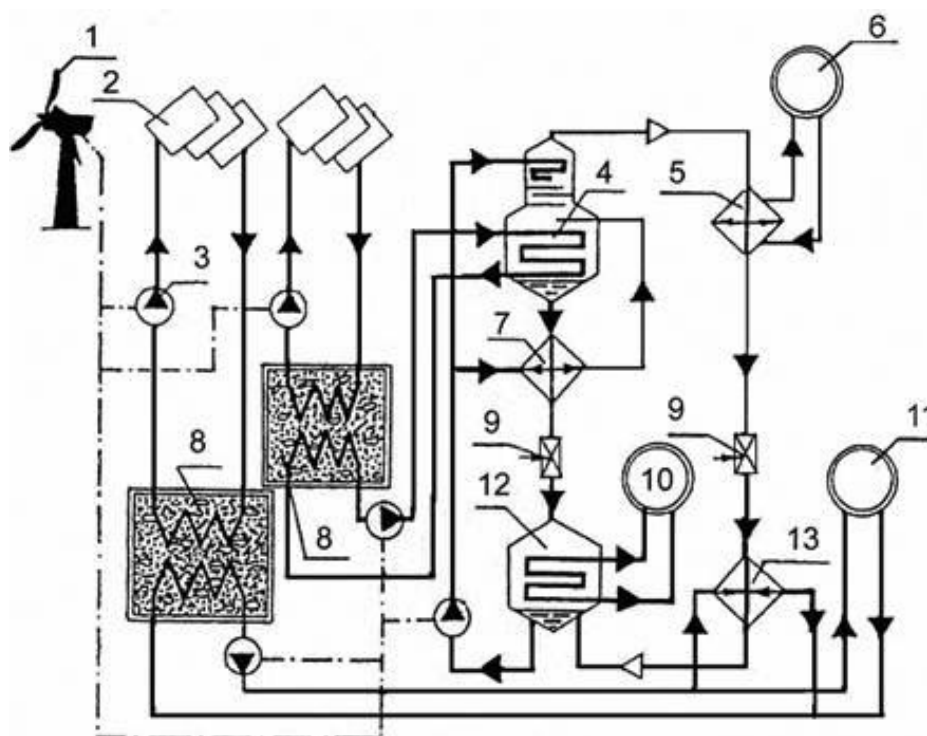


Рис. 2. Схема теплохладоснабжения с абсорбционным тепловым насосом:
 1 — ветродвигатель; 2 — солнечные коллекторы; 3 — насос; 4 — генератор с дефлегматором; 5 — конденсатор; 6, 10 — потребитель холода; 7 — теплообменник раствора; 8 — аккумулятор теплоты; 9 — дроссельные вентили; 11 — потребитель теплоты; 12 — абсорбер; 13 — испаритель.

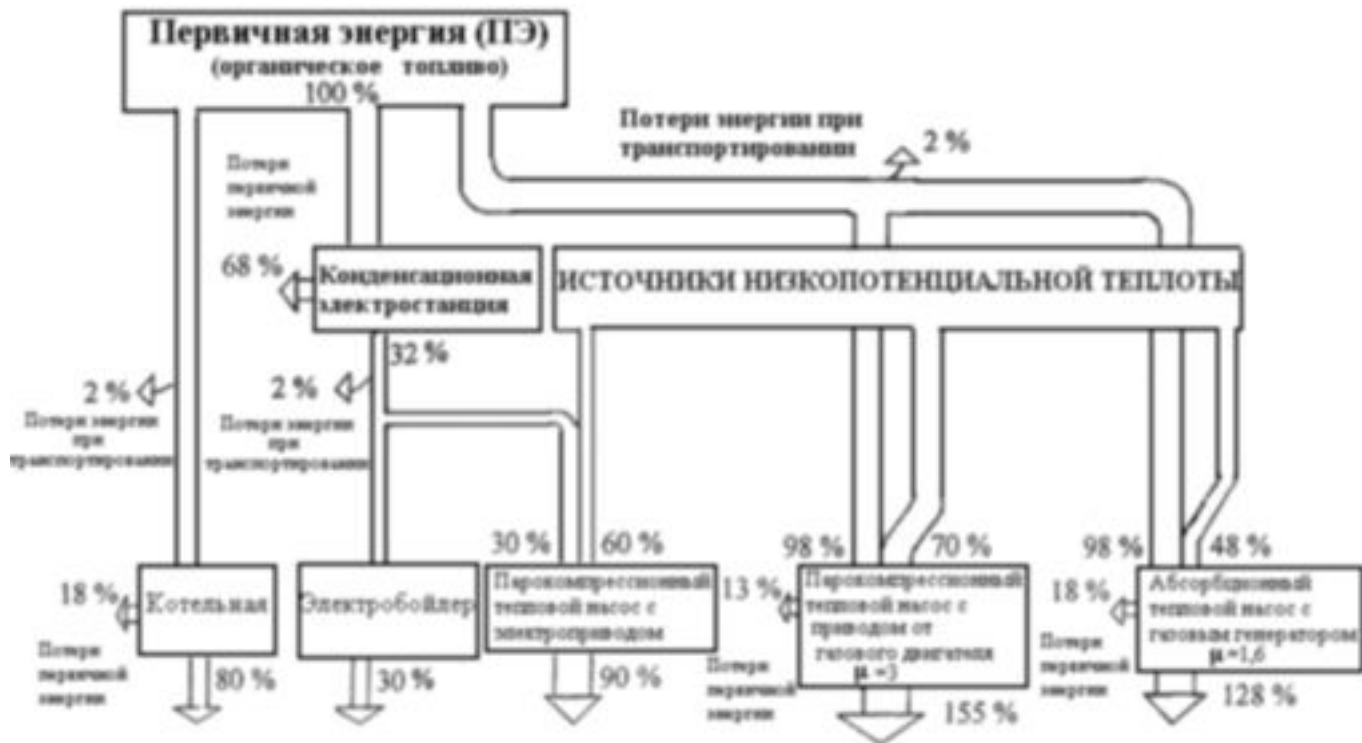


Рис. 3. Принципиальная схема использования тепловых насосов в системах энергоснабжения потребителей

для которого

$$\sum_{i_p} \sum_p Z_{i_p}^{(p)} = Z_{\Sigma}^{\min} \quad (9)$$

При нахождении оптимального пути в графах без контуров обычно пользуются алгоритмом Беллмана-Калаба, в основу которого положен анализ матрицы стоимостей.

В общем случае термоэкономический критерий оптимальности имеет вид [2, 3]

$$Z_{\Sigma} = \left(\frac{\sum_n C_n \Pi_n + \bar{C}_n}{\sum_k e_k} \right), \quad (10)$$

где C_n , Π_n — стоимость и годовое потребление эксергии из внешних источников; \bar{C}_n — годовые капитальные и другие, связанные с ними затраты в n -м элементе; e_k — годовой расход эксергии для получения k -го продукта.

Выводы

Теплонасосные установки могут заметно повысить эффективность коммунального теплоснабжения. Системы ТНУ перспективны для нашей страны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мартыновский В.С. Анализ действительных термодинамических циклов. — М.: Энергия, 1972. — 216 с.
2. Никульшин Р.К., Драганов Б.Х., Морозюк Т.В. Анализ теплонасосных систем теплохладоснабжения на основе эксерготопологического представления математической модели // Сб. докладов IV съезда АВОК. — М., 1995. — С. 213-218.
3. Долинский А.А., Драганов Б.Х., Дубровин В.А. Оптимизация технических систем методами эксергоэкономики // Промышленная теплотехника. — 2003, № 4. — С. 28-31.

Получено 10.03.2006 г.