

Рис. 1. Схема геліосистеми, сопряженной с абсорбционным тепловым насосом через один канал-испаритель: 1 — гелиоколлекторы, 2 — бак-аккумулятор, 3 — тепловой насос, 4 — конденсатор, 5 — генератор, 6 — абсорбер, 7 — испаритель, 8 — дублирующий источник тепла, 9 — потребитель тепла, 10 — гидравлические насосы

УДК 662.997:697.7

В.В. Высочин, канд. техн. наук., доц., Одес. нац. политехн. ун-т

МЕТОД РАСЧЕТА ГЕЛИОСИСТЕМЫ С АБСОРБЦИОННЫМ ТЕПЛОВЫМ НАСОСОМ

В.В. Высочин. Метод розрахунку геліосистеми з абсорбційним тепловим насосом. Розроблено узагальнений метод розрахунку геліосистеми, що враховує взаємний вплив основного й допоміжного устаткування, включаючи абсорбційний тепловий насос.

В.В. Высочин. Метод расчета гелиосистемы с абсорбционным тепловым насосом. Разработан обобщенный метод расчета гелиосистемы, учитывающий взаимное влияние основного и вспомогательного оборудования, включая абсорбционный тепловой насос.

V.V. Wysochin. Method of calculation the solar system with absorbtion heat pump. The generalized abstract method of solar system design with regard for mutual influence of essential and auxillary equipment including a heat pump, is developed.

Гелиосистема, сопряженная с тепловым насосом, представляет значительный интерес для всепогодного использования. Выбор абсорбционного теплового насоса для такой системы объясняется его хорошей приспособленностью к использованию тепловой энергии, получаемой от солнца: это энергоресурс для подъема потенциала и энергия для привода теплового насоса [1]. Известные исследования гелиосистем проводились для различных комбинаций схем [2, 3], однако схема с абсорбционным тепловым насосом в настоящее время не имеет методического сопровождения конструкторских расчетов.

На основе проведенного исследования предлагается метод конструкторской оценки работоспособности сопряженной с абсорбционным тепловым насосом гелиосистемы (рис. 1) с учетом взаимного влияния основного и вспомогательного оборудования.

Влияние основного — гелиоколлекторов 1 и вспомогательного оборудования — блоки 2, 3, 9 — обычно учитывается комплексным коэффициентом F_R эффективности работы гелиосистемы в соотношении

$$Q_u = F_R A [HR(\tau\alpha) - U(t_{in} - t_a)],$$

где Q_u — теплота, получаемая потребителем;

A — лучепоглощающая площадь гелиоколлекторов;

H — интенсивность солнечной радиации, падающей на горизонтальную площадку;

R — коэффициент конвертации плотности потока солнечной радиации с горизонтальной

на наклонную площадку;

$(\tau\alpha)$ — оптическая характеристика гелиоколлектора [2];

U — коэффициент теплопередачи при потерях тепла гелиоколлектором;

t_{in} — температура теплоносителя на входе в гелиоколлектор;

t_a — температура окружающей среды.

Коэффициент эффективности работы гелиосистемы представляет собой соотношение величин выходного и входного для системы тепловых потоков, учитывающее таким образом потери в оборудовании вследствие несовершенства процессов трансформации тепла. Для гелиосистем с тепловым насосом коэффициент эффективности может быть выражен в виде

$$F_R = F_{ГК} F_{ВО} F_{ТН},$$

где $F_{ГК}, F_{ВО}, F_{ТН}$ — коэффициенты эффективности трансформации тепла в гелиоколлекторе, вспомогательном оборудовании и тепловом насосе, соответственно.

Первые два коэффициента исследованы [2] и имеют приемлемые для проектных расчетов методические представления. Для коэффициента $F_{ТН}$ в настоящее время отсутствуют надежные данные.

Рассмотрим схему сопряжения гелиосистемы с тепловым насосом через один канал (см. рисунок 1). Коэффициент эффективности трансформации тепла $F_{ТН}$ для такой схемы является сложной функцией режимных характеристик теплового насоса, а также температурного фактора работы гелиоконтуров, а именно

$$F_{ТН} = f_1 \left(q_{отв}, q_0, q_{Г}, \frac{\bar{t}_{и.вх}}{\bar{t}_б} \right), \quad (1)$$

где $q_{отв}$ — тепловой поток, отведенный потребителю из конденсатора 4 (q_k) и абсорбера 6 (q_a), $q_{отв} = q_k + q_a$;

q_0 — тепловой поток, подведенный от гелиоколлекторов 1 к испарителю 7;

$q_{Г}$ — тепловой поток, подведенный от дублирующего источника 8 к генератору 5;

$\frac{\bar{t}_{и.вх}}{\bar{t}_б}$ — температурный фактор — отношение среднесуточной температуры теплоносителя, подаваемого в испаритель теплового насоса, и средней базовой температуры.

Целесообразно в искомой функциональной связи (1) выделить отдельные факторы, которые составляли бы самостоятельные критерии. От температурного фактора зависит критерий, характеризующий эффективность работы вспомогательного оборудования,

$$F'_{ВО} = f_2 \left(\frac{\bar{t}_{и.вх}}{\bar{t}_б} \right).$$

Как правило, среднесуточная температура теплоносителя равна средней температуре воды в баке-аккумуляторе ($\bar{t}_{и.вх} = \bar{t}_{БА}$), а средняя базовая температура теплоносителя может быть выбрана равной температуре теплоносителя, который подается потребителю ($\bar{t}_б = t_{потр}$), поэтому

$$F'_{ВО} = f_2 \left(\frac{\bar{t}_{БА}}{t_{потр}} \right).$$

Показатели эффективности трансформации тепла в тепловом насосе, сопряженном с гелиосистемой через один канал — испаритель, характеризует другой критерий

$$\zeta_{и} = \frac{q_{отв} - q_{Г}}{q_{подв}},$$

где $q_{\text{отв}} = q_k + q_a$ — суммарный тепловой поток, отведенный потребителю из конденсатора и абсорбера;

$q_{\text{подв}}$ — тепловой поток, подведенный к испарителю теплового насоса, обычно его обозначают q_0 ;

q_r — тепловой поток, подведенный для обогрева генератора, в данном случае от дублирующего источника.

Таким образом, целевая функция (1) с учетом предложенных критериев принимает вид

$$F_{\text{ТН}} = f_1(F_{\text{ВО}}^t \zeta_{\text{и}}). \quad (2)$$

Увеличение соотношения температур теплоносителей на входе в испаритель и выходе из конденсатора $\frac{\bar{t}_{\text{и.вх}}}{\bar{t}_{\text{к.вых}}}$ приводит к росту эффективности работы теплового насоса [1]. Вместе с тем при росте температуры воды в баке-аккумуляторе гелиосистемы с тепловым насосом, для которой $t_{\text{БА}} = t_{\text{и.вх}}$, ухудшается работоспособность гелиоконтра, т.к. возрастают тепловые потери в гелиоприемнике и баке-аккумуляторе [2, 3]. Однако проведенные исследования не нашли отражения в формализованном виде, необходимом для создания математических моделей.

Предлагаются результаты исследований, которые обобщены в виде выражения, дополняющего известные зависимости для показателя эффективности трансформации солнечной энергии в абсорбционном тепловом насосе [1].

Исследования проводились на математической модели двухконтурной гелиосистемы с односекционным баком-аккумулятором (см. рисунок 1). Модель разработана в динамическом виде, который позволяет исследовать функционирование системы в развертке суточного изменения тепловой, в т.ч. солнечной, ситуации. Система уравнений математической модели включает блоки расчета мгновенной интенсивности солнечной радиации, в основу которого для специально разработанных уравнений положены данные из климатического справочника [4], нестационарного теплообмена в плоском гелиоколлекторе, нестационарного теплообмена в баке-аккумуляторе со встроенным змеевиком теплообменником. Результаты динамического исследования обрабатывались в усредненном виде, с приведением к суточному циклу.

Получена функциональная зависимость среднесуточного критерия эффективности работы вспомогательного оборудования гелиоконтра $F_{\text{ВО}}^t$ от температурного фактора, т.е. относительной среднесуточной температуры воды в баке-аккумуляторе $\frac{\bar{t}_{\text{БА}}}{t_{\text{потр}}}$, которая

непосредственно поступает потребителю, в частности, в испаритель теплового насоса, и месяца года (рис. 2). Для теплоносителя, который подается потребителю, принято значение температуры $t_{\text{потр}} = 45$ °С, приемлемое для низкотемпературного отопления и горячего водоснабжения.

Эффективность работы вспомогательного оборудования гелиоконтра существенно зависит от температурного режима. Большое влияние оказывает также календарная привязка

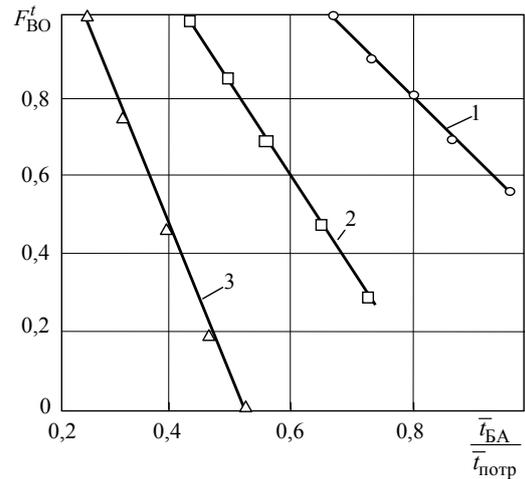


Рис. 2. Зависимость среднесуточного критерия эффективности вспомогательного оборудования гелиоконтра $F_{\text{ВО}}^t$ от относительной среднесуточной температуры воды в баке-аккумуляторе $\frac{\bar{t}_{\text{БА}}}{t_{\text{потр}}}$ и от месяца года N : 1 — июль, 2 — апрель, 3 — январь; точки — результаты численного исследования модели, сплошные линии — принятые аппроксимации

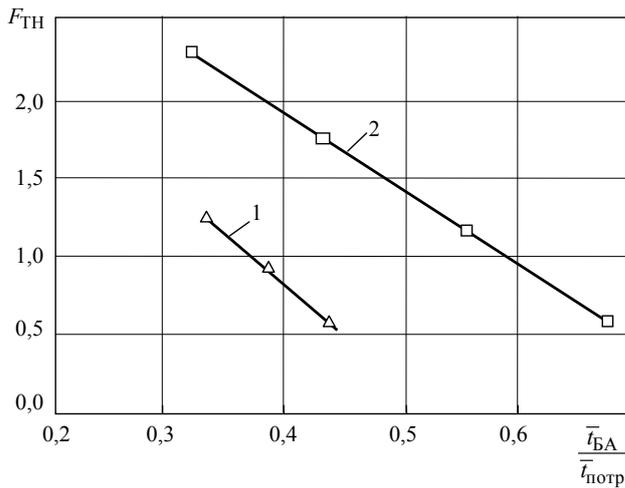


Рис. 3. Зависимость коэффициента эффективности использования теплового насоса в системе гелиоприемника $F_{ТН}$ от температурного фактора $\frac{\bar{t}_{BA}}{\bar{t}_{потр}}$ работы совместной системы и месяца года

N :

1 — январь, 2 — апрель

рассматриваемого периода работы, что объясняется различной интенсивностью солнечной радиации и продолжительностью солнечной активности в течение суток. Влияние температурного фактора $\frac{\bar{t}_{BA}}{\bar{t}_{потр}}$ на критерий эффективности вспомогательного оборудования F'_{BO} неодинаково в различные периоды года — в зимнее время больше, чем летом.

В результате обобщения данных исследования гелиосистемы, расположенной на широте г. Одессы $\varphi=46,5^\circ$, получено выражение для критерия эффективности вспомогательного оборудования гелиоконтра

$$F'_{BO} = (0,3291N - 3,703) \left(\frac{\bar{t}_{BA}}{\bar{t}_{потр}} \right) + \dots$$

где N — номер месяца года.

Обобщенная целевая функция (1) с учетом результатов исследования теплового насоса [1] принимает вид

$$F_{ТН} = \left[\frac{q_k + q_a - q_r}{q_0} \right] F'_{BO} = \left\{ 0,0067 \left(\frac{\bar{t}_{BA}}{\bar{t}_{потр}} \right) + 0,5326 - \left[0,0186 - 0,0192 \left(\frac{\bar{t}_{BA}}{\bar{t}_{потр}} \right) \right] \varepsilon_0 \right\} \times (0,3291N - 3,703) \left(\frac{\bar{t}_{BA}}{\bar{t}_{потр}} \right) + 0,0343N + 1,7453 \times \frac{1}{\varepsilon_a}, \quad (3)$$

где ε_0 и ε_a — коэффициенты трансформации тепла в теплообменниках испарителя и абсорбера, соответственно [1].

Полученная зависимость представлена как функция от температурного фактора $\frac{\bar{t}_{BA}}{\bar{t}_{потр}}$ (рис. 3). Временная область ограничена отопительным сезоном, для которого наиболее представительными месяцами являются январь — $N=1$ и апрель — $N=4$. Летние месяцы не рассматриваются, т.к. энергия солнца в этот период используется не для испарительной части теплового насоса, а для генераторной, что не учитывается данным показателем.

Эффективность использования теплового насоса, сопряженного с гелиоприемником, существенно снижается при росте температурного фактора. Это обусловлено решающим влиянием гелиоприемника, для которого зависимость эффективности трансформации энергии F'_{BO} от температурного фактора имеет подобный характер, для работы теплового насоса влияние температурного фактора на показатель эффективности $F_{ТН}$ противоположное.

Для рассматриваемых условий выбор температурного уровня, вообще говоря, невелик. Поэтому целесообразно задаться постоянным значением температурного фактора, например, $\frac{\bar{t}_{BA}}{\bar{t}_{потр}} = 25/45 = 0,56$, оптимальным для переходных месяцев — апреля и октября. Тогда

можно получить упрощенное соотношение для коэффициента эффективности теплового насоса в комплексной установке с гелиоприемником

$$F_{\text{ТН}} = \frac{0,563 - 0,0078\varepsilon_0}{\varepsilon_a}. \quad (4)$$

Погодные условия в январе не могут обеспечить такой температурный уровень работы установки (см. рисунок 2). Поэтому упрощенное соотношение (4) для краевых месяцев года может быть использовано при конструктивном расчете — определении площади гелиоколлекторов и размеров соответствующего оборудования. Для круглогодичной оценки работоспособности гелиосистемы с учетом влияния основного и вспомогательного оборудования следует применять соотношение (3).

Литература

1. Высочин, В.В. Обобщенная математическая модель абсорбционного теплового насоса для работы в гелиосистеме / В.В. Высочин // Тр. Одес. политехн. ун-та. — Одесса, 2009. — Вып. 2 (32). — С. 69 — 73.
2. Бекман, У. Расчет систем солнечного теплоснабжения / У. Бекман, С. Клейн, Д. Даффи. — М.: Энергоиздат, 1982. — 80 с.
3. Байрамов, Р.Б. Системы солнечного теплоснабжения в энергетическом балансе южных районов страны / Р.Б. Байрамов, А.Д. Ушакова. — Ашхабад: Ылым, 1987. — 220 с.
4. Справочник по климату СССР. Вып.10, ч.1. Солнечная радиация, радиационный баланс и солнечное сияние. — Л.: Гидрометеорологическое изд-во, 1966. — 320 с.

Рецензент д-р техн. наук, проф. Одес. нац. политехн. ун-та Денисова А.Е.

Поступила в редакцию 24 декабря 2009 г.