

ИССЛЕДОВАНИЕ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ В УСЛОВИЯХ КРАСНОЯРСКА СОЛНЕЧНЫХ ВОДОНАГРЕВАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК С ВАКУМИРОВАННЫМИ КОЛЛЕКТОРАМИ

А.В. Бастрон, Е.М. Судаев

В статье приведены результаты исследований режимов работы вакуумированного солнечного коллектора Seido 1-16 и результаты производственных испытаний в весенний период 2011 года в климатических условиях г. Красноярска солнечного водонагревателя НМ-16×18/58 с вакуумированным солнечным коллектором.

Ключевые слова: солнечный водонагреватель, вакуумированный солнечный коллектор, горячее водоснабжение.

В настоящее время в России и за рубежом интенсивно проводятся научные исследования и ведется широкое внедрение солнечных водонагревательных установок (СВУ) [1 - 5]. Из всего многообразия выпускаемых в мире солнечных коллекторов (СК), в климатических условиях России и, в частности, Сибири, наибольший интерес для горячего водоснабжения одно- и многоквартирных жилых домов и других бытовых и производственных нужд представляют трубчатые вакуумированные солнечные коллекторы.

Немецким институтом InstitutSolareEnergiesystem (Freiburg) предложена методика расчета энергетических характеристик и проведены исследования вакуумированных солнечных коллекторов серии Seido [3, 5], производимых BeijingSundaSolarEnergyTechnologyCo. ltd. (Китай) (рисунок 1).



Рисунок 1 – Солнечный коллектор Seido 1-16

Коэффициент использования солнечной радиации (или по другому - солнечного излучения (СИ)) вакуумированного СК (коэффициент полезного действия СК), согласно [3], определяют по формуле

$$\eta_{СК}^{СИ} = \eta_0 - U_{L1} \frac{T_{ср} - T_{окр}}{R_{\beta}} - U_{L2} \frac{(T_{ср} - T_{окр})^2}{R_{\beta}}, \quad (1)$$

где η_0 – коэффициент полезного действия солнечного коллектора без учета потерь тепловой энергии в СК, т.е. при равенстве температур воздуха окружающей среды $T_{окр}$ и средней температуры СК, $T_{ср}$;

U_{L1} , U_{L2} – коэффициенты тепловых потерь СК, Вт/(м²·°C);

R_{β} – мощность потока CP, приходящаяся на поверхность СК, наклоненную под углом β к горизонту, Вт/м².

Результаты исследований СК Seido 1-16 общей площадью 2,949 м² при площади абсорбера (16 вакуумированных трубок) 2,750 м², следующие:

$$- U_{L1} = 2,118 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C});$$

$$- U_{L2} = 0,004 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}).$$

Каждая трубка, выполненная из боросиликатного стекла, имеет длину 2114 мм при внешнем диаметре 100 мм и толщине стенки 2,5 мм. Расстояние между отдельными трубками СК - 20 мм. Материал селективного покрытия – нитрид алюминия.

Коэффициент полезного действия солнечного коллектора (без учета потерь тепловой энергии в СК) η_0 для данного типа коллекторов равен 0,744, при этом коэффициент поглощения $CP \geq 0,92$, а коэффициент пропускания $CP \leq 0,08$.

За счет чего достигается столь высокий КПД СК? Верхняя кривая (рисунок 2) демонстрирует возможность пассивного отслеживания Солнца с помощью трубчатых вакуу-

мированных солнечных коллекторов [4]. При угле падения 0 градусов (полдень), солнце перпендикулярно плоскости СК и коллектор поглощает максимальное количество солнечной радиации. За счет пробелов между трубками, некоторое количество солнечной радиации проходит сквозь коллектор. При угле

около 40 град - нет пробелов между трубками и Солнце еще перпендикулярно коллектору, что позволяет получить максимальное количество СР, за счет того, что непоглощенная вакуумированной трубкой СР отражается на соседних трубках (пиковая теплопроизводительность).

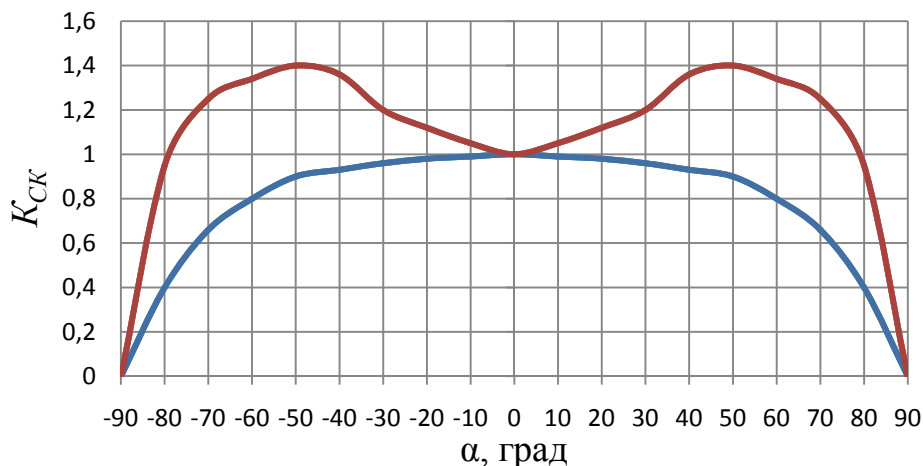


Рисунок 2 – Сравнение коэффициента положения солнечного коллектора $K_{СК}$ для плоских (нижняя кривая) и вакуумированных трубчатых (верхняя кривая) СК

Как только угол падения СР больше 40 град, вакуумированные трубки начинают перекрываться, и подвергаются меньшей солнечной радиации. Площадь поверхности коллектора по-прежнему поглощает СР, но производительность снижается из-за перекрытия трубок. Это оказывает минимальное влияние на общую ежедневную производительность коллектора, потому что только небольшой процент от солнечной радиации выходит за оптимальный угол 40 град (очень рано утром или поздно вечером).

Таким образом, за счет описанного эффекта происходит увеличение теплопроизводительности СК с вакуумированными трубками до 25% по сравнению с плоскими коллекторами (верхняя кривая, рисунок 2) с той же площадью поглотителя и при одинаковых условиях эксплуатации.

В феврале 2010 года ООО «СВС-Красноярск» приобрело и смонтировало на крыше здания по адресу пр. Свободный, 75, солнечную водонагреватель НМ-16х18/58 с солнечным коллектором в виде 16-ти вакуумированных трубок (рисунок 3) [2]. Водонагреватель имеет универсальную подставку для установки на плоской поверхности или скате крыши с возможностью регулировки угла наклона. Для подогрева воды при недостаточном уровне солнечной радиации он оснащается трубчатым

электронагревателем (ТЭНом) мощностью 1,5 киловатта. Компактная модель оснащена 16-ю трубками 1800х58 мм и имеет объем бака 127 литров. Также в комплект поставки водонагревателя входят: система автоматического управления КТЗ011, смеситель с душевой головкой и клапанная арматура. Технические характеристики солнечного водонагревателя приведены в таблице 1 [2].



Рисунок 3 - Солнечный водонагреватель НМ-16х18/58

Таблица 1 – Технические характеристики солнечного водонагревателя НМ-16х18/58

Параметр	Величина
Диаметр вакуумированных трубок, мм	58
Длина вакуумированных трубок, мм	1800
Число вакуумированных трубок	16
Эффективная площадь, м ²	2
Объем бака, л	127
Мощность электронагревательного элемента, кВт	1.5
Вес в сборе, кг	56
Материал подставки	оцинкованная сталь
Материал бака	нержавеющая сталь SUS304

В марте 2011 года нами произведены натурные производственные испытания этой системы солнечного горячего водоснабжения

(ССГВ). Испытания проводились 4 (рисунок 4), 14 (рисунок 5) и 15 марта (рисунок 6) 2011 г.

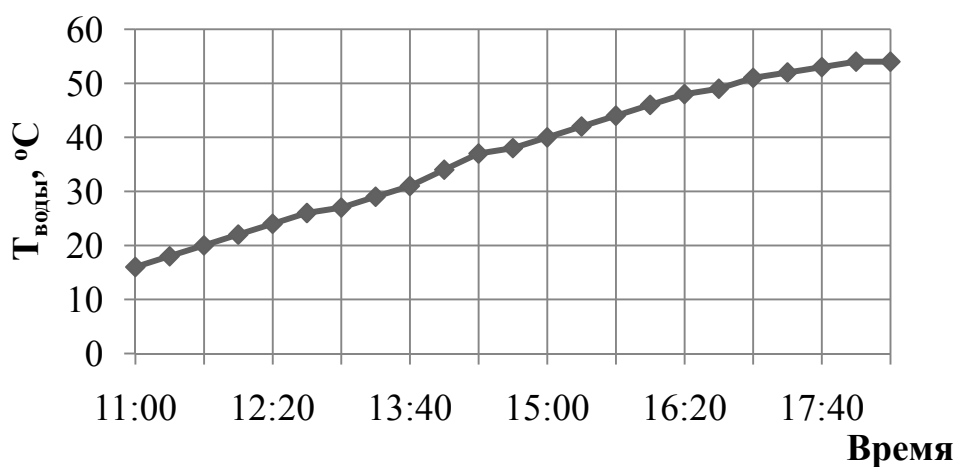


Рисунок 4 – Кривая температуры нагрева воды в баке-аккумуляторе (100 % наполняемость бака водой, предварительно горячая вода слита) солнечного водонагревателя НМ-16х18/58 (04 марта 2011 г., наружная температура во время измерений изменялась от – 9 °С до – 5 °С, ясно)

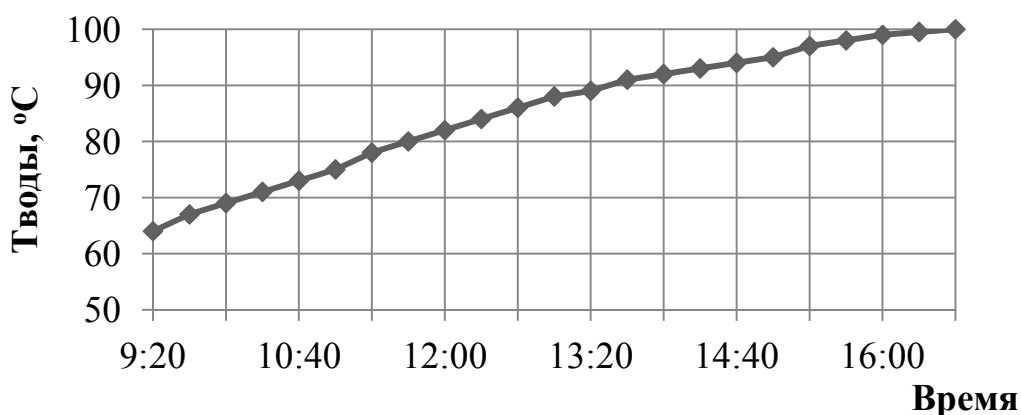


Рисунок 5 – Кривая температуры нагрева воды в баке-аккумуляторе (100 % наполняемость бака водой, подогревается предварительно нагретая накануне вода) солнечного водонагревателя НМ-16х18/58 (14 марта 2011 г., наружная температура во время измерений изменялась от – 4 °С до + 4 °С, ясно)

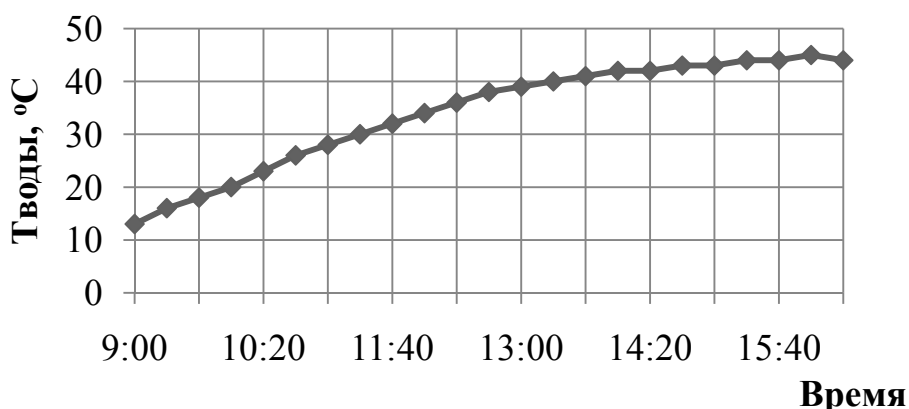


Рисунок 6 – Кривая температуры нагрева воды в баке-аккумуляторе (20 % наполняемость бака водой) солнечного водонагревателя НМ-16х18/58 (15 марта 2011 г., наружная температура во время измерений изменялась от – 4 °С до + 4 °С, весь день пасмурно)

Количество тепловой энергии, полученной при нагреве воды СК в ССГВ $W_{ССГВ}$, кДж, определяют по формуле

$$W_{ССГВ} = m \cdot c_m \cdot (T_k - T_n), (2)$$

где m - масса воды, кг;

c_m - удельная теплоемкость воды (равна

4,19 Дж/(кг·К));

T_n, T_k - начальная и конечная температура воды в баке ССГВ, °С.

Нами получены расчетные значения потока солнечной радиации за сутки (таблица 2).

Таблица 2 - Поток солнечной радиации за сутки \mathcal{E}_n , МДж/(м²·сут)

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
МДж/(м ² ·сут)	3,34	8,04	14,94	22,93	31,25	33,69	31,53	25,56	17,42	10,19	4,54	2,63

Коэффициент полезного действия системы солнечного горячего водоснабжения в целом определяют по выражению

$$\eta_{ССГВ\text{факт}} = W_{ССГВ} / \mathcal{E}_n. (3)$$

Выводы

Как показали результаты расчетов, фактический коэффициент полезного действия ССГВ составил: вариант 1 (рисунок 4) - 0,67; вариант 2 (рисунок 5) – 0,64; вариант 6 (рисунок 5) – 0,11.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виссарионов, В.И. Солнечная энергетика: учебное пособие для вузов [Текст] / В.И. Виссарионов, Г.М. Дерюгина, В.А. Кузнецова, Н.К. Малинин; под ред. В.И. Виссарионова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 276 с.
2. Солнечные водонагреватели // Солнце / СВС-Красноярск. Энергосберегающие технологии. Альтернативные источники энергии [Электронный ресурс]. URL: [http://econom24.ru/solnechnaya-](http://econom24.ru/solnechnaya-energiya-2/vodonagrevateli)

[energiya-2/vodonagrevateli](http://econom24.ru/solnechnaya-energiya-2/vodonagrevateli) (дата обращения 18.03.2011).

3. Collector test according to EN 12975-1,2:2006 for: Beijing Sunda Solar Energy Technology Co. Ltd., China [Электронный ресурс]. URL: <http://www.kollektortest.de> (дата обращения 18.03.2011).

4. Incidence Angle Modifier (IAM) // Solar panels plus [Электронный ресурс]. URL: <http://www.solarpanelsplus.com/thermal-how-it-works/> (дата обращения 22.03.2011).

5. Sunda Solar Water Heaters // Beijing Sunda Solar Energy Tehnology Co., Ltd [Электронный ресурс]. URL: [http://sundasolar.com /product_water-heaters.html](http://sundasolar.com/product_water-heaters.html) (дата обращения 12.10.2010).

Бастрон А.В., к.т.н., доцент, зав. кафедрой «Электроснабжение сельского хозяйства», ФГОУ ВПО «Красноярский государственный аграрный университет», E-mail: esn@kgau.ru;

Судаев Е.М., старший преподаватель кафедры «Электроснабжение сельского хозяйства», ФГОУ ВПО «Красноярский государственный аграрный университет», E-mail: esn@kgau.ru, тел.: 8(391)227-10-62.