

РАЗРАБОТКА ПЛОСКОГО СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА НА ТЕПЛОВЫХ ТРУБАХ И СЕЛЕКТИВНОГО ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЕГО ЭФФЕКТИВНОСТИ

Введение

В соответствии с приоритетными направлениями развития науки и техники в Украине должны разрабатываться и внедряться солнечные установки для нагрева бытовой воды с целью активного энергосбережения. Главным элементом таких установок является солнечный коллектор (СК) [1], от конструкции которого, в основном, зависит эффективность системы нагрева воды.

На мировом рынке наибольшее распространение получили СК с плоской прозрачной изоляцией и плоской теплопоглощающей поверхностью. Это обусловлено следующими преимуществами таких СК: простотой конструкции, низкой стоимостью и достаточно высокой тепловой эффективностью ($K_{эф}=0,5...0,7$).

Одним из конструктивных элементов, влияющих на тепловую эффективность солнечного коллектора, является теплопоглощающая поверхность. Основной ее функцией есть повышение доли поглощающей солнечной энергии. Идеальной поверхностью теплоприемника будет та, которая полностью поглощает и не отражает солнечное излучение. Такая идеальная поверхность называется селективной поверхностью. Таким образом, на сегодняшний день одним из методов повышения эффективности солнечных коллекторов является нанесение на теплопоглощающую поверхность селективного покрытия. Изготовление селективного покрытия относится к высоким технологиям.

Наибольшее распространение получили селективные покрытия, полученные методом напыления на листовой либо фольгированный металл [2]. Алюминиевые или медные листы с таким покрытием имеют хорошие оптические характеристики (степень черноты более 0,94, а коэффициент отражения не более 0,05) и продолжительный ресурс. В вакуумных солнечных коллекторах применяются аналогичные селективные покрытия, нанесенные либо на медную теплопоглощающую поверхность, либо на вакуумные стеклянные колбы [3]. Однако стоимость такой продукции высокая. Сегодня также широко применяются селективные краски полиуретановые [4] и силиконовые [5]. Такие селективные покрытия имеют более низкие показатели оптических характеристик (степень черноты не более 0,9, а коэффициент отражения не менее 0,1), но существуют технологии изготовления солнечных коллекторов, где без селективных красок не обойтись. В Украине на данный момент селективное покрытие не производится.

Исходя из выше сказанного, авторами ставилась задача исследовать эффективность разработанного плоского солнечного коллектора на тепловых трубах и предложить селективное покрытие для повышения его эффективности. Такое покрытие должно иметь высокие оптические и ресурсные характеристики. Оно должно иметь низкую стоимость и достаточную доступность.

Конструкция плоского солнечного коллектора на тепловых трубах и результаты исследования эффективности

В солнечном коллекторе (рис. 1), разработанном сотрудниками теплоэнергетического факультета НТУУ «КПИ», используется изотермическая высокотеплопроводная поглощающая

панель на основе тепловых труб (ТТ) – высокоэффективных теплопередающих устройств с замкнутым испарительно-конденсационным циклом движения теплоносителя [6].

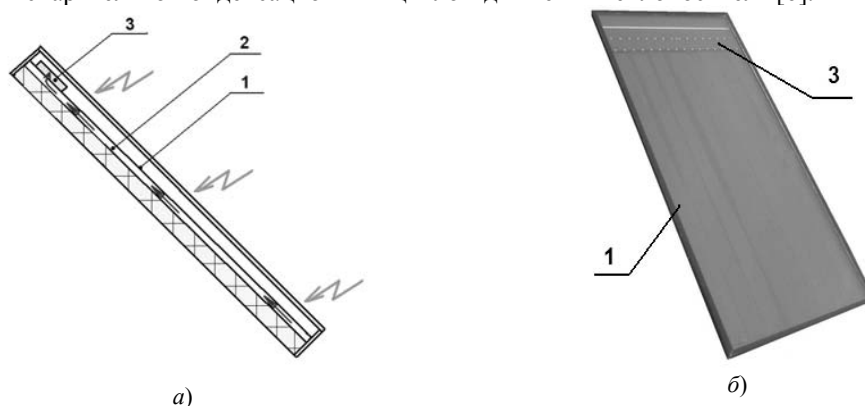


Рис. 1 Плоский солнечный коллектор на основе алюминиевых профильных тепловых труб:

a – схема СК; *б* – общий вид;

1 – теплопоглощающая поверхность СК, образованная полками тепловых труб;

2 – тепловая труба; 3 – теплообменник.

Панель коллектора, поглощающая теплоту солнечных лучей, состоит из восьми алюминиевых ТТ, изготовленных из плоского пресованного алюминиевого профиля. Теплота солнечных лучей воспринимается плоской поверхностью со специальным поглощающим покрытием зоны испарения тепловых труб и передается жидкостному теплообменнику, расположенному на зонах их конденсации. Такая эффективная схема теплопередачи обеспечивает очень низкое гидравлическое сопротивление теплообменника солнечного коллектора и, соответственно, малые энергозатраты на работу насоса.

СК имеет следующие технические характеристики:

Длина – 2,13 м.

Ширина – 1,00 м.

Высота – 0,085 м.

Площадь теплопоглощающей поверхности – 1,98 м².

Масса – 49 кг.

Толщина теплоизоляции – 0,05 м.

Количество тепловых труб – 8.

Ширина полки тепловой трубы – 0,12 м.

Диаметр тепловой трубы – 14 мм.

Покрытие теплопоглощающей поверхности – анодирование (цвет – черный).

Исследование эффективности плоского СК проводилось на двух действующих водонагревательных установках в НТУУ «КПИ» [3] и установке, расположенной на территории Гелиоцентра в п.г.т. Кацивели (АР Крым).

Для сравнения различных типов и конструкций СК часто используется так называемая кривая эффективности СК, т.е. характеристика степени его тепловой эффективности, определяемая по формуле:

$$\eta = C_0 - C_1 X - C_2 E X^2, \quad (1)$$

где C_0 – степень эффективности коллектора при нулевых тепловых потерях;

C_1 и C_2 – коэффициенты тепловых потерь;

E – плотность падающего солнечного излучения;

X – отношение перепада температур между теплопоглощающей поверхностью коллектора $t_{т.п}$ и окружающей средой $t_{ок}$ к величине E , °С·м²/Вт.

На рис.2 приведены данные тепловой эффективности плоских СК в зависимости от величины X :

1 – расчетные значения при $E=800$ Вт/м² для плоского солнечного коллектора с теплопоглощающей поверхностью, на которую нанесена не селективная черная краска. Данные представлены фирмой SolarTek.

2 – расчетные значения при $E=800$ Вт/м², полученные с использованием данных немецкого сертификационного центра «DIN CERTCO» (марка качества Solar KEYMARK) для плоского СК модели Vitosol 100-F ($C_0=0,776$, $C_1=4,14$, $C_2=0,0145$, рег. № 011-7S329-F). Данная модель имеет в

своей конструкции селективное покрытие.

3 – экспериментальные данные, полученные для СК на алюминиевых тепловых трубах, в диапазоне суммарной плотности падающего солнечного излучения от 700 Вт/м^2 до 950 Вт/м^2 .

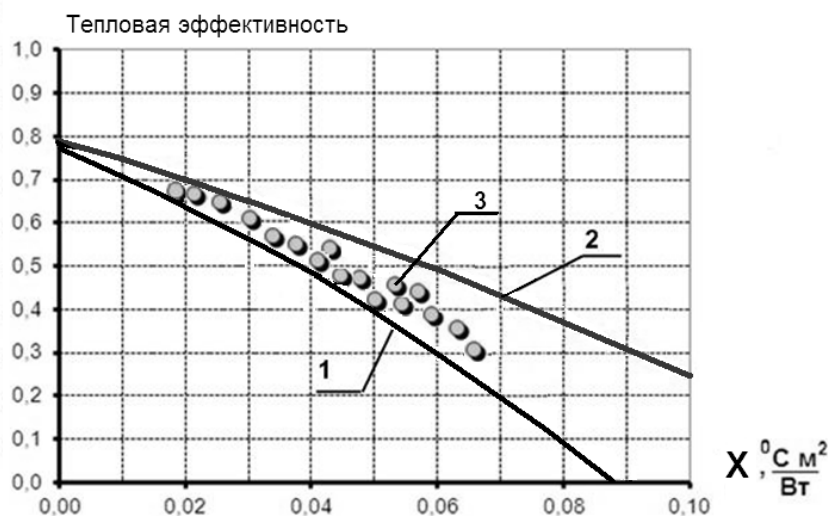


Рис. 2. Тепловая эффективность плоских солнечных коллекторов:

- 1 – расчетные значения для СК с теплопоглощающей поверхностью, покрытой не селективной черной краской;
- 2 – расчетные значения для Vitosol 100-F;
- 3 – экспериментальные значения для СК с алюминиевыми тепловыми трубами

Результаты испытаний показали, что эффективность представленной модели СК является на уровне зарубежных аналогов. Однако данные, представленные на рис. 2, подтверждают, что к повышению эффективности СК ведет в первую очередь использование в конструкции солнечных коллекторов селективного покрытия (Vitosol 100-F), снижающего составляющую тепловых потерь излучением. Так при $X > 0,05$ эффективность Vitosol 100-F выше эффективности плоского СК на тепловых трубах более чем на 15%. Такие значения X характерны при разнице температур между теплопоглощающей поверхностью коллектора $t_{г,п}$ и окружающей средой $t_{ок}$ более $30...35^{\circ}\text{C}$. Таким образом, СК с селективным покрытием имеет более высокий тепловой потенциал, что при равных условиях позволяет достичь более высокой температуры воды в бойлере. Это важно при использовании гелиосистем для систем отопления и кондиционирования, а также в зимний период либо поздней осенью и ранней весной.

Стенд для исследований селективных покрытий методом сравнения

Для повышения эффективности разработанного плоского солнечного коллектора авторами было принято решение использовать в его конструкции селективное покрытие украинской разработки. Сложность использования существующих зарубежных покрытий (Dampney, SunSelect, Almeco-Tinox GmbH и др.) связана со следующими проблемами: доступностью, дороговизной, сложностью либо невозможностью их использования в данной конструкции.

Разработка селективного покрытия сейчас ведется специалистами отделения физико-химии горючих ископаемых Института физико-органической химии и углехимии Л.М.Литвиненка НАН Украины (г. Львов) [7]. Для получения таких покрытий применяется углеродно-кремниевый композит, полученный методом золь-гель технологий. Такие покрытия характеризуются простотой получения и дешевизной.

Однако разработка таких покрытий требует проведения достаточно сложных и продолжительных ресурсных испытаний [8], а также исследования их оптических свойств.

На первом этапе для оценки эффективности разработанных различных видов покрытий (в зависимости от концентрации, вязкости, толщины и температуры нанесения) и выбора наиболее эффективных были проведены сравнительные исследования в НТУУ «КПИ».

Исследования проводились при облучении различных типов покрытий природной солнечной радиацией. Для этого был создан измерительный стенд, который состоял из исследуемого образца с фрагментами селективных покрытий, системы измерения температур и плотности солнечного теплового потока (рис. 3).



Рис.3. Система измерения температур и плотности солнечного теплового потока

В исследованиях были использованы следующие фрагменты: №1 – без селективного покрытия; №№ 2–4 – покрытия, полученные золь-гель методом, нанесенные на пластины из алюминиевого сплава АД31; № 5 – анодированная (черный цвет) пластина из алюминиевого сплава АД31; №6 – медная пластина с селективным покрытием фирмы SunSelect (Германия). Образец фирмы SunSelect получен технологией вакуумного напыления и имеет достаточно широкое использование за границей при изготовлении солнечных коллекторов.

Методика оценки эффективности селективных покрытий следующая. Пластины установлены в исследуемый образец, который представлял собой герметичный стеклопакет, теплоизолированный с тыльной стороны. Все образцы находились в одинаковых условиях по отношению к солнечному излучению и условиям окружающей среды. На тыльной стороне каждой пластины был установлен температурный датчик. По температурному уровню пластин оценивалась их эффективность.

Для измерения температур на пластинах и температуры окружающей среды использовались контактные датчики – медь-константановые термопары. Регистрация показаний датчиков проводилась с помощью приборов МВА8 (ОВЕН) с погрешностью измерения $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Измерения плотности солнечного теплового потока проводилось датчиком СМР3 (Kipp&Zonen) и прибором ТРМ202 (ОВЕН) с общей погрешностью не более 10%.

Результаты исследований селективных покрытий

В таблице 1 приведены характерные результаты испытаний. Измерения проводились при температуре окружающей среды $t_{\text{окр.ср.}}=28\pm 2^{\circ}\text{C}$. Данные результаты испытаний нельзя использовать для оценки температуры теплопоглощающей поверхности СК в зависимости от плотности солнечного теплового потока, потому что конструкция исследуемого образца не есть идентичной конструкции СК. Но они достаточно точно отображают разницу в эффективности каждого из покрытий.

Таблица 1

Результаты испытаний

$t_{\text{окр.ср.}}, ^{\circ}\text{C}$	$E, \text{Вт/м}^2$	$T_{\text{№1}}, ^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{№2}}, ^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{№3}}, ^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{№4}}, ^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{№5}}, ^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{№6}}, ^{\circ}\text{C}$
26,5	120	28,8	29,5	29,3	30,1	26,3	30,0
28,5	787	46,1	48,2	48,1	50,3	46,6	50,1
28,3	902	53,9	57,9	57,9	61,1	56,2	61,3
30,0	963	55,4	58,3	58,9	65,2	60,8	65,2

Результаты исследований показали (см. табл. 1), что разработанное селективное покрытие №4 по уровню теплопоглощения или возможности абсорбирования на своей поверхности солнечного излучения практически не уступает селективному покрытию №6.

Испытания также подтвердили, что использование селективного покрытия в конструкциях солнечных коллекторов целесообразно при температуре его теплопоглощающей поверхности более $55...60^{\circ}\text{C}$. Этот факт объясняется ростом тепловых потерь за счет излучения от теплопоглощающей поверхности. Так, при средней температуре на алюминиевых пластинах 48°C разница температуры на пластинах №1 и №4 составляет 4°C , а при средней температуре на алюминиевых пластинах 60°C разница температуры на пластинах №1 та №4 составляет уже 10°C .

На основе таких предварительных испытаний выбрано наиболее перспективное покрытие №4 для дальнейших работ по его усовершенствованию, а также для проведения ресурсных и технологических испытаний. Для модификаций покрытий, разработанных на основе селективного покрытия №4, ведутся ресурсные испытания в атмосфере.

Выводы

1. Разработанный солнечный коллектор на основе алюминиевых тепловых труб целесообразно использовать в солнечных водонагревательных установках для самостоятельного горячего водоснабжения в сезонный период на всей территории Украины.
2. Для повышения тепловой эффективности разработанного солнечного коллектора необходимо использовать в его конструкции селективное покрытие.
3. Разработано несколько вариантов селективных покрытий. По результатам сравнительных испытаний выбрано наилучшее покрытие для проведения дальнейших ресурсных и технологических испытаний, исследований его оптических характеристик.

Литература

1. Безручко К.В., Губин С.В. Автономные наземные энергетические установки на возобновляемых источниках энергии.- Харьков: ИЦ ХАИ, 2007.- 310 с.
2. www.almeco-tinox.de
3. Б.М. Рассемакин, В.К. Зарипов, С.М. Хайрмасов, А.Б. Рассемакин, И.А. Матвийко. Стенд для испытаний солнечных коллекторов. Нетрадиційні і поновлювальні джерела енергії як альтернативні первинним джерелам енергії в регіоні, Львів, 2-3 квітня 2009 рік, с. 234-238.
4. V. Orel, H. Spreizer, A. Šurca Vuk, M. Fir, D. Merlini, M. Vodlan and M. Köhl. Selective paint coatings for coloured solar absorbers: Polyurethane thickness insensitive spectrally selective (TISS) paints (Part II). Solar Energy Materials and Solar Cells. Volume 91, Issues 2-3, 23 January 2007, Pages 108-119.
5. www.dampney.com
6. Патент України №19110. Бюл. №3, 2007 рік. Теплова труба / Рассемакин Б.М., Ждановський А.А., Рассемакин А.Б., Хайрмасов С.М.
7. Р.Й. Мусій, Б.М. Рассемакин, С.М. Хайрмасов, І.В. Семенюк, В.М. Боярчук, В.М. Сиротюк, С.В. Сиротюк, В.П. Гальчак. Розробка та дослідження вітчизняних селективних покриттів, одержаних золь-гель методом. 10-а Міжнародна науково-практична конференція „Відновлювальна енергетика XXI століття”, Крим, 14-18 вересня, 2009, с. 171-174.
8. ISO/CD 12592.2; “Solar Energy-Materials for Flat Plate Collectors – Qualification test procedures for Solar Absorber Surface Durability”, dated January 9 th, 1997.