УДК 6 69 697.7

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕЛИОСИСТЕМ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ЖИЛЫХ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

СТРЕЛЬНИКОВ Владимир Александрович, *Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова*

ШВЕЦ Илья Олегович, *Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова*

На основе анализа недостатков существующих систем горячего водоснабжения представлено обоснование эффективности применения солнечной энергии для нагрева воды. Предложена схема гелиосистемы, состоящей из солнечных коллекторов (гелиоколлекторов), бака-аккумулятора и источника пикового догрева. Определен оптимальный угол наклона гелиоколлектора к горизонтальной поверхности, который применительно к условиям Саратовской области составляет 51°. Проведен расчет расстояния между рядами гелиоколлекторов, которое составило 5,8 м. Получено уравнение, позволяющее рассчитать оптимальное соотношение между энергией, полученной от солнца, аккумулированной энергией и тепловой энергией, необходимой потребителям.

Введение. Одной из глобальных проблем современности является обеспеченность человечества ресурсами, в частности энергетическими. По мере роста численности населения увеличивается число энергопотребляющих установок, в то время как естественные энергетические ресурсы планеты не успевают восполняться [1].

В последнее время в России все чаще говорят о снижении энергопотребления за счет повышения эффективности использования энергии, причем основным шагом, направленным на комплексное решение проблемы энергоэффективности, стало принятие Федерального закона Российской Федерации об энергосбережении и повышении энергоэффективности. Солнечная энергия является неисчерпаемым, экологически безопасным и дешевым источником энергии. Поэтому работы по развитию гелиоэнергетики являются одними из наиболее перспективных направлений современной энергетики [1].

Актуальность солнечной энергетики постоянно растет, так как помимо экологической чистоты солнечной энергии, получаемой без выброса токсичных веществ в атмосферу, что имеет место при получении энергии за счет сжигания органического топлива, солнечная энергия обладает высокой ресурсоемкостью. Всего за 9 мин Земля получает энергии от Солнца больше, чем человечество производит за целый год. Эта энергия поставляется бесплатно и не оказывает вредного влияния на окружающую среду [8].

Под использованием солнечной энергии обычно понимают преобразование солнечного излучения в тепло. Тепло может сохраняться с помощью специальных устройств и быть доступным в течение нескольких дней. Системы по преобразованию солнечной энергии в тепло используются для отопления, а также горячего водоснабжения жилых и сельскохозяйственных зданий. Солнечная энергия представляет собой сферу значимых инвестиций в условиях снижения запасов нефти и газа.

Солнечная энергия может использоваться в сочетании с традиционными системами отопления. При малом потоке солнечного света, к примеру, в зимний период или в ночное время комбинированная система отопления обеспечивает людям полный тепловой комфорт.

Цель исследования – разработка системы горячего водоснабжения (ГВС) для различных зданий с использованием солнечных коллекторов.

Методика исследований. На основании подробного анализа опубликованных материалов по теме работы была предложена система ГВС с использованием солнечных коллекторов, бака-аккумулятора и дублирующего источника тепловой энергии – теплогенерирующей установки (нагревательного котла), работающей на электричестве, газовом или дизельном топливе.

Расчетно-теоретическим путем был определен оптимальный угол наклона гелио-

коллекторов к горизонтальной поверхности применительно к условиям Саратовской области, составляющий 51°, проведен расчет расстояния между рядами гелиоколлекторов, которое составило 5,8 м.

На основании уравнения теплопроводности и первого закона термодинамики для подведенной и отведенной энергии было получено уравнение аккумулирования энергии для открытых систем в дифференциальной форме, позволяющее рассчитать оптимальное соотношение между энергией, полученной от солнца, аккумулированной энергией и тепловой энергией, необходимой потребителям.

Результаты исследований. Солнечные коллекторы, улавливающие энергию солнца, как правило, устанавливаются на крыше здания. Тепло сохраняется в аккумуляторе, который используется в случае необходимости. Оптимальный размер солнечных коллекторов зависит от потребности данного здания. Чем больше солнечная инсоляция (поступление солнечной энергии), тем больше тепловой энергии выработает коллектор. Поэтому размещение коллекторов на крыше здания следует производить на сторонах обращенных на юг, восток или запад. Наиболее предпочтительным является южное направление. Также можно использовать солнечные коллекторы, установленные на фасадах зданий [8].

К основным недостаткам существующих систем горячего водоснабжения (ГВС) следует отнести следующие:

1) отсутствие или недостаточная толщина тепловой изоляции магистралей и стояков системы горячего водоснабжения приводит к большим потерям теплоты [4];

2) потери теплоты трубопроводами систем горячего водоснабжения при наличии центральных тепловых пунктов в среднем составляют около 30 % всей расходуемой энергии, причем до 80 % приходится на потери теплоты стояками этих систем [4];

3) сложности в поддержании санитарно-гигиенических показателей качества воды, поступающей в систему ГВС;

4) высокая стоимость водоподготовки подпиточной воды теплосети на источниках теплоснабжения [1].

К преимуществам гелиосистем можно отнести следующие:

полная свобода от тепловых сетей (даже при условии существующего подключения к ним). Следовательно, отсутствуют все связанные с этим проблемы, такие как: рост цен, пониженное давление из-за большого количества потребителей, аварии в сети;

уменьшение длины трубопроводов;

меньшая потеря теплоты, за счет непосредственного расположения системы на объекте (то есть отсутствие потерь теплоты при ее транспортировании);

систему из солнечных коллекторов в любое время можно нарастить до нужного уровня мощности благодаря модульному типу соединения;

более рациональный расход энергии [4].

Коллекторы, воспринимающие солнечную энергию, монтируются совместно с традиционными источниками тепловой энергии (рис. 1, см. обложку). Такая схема гарантирует стабильное обеспечение теплом с одновременной экономией на теплоносителях. В ряде регионов РФ, в частности в Саратовской области, где проводят исследования авторы статьи, наблюдается недостаточно большое количество солнечных дней в году (в Саратовской области, по данным гидрометеоцентра, всего 143 дня в году), а в остальные дни мощность гелиостанции заметно снижается из-за малой солнечной инсоляции [3]. Очевидно, что при использовании газа или электроэнергии для нагрева воды в системах отопления и ГВС благодаря использованию гелиоустановок можно заметно снизить расход энергии. Кроме того, проведенные исследования показывают, что солнечное оборудование обходится на 70 % дешевле традиционных аналогов [5]. Солнечные коллекторы за счет легкости установки и простоты использования набирают все большую популярность, и сейчас достаточно часто встречаются в отдельных коттеджах, частных домах, в гостиницах, школах и санаториях.

Солнечные коллекторы, согласно мировому опыту, в основном, используются для нагрева воды в системах горячего водоснабжения. Сравнение различных видов водонагрева представлено в табл. 1 и 2.

Оценив капитальные затраты на оборудование для водонагрева, приведенные в табл. 2, можно сделать вывод о том, что электронагреватели воды выгоднее для небольших хозяйств со сравнительно небольшим расходом горячей воды. Солнечные водонагреватели выгоднее для зданий с большим расходом горячей воды, в районах с высокими ценами

Таблица 1

Сравнение двух видов водонагрева [7]

Солнечный водонагреватель	Электрический водонагреватель
Расходы на содержание в год: 0–1000 руб.	Расходы на содержание в год: 2000–6000 руб.
Объем: 140–300 л	Объем: 60–120 л
Срок службы: 10–15 лет	Срок службы: 5–8 лет
Расходы на содержание за 10 лет: до 10 тыс. руб.	Расходы на содержание за 10 лет: 20–60 тыс. руб.
Не загрязняет окружающую среду	Способствует загрязнению окружающей среды
Не зависит от расценок на электроэнергию	Расходы увеличиваются ежегодно с ростом тарифов на электроэнергию
Горячая вода доступна независимо от доступа к электроэнергии	Нагрев воды недоступен в случае отключения электроэнергии

Таблица 2

Сравнительная оценка затрат на водонагрев при использовании различных видов топлива

Вид топлива	Капитальные затраты, руб.	Стоимость 1 кВт·ч, руб.	Эксплуатационные затраты за сезон, руб.	Общие затраты за 10 лет, руб.	Общие затраты за 20 лет, руб.
Дизельное топливо	300 000	1.9	47 880	778 800	1 257 600
Электрическая энергия	40 000	1.8	45 360	493 600	947 200
Дрова	80 000	0.7	17 640	256 400	432 800
Солнечные коллекторы	240 000	0.6	15 120	391 200	542 400

на электроэнергию или в местах, где электроэнергия недоступна.

Исходными требованиями для разработки системы являются следующие:

1) солнечная водонагревательная установка (СВУ) предназначена для работы на открытых площадках. Пространственное размещение солнечных коллекторов должно быть доступным для прямого солнечного излучения;

2) СВУ должна удовлетворять потребностям в горячей воде на технологические нужды сельхозпроизводства в соответствии с нормами проектирования животноводческих и жилых помещений;

3) движение воды в коллекторах должно производиться за счет принудительной циркуляции.

Перечисленным требованиям соответствует установка, состоящая из гелиоводонагревателя с баком-аккумулятором и источником пикового догрева, представленная на рис. 1. Теплоноситель, нагреваемый в коллекторе, при помощи насосов подается в бак-аккумулятор, в котором через теплообменник нагревает поступающую воду. Датчики температуры воды на выходе из системы ГВС контролируют работу всей системы [8].

Главным элементом СВУ является солнечный коллектор. Чаще всего используются плоские коллекторы, состоящие из пластины-поглотителя, на котором солнечная радиация превращается в тепло и передается жидкости-теплоносителю. Основная деталь гелиоколлектора – поглотитель солнечной энергии (абсорбер), в который интегрированы медные трубки (или медная трубчатая спираль), через которые протекает теплоноситель, воспринимающий от него тепло через стенку медной трубки (рис. 2, см. обложку) [9].

В России в настоящее время растет количество предприятий, производящих солнечные элементы, в том числе и солнечные коллекторы. Основными предприятиями являются такие, как «Новый полюс», «Аль-

тЭнергия», «АНДИ Групп», НПО «Машиностроение» и «Эксморк». Они специализируются на выпуске широкого ряда моделей от простейших плоских до вакуумных трубчатых. Цена в зависимости от модели и перечня прилагаемого оборудования может варьироваться от 200 до 1000 долл.

Значимым фактором является угол установки солнечного коллектора относительно горизонтальной поверхности.

Для круглогодичной работы ГВС оптимальным считается угол наклона равный широте местности, что для Саратовской области составляет 51°34` [9]. Также известно, что для максимальной энергоэффективности угол можно изменять от 30 до 60°. Эти данные получены из диаграммы, приведенной на рис. 3 (см. обложку).

К примеру, если солнечные панели ориентированы на юго-запад с азимутом 45° и углом наклона 30°, то такая система сможет поглощать до 95% от максимального количества солнечного излучения. Или при ориентировании в восточном или западном направлении можно обеспечить до 85 % попадания энергии на коллектор при установке панелей под углом 25–35°. Если угол наклона коллектора к горизонтальной поверхности больше, то количество энергии, поступающей на поверхность коллектора, будет более равномерным в течение года. Очевидно, что для поддержания надежного отопления такой вариант установки более эффективен [8].

Как было отмечено выше, в круглогодичных гелиосистемах для нужд ГВС оптимальным углом установки является угол равный широте местности. Широта города Саратова составляет 51°34'. Таким образом, принимаем оптимальный угол установки равным 51°. Для максимального сбора солнечной энергии желательно устанавливать коллектор по азимуту на юг с отклонением не более 15° на восток или запад.

Расстояние между рядами коллекторов (рис. 4, см. обложку) рассчитывается с учетом январского солнце склонения по формуле (1) [6]. В Саратовской области в январе угол склонения составляет 18°. Учитывая размеры коллектора, угол его установки и угол солнечного склонения по формуле (1) был произведен расчет расстояния между рядами коллекторов, которое составило 5,8 м [2].

$$\frac{z}{h} = \frac{\sin(180°-(\alpha+\beta)}{\sin\beta}, \qquad (1)$$

где z – расстояние между рядами коллекторов; h – высота коллектора; α – угол наклона коллектора; β – угол высоты стояния Солнца над горизонтом.

На рис. 5 представлены возможные схемы размещения солнечных коллекторов на плоских крышах [8].

Очевидно, что для обеспечения работоспособности системы необходимо выполнение следующего условия (2):

$$q_{\text{ген}}(t) + q_{\text{аккум}}(t) \geq q_{\text{пот}}(t), \qquad (2)$$

где $q_{\text{ген}}(t)$ – генерируемая энергия; $q_{\text{аккум}}(t)$ – аккумулируемая энергия; $q_{\text{пот}}(t)$ – потребная энергия.

Мощность гелиосистемы может быть рассчитана исходя из данного выражения (3):

$$C_{m,i}\rho_i \frac{dt_i}{d_\tau} = \lambda_{i\nabla^2} t_i + q_i, \qquad (3)$$

где $C_{m,i}$ – удельная теплоемкость, Дж/(кг·К); i – номер элемента коллектора, i = 1, 2, 3,..., n; ρ_i – плотность, кг/м^3; t – температура, °С; τ – время, с [2]; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К); q_i– удельная мощность внутреннего источника тепла, Вт/м^2.

Применяя первый закон термодинамики для подведенной и отведенной энергии к этой системе, получим основное уравнение аккумулирования энергии для открытых систем в дифференциальной форме:

$$(u+\rho\upsilon+gH+\frac{c^2}{2})_{\text{вх}} d m_{\text{вх}} + \mathrm{d}Q - (u+\rho\upsilon+$$

$$+\frac{c^2}{2})_{\text{вых}} d m_{\text{вых}} - \mathrm{d}W = d[(u+gH+\frac{c^2}{2})_{\text{ак}} m_{\text{ак}}, \qquad (4)$$

где $m_{\text{ак}}$ – масса аккумулирующей среды; $m_{\text{вх}}$ – масса подведенной среды; $m_{\text{вых}}$ – масса отведенной среды; u – внутренняя энергия (отсчитываемая от произвольного нулевого уровня); p – давление; v – удельный объем; g – ускорение силы тяжести; H – высота (отсчитываемая от произвольного нулевого уровня); gH – удельная потенциальная энергия; c – скорость течения; $\frac{c^2}{2}$ – удельная кинетическая энергия; dQ – тепло, подведенное к системе; dW – работа системы [3].

Уравнение (4) позволит рассчитать оптимальное соотношение между полученной, аккумулируемой и потребной энергиями.

Заключение. Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод о том, что при-

менение гелиосистем для ГВС жилых и сельскохозяйственных зданий является эффективным и энергосберегающим мероприятием.

В ходе теоретических исследований установлены основные параметры ориентации солнечных коллекторов применительно к условиям Саратовской области. Оптимальный угол наклона гелиоколлектора к горизонтальной поверхности составляет 51°, а расстояние между рядами гелиоколлекторов составило 5,8 м.

Из полученных результатов следует, что для нормальной работы гелиосистемы необходимо соблюдение теплового баланса между энергией, полученной от солнца, аккумулированной энергией и тепловой энергией, необходимой потребителям, что и будет основополагающим фактором при разработке математической модели, которая позволит оптимизировать параметры предлагаемой системы теплоснабжения с использованием солнечных коллекторов, и, таким образом, создать надежные энергосберегающие и экологичные системы горячего водоснабжения жилых и сельскохозяйственных зданий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Богословский В.Н., Сканави А.Н.* Отопление: учебник для вузов. – М.: Стройиздат, 1991. – 735 с.

2. ГОСТ Р 51595–2000. Нетрадиционная энергетика. Солнечная энергетика. Коллекторы солнечные. Общие технические условия. – М., 2000. – 121 с.

3. Сайт Саратовского гидрометеоцентра. – Режим доступа: http://meteoinfo.ru.

4. Сантехнические работы: учеб. пособие / С.В. Фокин, О.Н. Шпортько [и др.]. – М.: КноРус, 2016. – 464 с.

5. Солнечные батареи – альтернативные источники энергии. – Режим доступа: http://www.solar-battery.com.ua/.

6. Солнечные коллекторы – виды монтажа коллекторов. – Режим доступа: http://www.solarsoul.net/.

7. Состояние первичных и возобновляемых источников энергии в мире. – Режим доступа http://www.megaobuchalka.ru.

8. *Стрельников В.А., Швец И.О., Стоянов К.Ю.* Применение солнечных коллекторов для горячего водоснабжения и отопления жилых зданий // Современные технологии в строительстве, теплогазоснабжении и энергообеспечении: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Саратов: Амирит, 2015. – С. 216–219.

9. *Стрельников В.А., Швец И.О.* Расчет солнечного коллектора для системы горячего водоснабжения (ГВС) многоквартирного дома // Тенденции развития строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Саратов: Амирит, 2016. – С. 238–240.

Стрельников Владимир Александрович, *д-р техн. наук, проф. кафедры «Строительство, теплогазоснабжение и энергообеспечение», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.*

Швец Илья Олегович, *аспирант кафедры «Строительство, теплогазоснабжение и энергообеспечение», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.*

410056, г. Саратов, Советская, 60.

Тел.: (8452) 74-96-37.

***Ключевые слова**: солнечная энергия; коллектор; гелиосистема; расчет.*

APPLICATION OF HELIOSISTEM TO PROVIDE HOT WATER SUPPLY OF HOUSING AND AGRICULTURAL BUILDINGS

Strelnikov Vladimir Alexandrovich, *Doctor of Technical Sciences, Professor of the chair «Construction, Heat and Gas Supply and Energy Supply», Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.*

Shvets Ilya Olegovich, *Post-graduate Student of the chair «Construction, Heat and Gas Supply and Energy Supply», Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.*

***Keywords:** solar energy; collector; solar system; calculation.*

Based on the analysis of the shortage of existing hot water supply (DHW) systems, the rationale for the efficiency of solar energy for water heating is presented. This ensures energy saving and environmental friendliness of the process. A scheme of a solar system consisting of solar collectors (solar collectors), a storage tank and a source of peak reheating is proposed. The optimum angle of inclination of the solar collector to a horizontal surface is determined, which, with respect to the conditions of the Saratov region, is 51°. The distance between the rows of solar collectors was calculated, which was 5.8 meters. An equation is obtained that allows us to calculate the optimal relationship between the energy received from the sun, the accumulated energy and the thermal energy needed by consumers.