

## 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 гелио-

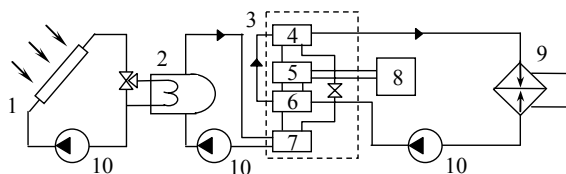


Рис. 1. Схема гелиосистемы, сопряженной с абсорбционным тепловым насосом через один канал-испаритель: 1 — гелиоколлекторы, 2 — бак-аккумулятор, 3 — тепловой насос, 4 — конденсатор, 5 — генератор, 6 — абсорбер, 7 — испаритель, 8 — дублирующий источник тепла; 9 — потребитель тепла, 10 — гидравлические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

систем 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.

Рассмотрена схема 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 гелиоконтура, а именно

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

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

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

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

$\frac{\bar{t}_{и.вх}}{t_б}$  — температурный фактор — соотношение 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,

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

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 ( $t_б = t_{потр}$ ), 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  $q_{отв} = q_{к} + q_{а}$  — суммарный тепловой поток, отведенный потребителю из конденсатора и абсорбера;

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

$q_{Г}$  — тепловой поток, подведенный для обогрева генератора, в данном случае от дублирующего источника.

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

$$F_{ТН} = f_1(F'_{ВО} \zeta_{и}). \quad (2)$$

Увеличение соотношения температур теплоносителей на входе в испаритель и выходе из конденсатора  $\bar{t}_{и.вх} / \bar{t}_{к.вых}$  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 с встроенным змеевиковым теплообменником. Результаты динамического исследования обрабатывались в усредненном виде, с приведением к суточному циклу.

Получена функциональная зависимость среднесуточного критерия эффективности работы вспомогательного оборудования гелиоконтра  $F'_{\text{ВО}}$  от температурного фактора, т.е. относительной среднесуточной температуры воды в баке-аккумуляторе  $\bar{t}_{\text{БА}}/\bar{t}_{\text{потр}}$ , которая непосредственно поступает потребителю, в частности в испаритель теплового насоса, и месяца года (рис. 2). Для теплоносителя, который подается потребителю, принято значение температуры  $t_{\text{потр}} = 45^\circ\text{C}$ , приемлемое для низкотемпературного отопления и горячего водоснабжения.

Эффективность работы вспомогательного оборудования гелиоконтра существенно зависит от температурного режима. Большое влияние оказывает также календарная привязка рассматриваемого периода работы, что объясняется различной интенсивностью солнечной радиации и продолжительностью солнечной активности в течение суток. Влияние температурного фактора  $\bar{t}_{\text{БА}}/\bar{t}_{\text{потр}}$  на критерий эффективности вспомогательного оборудования  $F'_{\text{ВО}}$  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

$$F'_{\text{ВО}} = (0,3291N - 3,703) \left( \frac{\bar{t}_{\text{БА}}}{\bar{t}_{\text{потр}}} \right) + 0,0343N + 1,7453,$$

где  $N$  — номер месяца года.

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

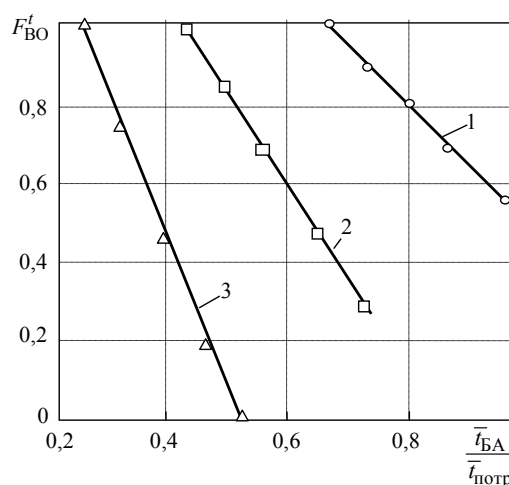


Рис. 2. Зависимость среднесуточного критерия эффективности вспомогательного оборудования гелиоконтра  $F'_{\text{ВО}}$  от относительной среднесуточной температуры воды в баке-аккумуляторе  $\bar{t}_{\text{БА}}/\bar{t}_{\text{потр}}$  и от месяца года  $N$ : 1 — июль, 2 — февраль, 3 — январь; точки — результаты численного исследования модели, сплошные линии — принятые аппроксимации

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

где  $\varepsilon_0$  и  $\varepsilon_a$  — коэффициенты трансформации тепла в теплообменниках испарителя и абсорбера, соответственно [1].

Полученная зависимость представлена как функция от температурного фактора  $\bar{t}_{\text{БА}}/\bar{t}_{\text{потр}}$  (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  $F'_{\text{ВО}}$  от температурного фактора имеет подобный характер, для работы теплового насоса влияние температурного фактора на показатель эффективности  $F_{\text{ТН}}$  противоположное.

Для рассматриваемых условий выбор температурного уровня, вообще говоря, невелик. Поэтому целесообразно задаться постоянным значением температурного фактора, например,  $\bar{t}_{\text{БА}}/\bar{t}_{\text{потр}} = 25/45 = 0,56$ , оптимальным для переходных месяцев — апреля и октября. Тогда можно получить упрощенное соотношение для коэффициента эффективности теплового насоса в комплексной установке с гелиоприемником

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

Погодные условия в январе не могут обеспечить такой температурный уровень работы установки (см. рисунок 2). Поэтому упрощенное соотношение (4) для крайних 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.

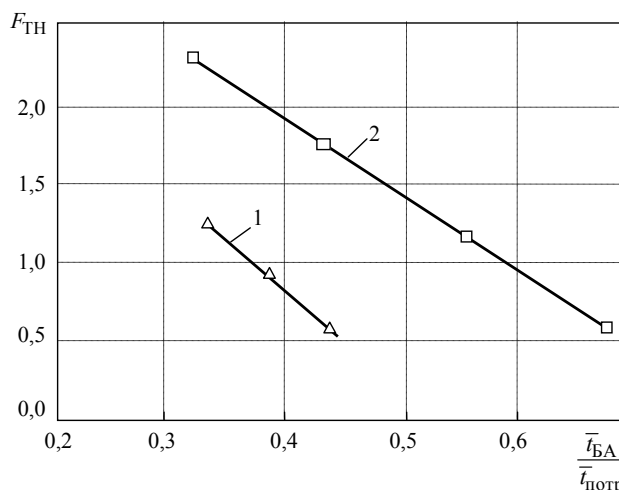


Рис. 3. Зависимость коэффициента эффективности использования теплового насоса в системе гелиоприемника  $F_{\text{ТН}}$  от температурного фактора  $\bar{t}_{\text{БА}}/\bar{t}_{\text{потр}}$  работы совместной системы и месяца года  $N$ : 1 — январь, 2 — апрель

2. Бекман, У. Расчет систем солнечного теплоснабжения / У. Бекман, С. Клейн, Д. Даффи. — М.: Энергоиздат, 1982. — 80 с.
3. Байрамов, Р.Б. Системы солнечного теплохладоснабжения 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.