

УДК 620.92

DOI: 10.15587/2313-8416.2016.74692

АНАЛИЗ ВРЕМЕННЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ

© А. В. Фролов

Объектом исследования является коллектор. Предложены аппроксимирующие модели базовой зависимости КПД коллектора от разности температур «коллектор-окружающая среда». Проведен анализ режимов получения горячей воды с постоянной температурой и заданной площадью коллектора в разное время года. Установлено, что при температуре воды 50 °C и площади вакуумного коллектора 6,25 м² интенсивность теплогенерации составляет зимой 75, осенью 130 и летом 400 л/день. Показана необходимость решения задачи оптимизации получения горячей воды в разное время года и предложены варианты её решения

Ключевые слова: гелиоколлектор, алгоритм расчета КПД, режим теплогенерации, метеоусловия, концентраторы солнечного излучения

The object of this study is collector. Approximate models of basis collector efficiency dependency on the temperature difference between the "collector-environment" are proposed. Analysis of the modes for producing hot water at a constant temperature and a predetermined area of the collector at different times of the year is conducted. It is found that intensity of heat generation is in winter 75, in autumn 130 and in summer 400 liters/day for water temperature 50 °C and area of the vacuum collector 6.25 m². The necessity of solving the problem of optimizing the production of hot water in different seasons is shown and variants of its solution are proposed

Keywords: solar collector, efficiency calculation algorithm, heat generation mode, weather conditions, solar radiation concentrator

1. Введение

В последние годы в мире наблюдается существенное истощение традиционных источников энергии: угля, нефти, газа и других природных ископаемых. Это, безусловно, приводит к росту стоимости теплоносителей, повышению тарифов на коммунальные услуги и отопление. Поэтому поиск и использование альтернативных источников энергии является своевременной и актуальной задачей. При этом энергия Солнца представляет неисчерпаемый постоянно работающий источник, с использованием которого могут успешно работать теплоэнергетические комплексы на основе гелиоколлекторов. С помощью солнечных коллекторов можно практически полностью обеспечить потребности в горячей воде для бытового потребления при сравнительно высокой эффективности теплопреобразования, составляющей 60–70 %.

В настоящее время украинский рынок коллекторных устройств и их комплектующих включает не только разработки компании Vaillant, но и солнечные коллекторы типа neosol фирмы Neo (Польша) благодаря организации постоянного регионального представительства («НВЦ Теплокомплект» г. Полтава, Украина).

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Как показано в работе [1], процесс получения горячей воды с помощью коллекторной системы можно математически описать на основе уравнения тепло-

вого баланса. Согласно этому, параметрами системы являются 8 тепловых потоков, три из которых определяют механизм нагрева теплоносителя и передачу тепла водонагревателю, а остальные пять связаны с факторами, вызывающими тепловые потери.

Таким образом, для нахождения КПД коллектора необходимо исследовать 8 переменных (тепловых потоков), что представляет сравнительно сложную задачу, которая решается статистически, используя методику многофакторного эксперимента.

В работе [2] предложено решить подобное уравнение методом математического моделирования процесса теплообмена в коллекторах и таким образом определять производительность всей системы. Установлено, что увеличение площади коллекторов приведет к повышению максимальной температуры носителя, но это, в свою очередь, приведет к увеличению стоимости установки.

Исследователи в [3] считают эффективным применение солнечной энергии в системах теплообеспечения преимущественно в летний (теплый) период. В остальной период целесообразно использование концентраторов, но это требует дополнительной площади и приводит к еще большему удорожанию установки.

В работе [4] КПД всей солнечной водонагревательной установки предложено вычислять как произведение отдельных КПД солнечных коллекторов, КПД тепловых аккумуляторов и КПД циркуляционных трубопроводов. Однако требуется отдельная методика вычисления тепловых потерь.

В работе [5] рекомендовано при выборе солнечного коллектора любой конструкции учитывать реальный КПД, область применения, климатические условия и экономический эффект от внедрения.

Авторы в [6] для увеличения сезонной эффективности предлагают предусмотреть автоматическое уменьшение расхода теплоносителя при снижении солнечного излучения, но не понятен механизм компенсации потерь из-за понижения температуры теплоносителя.

В рассмотренной литературе [1–6] эффективность работы солнечных коллекторов в целом представлена как зависимость от эффективности отдельных его компонентов, климатических условий, экономических показателей и т. п. или носят только экспериментальный характер [7, 8]. К таковым можно отнести и некоторые производственные компании [9]. В работе [10] предложена методика оценивания тепловых потерь в солнечных коллекторах параболической формы. Авторами в [11] проанализирована работа солнечных коллекторов с концентраторами (различных форм) и без концентраторов, сделан экспертный анализ работы коллекторов. Исследователи в [12] дают оценку эффективности использования солнечных коллекторов в зависимости от метеорологических условий (данных), времени года, конструктивных особенностей коллекторов и соответствующих нагрузок.

Анализ зарубежных источников [9–12] показывает, что, как и компания Vaillant, так и другие исследователи, для оценки эффективности работы коллектора используют графические зависимости КПД от перепада температур.

Авторы в [13] был обозначен, но не исследован, показатель, который представляет научный интерес – зависимость КПД солнечного коллектора от перепада температур «коллектор – окружающая среда».

3. Цель и задачи исследования

Целью работы является проведение анализа режимов получения горячей воды с постоянной температурой и заданной площадью коллектора в разное время года.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- разработка аппроксимирующих моделей зависимостей КПД коллектора от разности температур «коллектор – окружающая среда»;
- проектирование алгоритма расчета площади коллектора от основных исходных данных;
- обработка полученных результатов расчета площади коллектора и их анализ при вариации исходных данных для летнего, осеннего и зимнего периодов.

4. Материалы и методы исследований режимов работы солнечных коллекторов

4.1. Методика компании Vaillant

Функциональную математическую модель солнечного коллектора можно представить в виде динамической системы, осуществляющей преобразование входных возмущающих и управляющих воздействий в выходные переменные параметры (рис. 1)

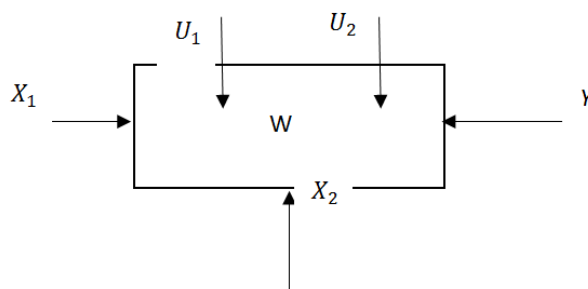


Рис. 1. Модель солнечного коллектора, U_1 – управляющий вектор прямого солнечного излучения; U_2 – управляющий вектор рассеянного в атмосфере солнечного излучения; X_1 – входной вектор условий нагрева теплоносителя; X_2 – входной вектор потерь тепла; Y – выходной вектор теплоносителя

Однако для реализации указанной модели необходимы экспериментальные исследования и необходимая выборка должна быть достаточной с точки зрения обеспечения заданной точности модели.

Поэтому на первом этапе исследований для получения экспресс-оценок с приемлемой степенью точности (погрешность не более 3–4 %) целесообразно воспользоваться руководством по проектированию солнечных коллекторов компании Vaillant [9], которое подготовлено с учетом статистической обработки большого количества экспериментальных данных.

Для анализа режимов работы гелиоустановки компании Vaillant при получении горячей воды целесообразно пользоваться схемой с укрупненными функциональными компонентами. Такая схема представлена на рис. 2.

Схема состоит из 4-х основных компонентов:

- коллекторного массива, состоящего из вакуумных трубчатых или плоских коллекторов, которые абсорбируют солнечные лучи (1);
- регулятора гелиосистемы, который контролирует все функции, отображает данные на дисплее и управляет системой (2);
- насосной группой гелиосистемы, предназначенной для съема тепла и оснащенной необходимыми устройствами безопасности (3);
- емкостного водонагревателя для гелиоустановок и буферной емкости (4).

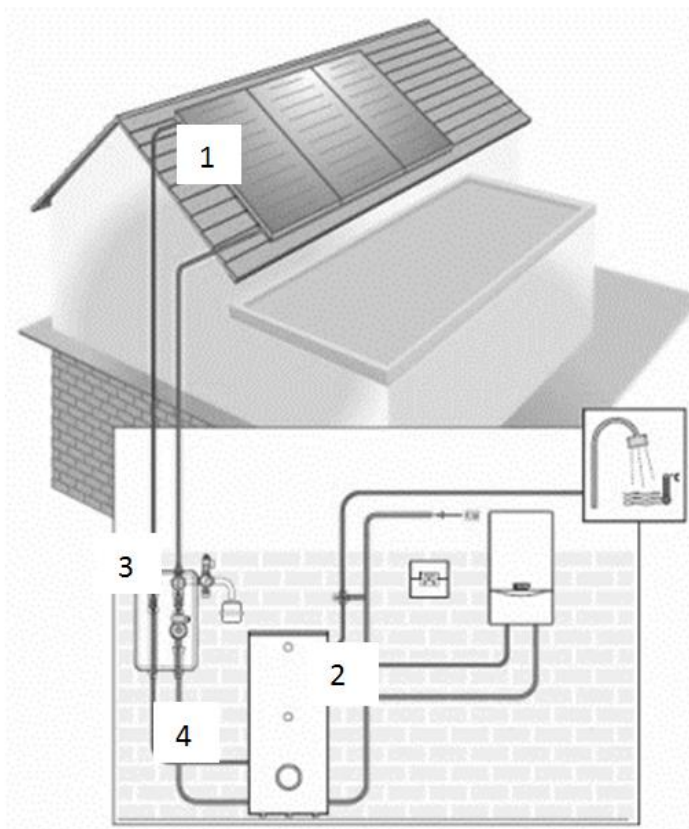


Рис. 2. Схема с укрупненными функциональными компонентами

4. 2. Методика компании Neosol

Аналогично стандартный комплект гелиосистемы Neosol [1] позволяет применять солнечные коллекторы как для горячего водоснабжения, так и частичного обогрева жилых помещений [14].

В состав комплекта входят:

- солнечные коллекторы neosol 250;
- насосно-регулирующая группа neounit;

- цифровые регуляторы solar comp;
- бак-аккумулятор воды (одно или двухконтурный);
- расширительный бачок;
- теплоноситель.

Характерной особенностью этого комплекта является наличие цифровых регуляторов гелиоустановок solar comp и neocontrol [15] (рис. 3).



Рис. 3. Цифровой регулятор теплоустановки

Цифровой регулятор теплоустановки предназначен для:

- плавного регулирования скорости вращения циркуляционного насоса (позволяет регулировать теплообменный процесс в аккумуляторе тепла);

- защитных функций (не допускает перегрева температуры коллектора и бака-аккумулятора тепла);
- сброс тепла через коллектор (позволяет избавиться от излишков тепла в теплосборнике);
- управление расширенными системами.

5. Результаты исследований анализа режимов работы солнечных коллекторов

Для проведения расчетов используется базовая зависимость эффективности (КПД) плоских (auroTHERM VFK145H/V, auroTHERM plus VFK 150H/V) и вакуумных (auroTHERM exclusive VTK 570/2und

1140/2) (Vaillant, Германия), солнечных коллекторов от разности температур ΔT между окружающей средой и коллектором (рис. 4). Из графиков можно сделать вывод, что КПД вакуумных коллекторов меньше зависит от перепада температур «окружающая среда-коллектор», чем в случае плоских коллекторов [16].

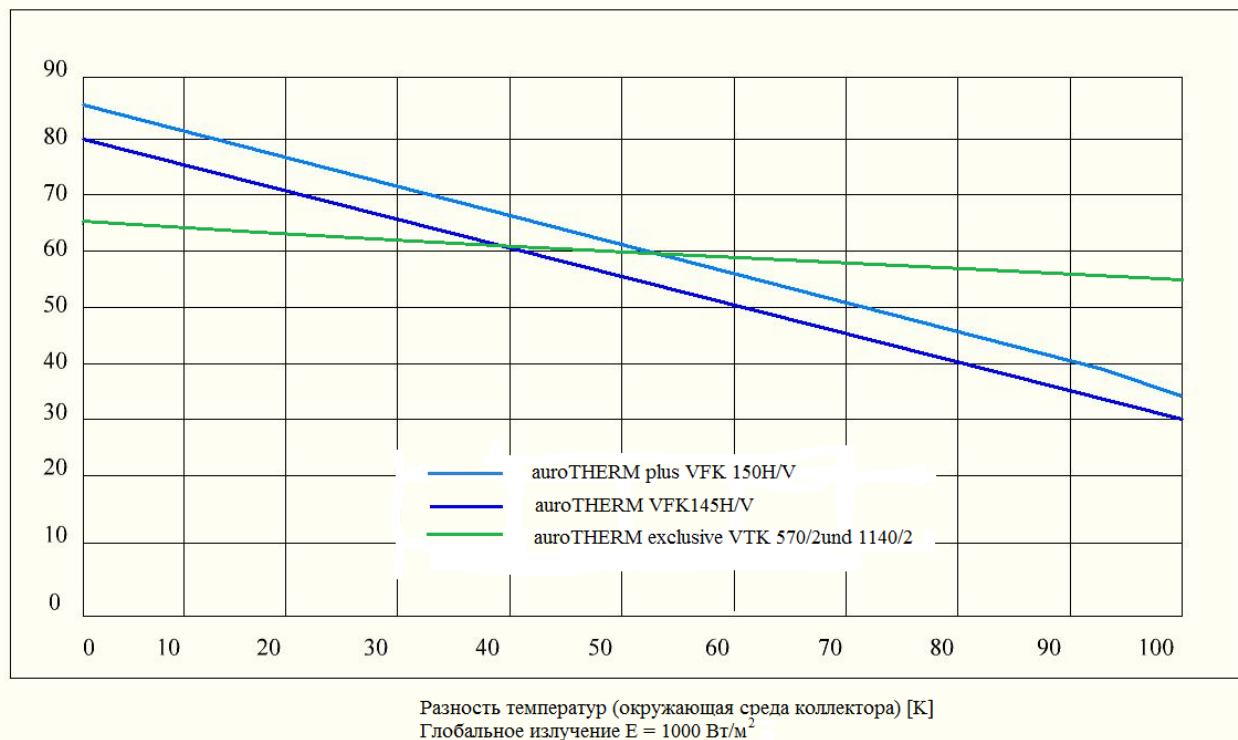


Рис. 4. Зависимость КПД от разности температур «Коллектор – окружающая среда»

Из рис. 4 следует, что если зимний период не характерен сильными морозами, предпочтительны для создания коллекторной системы плоские коллекторы. В то же время для северных стран с холодным климатом более эффективны вакуумные коллекторы.

Для проектирования коллекторных систем необходимы следующие исходные данные:

- температура горячей воды;
- температура окружающей среды;
- объем холодной воды, подлежащей разогреву.

Обычно температура горячей воды выбирается равной 50 °С. Температура окружающей среды определяется температурно-климатическими условиями в разные времена года для Харьковского региона и приведена в табл. 1.

Для определения температуры окружающей среды следует воспользоваться таблицами-распределениями по месяцам года максимальных, минимальных и среднемесячных значений этого климатического параметра, приведенных в табл. 1.

Таблица 1

Климат Харькова (норма 1981–2010)

Показатель	Янв.	Фев.	Март	Апр.	Май	Июнь	Июль	Авг.	Сен.	Окт.	Нояб.	Дек.	Год
Абсолютный максимум, °С	11,0	14,6	21,8	30,5	34,5	36,8	37,6	39,8	33,7	29,3	20,3	13,4	39,8
Средняя температура, °С	-4,6	-4,5	0,7	9,2	15,6	19,3	21,3	20,3	14,4	7,9	0,9	-3,5	8,1
Абсолютный минимум, °С	-35,6	-29,8	-32,2	-11,4	-1,9	2,2	5,7	2,2	-2,9	-9,1	-20,9	-30,8	-35,6

Объем воды, подлежащий разогреву или суточный расход горячей воды (50 °С) определяется исходя из:

- количества человек (душевое потребление);
- других применений (полив, кухня, прогрев жилых помещений и т. д.)

Для удобства выполнения расчетов графики КПД = $f(\Delta T)$ можно аппроксимировать следующими зависимостями с учетом типа коллекторов.

Плоские коллекторы типа ауто THERM plus VFK 150 H/V:

$$\text{КПД}(\Delta T) = 80 - 0,49 \Delta T + [2 - 8 \cdot 10^{-4} (\Delta T - T_0^c)^2], \quad (1)$$

где $\Delta T_0^c = 50 \text{ }^\circ\text{C}$.

Вакуумные коллекторы ауто THERM exclusive VTK 570/2 and 1140/2:

$$\text{КПД}(\Delta T) = 64 - 0,1\Delta T. \quad (2)$$

Как следует из приведенных соотношений, плоские коллекторы обладают нелинейной зависимо-

стью КПД(ΔT), а вакуумные характеризуются линейным законом КПД(ΔT).

Для проведения расчетов воспользуемся перенесением следующих формул

Количество тепла для разогрева холодной (15 °С) воды до температуры 50 °С:

$$Q_v = 1,163M * \Delta T_x, \quad (3)$$

где M – суточный расход горячей воды.

$$\Delta T_x = (50 - 15) \text{ }^\circ\text{C} = 35 \text{ }^\circ\text{C}. \quad (4)$$

1. Энергия, принимаемая коллектором с площадью S_k :

$$Q_k = Q_E S_k, \quad (5)$$

где Q_E – энергия потока солнечного излучения (квт. час/м²).

Для дальнейших расчетов необходимо определить уровень инсоляции и среднемесячной температуры в зависимости от времени года.

Эти сведения представлены с помощью [9] в виде табл. 2

Таблица 2

Ежемесячные усредненные значения Q_E^{cp} облучения солнца на горизонтальной поверхности для города Харьков (кВт/м² за день)

Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Средн.
1,19	2,02	3,05	3,92	5,38	5,46	5,56	4,88	3,49	2,10	1,19	0,9	3,26

2. Разность температур ΔT «коллектор – окружающая среда»

$$\Delta T = T_k - T_o, \quad (7)$$

где T_k равна 50 °С, T_o – температура окружающей среды.

3. Эффективность (КПД) коллектора η
Плоские коллекторы:

$$\text{КПД}(\Delta T) = 84 - 0,49\Delta T + [2 - 8 \cdot 10^{-4} (\Delta T - T_o^c)^2], \quad (8)$$

где $T_o^c = 50 \text{ }^\circ\text{C}$.

Вакуумные коллекторы:

$$\text{КПД}(\Delta T) = 64 - 0,1\Delta T. \quad (9)$$

4. Площадь коллектора S_k

$$S_k = \frac{Q_v}{\Delta Q_E}. \quad (10)$$

В завершении расчетной части рассмотрим обобщенный алгоритм (порядок расчета) параметров солнечных коллекторов.

1. Подготовка исходных данных
 - T_k – температура горячей воды (50 °С);
 - массив параметра

$$T_o \in (T_o^1, T_o^2, \dots, T_o^{12}), T_o = T_{cp};$$

– массив параметра

$$M \in (M_1, M_2, \dots, M_k);$$

– массив параметра

$$Q_E \in (Q_E^1, Q_E^2, \dots, Q_E^{12}).$$

2. Расчет параметра Q_v :

$$Q_v = 1,163M \Delta T_x. \quad (11)$$

3. Расчет параметра ΔT

$$\Delta T = T_k - T_o. \quad (12)$$

4. Расчет КПД коллекторов
Плоские коллекторы:

$$КПД(\Delta T) = 84 - 0,49\Delta T + [2 - 8 \cdot 10^{-4}(\Delta T - T_o^c)^2], \quad (13)$$

где $T_o = 50^\circ\text{C}$.

Вакуумные коллекторы:

$$КПД(\Delta T) = 64 - 0,1\Delta T. \quad (14)$$

5. Расчет площади коллектора S_k :

$$S_k = \frac{Q_v}{\Delta(КПД)Q_E}. \quad (15)$$

В результате расчетов определяется необходимое значение площади коллектора S , в соответствии с заданными температурами окружающей среды T_o и горячей воды T_k . А также суточным объемом водопотребления M и освещенностью Q_E .

6. Обсуждение результатов исследований

С помощью разработанного алгоритма были вычислены зависимости площади коллектора S_k от дневного расхода горячей воды M (л/день) для вакуумного и плоского коллектора с учетом времени года (зима, лето, осень), представленные на рис. 5 и 6.

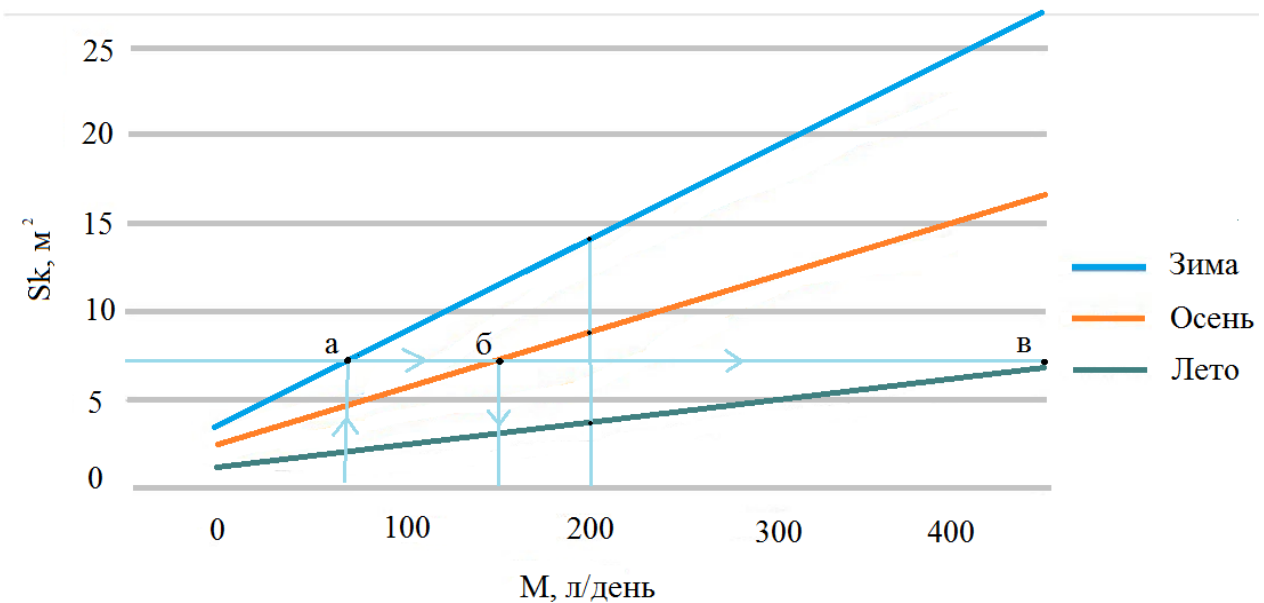


Рис. 5. Зависимости площади коллектора S_k от дневного расхода горячей воды M для вакуумного коллектора

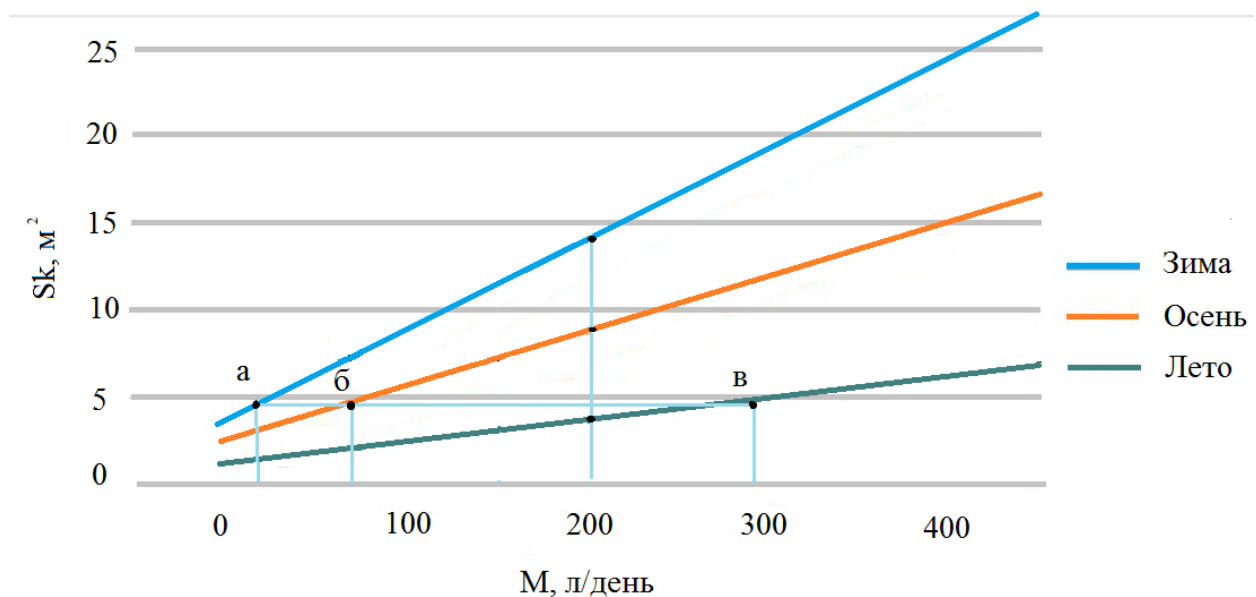


Рис. 6. Зависимости площади коллектора S_k от дневного расхода горячей воды M плоского коллектора

Проанализируем полученные результаты. Для этого при параметре $M=200$ л/день определим необходимую площадь коллектора в разное время года с помощью графиков. В результате для вакуумного коллектора необходимая его площадь составит: для лета $2,6 \text{ м}^2$, осени $7,5 \text{ м}^2$ и зимы $12,5 \text{ м}^2$. Это связано с уменьшением КПД коллекторной системы по мере увеличения перепада ΔT температур (коллектор/окружающая среда).

Аналогичное явление имеет место и для плоского коллектора для параметра $M=200$ л/день. Причем в зимнее время площадь S_k разных типов коллекторов практически одинакова, а далее уменьшается при переходе к летнему режиму.

Совершенно очевидно, что на практике в результате проектирования и изготовления коллекторной системы ее площадь в разное время года будет постоянной. Поэтому проанализируем ее поведение с учетом времени года при постоянном значении площади S_k .

Для наглядности используя семейство графиков на рис. 5 – зададим расход горячей воды в день 75 л и определим с помощью ординаты необходимую площадь $S_k=6,25 \text{ м}^2$ в зимний период (точка а). Далее перемещаемся по горизонтальной прямой ($S_k=const$) до точки б и с помощью ординаты получаем дневной объем горячей воды в осеннее время, равный 150 л, который превышает заданное значение. Таким образом, появляется возможность использовать часть горячей воды для обогрева жилых помещений. Затем, после перемещения по прямой ($S_k=const$) до точки в также получаем избыточное значение суточного расхода горячей воды летом, которое можно использовать для полива.

Если теперь задать исходный режим для летнего периода, то соответственно для осени (точка б) и зимы (точка а) расход горячей воды уменьшится.

Для частичной компенсации падения расхода горячей воды целесообразно:

– изменить время выбора исходного режима для расчета площади коллектора (например, осень или весна);

– уменьшить температуру горячей воды с до в зимнее и осеннее время года, поскольку при этом увеличится КПД и соответственно объем горячей воды.

Таким образом, просматривается возможная оптимизация коллекторной системы подогрева воды при использовании двухтемпературного (50/30 °C) режима работы, когда часть тепловой энергии можно применить для сокращения затрат на обогрев жилых помещений.

Для плоского коллектора (рис. 6) зададим площадь $S_k=4 \text{ м}^2$ и дневной расход горячей воды 25 л в зимний период. Тогда осенью (точка б) получим объем горячей воды 75 л, а летом (точка в) – 300 л соответственно.

Практика проектирования солнечных коллекторов компании Vaillant [9] показывает, что оптимальные условия достигаются в системе 50/30 °C, когда на 10–30 % в течении года можно уменьшить расход тепловой энергии на отопление индивидуальных домов.

В этом случае рекомендуется [9] следующий ориентировочный подбор параметров гелиоустановки для поддержки отопления частного домовладения:

– для плоских коллекторов на 10 м^2 жилой площади

$$S_k=0,8-1,1 \text{ м}^2;$$

– для трубчатых коллекторов на 10 м^2 жилой площади

$$S_k=0,5-0,8 \text{ м}^2;$$

– на 1 м^2 гелиоколлектора рекомендуется (50–70) л объема накопителя.

Все ранее выполненные расчеты проводились при освещенности 1000 Вт/м^2 . Это соответствует идеальным погодным условиям (ясное небо без облачного покрова). В реальных условиях возможны:

- частичная облачность и солнечная погода;
- сплошная облачность;
- осадки в виде дождя и снега;
- туман.

В этих случаях имеет место снижение уровня инсоляции и, как следствие, эффективность нагрева теплоносителя или КПД коллекторной системы, что наглядно иллюстрируется на рис. 7, где представлены зависимости $KПД=f(\Delta T)$ для трех уровней освещенности (1000 Вт/м^2 , 800 Вт/м^2 , 300 Вт/м^2) при использовании коллектора ауго THERM VFK9009 [14].

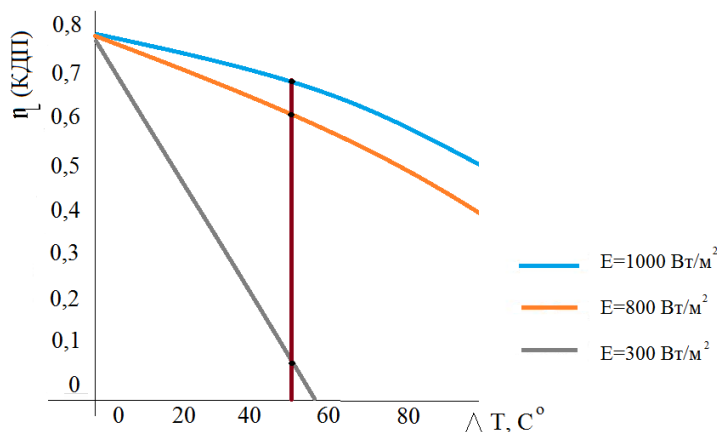


Рис. 7. Ухудшение КПД из-за уменьшения температур связанного с снижением солнечной инсоляции

Если провести ординату для $\Delta T=50$ °С, то достаточно четко просматривается падение КПД от 58 % до 53 % и далее до 7 %. Однако эффективность нагрева теплоносителя можно увеличить, используя концентраторные отражательные системы или гелио-концентраторы. Они представляют собой лучепреломляющую панель с каналами для циркуляции теплоносителя, изготовленную из металла и размещенную в корпусе. Корпус имеет теплоизолирующий слой с теневой стороны и лучепропускающее покрытие с фронтальной стороны.

Гелиоконцентраторы – это устройства, в которых отраженные от криволинейных поверхностей солнечные лучи собираются в фокусе, что приводит к усилению уровня лучистой энергии [17]. Гелио-

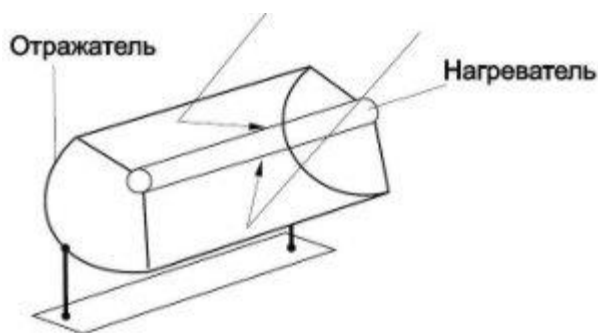


Рис. 8. Схема гелиоконцентратора

Для ориентации крупных установок гелио-концентраторов используются автоматизированные системы с электроприводами. В НТУ «ХПИ» в 2009 году разработаны конструкции управляемых двигателей, в которых регулирование основных рабочих характеристик осуществляется на программном уровне с использованием микропроцессорных устройств. Такие конструкции могут комплектоваться оптическими датчиками положения.

Следует отметить, что в большинстве случаев гелиоколлекторы размещаются на крышах домов и требуют достаточно прочного крепления, выдерживающего скорость ветра до 180км/ч, а также ливневые дожди, снегопад с ветром.

В подобных ситуациях надежность работы системы ориентации на Солнце будет достаточно низкой и малоэффективной. По-видимому, целесообразно исследовать эффективность концентратора при отсутствии системы слежения за Солнцем. Оценка эффективности концентратора без системы слежения за Солнцем в настоящее время является материалом подлежащим патентованию.

7. Выводы

1. Предложены аппроксимирующие модели базовой зависимости КПД коллектора от разности температур «коллектор-окружающая среда». Они представляют линейные зависимости для вакуумных систем, а нелинейные зависимости с включением квадратичного слагаемого – для плоских.

2. Разработан алгоритм расчета площади S_k коллектора при следующих заданных параметрах: температура окружающей среды T_0 , коллектора T_k ,

концентраторы можно условно разделить на две группы – точечные и линейные. К точечным относятся те устройства, в которых отраженные лучи собираются в одну условную фокальную точку – пятно. В линейных концентраторах при помощи параболического отражателя лучистая энергия концентрируется в фокальной линии, по оси которой размещается труба для движения теплоносителя [18].

Неотъемлемой частью гелиоконцентратора является система ориентации, которая позволяет непрерывно отслеживать положение Солнца и в соответствии с ним осуществлять перемещение концентраторов для устойчивого положения фокуса относительно отражательных элементов.

суточное водопотребление M , плотность светового потока Q_E .

3. Установлено, что при температуре нагрева воды 50 °С и площади вакуумного коллектора 6,25 м² интенсивность термодинамики составит зимой 75, осенью 130, и летом 400 л/день.

4. Для стабилизации режима получения горячей воды в разное время года предложено изменять её температуру, а для повышения теплоотдачи при ухудшении метеословий применять концентраторы солнечного излучения.

Литература

1. Кряклина, И. В. Разработка математической модели солнечного коллектора для теплоснабжения дома фермера [Текст] / И. В. Кряклина // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве. – Минск, 2012. – 310 с.
2. Ташполотов, Ы. Исследование теплотехнических характеристик солнечно-водонагревательной установки на основе математического моделирования [Текст] / Ы. Ташполотов, А. Б. Сатыбалдыев, Т. К. Матисаков // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 3-2. – С. 423–427.
3. Матрунчик, А. С. Использование солнечной энергии в системах горячего водоснабжения [Текст] / А. С. Матрунчик, А. И. Бурков // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2015. – № 2. – С. 237–247.
4. Шишкин, Н. Д. Энергетическая и технико-экономическая эффективность солнечных водонагревательных установок [Текст] / Н. Д. Шишкин // Вестник Астраханского государственного технического университета. – 2015. – № 2 (60). – С. 51–59.
5. Алмаев, А. Ю. Преимущества и недостатки плоских и вакуумных коллекторов солнечной энергии [Текст] /

А. Ю. Алмаев, И. А. Лушкин // Вестник НГИЭИ. – 2015. – № 6 (49). – С. 16–20.

6. Хрусталева, Б. М. К вопросу проектирования водонагревательных гелиосистем с плоскими коллекторами для домов усадебного типа [Текст] / Б. М. Хрусталева, В. В. Покотилова, М. А. Рутковский, Н. Т. Нга // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2011. – № 4. – С. 34–40.

7. Хайрнасов, С. М. Анализ эффективности комбинированного солнечного коллектора на основе тепловых труб [Текст] / С. М. Хайрнасов // Гелиотехника. – 2014. – № 1. – С. 15–21.

8. Ricci, M. Experimental Tests of Solar Collectors Prototypes Systems [Text] / M. Ricci, E. Bocci, E. Michelangeli, A. Micangeli, M. Villarini, V. Naso // Energy Procedia – 2015. – Vol. 82. – P. 744–751. doi: 10.1016/j.egypro.2015.11.804

9. Руководство по проектированию солнечных коллекторов компании vaillant [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.vaillant.ua/>

10. Antonelli, M. Analysis of heat transfer in different CPC solar collectors: A CFD approach [Text] / M. Antonelli, M. Francesconi, P. Di Marco, U. Desideri // Applied Thermal Engineering. – 2016. – Vol. 101. – P. 479–489. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2015.12.033

11. Kalogirou, S. A. Exergy analysis of solar thermal collectors and processes [Text] / S. A. Kalogirou, S. Karellas, K. Braimakis, C. Stanciu, V. Badescu // Progress in Energy and Combustion Science. – 2016. – Vol. 56. – P. 106–137. doi: 10.1016/j.pecs.2016.05.002

12. Wang, F. Performance Assessment of Solar Assisted Absorption Heat Pump System with Parabolic Trough Collectors [Text] / F. Wang, H. Feng, J. Zhao, W. Li, F. Zhang, R. Liu // Energy Procedia. – 2015. – Vol. 70. – P. 529–536. doi: 10.1016/j.egypro.2015.02.157

13. Дубровская, В. В. Анализ эффективности работы вакуумного солнечного коллектора [Текст] / В. В. Дубровская, В. И. Шкляр, И. А. Негодуйко // Промышленная теплотехника. – 2012. – Т. 34, № 1. – С. 95–99.

14. Kalogirou, A. Solar Energy Engineering: Processes and Systems [Text] / A. Kalogirou. – Soteris Academic Press, 2009. – 744 p.

15. Пособие по проектированию и расчету гелиосистем [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://journal.esco.co.ua/2011_10/art133.pdf

16. Амерханов, Р. А. Теплоэнергетические установки и системы сельского хозяйства [Текст] / Р. А. Амерханов; под ред. Б. Х. Драганова. – М.: Колос-пресс, 2002. – 424 с.

17. Mendes, J. F. Solar Thermal Collectors in Polymeric Materials: A Novel Approach Towards Higher Operating Temperatures [Text] / J. F. Mendes, P. Horta, M. J. Carvalho, P. Silva. – Proceedings of ISES World Congress 2007 (Vol. I – Vol. V), 2008. – P. 640–643. doi: 10.1007/978-3-540-75997-3_118

18. Solar Collectors: Different Types and Fields of Application [Electronic resource]. – Available at: <http://www.solarserver.com/knowledge/basic-knowledge/solar-collectors.html>

References

1. Krjaklina, I. V. (2012). Razrabotka matematicheskoj modeli solnechnogo kolektora dlja teplosnabzhenija doma

fermera. Nauchno-tehnicheskij progress v sel'skohozjajstvennom proizvodstve. Minsk, 310.

2. Tashpolotov, Y., Satybaldyev, A. B., Matisakov, T. K. (2012). Issledovanie teplotnicheskikh harakteristik solnechno-vodonagrevatel'noj ustanovki na osnove matematicheskogo modelirovaniya. Fundamental'nye issledovanija, 3-2, 423–427.

3. Matrunchik, A. S., Burkov, A. I. (2015). Ispol'zovanie solnechnoj jenerгии v sistemah gorjachego vodosnabzhenija. Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politehnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura, 2, 237–247.

4. Shishkin, N. D. (2015). Jenergeticheskaja i tehniko-jekonomicheskaja jeffektivnost' solnechnyh vodonagrevatel'nyh ustanovok. Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tehniceskogo universiteta, 2 (60), 51–59.

5. Almaev, A. Ju., Lushkin, I. A. (2015). Preimushhestva i nedostatki ploskih i vakuumnyh kolektorov solnechnoj jenerгии. Vestnik NGIIEI, 6 (49), 16–20.

6. Hrustalev, B. M., Pokotilov, V. V., Rutkovskij, M. A., Nga, N. T. (2011). K voprosu proektirovaniya vodonagrevatel'nyh geliosistem s ploskimi kolektorami dlja domov usadebnogo tipa. Jenergetika. Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij i jenergeticheskikh ob'edinenij SNG, 4, 34–40.

7. Hajrnasov, S. M. (2014). Analiz jeffektivnosti kombinirovannogo solnechnogo kolektora na osnove teplovyh trub. Geliotekhnika, 1, 15–21.

8. Ricci, M., Bocci, E., Michelangeli, E., Micangeli, A., Villarini, M., Naso, V. (2015). Experimental Tests of Solar Collectors Prototypes Systems. Energy Procedia, 82, 744–751. doi: 10.1016/j.egypro.2015.11.804

9. Rukovodstvo po proektirovaniju solnechnyh kolektorov kompanii vaillant. Available at: <http://www.vaillant.ua/>

10. Antonelli, M., Francesconi, M., Di Marco, P., Desideri, U. (2016). Analysis of heat transfer in different CPC solar collectors: A CFD approach. Applied Thermal Engineering, 101, 479–489. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2015.12.033

11. Kalogirou, S. A., Karellas, S., Braimakis, K., Stanciu, C., Badescu, V. (2016). Exergy analysis of solar thermal collectors and processes. Progress in Energy and Combustion Science, 56, 106–137. doi: 10.1016/j.pecs.2016.05.002

12. Wang, F., Feng, H., Zhao, J., Li, W., Zhang, F., Liu, R. (2015). Performance Assessment of Solar Assisted Absorption Heat Pump System with Parabolic Trough Collectors. Energy Procedia, 70, 529–536. doi: 10.1016/j.egypro.2015.02.157

13. Dubrovskaja, V. V., Shklyar, V. I., Negodujko, I. A. (2012). Analiz jeffektivnosti raboty vakuumnogo solnechnogo kolektora. Promyshlennaja teplotekhnika, 34 (1), 95–99.

14. Kalogirou, A. (2009). Solar Energy Engineering: Processes and Systems. Soteris Academic Press, 744.

15. Posobie po proektirovaniju i raschetu geliosistem. Available at: http://journal.esco.co.ua/2011_10/art133.pdf

16. Amerhanov, R. A.; Draganov, B. H. (Ed.) (2002). Teplojenergeticheskie ustanovki i sistemy sel'skogo hozjajstva. Moscow: Kolos-press, 424.

17. Mendes, J. F., Horta, P., Carvalho, M. J., Silva, P. (2008). Solar Thermal Collectors in Polymeric Materials: A Novel Approach Towards Higher Operating Temperatures. Proceedings of ISES World Congress 2007 (Vol. I – Vol. V), 640–643. doi: 10.1007/978-3-540-75997-3_118

18. Solar Collectors: Different Types and Fields of Application. Available at: <http://www.solarserver.com/knowledge/basic-knowledge/solar-collectors.html>

*Рекомендовано до публікації д-р техн. наук Філатов В. А.
Дата надходження рукопису 21.06.2016*

Фролов Андрей Витальевич, кандидат технических наук, старший преподаватель, кафедра технологии и автоматизации производства радиоэлектронных и электронно-вычислительных средств, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, пр. Науки, 14, г. Харьков, Украина, 61166
E-mail: frolov_a@inbox.ru