

С. В. Гошовский, д-р техн. наук, профессор, директор Украинского государственного геологоразведочного института, ukrdgri@ukrdgri.gov.ua,
А. В. Зурьян, заведующий отделом инновационных технологий (УкрГГРИ), alexey_zuryan@ukr.net

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ОПТИМАЛЬНОЙ РАБОТЫ ТЕПЛОНАСОСНЫХ СИСТЕМ

Проведены экспериментальные исследования эффективности работы теплонасосной системы с использованием в качестве первичных источников тепла энергии верхних слоев Земли и энергии Солнца. Разработана методика проведения исследований. Определены условия работы теплонасосной системы, которые обеспечивают минимальные затраты внешней энергии. Выполнен анализ полученных результатов и сделаны выводы о целесообразности комплексного использования разных видов возобновляемых источников энергии для стабильной работы систем теплообеспечения.

Ключевые слова: альтернативная энергетика, возобновляемые источники энергии, геотермальная система, геотермальный теплообменник, геотермальный зонд, грунтовой коллектор, гелиоколлектор.

Введение

Современная энергетика вынуждена учитывать глобальные вызовы, ставшие перед человеческим сообществом, а именно:

1. Жесткий мировой экологический кризис, который требует перехода к безотходным и низкотемпературным технологиям.

2. Энергетический кризис, связанный с истощением и удорожанием газа, нефти и создающий для энергозависимых стран дополнительные внешнеполитические проблемы.

Выход из сложившейся ситуации невозможен без широкого использования энергосберегающих технологий и нетрадиционных источников энергии (НИЭ).

Все виды нетрадиционной энергетики порождены Солнцем.

Если говорить о тепловой форме солнечной энергии, то возможны два варианта ее использования:

– посредством специальных устройств (солнечных коллекторов);

– путем извлечения непосредственно из верхних слоев грунта.

В первом случае происходит прямое действие излучения на приемник, а во втором – интегральное действие радиации в форме аккумулированной в грунте энергии. Если приводить конкретные цифры, то в средних широтах земного шара (где расположена Украина) применение солнечных коллекторов позволяет получить температуру до 60 °С, а при непосредственном извлечении из грунта в холодное время года – в среднем не более 0 °С. Повысить потенциал энергии можно тепловыми насосами [9].

Экономическая целесообразность использования теплонасосных установок (ТНУ) подтверждена мировым опытом. Однако в Украине технологии, использующие тепло верхних слоев Земли, приме-

няются крайне редко. И еще более редко встречаются теплонасосные системы, использующие в качестве первичного источника тепла энергию Солнца с применением солнечных коллекторов. Данные системы недостаточно адаптированы к условиям эксплуатации в климатических условиях Украины и мало изучены.

В связи с этим в УкрГГРИ была проведена работа по теоретическому и прикладному исследованию эффективности теплонасосных систем, где в качестве первичных источников тепла используется энергия верхних слоев Земли и энергия Солнца. Определению оптимальных теплофизических параметров устройств, работающих за счет преобразования данных видов энергии в низкотемпературную энергию первичного источника тепла, которым соответствуют минимальные суммарные затраты энергии на теплонасосную систему в целом, и посвящена наша статья.

Методика проведения исследований

С целью проведения научно-исследовательской работы по изучению закономерностей теплотехнических процессов, протекающих в геотермальных системах получения тепловой энергии, в УкрГГРИ была создана экспериментальная геотермальная установка. Подробно состав геотермального комплекса описан в научном журнале “Минеральные ресурсы Украины” № 2, 2013 г. [6].

Также эксперимент проводился на одной из двух действующих гелиосистем для подогрева воды в системе горячего водоснабжения УкрГГРИ, установленной стационарно. Основные и дополнительные датчики, установленные в контрольных точках системы, позволили с помощью специально разработанного программного обеспечения и контроллера круглосуточно фиксировать параметры работы системы, создавать архив данных для дальнейшей их интерпретации и проведения научно-исследовательской работы. Состав гелиосистемы описан в журнале “Альтернативные источники энергии” [8].

Были выполнены исследования, в процессе которых проводились измерения

температур в контрольных точках системы и расхода теплоносителя в течение установленного периода работы. Эксперимент проводился с установленной частотой дискретизации на протяжении отопительного периода при сохранении выходных параметров системы (температуры горячего теплоносителя и тепловой мощности) с изменением теплофизических параметров на входе в систему [7].

Исследования проводились по трем направлениям:

1. Экспериментальное определение динамики изменения температурного режима таких первичных источников энергии для работы теплонасосной системы, как температура грунта на глубине до 50 м и температура, получаемая вследствие работы гелиосистемы, без отбора тепла в течение календарного года.

2. Аналитическое определение ϕ (коэффициента трансформации) теплонасосной установки (теплового насоса) и расчет ϕ для систем, где первичными источниками тепла являются Земля и Солнце, для конкретного района эксплуатации, исходя из экспериментально полученных данных.

3. Экспериментальное определение и аналитическое подтверждение оптимальной степени охлаждения теплоносителя в испарителе теплонасосной системы и параметров, от которых она зависит, для таких первичных источников тепловой энергии, как Земля и Солнце.

Термодинамический анализ системы

В ходе проведения исследовательской работы на геотермальном полигоне УкрГГРИ была накоплена информация о динамике изменения таких теплотехнических параметров геотермального теплообменника и солнечного коллектора, как показания значения температур в контрольных точках на протяжении года работы, количество протока теплоносителя, потеря давления и времени работы компрессора и циркуляционных насосов. Также на основе измеренных данных были рассчитаны показатели количества

тепла, получаемого от возобновляемого источника энергии (мощности модулей устройства как геотермального теплообменника, так и гелиосистемы).

С целью установления закономерностей сезонного изменения температур в верхних слоях Земли и определения глубины годовых изменений температур в грунте при проведении исследований применялся экспериментальный метод, в процессе которого проводились измерения температур нетронутого грунта на протяжении двенадцати месяцев.

Датчики температуры, установленные в скважине, дали возможность во время проведения эксперимента измерять температуру грунта на стандартных глубинах (в м): 0,02; 0,3; 0,7; 1,2; 2,0; 5,0; 15,0; 35,0; 50,0.

Информация с датчиков снималась автоматически с временным интервалом в 5 с. Для чистоты эксперимента отбор тепла с геотермального поля, на котором проводились исследования, до указанного периода и во время проведения эксперимента не осуществлялся.

В ходе проведения исследования были получены данные, позволяющие проанализировать промежуточные результаты зависимости изменения температур от глубины грунта на разных временных участках от суток до года и вывести за-

висимость среднемесячных температур T по глубине h для конкретного грунтового массива г. Киева [6].

Выборка из экспериментально полученных данных в ходе проведения эксперимента по измерению температур грунтового массива в течение года на экспериментальном полигоне УкрГТРИ представлена в табл. 1.

Из табличных данных отчетливо видно тенденцию снижения разности экстремальных значений температур с увеличением глубины.

Эффективность работы теплонасосных систем в литературе обычно принято оценивать величиной коэффициента трансформации тепловых насосов (ТН). Но для сложных систем, эффективность работы которых зависит не только от эффективности самого теплового насоса, но и других элементов системы, более целесообразно использовать другие относительные характеристики, которые определяют эффективность функционирования всей системы. Поэтому дальнейший анализ проведен на основе определения величины суммарных удельных затрат внешней энергии на систему отопления, которая в случае затрат энергии только на тепловой насос является величиной, обратной коэффициенту трансформации теплового насоса [4].

Таблица 1. Зависимость среднемесячных температур T по глубине h для грунтового массива (г. Киев)

Месяц	Глубина, h , м								
	0,02	0,30	0,75	1,20	2,00	5,00	15,00	35,00	50,00
Октябрь	8,0	13,0	15,0	16,5	17,0	16,8	13,2	12,8	12,0
Ноябрь	5,0	9,0	11,0	12,5	13,8	14,2	13,2	13,0	12,0
Декабрь	4,5	8,0	9,0	10,5	11,8	13,0	13,2	13,0	12,0
Январь	3,0	5,5	7,0	8,0	9,8	11,8	13,2	13,0	12,0
Февраль	2,0	3,5	5,5	6,5	8,0	10,0	13,0	12,8	12,0
Март	5,0	4,0	4,0	6,0	7,0	6,5	13,0	12,8	12,0
Апрель	14,0	11,5	9,5	8,0	7,0	7,4	13,0	12,8	12,0
Май	19,0	16,0	15,0	14,5	13,0	11,0	13,2	13,0	12,2
Июнь	21,0	18,0	17,0	16,0	13,8	11,0	13,2	13,0	12,2
Июль	24,0	22,0	21,0	19,0	17,0	13,0	13,8	13,2	12,3
Август	23,0	23,0	22,0	20,0	18,0	16,0	13,9	13,3	12,4
Сентябрь	20,0	18,0	19,0	19,0	18,0	17,0	13,2	13,0	12,2

Действительный коэффициент трансформации теплового насоса φ может быть представлен в виде

$$\varphi = \varphi_T \eta_{ТН}, \quad (1)$$

где $\eta_{ТН}$ – коэффициент, учитывающий реальные процессы, осуществляемые рабочим телом в ТН, который, согласно работе [9], можно принять 0,6; φ_T – теоретический коэффициент трансформации ТН, который с учетом тепловых необратимостей в испарителе и конденсаторе можно определить по соотношению

$$\varphi_T = 1 / (1 - T_{и}^{ТН} / T_{к}^{ТН}) = 1 / [1 - (273 + t_c^{в\text{ых}} - \Delta t_{и}) / (273 + t_{к} + \Delta t_{к})], \quad (2)$$

где $T_{и}^{ТН}$ – температура испарения рабочего агента в испарителе ТН, К; $T_{к}^{ТН}$ – температура конденсации рабочего агента в конденсаторе ТН, К; $t_c^{в\text{ых}}$ – температура среды на выходе из испарителя, °С; $t_{к}$ – температура воды на выходе из конденсатора, °С; $\Delta t_{и}$ – разница температур среды и рабочего тела ТН на выходе из испарителя; $\Delta t_{к}$ – разница температур рабочего тела ТН и воды на выходе из конденсатора.

Выполнив анализ соотношения (5), можно однозначно сделать вывод о том, что коэффициент трансформации теплового насоса зависит от разницы температур $t_c^{в\text{ых}}$ и $t_{к}$. При этом, учитывая то, что $t_{к}$ задано и в низкотемпературных системах не превышает значения 40–45 °С, $t_c^{в\text{ых}}$ определяется самим источником возобновляемой энергии и в случае применения забора ее из грунта не превышает значения 10–12 °С.

В табл. 2 на основе экспериментально полученных данных приведены расчетные

данные коэффициента трансформации теплового насоса при условии отбора тепла от грунта с глубин 0,3; 1,2; 5,0; 50,0 м для трех зимних месяцев при условии $t_{к} = 45$ °С.

В связи с тем, что температура среды на входе в испаритель в системах, работающих за счет тепла верхних слоев Земли, не превышает 10–13 °С, возникает вопрос о необходимости применения в теплонасосных системах источников возобновляемой энергии, которые бы смогли обеспечить повышение коэффициента трансформации за счет более высокого значения $t_c^{в\text{ых}}$.

В ходе проведения исследования было сделано предположение, что таким источниками возобновляемой энергии может стать энергия солнечного излучения, преобразованная в тепловую энергию гелиоколлектором. Для подтверждения данного предположения в ходе проведения исследовательской работы в УкрГГРИ было проведено исследование на действующей гелиосистеме, в процессе которого была собрана и проанализирована информация о температурных режимах и количестве тепла, получаемого вследствие работы гелиосистемы, без отбора тепла в течение года.

При проведении исследований, как и в первом случае, применялся экспериментальный метод исследований, в процессе которого проводились измерения температур в контрольных точках гелиосистемы и количество протока теплоносителя.

На рис. 1–3 представлены графики изменения температур в контрольных точках гелиосистемы в течение трех зимних месяцев [8].

Таблица 2. Зависимость коэффициента трансформации теплового насоса φ от глубины установки h грунтового коллектора

Месяц	Глубина, h , м			
	0,3	1,2	5	50
Декабрь	4,1	4,4	4,49	4,5
Январь	3,9	4,1	4,3	4,5
Февраль	3,7	3,95	3,99	4,5

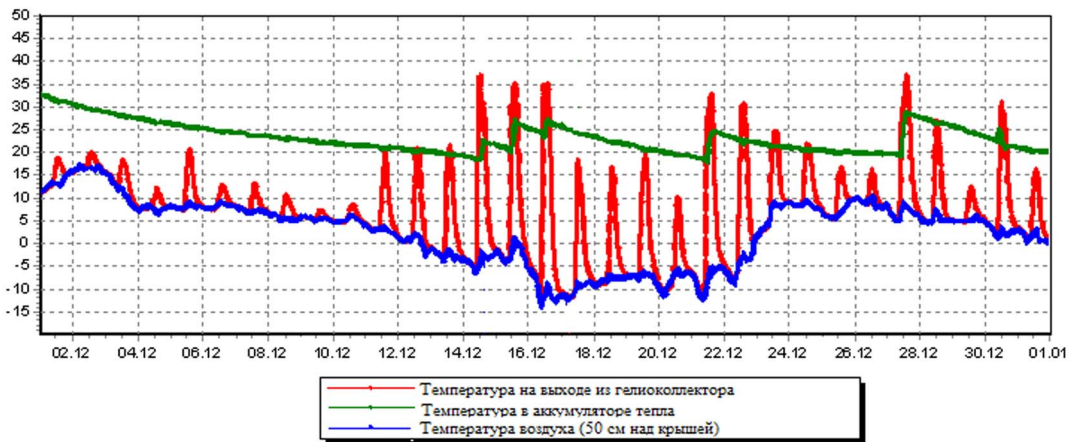


Рис. 1. График изменения температур в контрольных точках гелиосистемы в течение декабря

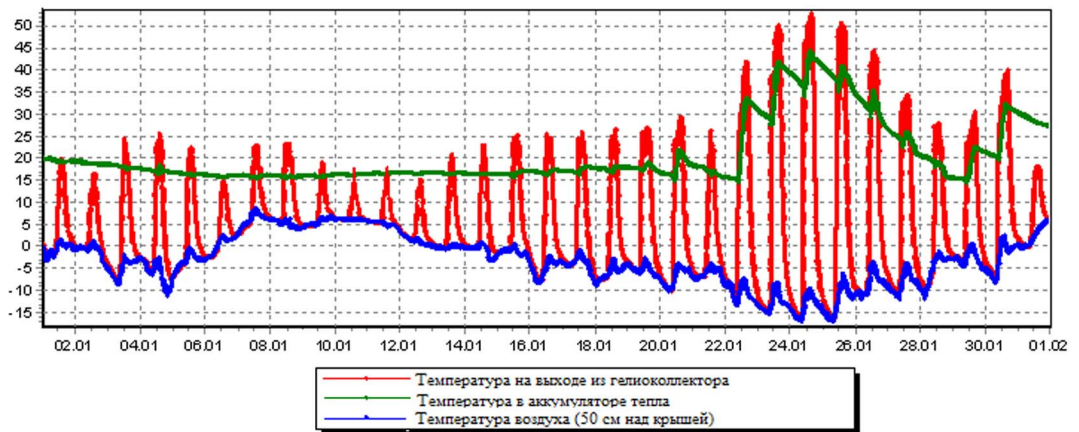


Рис. 2. График изменения температур в контрольных точках гелиосистемы в течение января

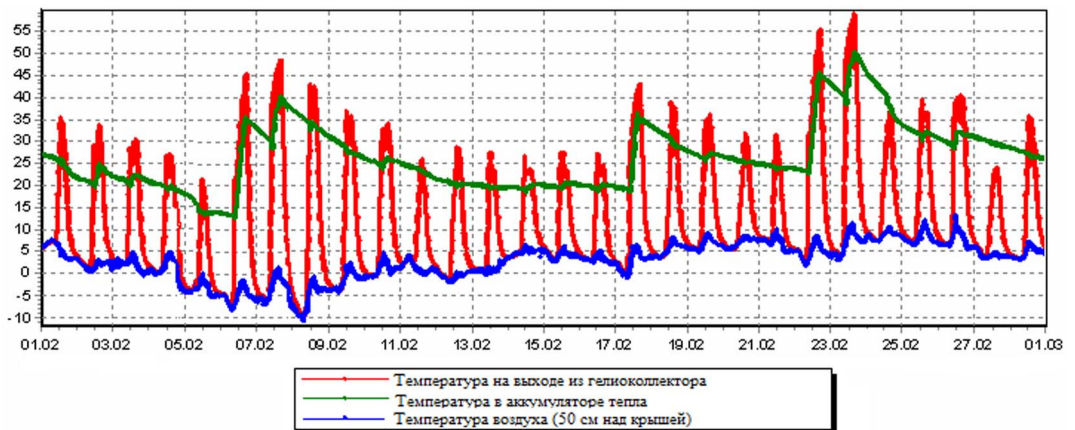


Рис. 3. График изменения температур в контрольных точках гелиосистемы в течение февраля

Как видно из графиков, номинальные значения температур на выходе из солнечного коллектора изменяются в широком диапазоне: от -10 до 55 °С. Это, с одной стороны, свидетельствует о теоретической возможности достаточно существенно поднять температуру на входе в испаритель теплонасосной системы с целью повышения коэффициента трансформации, а с другой стороны, повышает требования к системе аккумулирования тепловой энергии для обеспечения бесперебойной работы в течение всех суток.

Результаты, полученные экспериментальным путем, свидетельствуют, что для теплонасосной системы отопления с использованием солнечной инсоляции в качестве первичного источника энергии температура теплоносителя на выходе из испарителя теплового насоса зависит от изменения суммарных аэродинамических или гидравлических потерь давления. Это происходит вследствие изменения расходных характеристик теплоносителя в контуре испарителя. Экспериментально также было подтверждено, что изменения расходных характеристик теплоносителя, которые в свою очередь зависят от геометрических характеристик солнечного коллектора (СК) и интенсивности теплопритока в СК, происходят как от девиации

внешних условий на протяжении отопительного периода, так и от параметров работы самого теплового насоса.

Для проверки полученных экспериментальных результатов был выбран математический аппарат [4], где приводится решение задачи численного анализа работы теплонасосной системы низкотемпературного отопления с использованием солнечной радиации.

В работе определена зависимость удельных затрат внешней энергии на отопление $l_{от}$ от температуры соляного раствора на выходе из испарителя теплового насоса при расчетной температуре греющего теплоносителя в низкотемпературной системе отопления $t_{г}^p = 40$ °С.

На основе численного анализа построены графические зависимости среднемесячной оптимальной степени охлаждения соляного раствора в испарителе теплового насоса от месяцев работы для плоских и вакуумных коллекторов (рис. 4). Из графиков видно, что оптимальные степени охлаждения в большей мере зависят от температуры соляного раствора на входе в испаритель для плоских коллекторов. В случае вакуумных коллекторов практически та же оптимальная степень охлаждения теплоносителя достигается при более высокой температуре соляного раствора

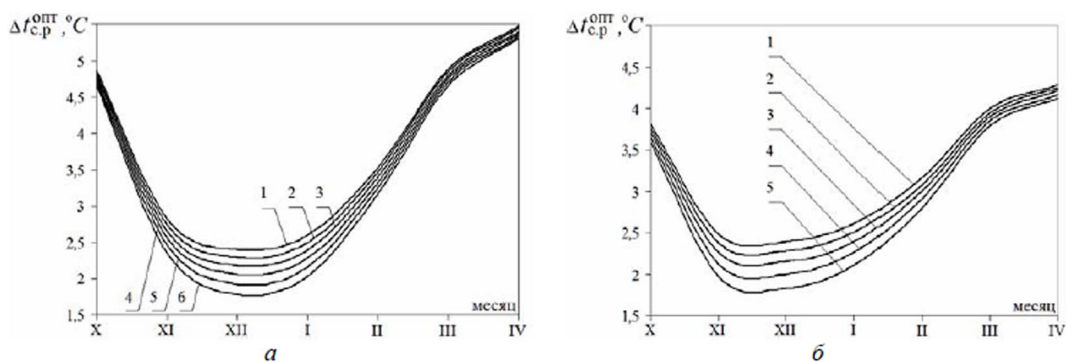


Рис. 4. Зависимость оптимальной степени охлаждения соляного раствора в испарителе от месяца отопительного периода

Условные обозначения: *а* – плоский коллектор 1, 2, 3, 4, 5, 6 – температура соляного раствора на входе в испаритель $t_{ср}^{вх} = 10, 11, 12, 13, 14$ и 15 °С соответственно; *б* – вакуумный коллектор: 1, 2, 3, 4, 5 – температура соляного раствора на входе в испаритель $t_{ср}^{вх} = 10, 15, 20, 25$ и 30 °С соответственно

на входе в испаритель теплового насоса. При этом улучшаются условия работы теплонасосной установки и увеличивается ее коэффициент трансформации. Влияние изменения температуры на входе в испаритель ТН сильнее проявляется в холодные месяцы отопительного периода. Расчеты показали, что изменение расчетной температуры греющего теплоносителя в системе низкотемпературного отопления в диапазоне $t_{\text{т.р}} = 30 \dots 50 \text{ }^\circ\text{C}$ слабо влияет на эти зависимости.

Из графиков на рис. 5 следует, что в диапазоне температур соляного раствора на входе в испаритель теплового насоса $10\text{--}15 \text{ }^\circ\text{C}$ при использовании как плоских, так и вакуумных коллекторов наблюдаются почти одинаковые минимальные суммарные удельные затраты внешней энергии на теплонасосную систему отопления. Однако сочетание вакуумных коллекторов с тепловым насосом способствует уменьшению затрат внешней энергии за счет повышения температуры теплоносителя на входе в испаритель. При этом на рис. 5 можно увидеть, что условный коэффициент преобразования ($\varphi_{\text{усл}} = 1/l_{\text{от}}^{\text{min}}$) для системы с вакуумными коллекторами составляет $3,8 \dots 7,0$, что свидетельствует о достаточной эффективности использова-

ния солнечной энергии в теплонасосных системах низкотемпературного отопления [5].

С целью установления оптимальной степени охлаждения теплоносителя в испарителе теплонасосной системы, в которой в качестве первичного источника тепла применяется энергия поверхностных слоев Земли (грунта), применялся экспериментальный метод исследований, в процессе которого проводились измерения температур в контрольных точках системы и расхода теплоносителя в течение установленного периода работы при сохранении выходных параметров системы (температуры горячего теплоносителя) с изменением теплофизических параметров на входе в систему за счет изменения конфигурации геотермальных зондов.

Выборка из экспериментально полученных данных в ходе проведения эксперимента, а также полученные расчетные данные представлены в табл. 3.

Анализ всех экспериментально полученных данных в ходе проведения исследования работы теплонасосной системы с использованием в качестве возобновляемого источника энергии тепла верхних слоев Земли позволяет сделать вывод о том, что оптимальная степень охлажде-

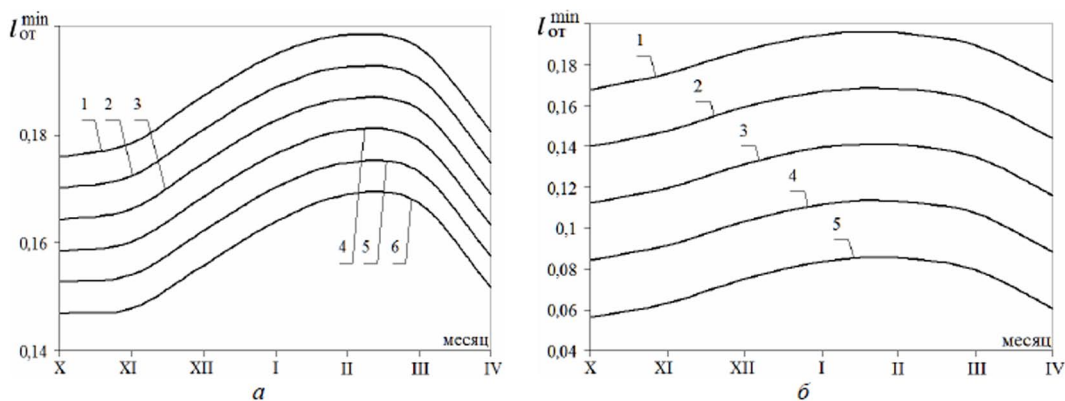


Рис. 5. Зависимость минимальных удельных затрат внешней энергии на отопление от месяца отопительного периода

Условные обозначения: *а* – плоский коллектор 1, 2, 3, 4, 5, 6 – температура соляного раствора на входе в испаритель $t_{\text{с.р}}^{\text{вх}} = 10, 11, 12, 13, 14$ и $15 \text{ }^\circ\text{C}$ соответственно; *б* – вакуумный коллектор: 1, 2, 3, 4, 5 – температура соляного раствора на входе в испаритель $t_{\text{с.р}}^{\text{вх}} = 10, 15, 20, 25$ и $30 \text{ }^\circ\text{C}$ соответственно

Таблица 3. Экспериментально полученные в ходе проведения исследования и расчетные данные

Параметр	Режим работы			
	4×2U	2×2U	1×2U	1×1U
t_c^{BX} (°C)	11	8,8	5,6	6,7
Δt_u (°C)	2,5	2,7	2,9	4
Δt_0 (°C)	6	6	8	1
$Q_{от}$	12,46	11,98	9,46	9,14

Примечание: t_c^{BX} – температура среды на входе в испаритель; Δt_u – разница температур среды и рабочего тела ТН на выходе из испарителя; Δt_0 – изменение температуры окружающей среды за период исследования; $Q_{от}$ – тепловой поток, отведенный от аккумулятора тепла.

ния теплоносителя в этом случае зависит в первую очередь от аэродинамических или гидравлических потерь давления в контуре грунтового теплообменника и несущественно зависит от температуры окружающей среды и температуры среды на входе в испаритель. В ходе исследовательской работы была определена оптимальная степень охлаждения теплоносителя, которой соответствуют минимальные суммарные затраты энергии на теплонасосную систему низкотемпературного отопления.

Задача определения оптимальной степени среды в испарителе теплового насоса выходит из условия, что затраты энергии на привод компрессора теплового насоса и на нагнетатель теплоносителя при изменении его температуры на выходе из испарителя изменяются в противоположных направлениях. Это обусловлено тем, что при заданной тепловой мощности теплового насоса и температуре теплоносителя в системе отопления, которые определяются самим объектом теплоснабжения, количество теплоты, отобранное от нижнего источника в испарителе ТН, зависит от разности температур на входе и выходе из испарителя и расхода теплоносителя [4].

Анализ теплонасосной системы с использованием теплоты грунта, проведенный в работах [1–3], показал, что оптимальная степень охлаждения теплоноси-

теля в испарителе теплового насоса при заданном гидравлическом сопротивлении нижнего контура может быть определена аналитически.

Для определения оптимальной степени охлаждения среды в испарителе представим температуру $T_u^{ТН}$ в виде

$$T_u^{ТН} = T_c^{BX} - \Delta t_c - \Delta t_u - 273 + t_c^{BXX} - \Delta t_c - \Delta t_u. \quad (3)$$

Тогда уравнение (3) после преобразования можно записать в виде функции от Δt_c как

$$l_{от} = a + \frac{\Delta t_c}{T_K^{ТН} \eta_{ТН}} + \frac{Ab}{\eta_n \eta_{np} \Delta t_c}, \quad (4)$$

где

$$a = \frac{1}{T_K^{ТН} \eta_{ТН}} \left[T_K^{ТН} - T_c^{BX} + \Delta t_u - \frac{A}{\eta_n \eta_{np}} \right]$$

и

$$b = 1 - \frac{1}{\eta_{ТН}} + \frac{T_c^{BX} - \Delta t_u}{T_K^{ТН} \eta_{ТН}};$$

η_n и η_{np} – КПД нагнетателя и его привода соответственно; $T_K^{ТН}$ – температура конденсации рабочего агента в конденсаторе ТН; $\eta_{ТН}$ – коэффициент, учитывающий реальные процессы, осуществляемые рабочим телом в ТН; Δt_u – разница температуры среды и рабочего тела на выходе из испарителя, $A = \Delta p / \rho_c c_p$.

A – единый параметр, который может изменяться в зависимости от значений величины Δp (суммарных аэродинамиче-

ских или гидравлических потерь давления в контуре испарителя), ρ_c и c_p – плотность и изобарная теплоемкость среды соответственно.

Анализ этой зависимости $l_{от} = f(\Delta t_c)$ на экстремум позволяет получить соотношение для определения оптимальной степени охлаждения среды в испарителе теплового насоса:

$$\Delta t_c^{опт} = \sqrt{\frac{A(273 + t_k + \Delta t_k)}{\eta_n \eta_{пр}} \left[\eta_{ТН} - 1 + \frac{273 + t_c^{вх} - \Delta t_{II}}{273 + t_k + \Delta t_k} \right]}. \quad (5)$$

Следовательно, оптимальная степень охлаждения среды в испарителе зависит от комплекса заданных величин A , температуры окружающей среды t_0 , температуры среды на входе в испаритель $t_c^{вх}$ и расчетной температуры греющего теплоносителя t_T^p , т. е.

$$\Delta t_c^{опт} = f(A, t_0, t_c^{вх}, t_T^p).$$

Расчет оптимальной степени охлаждения среды от комплекса заданных величин (A) при различных значениях температур теплоносителя на входе в испаритель теплового насоса показывают, что оптимальная степень охлаждения среды в испарителе теплового насоса возрастает с увеличением комплекса заданных величин (A) и слабо зависит от температуры среды на входе в испаритель. Расчеты также показали, что оптимальная степень охлаждения среды практически не зависит от температуры греющего теплоносителя в системе низкотемпературного отопления и температуры окружающей среды [1–3].

Данные, полученные аналитически для систем, которые используют в качестве первичного источника энергии тепла верхних слоев Земли, подтверждают результаты, полученные экспериментально.

Принимая во внимание приведенные выше расчетные данные и полученные результаты экспериментальных исследований, можно сделать вывод о необходимости комплексного использования различных источников возобновляемой

энергии в теплонасосных системах. Особо эффективными могут быть системы, позволяющие как генерировать тепловую энергию в зимний период времени, так и аккумулировать ее в летний период. Пример такой системы приведен на рис. 6.

Выводы

В процессе проведения исследования были получены данные, которые позволили определить оптимальные теплофизические параметры устройств, работающих за счет преобразования энергии верхних слоев Земли и энергии Солнца. Было практически подтверждено, что при использовании теплоты грунта оптимальная степень охлаждения теплоносителя зависит от аэродинамических или гидравлических потерь давления в контуре грунтового коллектора и слабо зависит от температуры среды на входе в испаритель и от температуры греющего теплоносителя в системе низкотемпературного отопления и температуры окружающей среды. В случае использования энергии Солнца установлено, что для каждого месяца существует оптимальное значение температур соляного раствора на выходе из испарителя и соответствующие им минимальные удельные затраты внешней энергии на теплонасосную систему отопления. Кроме этого, установлено, что при обеспечении оптимальной степени охлаждения среды в испарителе ТН минимальные суммарные затраты энергии на систему отопления при использовании в качестве первичного источника тепла гелиосистемы существенно возрастают с уменьшением температуры окружающей среды. Также установлено, что условный коэффициент преобразования для системы с вакуумными коллекторами может составлять от 3,8 до 7,0. Это указывает на достаточную эффективность использования солнечной энергии в теплонасосных системах низкотемпературного отопления, так как условный коэффициент преобразования для систем, где источником первичной тепловой энергии является тепло верхних слоев Земли, не превы-

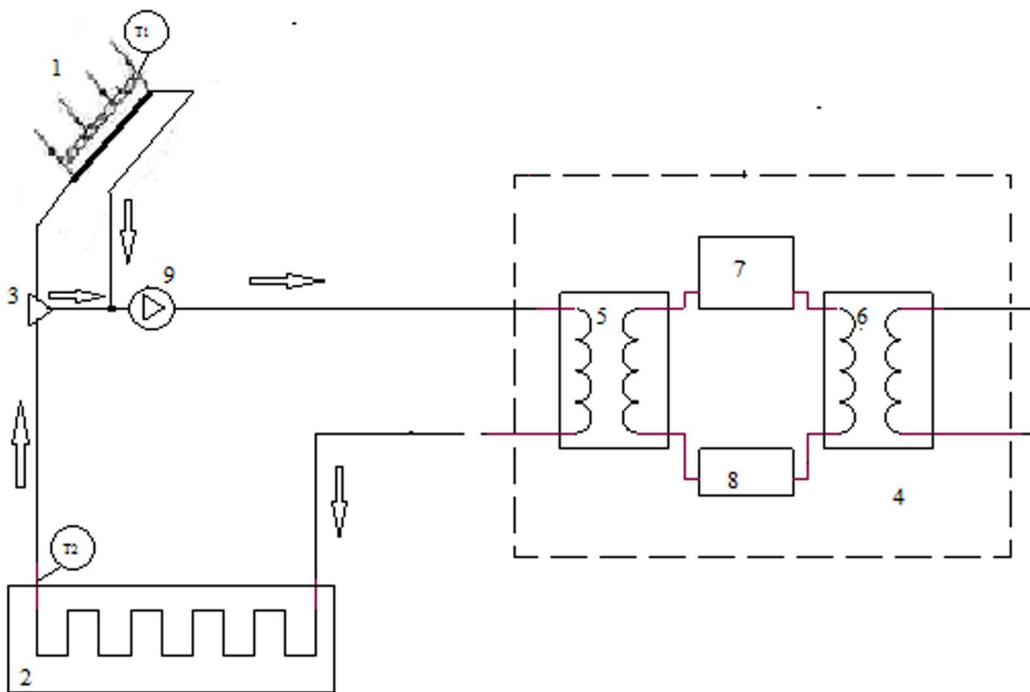


Рис. 6. Одна из возможных схем подключения солнечного и геотермального коллекторов к тепловому насосу:

1 – гелиоколлектор; 2 – грунтовый коллектор; 3 – трехходовой клапан; 4 – тепловой насос; 5 – испаритель; 6 – конденсатор; 7 – компрессор; 8 – двухходовой клапан; 9 – циркуляционный насос

шает показателя – 4,5. Однако вместе с тем, учитывая нестабильную работу гелиоколлекторных систем в зимнее время, можно сделать вывод о необходимости комплексного использования обоих источников возобновляемой энергии в теплонасосных системах. Особо эффективными могут быть системы, позволяющие как генерировать тепловую энергию в зимний период времени, так и аккумулировать ее в летний период.

ЛИТЕРАТУРА

1. Безродний М. К., Притула Н. А. Про оптимальну роботу ТН в низькотемпературних системах опалення з використанням теплоти зовнішнього повітря//Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика: Збірник наукових праць. – Дніпропетровськ: Нова ідеологія, 2011. – № 3. – С. 26–33.
2. Безродний М. К., Притула Н. А. Про умови оптимальної роботи теплового насоса в низькотемпературних системах опалення з

використанням теплоти природної води//Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2011. – № 2. – С. 11–16.

3. Безродний М. К., Притула Н. А. Оптиміальна робота теплового насоса в низькотемпературних системах опалення з використанням теплоти ґрунту//Наукові вісті НТУУ “КПІ”. – 2012. – № 1. – С. 1–6.

4. Безродний М. К., Притула Н. А. Об оптимальных условиях работы теплонасосных систем отопления при использовании возобновляемых источников теплоты//Вісник НТУ “ХПІ”. – 2013. – № 13.

5. Гершкович В. Ф. Особенности проектирования систем теплоснабжения зданий с тепловыми насосами. – К.: Украинская академия архитектуры ЧП “Энергоминимум”, 2009. – 60 с.

6. Гошовский С. В., Зурьян А. В. Анализ изменений температур в верхних слоях Земли при решении задач грунтового аккумулирования и извлечения теплоты геотермальными системами закрытого типа//Мінеральні ресурси України. – 2013. – № 2. – С. 41–47.

7. Гошовский С. В., Зурьян А. В. Анализ изменений температуры соляного раствора в процессе извлечения теплоты из верхних слоев Земли//Збірник наукових праць УкрДГРІ. – 2014. – № 3–4. – С. 20–27.

8. Зурьян А. В. Эффективность работы устройства для нагрева воды в системе горячего водоснабжения здания с использованием энергии солнечного излучения в зимний период//Альтернативные источники энергии. – 2010. – № 3–4. – С. 22–26.

9. Накорчевский А. И. Грунтовые аккумуляторы теплоты и модернизация коммунальной теплоэнергетики. – К.: Институт технической теплофизики НАН Украины, 2010. – 254 с.

REFERENSES

1. Bezrodny M. K., Prytula N. A. About optimum work of Heat Pump in low-temperature heating systems with outside heat air using//Zbirnyk naukovykh prats. – Dnipropetrovsk: Nova ideolohiia, 2011. – № 3. – P. 26–33. (In Ukrainian).

2. Bezrodny M. K., Prytula N. A. About optimal work conditions of Heat Pump in low-temperature heating systems with natural water heat using//Enerhetyka: ekonomika, texnologii, ekolohiia. – 2011. – № 2. – P. 11–16. (In Ukrainian).

3. Bezrodny M. K., Prytula N. A. Optimal work of Heat Pump in low-temperature heating systems with ground heat using//Naukovi visti

NTUU “KPI” – 2012. – № 1. – P. 1–6. (In Ukrainian).

4. Bezrodny M. K., Prytula N. A. About optimal work conditions of heat pump in heating systems with renewable heat using//Visnyk NTU “KhPI” – 2013. – № 13. (In Ukrainian).

5. Gershkovich V. F. Design features of heating systems in buildings with heat pumps. – Kiev: Ukrainskaja akademija arhitektury “Jenergomimum”, 2009. – 60 p. (In Russian).

6. Goshovskiy S. V., Zurian A. V. Temperature changes analysis in the upper layers of Earth when solving problems of soil storage and heat retrieval by closed type geothermal systems//Mineralni resursy Ukrainy. – 2013. – № 2. – P. 41–47. (In Russian).

7. Goshovskiy S. V., Zurian A. V. Impact analysis of brine temperature in the process of extract heat from the higher slice ground//Zbirnyk naukovykh prats UkrDHRI. – 2014. – № 3–4. – P. 26–27. (In Russian).

8. Zurian A. V. The effectiveness of devices for heating water in the hot water system of the building using solar energy in the winter//Alternativnye istochniki jenerгии. – 2010. – № 3–4. – P. 22–26. (In Russian).

9. Nakorchevskij A. I. Groundwater heat batteries and modernization of municipal power system. – Kiev: Institut tehnichekoj teplofiziki NAN Ukrainy, 2010. – 254 p. (In Russian).

Рукопис отримано 09.02.2015.

С. В. Гошовський, ukrdgr1@ukrdgri.gov.ua,

О. В. Зур'ян, alexey_zuryan@ukr.net

(Український державний геологорозвідувальний інститут)

АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ РІЗНИХ ДЖЕРЕЛ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ОПТИМАЛЬНОЇ РОБОТИ ТЕПЛОАСОСНИХ СИСТЕМ

Проведено експериментальні дослідження ефективності роботи теплонасосної системи з використанням як первинного джерела тепла енергії верхніх шарів Землі та енергії Сонця. Розроблено методику проведення досліджень. Визначено умови роботи теплонасосної системи, які забезпечують найменші витрати зовнішньої енергії. Виконано аналіз отриманих результатів і зроблено висновки про доцільність комплексного використання різних видів відновлювальних джерел енергії для стабільної роботи систем теплозабезпечення.

Ключові слова: альтернативна енергетика, відновлювальні джерела енергії, геотермальна система, геотермальний теплообмінник, геотермальний зонд, ґрунтовий колектор, геліоколектор.

S. V. Goshovskiy, ukrdgrri@ukrdgri.gov.ua,

A. V. Zurian, alexey_zuryan@ukr.net

(Ukrainian State Geological Research Institute)

ANALYSIS OF DIFFERENT SOURCES USAGE OF RENEWABLE ENERGY FOR OPTIMAL PERFORMANCE HEAT PUMP SYSTEMS

Realized experimental researches of the efficiency of performance of the heat pump system using as a primary source of heat energy to the upper layers of the Earth and the sun's energy. Developed the procedure of researches. Defined the operating conditions of the heat pump system, which provide the minimum cost of external energy. Executed the analysis of the attained results and done conclusions about the feasibility of the integrated use of different types of renewable energy sources for the stable operation of heating systems.

Economic feasibility of HPS using confirmed international experience. However, in Ukraine technology uses heat the upper layers of the Earth are used rarely tap. And even rarer appear heat pump systems, used as the primary source of heat sun's energy using solar collectors. These systems are not adapted to the operating conditions in the climatic conditions of Ukraine and underexplored.

With the purpose of implementation scientific research projects on studying the regularity of thermal processes occurring in geothermal systems generate heat energy in the Ukrainian State Geological Research Institute (UkrSGRI) was produced an experimental geothermal installation.

Primary and secondary sensors installed at the control points of system allowed by using a specially developed software and controller day-night to fix the operating conditions of the system. Create a data archive for further interpretation and conducting scientific research projects.

The researches were conducted in three areas:

1. Experimental determination of the dynamics of change temperature requirements such primary energy sources for heat pump system as the ground temperature at a depth of 50 meters and the temperature is obtained as a result of working solar system, without heat extraction during the calendar year.

2. Analytic definition φ (transformation ratio) of heat pump unit (heat pump) and the calculation of φ , for systems where the primary source of heat is the Earth and the Sun, for a particular area of operation, on the basis of the experimental evidence.

3. Experimental determination and analytical confirmation of the optimum degree of coolant cooling in the evaporator of the heat pump system and the parameters, from which it depends for such primary sources of thermal energy as the Earth and the Sun.

In the course of research on geothermal range UkrSGRI been accumulated information about the dynamics of changes such parameters of the geothermal heat exchanger and solar energy collector, as the testimony of the temperature value at the control points over the year of work, the amount of coolant flow, pressure loss and operating time of the compressor and circulation pumps. And also, on the basis of measured data were calculated the quantity indicator of heat produced from renewable energy sources (power modules, such as geothermal heat exchanger and solar system).

Received experimental and calculated data let to define the optimal thermo physical parameters of devices operating through energy transformation of the upper layers of the Earth and the Sun's energy in the low-temperature energy, which is necessary for the efficient operation of the heat pump system. It was practically confirmed, that by using ground heat optimal degree of coolant cooling depends on the coolant from the airfoil or head losses in the hydraulic circuit ground and weakly depends on the environment temperature on entering in evaporation coil and on the temperature of the warming coolant in the low-temperature heat system and on the ambient temperature. In the case of using solar energy is installed. For each month there is an optimal value of temperature of salt brine as they leave from evaporation coil and the prorated minimal cost per unit of external energy to heat pump heating system.

In the case of using solar energy is installed. For each month there is an optimal value of temperature of salt brine as they leave from evaporation coil and the prorated minimal cost per unit of external energy to heat pump heating system.

Besides it was established, that by providing the optimum degree of cooling medium in the HP evaporation coil minimal total expenditures of energy for the heating system by using as the primary source of heating solar system significantly increase with decreasing ambient temperature. Also it was established, that conventional transformation ratio for the system with vacuum collectors can be from 3,8 to 7,0. It points to the need for a sufficient efficiency of solar energy using in heat pump systems in the low-temperature, since conventional transformation ratio for the systems, where the primary source of heat is the heat of the upper layers of the Earth, not exceed the rate – 4,5.

The calculated data and practical research results of the operational efficiency of individual systems, led to the conclusion about the necessity of complex use of renewable energy sources in heat pump systems. Especially effective can be systems, which can generate heat in the winter time and accumulate it in the summer.

Keywords: *alternative energy, renewable energy source, geothermal system, a geothermal heat exchanger, geothermal probe, ground collector, solar collector.*