

УДК 621.47 : 677.057

**КОЛЛЕКТОР СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ
С ТРУБЧАТОЙ ПАНЕЛЬЮ ИЗ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**THE SOLAR ENERGY COLLECTOR
WITH THE TUBULAR PANEL FROM TEXTILE MATERIALS**

Л.И.ЖМАКИН, И.В.КОЗЫРЕВ, В.В.ЗЕЛЕНОВ, К.А.КИРОКОСЯН
L.I. ZHMAKIN, I.V. KOZYREV, V.V. ZELENOV, K.A. KIROKOSJAN

(Московский государственный текстильный университет им. А.Н.Косыгина)
(Moscow State Textile University "A.N. Kosygin")
E-mail: office@msta.ac.ru

В работе описаны основные параметры и технология изготовления плоского солнечного коллектора с текстильной поглощающей панелью, а также методика его теплотехнических испытаний в лабораторных условиях.

The key parameters and manufacturing techniques of a flat solar collector with the textile absorbing panel, and also its heat engineering tests technique in vitro are described in the paper.

Ключевые слова: низкотемпературные системы теплоснабжения, солнечная энергия, коллектор, поглощающая панель, рукавные ткани из полиэфирных нитей, разрывная прочность и удлинение по основе и утку.

Keywords: low temperature heat supply systems, solar energy, a collector, an absorbing panel, horse-shaped clothes made of polyester threads, tear durability and elongation over a warp and weft.

Расширение использования солнечной энергии для низкотемпературных систем теплоснабжения предполагает разработку эффективных и недорогих радиационно-конвективных теплообменников (коллекторов) с поглощающими панелями из неметаллических, в частности, текстильных материалов (технических тканей и полимерно-тканевых композиций). Для панелей проточного типа предпочтительны рукавные ткани из полиэфирных нитей, которые характеризуются равенством разрывных

прочностей и удлинений по основе и утку, обладают высокой прочностью и стабильностью формы и размеров, могут работать под давлением при температурах до 170°C.

Нами разработаны опытные образцы коллекторов с солнечными водонагревательными панелями трубчатого типа, в которых использовались полиэфирные рукава с внутренним гидроизоляционным покрытием из натурального латекса (их размеры: диаметр 23 мм, толщина стенки

1 мм, рабочее давление по данным изготовителя – до 1,6 МПа).

Для распределения теплоносителя по каналам эти панели имели два гидравлических коллектора из полипропиленовых труб диаметром 42×50 мм и длиной 600 мм, в которые с шагом 30 мм были вварены штуцеры меньшего диаметра. На них с помощью термоусадочных полимерных трубок закреплялись текстильные рукава; на поверхности штуцеров имелись кольцевые проточки, заполненные в момент монтажа герметизирующим составом. Размеры панелей: 580×1380 мм, их площадь 0,8 м², удельная масса 2,8 кг/м², собственная емкость 9,6 л; все они имели по 18 каналов для движения теплоносителя.

После опрессовки водой под давлением 2,5 бар в течение суток панели окрашивались акриловой эмалью черного цвета и монтировались в жестком корпусе солнечного коллектора (его размеры 620×1420×75 мм), на днище и боковые поверхности которого был уложен слой тепловой изоляции (вспененный полипропилен толщиной 10 мм). Сверху корпус имел прозрачное покрытие – лист сотового поликарбоната толщиной 4 мм. Его эффективная теплопроводность при комнатной температуре, определенная на приборе ЛКТ-1, составила 0,066 Вт/м²·К. Спектр пропускания поликарбоната в ультрафиолетовой и видимой областях был исследован с помощью спектрофотометра SPЕ-CORD M-40. Поликарбонат непрозрачен для излучения с длинами волн $\lambda < 380$ нм и, тем самым, защищает полиэфирную текстильную панель от повреждения жестким ультрафиолетом. В видимой области его коэффициент пропускания составляет 81,5...82%, что согласуется с данными [1].

Отказ от традиционных для солнечной энергетики материалов (металла и стекла) позволил существенно снизить удельную массу коллектора (она составляет 6,4 кг/м²) и повысить его ударостойкость при сохранении высоких теплотехнических характеристик, что подтвердили лабораторные испытания. Они проводились на универсальном теплогидравлическом

стенде, смонтированном на подвижной платформе. На стенде одновременно размещались 2 коллектора, каждый из них мог независимо подключаться к циркуляционному контуру с помощью трехходовых кранов.

В ходе испытаний определялись значения коэффициента потерь и КПД коллектора при постоянной интенсивности потока излучения, обеспечиваемого имитатором солнечной энергии. В экспериментах использовалась схема с замкнутым контуром циркуляции теплоносителя через коллектор. Избыточное давление в контуре составляло от 0,5 до 2 бар и контролировалось встроенным манометром; циркуляцию воды обеспечивал насос марки U15-14.

Расход воды в коллекторе измерялся тахометрическим расходомером марки СВК 15-3-2, показания которого периодически контролировались с помощью мерной емкости при строгой фиксации времени ее заполнения жидкостью с помощью электронного секундомера. При этом количество жидкости, поступившей в емкость за известное время, определялось взвешиванием с точностью до 1 г. Для измерения температуры теплоносителя на входе и на выходе из коллектора использовались хромель-копелевые термопарные датчики. Они были установлены в специальных металлических гильзах, залитых маслом. Сигналы термоЭДС с этих датчиков поступали на двухканальный ПИД – регулятор фирмы "Овен" типа ТРМ 101, с которого они затем выводились на компьютер. Максимальная абсолютная погрешность измерения температур термопарами в комплекте с вторичным прибором составляла 0,2°С. Автоматизированная система записи температур воды была оснащена программой, позволяющей с заданной периодичностью регистрировать и хранить измеренные экспериментальные данные.

Имитатор солнечного излучения состоял из 8 параболических прожекторов ПЗИ-700 с дуговыми металлогалогенными лампами ДРИ-700, которые были смонтированы в два ряда на стене лаборатории и сфокусированы на поверхность исследуемого

коллектора. Шарнирные соединения позволяли производить индивидуальную юстировку прожекторов. Измерения интенсивности излучения пиранометром М-80 показали, что в рабочей зоне экспериментального стенда, где размещался коллектор, неравномерность лучистого потока не превышала 6%.

Непосредственные измерения приведенных коэффициентов потерь коллектора проводились при отсутствии внешнего излучения. Для этого в конструкции универсального испытательного стенда была предусмотрена автономная система подогрева теплоносителя с помощью проточного водогрейного электрического котла, установленного на байпасе относительно бака-аккумулятора. Нагретая в котле жидкость циркулировала через контур коллектора, регистрировались ее расход, входная и выходная температуры, а также температура окружающего воздуха. Значения приведенных коэффициентов потерь рассчитывались по формулам:

$$F_R U_L = - \frac{g c_p (t'' - t')}{(t' - t_0)}, \quad (1)$$

$$F' U_L = - \frac{g c_p (t'' - t')}{[0,5(t'' + t') - t_0]},$$

в которых использованы следующие обозначения: F_R и F' – коэффициент отвода тепла из коллектора и эффективность поглощающей панели; U_L – полный коэффициент потерь; $g = G/F_K$ – удельный расход теплоносителя (G – расход, F_K – площадь панели); c_p – теплоемкость воды; t' и t'' – температуры воды на входе и на выходе; t_0 – температура окружающей среды.

Средние значения приведенных коэффициентов потерь оказались равными: $F_R U_L = 5,64 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{г}$ и $F' U_L = 6,00 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{г}$; максимальные отклонения опытных данных от средних значений не превышали 16%, а среднеквадратичные отклонения – 3,5%.

Эксперименты по определению мгновенных значений КПД коллектора проводились при постоянной интенсивности из-

лучения имитатора $E = 390 \text{ Вт/м}^2$. КПД измерялся при двух значениях расхода воды через коллектор: 34 и 59 л/ч, а ее температура на входе изменялась в диапазоне 23...32°C.

Мгновенный КПД рассчитывался по уравнению:

$$\eta = \frac{g c_p (t'' - t')}{E}. \quad (2)$$

Погрешность его измерения составляла $\pm 12\%$, причем основной вклад в эту величину вносила погрешность определения плотности радиационного потока пиранометром ($\pm 7\%$).

Для описания экспериментальных результатов привлекались известные уравнения Уиллера и Уиллера-Хоттеля-Блисса [2]:

$$\eta = F_R \eta_0 - F_R U_L \frac{t' - t_0}{E} = A_1 - B_1 t_1^*, \quad (3)$$

$$\eta = F' \eta_0 - F' U_L \frac{0,5(t' + t'') - t_0}{E} = A_2 - B_2 t_2, \quad (4)$$

где $\eta_0 = \tau \alpha$ – оптический КПД коллектора, а t^* – приведенная температура (остальные обозначения те же, что и в уравнении (1)). Соотношения (3) и (4) устанавливают линейную связь между КПД и приведенной температурой при условии, что U_L является постоянной величиной. В соответствии с действующими стандартами комплексы $A_1 = F_R \eta_0$, $A_2 = F' \eta_0$ и $B_1 = F_R U_L$, $B_2 = F' U_L$ являются основными параметрами теплотехнического совершенства коллектора. Их значения находились в процессе обработки опытных данных методом наименьших квадратов.

Приведенные значения оптического КПД и коэффициента потерь у коллектора с трубчатой текстильной панелью и прозрачным покрытием из сотового поликарбоната толщиной 4 мм составили: $F_R \eta_0 = 0,71$; $F_R U_L = 5,26 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{г}$ и $F' \eta_0 = 0,73$; $F' U_L = 4,79 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{г}$. Последняя величина оказалась на 20% ниже, чем при непосредственных измерениях на затененном коллекторе.

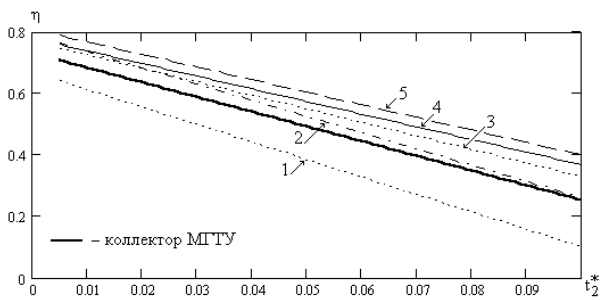


Рис. 1

На рис. 1 представлены характеристики отечественных коллекторов: 1 – полимерный коллектор ОИВТ РАН; 2 – коллектор "Альтен-1"; 3 – коллектор ОАО "КМЗ"; 4 – коллектор "Радуга-М"; 5 – коллектор "Сокол".

Экспериментальные данные на рис. 1 по КПД коллектора МГТУ сопоставлены с характеристиками других отечественных разработок. Это продукция таких предприятий, как ОАО "Ковровский механический завод", НПО "Машиностроение" (г. Рязань), ЗАО "АЛЬТЭН". Все они имеют достаточно высокую эффективность благодаря металлическим поглощающим панелям с селективными покрытиями. На этом рисунке представлен также опытный образец коллектора Объединенного института высоких температур РАН с поглощающей панелью из сотового поликарбоната [1], [3...5].

Отметим, что стоимость комплектующих материалов для изготовления опытного образца коллектора составила 1400 руб. Это позволяет надеяться, что при массо-

вом производстве стоимость таких коллекторов не превысит 2000 руб/м².

ВЫВОДЫ

1. Разработана конструкция и технология изготовления солнечного коллектора с текстильной поглощающей панелью, которая отличается низкой удельной массой и приемлемой стоимостью.

2. По своей теплотехнической эффективности данный коллектор незначительно уступает другим отечественным разработкам, а по технико-экономическим показателям превосходит их.

ЛИТЕРАТУРА

1. Попель О.С. и др. Опыт разработки солнечного коллектора из теплостойких пластмасс // Теплоэнергетика. – 2008, №12. С. 6...8.
2. Duffie J.A., Beckman W.A. Solar Engineering of Thermal Processes, 2 Ed., J.Wiley & Sons, USA. – 1991.
3. Казанджан Б.И. Системы солнечного теплообеспечения // Энергия: экономика, техника, экология. – 2005, №12. С. 10...16.
4. Попель О.С. и др. Сравнительный анализ показателей конструкций солнечных коллекторов зарубежного и отечественного производства. Новые технологические решения // Теплоэнергетика. – 2006, №3. С. 11...15.
5. Энергетическое оборудование для использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии / Под ред. В.И.Виссарионова. – М.: Изд-во. ВИЭН, 2004.

Рекомендована кафедрой промышленной теплоэнергетики. Поступила 28.03.11.