

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

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

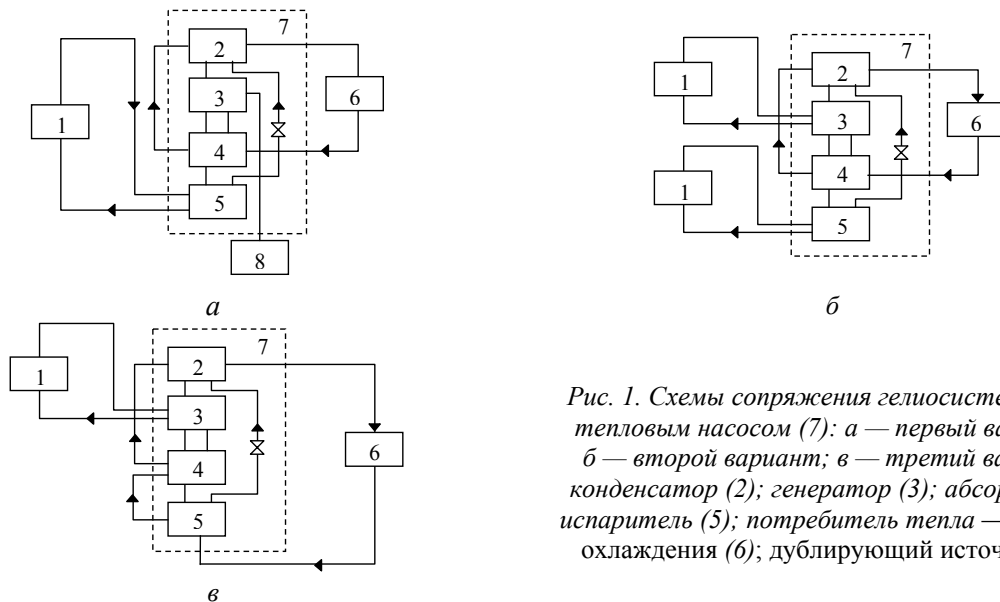


Рис. 1. Схемы сопряжения гелиосистемы (1) с тепловым насосом (7): а — первый вариант; б — второй вариант; в — третий вариант; конденсатор (2); генератор (3); абсорбер (4); испаритель (5); потребитель тепла — система охлаждения (6); дублирующий источник (8)

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, ε_0 связан с тепловой нагрузкой соотношением

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

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

∇ — 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 теплообмениваемых 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;

δt_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 ε_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 $\zeta_{\text{и}}$ возрастал на 14 % при изменении $t_{\text{и.вх}}$ в пределах 10...30 °С. Меньшее влияние оказывают коэффициенты трансформации тепла во внешнем теплообменнике испарителя ε_0 и в абсорбере $\varepsilon_{\text{а}}$.

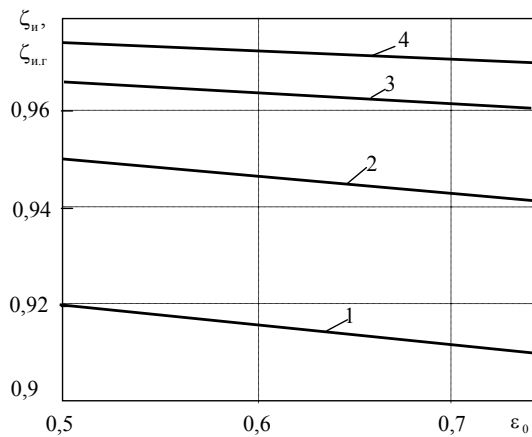


Рис. 2. Зависимости эффективности трансформации солнечной энергии в тепловом насосе от коэффициента ε_0 при $t_{н.вх}/t_{к.вых} = 0,667$ (1); 0,222 (2) при первом варианте подключения; 0,667 (3); 0,222 (4) — при втором

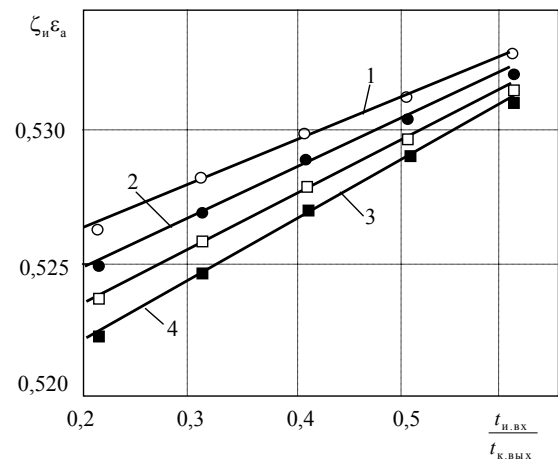


Рис. 3. Зависимость комплекса $\zeta_n \varepsilon_a$, характеризующего эффективность трансформации солнечной энергии в тепловом насосе без влияния абсорбера, в первом варианте подключения от значений $\varepsilon_0 = 0,5$ (1); 0,63 (2); 0,7 (3); 0,75 (4); точки — результаты численного исследования модели,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