

УДК 697: 668: 621

ПЕТРАШ В.Д., БАСИСТ Д.В.

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

УСЛОВИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ РАБОТЫ ТЕПЛОНАСОСНОЙ СИСТЕМЫ СОЛНЕЧНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Наведено аналіз особливостей функціонального устрою запропонованої теплонасосної системи сонячного теплопостачання парокompресійного типу, визначено умови її енергоефективної роботи на основі вибору температури конденсації робочого тіла залежно від співвідношення взаємозв'язаних потоків сонячного випромінювання, приводної потужності компресора та споживаної теплоти абонентними системами

Проведен анализ особенностей функционального устройства предложенной теплонасосной системы солнечного теплоснабжения парокompрессионного типа, определены условия её энергоэффективной работы на основе выбора температуры конденсации рабочего тела в зависимости от соотношения сопряженных потоков солнечного излучения, приводной мощности компресора и потребляемой теплоты абонентскими системами

We analyze the features of functional structure of the vapor-compression-type heat-pump system for solar heat supply, proposed earlier. The conditions of its energy efficient work have been determined on the basis of choice of condensation temperature of the working body depending on the ratio between the coupled fluxes of solar radiation, compressor power, and heat consumed by user's systems.

a – экспериментальный коэффициент, который суммарно учитывает все потери: в цикле, в электродвигателе и от внешней необратимости в процессе теплопередачи;

$c_{p,m}$ – среднее значение теплоемкости воды в рассматриваемом температурном интервале;

G – расход теплоносителя;

I – эффективная интенсивность солнечного излучения в плоскости коллектора в период анализируемого режима работы системы;

M – масса теплоносителя в баке-аккумуляторе, отнесенная к 1 м^2 КСЭ;

N – удельное значение приводной мощности компресора в процессе передачи теплоты солнечного нагрева воды абонентской системе;

$Q_{аб}$ – тепловой поток абонентского потребления, отнесенный к 1 м^2 КСЭ;

Более чем двухкратное увеличение темпов мирового потребления энергии за прошедшие два десятилетия повлекло за собой истощение запасов и удорожание органического топлива. Не менее острой стала задача предотвращения теплового загрязнения биосферы для снижения экологической напряженности.

T, t – температура рабочего тела в идеальном парокompрессионном цикле;

τ – время;

φ – действительное значение теплового коэффициента парокompрессионного цикла ТН;

КСЭ – коллектор солнечной энергии;

ТН – тепловой насос;

ТНССТ – теплонасосная система солнечного теплоснабжения.

Индексы:

$з$ – режим работы абонентских систем с одновременной зарядкой бака-аккумулятора;

$к$ – режим конденсации рабочего тела;

$о$ – режим испарения рабочего тела.

Весьма перспективной альтернативой в решении указанной проблемы является применение ТНССТ [1, 2, 3], которые позволяют повысить эффективность преобразования солнечной энергии, расширить объем выработки теплоты и продлить период полезной эксплуатации гелиосистем.

Однако ТНССТ имеет некоторые недостатки [2, 4, 5, 6]. В часы интенсивного солнечного из-

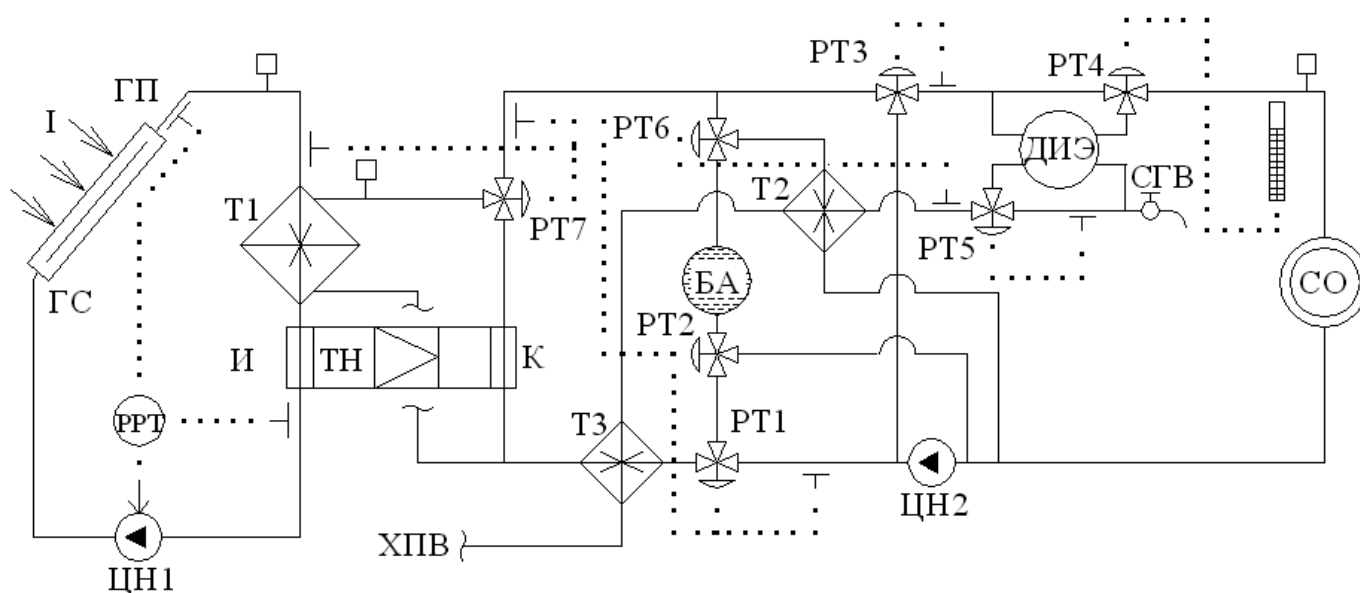


Рис. 1. Принципиальная схема теплонасосной системы солнечного теплоснабжения повышенной эффективности.

Условные обозначения: ГС – гелиоконтур системы; ГП – гелиоприемник; ТН – тепловой насос; К – конденсатор; И – испаритель; СО – система низкотемпературного отопления; СГВ – система горячего водоснабжения; БА – бак-аккумулятор; ДИЭ – дополнительный источник энергии; РРТ – регулятор разности температур; ЦН – циркуляционные насосы; Т – теплообменник; РТ – температурный регулятор расхода теплоносителя; точечные линии – импульсные связи.

лучения, прежде всего в теплый период года, эффективность гелиосистем существенно зависит от степени несоответствия графиков выработки и потребления энергии. При наибольшей интенсивности солнечного излучения температура теплоносителя после гелиоприемников достигает максимальных значений. Это приводит к перегреву рабочего тела с нарушением номинального режима парокompрессионного цикла во всех структурных элементах ТН. Поэтому суточная и сезонная неравномерность трансформации теплоты в ТН ограничивает область использования солнечной энергии, особенно на юге Украины.

На рис. 1 представлена принципиальная схема предложенной нами ТНССТ, которая состоит из гелио- и абонентской систем, функционально взаимосвязанных между собой контуром парокompрессионного ТН. В испарителе происходит отбор теплоты солнечного нагрева воды с последующей трансформацией и передачей её низкотемпературным системам отопления, вентиляции и горячего водоснабжения. Эффективность работы ТНССТ достигается за счет отбора части

теплого потока нагреваемой воды для абонентского потребления с помощью дополнительного теплообменника Т1 в гелиоконтуре, установленном до испарителя и работающем на параллельном участке магистрального трубопровода системы теплоснабжения относительно теплонасосного контура. Это позволяет не только передать часть теплоты с повышенным температурным потенциалом от теплоносителя гелиоконтура к абонентскому теплоносителю более простым способом рекуперативного теплообмена с незначительными энергозатратами, но и снизить тепловую нагрузку до номинального уровня в работе ТН. Такое решение дает возможность с помощью температурного регулятора расхода теплоносителя РТ7 стабилизировать рациональный температурный режим ТН, прежде всего в периоды максимальной интенсивности солнечного излучения либо при несоответствии графиков выработки и потребления теплоты соответствующими системами.

Проанализируем условия энергоэффективной работы ТНССТ на основе предложенной функциональной взаимосвязи структурных подсистем

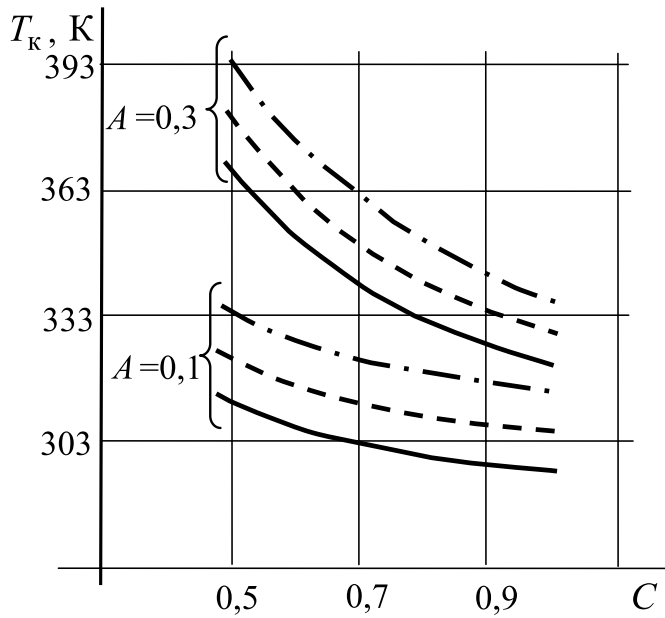


Рис. 2. Зависимость температуры конденсации T_k рабочего тела в теплонасосной системе солнечного теплоснабжения от соотношения энергетических потоков A и C в процессе работы гелиоконтура при температуре в испарителе $T_0 = (283...303)K$: Условные обозначения:

- — $T_0 = 283 K$;
- — $T_0 = 293 K$;
- · - · - · — $T_0 = 303 K$.

в наиболее характерном режиме эксплуатации, характеризуемом одновременной выработкой теплоты для потребления и зарядки бака-аккумулятора. При рассчитанной поверхности коллекторов солнечной энергии, например, по условиям нагрузки отопительно-вентиляционных систем и горячего водоснабжения, с повышением интенсивности солнечного излучения сверх расчетного значения, происходит выработка избыточной теплоты, особенно при снижении мощности теплотребления. Таким образом, в анализируемом режиме работы ТНССТ одновременно с выработкой теплоты происходит и зарядка бака-аккумулятора. Для условно принятого процесса квазистационарного теплообмена трансформируемая энергия солнечного излучения, воспринятая с $1 \text{ м}^2 \text{ КСЭ}$ [7], и соответствующая приводная мощность компрессора за период dt равны теплоте абонентского потребления и зарядки бака, что представляется уравнением в следующем виде:

$$I_3 dt + N_3 dt = c_{p,m} M dt + Q_{аб} dt . \quad (1)$$

Разделив почленно слагаемые этого уравнения на $N_3 dt$, а также приняв во внимание, что M/dt представляет собой соответствующий расход теплоносителя G в процессе зарядки бака-аккумулятора, и полагая, что $Q_{аб}/N_3$ отражает действительное значение теплового коэффициента ϕ парокompрессионного цикла ТН, зависимость (1) представим в виде:

$$\phi = 1 + \frac{I_3 - c_{p,m} G dt}{N_3} . \quad (2)$$

Из этого уравнения следует, что эффективность преобразования солнечного излучения в теплоту в анализируемой системе возрастает в режиме избыточной выработки теплоты над абонентским теплотреблением пропорционально интенсивности солнечного излучения со снижением удельной выработки аккумулируемой теплоты на единицу приводной мощности ТН. В работе [8] действительный коэффициент преобразования парокompрессионного цикла рассматривается в таком виде:

$$\phi = a \frac{T_k}{T_k - T_0} . \quad (3)$$

Для ТН теплопроизводительностью (200...1000) кВт с турбокомпрессором значение $a = 0,45 \dots 0,55$.

Для оценки качественной взаимосвязи и влияния количественного соотношения анализируемых потоков солнечного излучения, приводной мощности и абонентского теплотребления на энергоэффективность выработки теплоты в этой системе, введем величины $A = N_3/I_3$ и $C = Q_{аб,з}/(I_3 + N_3) = Q_{аб,з}/[I(1 + A)]$, где A и C – соотношения, учитывающие соответствующую часть рассматриваемых потоков энергии относительно указанных значений. По физическому смыслу соотношение A представляет собой обратную величину холодильного коэффициента, в связи с чем логично рассматривать его реальные значения в пределах $0,1...0,3$. Из второго соотношения тепловых потоков и анализируемого режима работы системы следует, что в реальных условиях C меньше единицы. С учетом приведенных соотношений зависимость удельной выработки теплоты в процессе аккумулирования приобретает вид

$$Gdt = c_{p,m}^{-1} [I_3(1+A)(1-C)] . \quad (4)$$

Совместное решение уравнений (2), (3) и (4) даёт возможность представить зависимость температуры конденсации рабочего тела в парокompрессионном цикле относительно определяющих параметров анализируемой системы в виде

$$T_k = T_0 a^{-1} C (1 + 1/A) / [a^{-1} C (1 + 1/A) - 1]. \quad (5)$$

На рис. 2 приведена графическая интерпретация уравнения (5) для выбора температуры конденсации рабочего тела ТН в зависимости от соотношений энергетических потоков *A* и *C* при значении *a* = 0,5 в процессе работы гелиоконтур с температурой в испарителе $T_0 = (283...03)$ К. Зависимость (5) позволяет установить целесообразные пределы работы ДИЭ и определить общую эффективность энергосбережения в процессе эксплуатации системы.

Выводы

1. Предложенная система солнечного теплоснабжения дает возможность рационально распределить теплоту солнечного нагрева воды между теплообменниками для повышения технического ресурса ТН путем стабилизации его работы в номинальном теплогидравлическом режиме, что одновременно обеспечивает условия повышения эффективности процессов преобразования солнечного излучения с увеличением общей выра-

ботки теплоты для систем коммунально-бытового назначения.

2. Результаты исследования позволяют произвести обоснованный выбор расчетных параметров ТН и определить общие условия высокоэффективной работы анализируемой системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Даффи Дж. А., Бекман У.* Тепловые процессы с использованием солнечной энергии. – М.: Мир, 1977. – 420 с.
2. *Хайнрих Г., Найорк Х., Нестлер В.* Теплонасосные установки для отопления и горячего водоснабжения. – М.: Стройиздат, 1985. – 352 с.
3. *Соколов Е.Я., Бродянский В.М.* Энергетические основы трансформации тепла и процессов охлаждения. – М.: Энергия, 1968. – 335 с.
4. *Мировски А. и др.* Материалы для проектирования котельных и современных систем отопления.: Виссманн, 2005. – 293 с.
5. *Солнечные системы.* Инструкция по проектированию.: Виссманн, 2002. – 80 с.
6. *Рей Д., Макмайкл Д.* Тепловые насосы. – М.: Энергоиздат, 1982. – 221 с.
7. *Бекман У., Клейн С., Даффи Дж.* Расчет систем солнечного теплоснабжения. – М.: Энергоиздат, 1982. – 80 с.
8. *Мартыновский В.С.* Циклы, схемы и характеристики термотрансформаторов. Под ред. Бродянского В. – М.: Энергия, 1979. – 280 с.

Получено 03.12.2007 г.