

**УСЛОВИЯ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ  
СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В СИСТЕМЕ  
ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ИНТЕГРИРУЕМОЙ  
ЭНЕРГИИ ХАРАКТЕРНЫХ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ  
ИСТОЧНИКОВ**

**Петраш В. Д., Поломанный А. А., Басист Д. В.**

*Одесская государственная академия строительства и архитектуры,  
Украина*

Среди множества известных систем [1,2,3,4] с анализом [5,6] наиболее близкой по технической сути является предлагаемая система [7] отбора энергии солнечного излучения и грунта, а также утилизируемой теплоты вентиляционного воздуха и сточных вод. Придание новых функций системе [7], рис. 1, с одновременным повышением эффективности отбора и использования энергии сопряженных потоков солнечного излучения, грунта, удаляемого вентиляционного воздуха и сточных вод для нагрева воды систем коммунально-бытового теплоснабжения позволяет повысить общую энергетическую эффективность и надежность, как отдельных подсистем, так и всей интегрированной системы. Весьма важным показателем в работе систем является увеличение срока службы и надежности эксплуатации теплонасосного оборудования, а также возможности исключения дополнительного источника энергии с повышением температуры нагреваемой среды.

При этом повышение общей энергетической эффективности системы в процессе отбора энергии обеспечивается за счет:

- продления периода работы гелиоконтра в процессе трансформации солнечной энергии в режиме низкотемпературного нагрева энергоносителя;

- расширения возможности использования теплоты наружного воздуха в летний период, если его температура превышает температуру удаляемого вентиляционного воздуха;

- возможности аккумулирования избытков теплоты в массиве грунта в период экстремального солнечного излучения в теплый период года;

- стабилизации рационального гидравлического режима работы циркуляционных насосов в каждом из структурных контуров подсистемы.

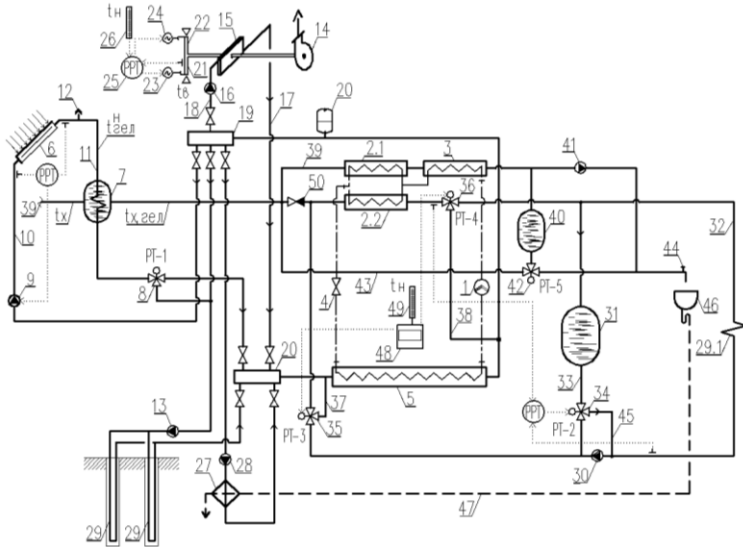


Рис. 1 Схема системы теплохолодоснабжения на основе геологической и утилизируемой теплоты удаляемого вентиляционного воздуха и сточных вод. Условные обозначения: 1 - компрессор теплового насоса; 2 - основной конденсатор из спаренных частей 2.1 и 2.2; 3 - форконденсатор; 4 - дроссельный вентиль теплового насоса; 5 - испаритель; 6 - геолоконтур; 7 - теплообменник; 8 - трехходовой температурный регулятор РТ-1; 9 - циркуляционный насос контура отбора теплоты; 10 - циркуляционный трубопровод охлажденной воды; 11 - циркуляционный трубопровод нагретой воды; 12 - воздухоохладитель; 13 - циркуляционный насос подсистемы отбора энергии грунта; 14 - вентилятор подсистемы отбора теплоты; 15 - калориферный теплообменник; 16 - циркуляционный насос подсистемы отбора теплоты удаляемого вентиляционного воздуха; 17 - циркуляционный трубопровод нагретой воды; 18 - циркуляционный трубопровод охлаждаемой воды; 19 - распределительный коллектор; 20 - сборный коллектор; 21 - воздухоохладитель внутреннего воздуха; 22 - воздухоохладитель наружного воздуха; 23 - автоматизированная шиберная заслонка; 24 - автоматизированная шиберная заслонка; 25 - регулятор разности температур; 26 - датчик температуры наружного воздуха; 27 - теплообменник подсистемы отбора теплоты отработанных водных потоков; 28 - циркуляционный насос отбора теплоты отработанных водных потоков; 29 - грунтовый теплообменник; 29.1 - теплообменник системы теплохолодоснабжения; 30 - циркуляционный насос абонентской системы отопления; 31 - бак-аккумулятор в теплый период года; 32 - трубопровод схемы теплохолодоснабжения; 33 - участок трубопровода схемы теплохолодоснабжения; 34 - трехходовой температурный регулятор РТ-2; 35 - трехходовой температурный регулятор РТ-3; 36 - трехходовой температурный регулятор РТ-4; 37 - реверсивный трубопровод системы охлаждения; 38 - реверсивный трубопровод системы охлаждения; 39 -

трубопровод системы водоснабжения; 40 - бак-аккумулятор системы горячего водоснабжения; 41-циркуляционный насос системы горячего водоснабжения; 42 - трехходовой температурный регулятор РТ-5; 43 - циркуляционный трубопровод; 44 - водосборный кран; 45 - обводной трубопровод; 46 - раковины, умывальники, бассейны; 47 - дренажный участок системы водоотведения; 48 - прибор контроля импульсного сигнала; 49 - датчик температуры наружного воздуха; 50 - участок трубопровода с обратным клапаном

Система отличается непосредственной гидравлической взаимосвязью отдельных подсистем отбора теплоты от низкопотенциальных источников. Особенность работы основного конденсатора, состоящего из спаренных первой части 2.1 (для нагрева энергоносителя, поступающего в подсистему горячего водоснабжения) и второй 2.2 (для нагрева энергоносителя для системы отопления) заключается в том, что передача теплоты конденсации в отопительный период происходит на более холодной поверхности спаренных теплообменников 2.2 либо 2.1 систем отопления либо горячего водоснабжения, т.е. при нагреве более холодной воды, поступающей из соответствующих систем. Логично, что при равенстве исходных температур нагреваемых сред в гидравлически независимых системах отопления и горячего водоснабжения эффективность нагрева воды в первой и второй частях основного конденсатора будет равнозначной и определяется соотношением теплообменных поверхностей и гидравлическими условиями нагреваемых сред. При этом форконденсатор 3 предназначен для дополнительного нагрева воды до более высокой температуры по установленным требованиям для систем горячего водоснабжения, который происходит при «компрессионном» давлении в форконденсаторе, т.е. при наибольшем давлении и соответствующей температуре рабочего тела после компрессора.

Работа системы охлаждения в теплый период года заключается в том, что энергоноситель из магистрали 32 посредством терморегулятора расхода 35 (РТ-3) по дополнительному трубопроводу 37 поступает совместно с общим потоком из сборного коллектора 20 в испаритель теплового насоса 5. Будучи охлажденной после испарителя 5, часть потока поступает по трубопроводу 38, проходя терморегулятор 36 в трубопровод 32 абонентской подсистемы охлаждения. Таким образом, теплообменник 29.1 в теплый период года выполняет функцию охлаждения воды, проходящей через указанный теплообменник.

Особенность устройства и работы подсистемы отбора солнечной энергии заключается в том, что гелиоконтур функционирует в режиме пониженного нагрева воды до 10-20<sup>0</sup>С. При этом обеспечивается не только повышение отбора теплоты солнечного излучения, но и суще-

ственно увеличивается период полезной работы анализируемой подсистемы, возрастает общий поток интегрируемой теплоты, повышается надежность работы всей системы. При этом обеспечивается расширение периода полезной работы гелиосистемы с возможностью эксплуатации её в реверсивном режиме с аккумулярованием теплоты и газоздушных потоков в массиве грунта, что в последующем позволяет использовать её в отопительный период.

Предварительно саккумулированная в массиве грунта энергия экстремального солнечного излучения в летний период при пониженном разборе воды используется для горячего водоснабжения в переходный и зимний период. Она отводится в испаритель 5 после поступления из сборного коллектора 20, а затем передается энергоносителям абонентских подсистем в спаренных частях основного конденсатора 2.1, 2.2 и в форконденсаторе 3.

Переход системы из режима отопления на охлаждающий производится автоматически в результате однонаправленного переключения регуляторов расхода 35 и 36 в конце отопительного периода контролирующим прибором 48 по импульсному сигналу датчика температуры наружного воздуха 49. Повышение надежности работы системы обеспечивается за счет возможности аккумулярования тепловой энергии не только в баке аккумулятора, но и в массиве грунта в теплый период года при максимальном солнечном излучении, а также в результате исключения возможного перегрева конденсатора и стабилизации общего гидравлического режима отбора теплоты.

Определим условия, обеспечивающие энергоэффективный низкотемпературный нагрев циркулирующей среды в гелиоконтуре системы. Среди множества известных способов в работе [5] аналитически и графически наглядно иллюстрируется возможность существенного повышения эффективности использования энергии солнечного излучения в процессе низкотемпературного нагрева первичного энергоносителя при поддержании изначально его низкой температуры на входе в КСЭ, что может быть успешно реализовано на основе теплонасосных технологий в системах теплоснабжения [6].

Структурно-функциональным устройством и условиями работы предложенной системы [7] реализуется процесс низкотемпературного нагрева энергоносителя в гелиоконтуре, что предопределяет существенное повышение эффективности использования солнечного излучения с применением ТНУ при соответствующем продлении периода полезной работы гелиоколлектора в суточном, сезонном и годовом интервалах. При этом [4] повышается надежность и срок службы применяемых среднетемпературных пароконденсационных теплонасосных

агрегатов в системах теплоснабжения.

Для оценки указанных возможностей установим рациональную взаимосвязь исходных условий и режимных параметров в работе гелиоконтра предлоленной системы. В анализируемой системе тепло-снабжения, рис 1, первичный гелиоконтра включает коллектор солнечной энергии (КСЭ), выполненный предпочтительно [8] с теплообменником в баке-аккумуляторе, либо по альтернативному варианту со скоростным теплообменником, а также циркуляционный насос, которые последовательно соединены циркуляционным трубопроводом. Воспринятая теплота солнечного излучения передается первичным теплоносителем нагреваемой среде через теплообменную поверхность в баке-аккумуляторе. В системе происходит непрерывное поступление исходной холодной воды с предварительным подогревом её за счет солнечного излучения для последующей аккумуляции теплоты. Предложенная взаимосвязь основных элементов в системе позволяет рассматривать работу гелиоконтра с непрерывным отбором нагретой воды из бака-аккумулятора.

Для идеальных условий, исключающих потери теплоты с поверхности бака-аккумулятора и трубопроводов, примем, что воспринятая теплота солнечной радиации в коллекторах обеспечивает необходимый уровень нагрева воды в баке-аккумуляторе. Для этого случая аккумулярование теплоты солнечного излучения согласно [8,9] определяется по уравнению

$$dQ = \dot{A}F [I_{\perp}(\tau\alpha) - U(t_{\text{аае}}^{\text{г}} - t_{\text{с}})]d\tau = M_a \dot{n}_p dt_a, \quad (1)$$

где:  $dQ$  – приращение тепловой энергии за период времени  $d\tau$ ;  $A$  – тепловоспринимающая площадь коллектора солнечной энергии;  $I_{\perp}$  – плотность потока суммарной солнечной радиации, поступающей на  $1\text{ м}^2$  КСЭ;  $F$ – коэффициент отвода теплоты из КСЭ;  $(\tau\alpha)$  – приведенная поглощательная способность КСЭ;  $U$  – полный коэффициент тепловых потерь КСЭ;  $t_{\text{гел}}^{\text{г}}$  –температура теплоносителя на входе в КСЭ в данный момент времени;  $t_{\text{с}}$  – температура окружающей среды;  $M_a$  – масса воды, нагреваемой в баке-аккумуляторе;  $c_p$  – теплоемкость воды;  $dt_a$  – приращение температуры воды в баке-аккумуляторе за период времени  $d\tau$ .

Известно, что для системы горячего водоснабжения в условиях низкотемпературного нагрева воды с непрерывным поступлением холодной в бак-аккумулятор при соответствующем разборе горячей в каждый момент времени средняя температура ее нагрева  $t_a = 0,5(t_x + t_{\text{х.гел}})$  меньше температуры энергоносителя на выходе из КСЭ  $t_{\text{гел}}^{\text{г}}$  на определенное значение  $\Delta t$ , исходя из чего справедливо соотношение

$$t_{\text{ГЕЛ}}^{\text{H}} = t_{\text{a}} + \Delta t . \quad (2)$$

Известно, что переменная интенсивность солнечного излучения  $I_{\perp}$ , достигая максимального значения  $I_{\text{max}}$ , в течении светового дня изменяется по зависимости [10,11,12]

$$I_{\perp} = I_{\text{max}} \sin\left(\frac{\tau}{\tau_c} \pi\right), \quad (3)$$

где:  $\tau$  – текущий промежуток времени, который отсчитывается относительно начального момента солнечного облучения при работе КСЭ;  
 $\tau_c$  – расчетный промежуток времени солнечного облучения, в начале и в конце которого  $I_{\perp} = 0$ .

На рис 2 графически иллюстрируется закономерность изменения солнечного излучения  $I_{\perp}$  по среднечасовым значениям, достоверность которой подтверждена [12] сопоставлением ее с действительными данными солнечного излучения по актинометрическим данным [13,14].

Графически на рис. 2 подтверждается возможность увеличения отбираемой теплоты солнечного излучения в режиме низкотемпературного нагрева энергоносителя в анализируемом гелиоконтуре предложенной системы при условии превышения степени возрастающей абциссы периода работы коллектора над ординатой соответствующего снижения средней интенсивности лучистого потока, поступающего на поверхность КСЭ.

Зависимость (1) с учетом (2) и (3) [10,11,12] приобретает следующий вид

$$\frac{dt_{\text{a}}}{d\tau} + \frac{A F U}{M_{\text{a}} c_{\text{p}}} (t_{\text{a}} + \Delta t - t_{\text{oc}}) = \frac{A F I_{\text{max}} (\tau \alpha)}{M_{\text{a}} c_{\text{p}}} \sin\left(\frac{\tau}{\tau_c} \pi\right). \quad (4)$$

Для упрощения решения поставленной задачи полагаем, что все величины в полученном дифференциальном уравнении (4) первого порядка постоянны, кроме  $t_{\text{a}}$ ,  $I_{\perp}$  и  $\tau$ . Для принятых условий его общим решением является интеграл

$$t_{\text{a}} = t_{\text{oc}} - \Delta t + e^{-\int \text{ad} \left(\frac{\tau}{\tau_c}\right)} \left[ C + \frac{a F I_{\text{max}} (\tau \alpha)}{F U} \times \int \sin\left(\frac{\tau}{\tau_c} \pi\right) e^{\int \text{ad} \left(\frac{\tau}{\tau_c}\right)} d\left(\frac{\tau}{\tau_c}\right) \right], \quad (5)$$

где: **a** - комплекс взаимосвязанных параметров для анализируемого контура, который представляется в следующем виде

$$a = \frac{A F U \tau_c}{M_a c_p} \quad (5.1)$$

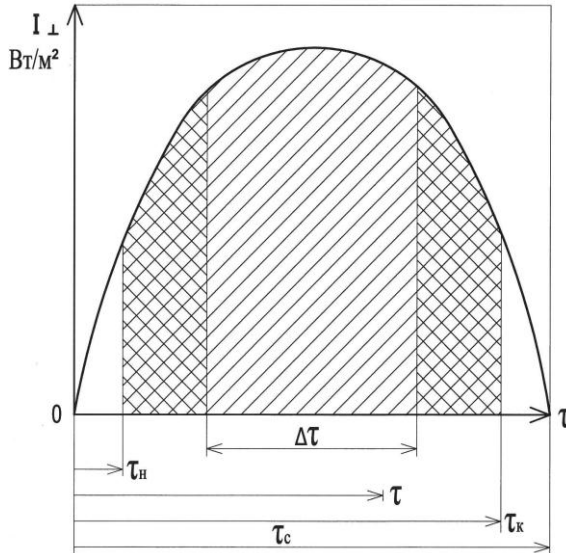


Рис. 2 Расчетная схема изменения суточного поступления суммарного солнечного излучения на  $1 \text{ м}^2$  коллектора, ориентированного на юг под углом  $\varphi$  к горизонту в гелиоконтуре системы теплоснабжения

Следует отметить, что соотношение  $M_a / A$  в практике инженерной разработки систем солнечного теплоснабжения [9] рекомендуется предусматривать оптимальным с объемом водяного аккумулятора в пределах 50-100 л на  $1 \text{ м}^2$  КСЭ, а расход жидкости через КСЭ принимать равным 0,015 л/с. Диапазон возможного изменения взаимосвязанных коэффициентов отвода теплоты  $F$  и коэффициентов потерь теплоты  $U$  проанализирован в [9]. Графическая интерпретация зависимости (5.1) на представленном рис. 3, с учетом вышеизложенного показывает, что диапазон реально возможного изменения  $a$  для  $1 \text{ м}^2$  коллектора находится в пределах  $(0 \div 6)$ .

После интегрирования [16] полученного уравнения (5) для начального граничного условия  $t_a = t_{a,n}$  при  $\tau = \tau_n$  зависимость температуры воды в баке-аккумуляторе  $t_a$  по продолжительности ее нагрева  $(\tau - \tau_n)$  приобретает следующий вид

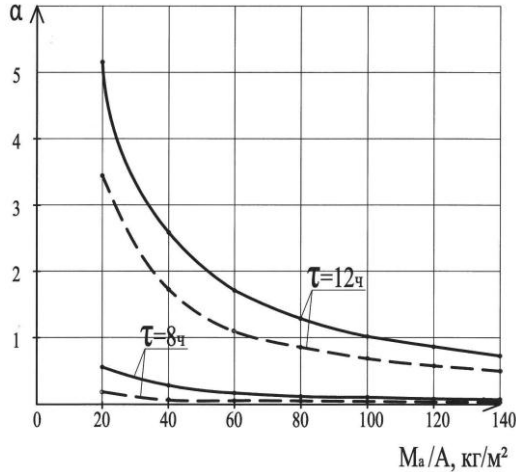


Рис. 3 Зависимость комплекса безразмерного соотношения  $a$  от удельного объема водяного аккумулятора  $M_a/A$  в гелиоконтуре.

Условные обозначения: — — — — —  $FU=10,0$ ; - - - - -  $FU=1,0$ .

$$t_a = t_{oc} - \Delta t + C e^{-a(\tau - \tau_H) / \tau_c} + \frac{F(\tau \alpha) I_{\max}}{FU} \cdot \frac{a / \pi}{(a / \pi)^2 + 1} \times$$

$$\times \left[ \frac{a}{\pi} \sin\left(\frac{\tau}{\tau_c} \pi\right) - \cos\left(\frac{\tau}{\tau_c} \pi\right) - e^{-a(\tau - \tau_H) / \tau_c} \times \right. \quad (6)$$

$$\left. \times \frac{a}{\pi} \sin\left(\frac{\tau_H}{\tau_c} \pi\right) + e^{-a(\tau - \tau_H) / \tau_c} \cos\left(\frac{\tau_H}{\tau_c} \pi\right) \right].$$

Если принять в уравнении (6)  $\tau_a = \tau_H$  и  $t_a = t_{a,H}$ , то зависимость конечной температуры воды в баке-аккумуляторе может быть представлена в следующем виде

$$t_{a,H} = t_{oc} - \Delta t + C,$$

откуда определяется постоянная интегрирования

$$C = t_{a,H} - t_{oc} + \Delta t. \quad (7)$$

Логично полагать, что при работе гелиоконтра аккумулятора накопление теплоты солнечного излучения для системы горячего водоснабжения начинается в момент времени  $\tau_H = 0$ , когда начальная температура нагреваемой среды в баке-аккумуляторе близка к температуре  $(t_{oc} - \Delta t)$ . Этому состоянию, следуя (7), отвечает условие, при котором  $C \approx 0$ . Для рассматриваемого случая зависимость анализируемой температуры  $t_a$  согласно (6) после упрощения приобретает следующий вид



$$t_a = t_{oc} - \Delta t + \frac{F I_{\max} (\tau \alpha)}{F U} \cdot \frac{a / \pi}{(a / \pi)^2 + 1} \times$$

$$\times \left[ \frac{a}{\pi} \sin \left( \frac{\tau}{\tau_c} \pi \right) - \cos \left( \frac{\tau}{\tau_c} \pi \right) + e^{-a \tau / \tau_c} \right]. \quad (8)$$

Уравнение (8) представляется также в безразмерном виде

$$\frac{(t_a - t_{oc} + \Delta t) F U}{F I_{\max} (\tau \alpha)} = \frac{a / \pi}{(a / \pi)^2 + 1} \left[ \frac{a}{\pi} \sin \left( \frac{\tau}{\tau_c} \pi \right) - \cos \left( \frac{\tau}{\tau_c} \pi \right) + e^{-a \tau / \tau_c} \right] \quad (9)$$

Из зависимости (9) следует, что значение левой части уравнения в виде безразмерного соотношения может быть определено только по двум безразмерным параметрам  $a$  и  $\tau/\tau_c$  в правой его части. Эта зависимость позволяет найти искомую температуру либо определить заданный температурный перепад нагрева воды в баке-аккумуляторе с установлением соответствующего периода солнечного облучения коллектора  $\tau/\tau_c$  при поддержании необходимого низкотемпературного нагрева воды, обеспечивающего повышение энергетической эффективности работы всей системы и надежности работы компрессорного оборудования.

На рис. 4 представлена графическая интерпретация безразмерного комплекса взаимосвязанных основных параметров уравнения (9) в зависимости от соотношения  $\tau/\tau_c$  при различных значениях  $a$ , диапазон которых показан на рис. 3.

Из представленных графиков очевидно наличие экстремальных значений для комплекса взаимосвязанных параметров гелиоконтра в левой части уравнения от безразмерных значений справа  $a$  и  $\tau/\tau_c$ , при которых достигается предельно возможный нагрев воды в баке-аккумуляторе для заданных условий. Экстремальные значения анализируемого комплекса отражают условия максимального возможного накопления теплоты в баке-аккумуляторе с соответствующим установлением периода солнечного облучения коллектора.

Из графиков следует, что оптимальный режим работы гелиоконтра системы теплоснабжения может быть установлен на основе следующих исходных данных: начальной температуры первичного энергоносителя ( $t_{гел}^H = t_a + \Delta t$ ); расчетной температуры окружающей среды ( $t_{oc}$ ); тепловых ( $F$ ) и оптических ( $\tau\alpha$ ) характеристик КСЭ, а также значения максимальной интенсивности солнечного излучения  $I_{\max}$ .

На основе этих данных устанавливается значение безразмерного комплекса в левой части уравнения (9), затем по графику, рис. 4, на пересечении горизонтали с линией экстремальных значений  $\tau$  для кри-

вой с соответствующим значением  $a$  определяется относительный период солнечного облучения коллектора  $\tau/\tau_c$ .

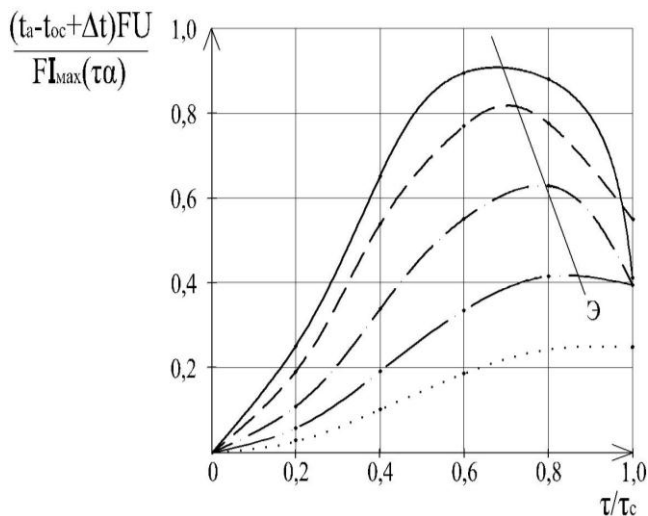


Рис. 4 Зависимость комплексной взаимосвязи основных параметров от периода работы гелиоконтура в системе. Условные обозначения:  $\dots$  -  $a=0,5$ ;  $\dashdot$  -  $a = 1,0$ ;  $\text{---}$  -  $a = 2,0$ ;  $\text{—}$  -  $a = 4,0$ ;  $\text{—}$  -  $a = 6,0$ ;  $\Theta$  — линия экстремальных значений

Также очевидно, что по установленной величине  $a$  согласно зависимости взаимосвязанных параметров (5.1) для конкретных данных гелиоконтура определяется необходимая поверхность коллектора  $A$ , обеспечивающая максимально возможный КПД его работы. Установленное при этом значение  $\tau/\tau_c$  учитывает целесообразный период поступления солнечного излучения для рационального процесса аккумуляции теплоты в баке.

На основе ранее принятого условия поддержания средней температуры нагреваемой воды в баке с учетом установленного значения  $t_a$  определяется температура нагреваемой холодной воды после теплообменника 7 согласно зависимости  $t_{x, \text{рел}} = 2t_a - t_x$ .

## ***Выводы***

В результате выполненного исследования установлена комплексная взаимосвязь исходных параметров и режимных условий периодически работающего гелиоконтра для обеспечения высокоэффективного нагрева изначально низкотемпературного энергоносителя, обусловленного работой грунтового теплообменника в общей структуре интегрированной системы теплоснабжения. Установленный комплекс позволяет определять рациональную взаимосвязь исходных условий и режимных параметров в работе гелиоконтра, являющийся алгоритмом энерготехнологической оптимизации предложенной системы в инженерных расчетах. Установленные зависимости позволяют определять температуру воды после нагрева её в баке-аккумуляторе и создают основу для последующих исследований рациональной структуры взаимосвязи подсистем в предложенной системе теплоснабжения [7].

## **Summary**

**The research results of the suggested heat supply system on the low-potential sources integrated energy basis show that there is a complex interconnection between out parameters and energy-efficient operating conditions of operative at regular intervals solar system.**

## ***Литература***

1. Патент России №2350847 Система автономного теплоснабжения потребителей с использованием низкопотенциального тепла и электро-снабжения от возобновляемых источников энергии, МПК F24D3/08, Стребков Д.С., Харченко В.В., Чемиков В.В. 10.09.2007 г.

2. Амерханов Р.А. Петротермальная энергия в системах теплоснабжения. ж. Промышленная теплотехника., т.28, №2, 2006 г. ИТТФ, с.28-34.

3. Васильев Г.П. Теплохладоснабжение зданий и сооружений с использованием низкопотенциальной энергии поверхностных слоев земли. Монография. Москва. Издательский дом «Граница» 2006 г., с. 176

4. Петраш В.Д., Басист Д.В. Условия энергоэффективной работы теплонасосной системы солнечного теплоснабжения ж. Промышленная теплотехника, т.30 №2 , 2008 г. ИТТФ с. 86-89

5. Эффективные системы отопления здания./ В.Е. Минин, В.К. Аверьянов, Е.А. Белинский, и др.; под общей ред. В.Е. Минина. – Л.: Стройиздат Ленингр. Отд-ние, 1988. – 216с.

6. Петраш В.Д. Теплонасосные системы теплоснабжения,- Одесса:

типографія «ВМВ», 2014, с. 421-450.

7. Система теплохолодопостачання на основі геліогрунтової енергії та утилізованої теплоти витяжного вентиляційного повітря і стічних вод. Петраш В.Д., Поломанний О.А., Висоцька М.В., Заявка на винахід за № а 201404674, ДП «Український інститут промислової власності» від 30.04.2014.

8. Даффи Дж. А., Бекман У.: Тепловые процессы с использованием солнечной энергии. «Мир», М. 1977, 420 с.

9. Бекман У., Клейн С., Даффи Дж. А.,; Расчет систем солнечного теплоснабжения. М: Энергоиздат, 1982, 80 с.

10. Валов М.И. Системы солнечного теплоснабжения.-М.: МЭИ, 1991.-140с.

11. Петраш В.Д., Полуниин М.М., Комолов Г.Ф. Децентрализованные гелиосистемы горячего водоснабжения при центральном теплоснабжения //Ж. Гелиотехника. № 3. 1989. АН Респ. Узбекистан, Ташкент.

12. Жданов Ю.А. Расчет систем солнечного горячего водоснабжения с суточным циклом аккумуляирования; ж. Гелиотехника, №2 1989 г. АН УзССР Ташкент изд. «Фан» с. 43-46.

13.Справочник проектировщика Внутренние санитарно-технические условия . Ч.1. Отопление, под ред. И.Г. Староверова и Ю.Н. Шиллера.- М.: Стройиздат, 1990.

14. ДСТУ-Н Б В.2.5-43:2010 Настанова з улаштування систем сонячного теплопостачання в будинках житлового і громадського призначення. Міненергобуд Україна, 2010.- с. 344.

15. ДСТУ-Н Б В.1.1-27 2010 Будівельна кліматологія .- Київ.; Укрархбудінформ Україна, 2010, с. 123.

16. Двайт Г.Б. Таблицы интегралов и другие математические формулы. Изд. «Наука»; Москва 1978 г; 224с.