

## ОБОБЩЕННАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АБСОРБЦИОННОГО ТЕПЛООВОГО НАСОСА ДЛЯ ГЕЛИОСИСТЕМЫ

*В.В. Высочин. Узагальнена математична модель абсорбційного теплового насоса для геліосистеми.* Отримано залежності, що являють собою узагальнюючі моделі теплового насоса для геліосистеми при різних способах сполучення. Вони можуть бути використані для дослідження й проектування.

*В.В. Высочин. Обобщенная математическая модель абсорбционного теплового насоса для гелиосистемы.* Получены зависимости, представляющие собой обобщающие модели теплового насоса для гелиосистемы при различных способах сопряжения. Они могут быть использованы для исследования и проектирования.

*V.V. Vysochin. Generalized mathematical model of absorption heat pump for work in a heliosystem.* The functional dependences that represent generalizing models of a heat pump for heliosystem at any conjugation techniques are obtained. They may be used for both investigation and design.

Для проектирования гелиосистем широко применяется  $f$ -метод, позволяющий выбрать рациональные размеры гелиополей и набор вспомогательного оборудования по наилучшему значению коэффициента замещения, который обычно обозначен индентификатором “ $f$ ” [1]. Он явился результатом обобщения исследований математических моделей гелиосистем в вариантной постановке. В дальнейшем метод дополнялся, расширялись возможности его применения. В том или ином виде результаты  $f$ -метода присутствуют во многих других методических подходах к проектированию гелиосистем [2]. Это дает повод утверждать о его рациональности.

Работы, проведенные в развитие  $f$ -метода, ограничивались рассмотрением узкого круга схем гелиосистем [1, 2]. В настоящее время все большее внимание уделяется разработкам сложных схем, в частности, с применением тепловых насосов [3]. Поэтому проведено исследование работы абсорбционного теплового насоса с целью получения обобщенной математической модели, дополняющей  $f$ -метод. Выбор типа теплового насоса объясняется его хорошей приспособленностью к использованию тепловой энергии, получаемой от солнца, — это энергоресурс для преобразования с подъемом потенциала и энергия для привода теплового насоса.

Эффективность трансформации солнечной энергии в тепловом насосе, сопряженном с гелиосистемой через один канал — испаритель (рис. 1, а), может быть оценена показателем

$$\zeta_{\text{и}} = \frac{q_{\text{отв}} - q_{\text{г}}}{q_{\text{подв}}}, \quad (1)$$

где  $q_{\text{отв}}$  — суммарный тепловой поток, отведенный из конденсатора  $q_{\text{к}}$  и абсорбера  $q_{\text{а}}$ , в дальнейшем вводится обозначение  $q_{\text{а.к.}} = q_{\text{к}} + q_{\text{а}}$ ;

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

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

В зависимости от варианта включения теплового насоса в контур гелиосистемы  $q_{\text{отв}}$  и  $q_{\text{подв}}$  имеют различное определение. При подключения теплового насоса к гелиосистеме по двум каналам — через испаритель и генератор (важно отметить, что эти каналы различаются температурным потенциалом теплоносителя) (рис. 1, б), показатель эффективности трансформации солнечной энергии

$$\zeta_{\text{и.г}} = \frac{q_{\text{а.к.}}}{q_0 + q_{\text{г}}}. \quad (2)$$

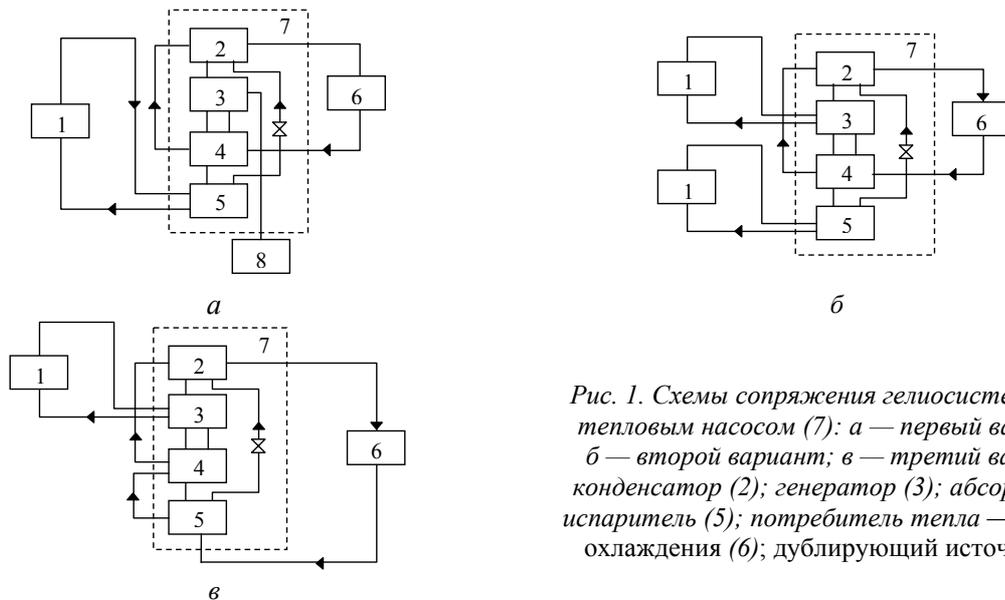


Рис. 1. Схемы сопряжения гелиосистемы (1) с тепловым насосом (7): а — первый вариант; б — второй вариант; в — третий вариант; конденсатор (2); генератор (3); абсорбер (4); испаритель (5); потребитель тепла — система охлаждения (6); дублирующий источник (8)

И, наконец, при подключении гелиосистемы к подогревателю генератора теплового насоса, а в канал испарителя подводится теплоноситель, возвращаемый из системы отопления (рис. 1, в), показатель эффективности трансформации солнечной энергии определится как

$$\zeta_{\Gamma} = \frac{q_{\text{а.к.}} - q_0}{q_{\Gamma}}. \quad (3)$$

В первом варианте подключения теплового насоса к гелиосистеме используются низкотемпературные солнечные коллекторы, к которым относятся плоские СК. При втором используют высокоэффективные вакуумированные СК в контуре генератора, а в контуре испарителя — сезонный аккумулятор тепла, плоские СК с невысокой стоимостью или еще более дешевые абсорберы солнечной энергии без прозрачного покрытия. Третий вариант используют при низкотемпературном отоплении, когда теплоноситель из системы отопления имеет невысокую температуру, и его тепловой потенциал реализуется в испарителе.

Следует ожидать, что на целевую функцию — показатель эффективности трансформации солнечной энергии в тепловом насосе — должны оказывать влияние коэффициенты трансформации тепла в теплообменниках теплового насоса — испарителя, включенного в гелиоконтур, конденсатора, абсорбера, а также фактор, определяемый отношением температур теплоносителя на входе в испаритель и направляемого потребителю из конденсатора,  $\frac{t_{\text{и.вх}}}{t_{\text{к.вых}}}$ .

Коэффициент трансформации тепла в теплообменнике, например, испарителя,  $\varepsilon_0$  связан с тепловой нагрузкой соотношением

$$q_0 = \varepsilon_0 c_m \nabla,$$

где  $c_m$  — меньшее значение теплоемкости теплообменивающихся сред, как правило, имеющих одну природу;

$\nabla$  — максимальная разность температур между греющим и нагреваемым теплоносителями на входе в теплообменник.

Коэффициент трансформации тепла может быть найден как функция от режимных и конструктивных параметров теплообменника. При противоточной схеме движения теплоносителей [4]

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{0,35 \frac{W_{\text{б}}}{W_{\text{г}}} + 0,65 + \frac{W_{\text{м}}}{kA}},$$

где  $W_{\text{б}}$  и  $W_{\text{м}}$  — большее и меньшее значение эквивалентов расхода теплообменивающихся сред, соответственно;

$k$  и  $A$  — коэффициент теплопередачи и площадь поверхности нагрева теплообменника, соответственно.

Для теплообменника испарителя максимальная разность температур

$$\nabla = \Delta t_{\text{и}} + \delta t_0,$$

где  $\Delta t_{\text{и}}$  — конечная разность температуры в теплообменнике;

$\delta t_0$  — прирост температуры хладагента теплового насоса.

Для теплообменника с изменением агрегатного состояния одного из теплоносителей, в тепловом насосе — конденсатора, генератора, испарителя,  $W_6 = \infty$ , и соотношение для коэффициента трансформации тепла, например, в конденсаторе, принимает вид

$$\varepsilon_{\text{к}} = \frac{1}{0,65 + \frac{1}{kA}}.$$

Коэффициент трансформации тепла в теплообменнике абсорбера (погруженный теплообменник) [3]

$$\varepsilon_{\text{а}} = 1 - \exp\left(\frac{-kA}{W_{\text{потр}}}\right) \approx \frac{kA/W_{\text{потр}}}{1 + kA/W_{\text{потр}}},$$

где  $W_{\text{потр}}$  — эквивалент расхода среды, поступающей для охлаждения абсорбера.

Во всех вариантах схем принято, что теплоноситель, поступающий потребителю, последовательно охлаждает абсорбер и конденсатор.

Для выявления функциональных свойств зависимостей показателей эффективности (1)...(3) проведены исследования на математической модели абсорбционного бромисто-литиевого теплового насоса, наиболее приспособленного для работы в гелиоустановках.

Одним из результатов исследования является оценка степени влияния отдельных факторов на целевую функцию. В частности, производилось сопоставление указанных вариантов по предложенному показателю эффективности трансформации солнечной энергии. Получены данные такого сопоставления первых двух вариантов подключения теплового насоса в зависимости от показателя эффективности теплообменника испарителя — коэффициента  $\varepsilon_0$  (рис. 2). Такая постановка задачи объясняется наибольшими возможностями варьирования условий работы испарителя. В проведенном анализе фиксировалась температура нагрева теплоносителя в тепловом насосе  $t_{\text{к.вых}} = 45$  °С, что оправдано для использования в низкотемпературном отоплении.

Наблюдается общая тенденция — эффективность использования солнечной энергии тепловым насосом во втором варианте подключения выше. Правда, это различие уменьшается с ростом температуры в испарителе. Второй вариант оказывается лучше и при сравнении с третьим. Вместе с тем оценка величины роста показателя эффективности показывает, что при переходе от первой схемы ко второй возможен лишь небольшой его прирост, в исследованных условиях он достигал четырех процентов.

Полученные данные показали слабое влияние коэффициента трансформации тепла в конденсаторе  $\varepsilon_{\text{к}}$  на показатели эффективности (1)...(3), что связано с неизменными условиями работы этого устройства в данной постановке задачи, т.е. фиксированным значением температуры нагрева воды для потребителя. Кроме того, в генераторе коэффициент трансформации тепла имеет практически постоянное значение  $\varepsilon_{\text{г}} = 1$ . Таким образом, коэффициенты  $\varepsilon_{\text{к}}$  и  $\varepsilon_{\text{г}}$  при использовании теплового насоса для низкотемпературного отопления могут быть исключены из обобщающей зависимости — целевой функции.

Наибольшее влияние на эффективность теплового насоса при работе от общего для трансформации и привода источника энергии оказывает температурный фактор  $t_{\text{и.вх}}/t_{\text{к.вых}}$  (рис. 3). Его увеличение приводит к росту эффективности трансформации тепла в тепловом насосе. В исследовании показатель эффективности  $\zeta_{\text{и}}$  возростал на 14 % при изменении  $t_{\text{и.вх}}$  в пределах 10...30 °С. Меньшее влияние оказывают коэффициенты трансформации тепла во внешнем теплообменнике испарителя  $\varepsilon_0$  и в абсорбере  $\varepsilon_{\text{а}}$ .

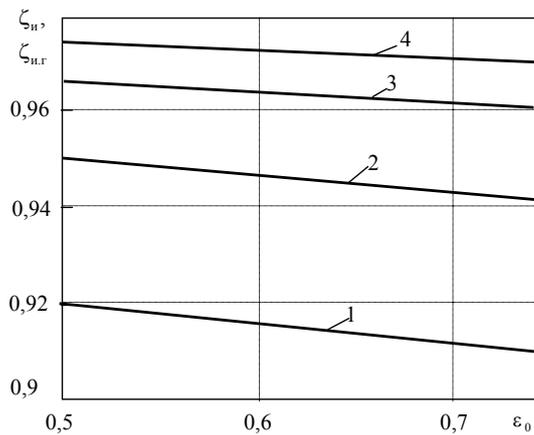


Рис. 2. Зависимости эффективности трансформации солнечной энергии в тепловом насосе от коэффициента  $\varepsilon_0$  при  $t_{н.вх}/t_{к.вых} = 0,667$  (1); 0,222 (2) при первом варианте подключения; 0,667 (3); 0,222 (4) — при втором

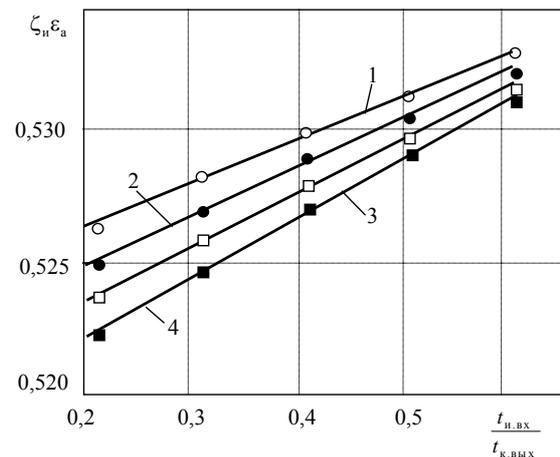


Рис. 3. Зависимость комплекса  $\zeta_n \varepsilon_a$ , характеризующего эффективность трансформации солнечной энергии в тепловом насосе без влияния абсорбера, в первом варианте подключения от значений  $\varepsilon_0 = 0,5$  (1); 0,63 (2); 0,7 (3); 0,75 (4); точки — результаты численного исследования модели, сплошные линии — принятые аппроксимации

Аппроксимация полученных данных позволила получить соответствующие зависимости для вариантов подключения теплового насоса к гелиосистеме:

— для первого

$$\zeta_n = \frac{q_{а.к.} - q_{г.}}{q_0} = \frac{\left\{ 0,0067 \left( \frac{t_{н.вх}}{t_{к.вых}} \right) + 0,5326 - \left[ 0,0186 - 0,0192 \left( \frac{t_{н.вх}}{t_{к.вых}} \right) \right] \varepsilon_0 \right\}}{\varepsilon_a};$$

— для второго

$$\zeta_{н.г} = \frac{q_{а.к.}}{q_{г.} + q_0} = \frac{\left\{ 0,5576 - 0,0195 \left( \frac{t_{н.вх}}{t_{к.вых}} \right) + \left[ 0,0179 \left( \frac{t_{н.вх}}{t_{к.вых}} \right) - 0,0036 \right] \varepsilon_0 \right\}}{\varepsilon_a};$$

— для третьего варианта зависимость показателя эффективности теплового насоса от факторов  $t_{н.вх}/t_{к.вых}$  и  $\varepsilon_0$  вырождается, поэтому обобщающее выражение принимает вид

$$\zeta_{г} = \frac{q_{а.к.} - q_0}{q_{г.}} = \frac{0,537}{\varepsilon_a}.$$

Полученные зависимости представляет собой модели функционирования теплового насоса в гелиосистеме, и могут быть использованы для различных целей — исследования и проектирования.

## Литература

1. Бекман, У. Расчет систем солнечного теплоснабжения / У.Бекман, С.Клейн, Д.Даффи. — М.: Энергоиздат, 1982. — 80 с.
2. Валов, М.И. Системы солнечного теплоснабжения / М.И.Валов, Б.И.Казанджан. — М.: Изд-во МЭИ, 1991. — 140 с.
3. Орехов, И.И. Абсорбционные преобразователи теплоты / И.И. Орехов, Д.С. Тимофеевский, С.В. Караван. — Л.: Химия, 1989. — 208 с.
4. Соколов, Е.Я. Теплофикация и тепловые сети / Е.Я. Соколов. — М.: Энергоиздат, 1982. — 230 с.