

3.Классен В.И. Омагничивание водных систем / В.И. Классен. – М.: Химия, 1982. – 296 с.

4.Савченко В.В. Изменение биопотенциала и урожайности сельскохозяйственных культур при предпосевной обработке семян в магнитном поле / В.В. Савченко, А.Ю. Синявский // Вестник ВИЭСХ. – 2013. – №2(11). – С. 33–37.

5.Sinyavsky A. Magnetic treatment of potato tubers / A. Sinyavsky, V. Savchenko // Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW. – Agriculture (Agricultural and Forest Engineering). – Warsaw: 2011. – № 57. – P. 57-64.

Приведены результаты исследований изменения pH водных растворов солей при их обработке в магнитном поле. Установлены зависимости изменения pH растворов от магнитной индукции и скорости их движения. Определены оптимальные параметры обработки

Раствор, магнитная индукция, скорость движения, pH.

The results of change the pH of aqueous solutions of salts during their processing in a magnetic field are shown The dependences of changes in pH solutions on the magnetic induction and speed of the solution are determined. The optimal processing parameters are identified.

A solution, magnetic induction, speed, pH.

УДК 621.47 : 677.057

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА С ТЕКСТИЛЬНЫМ АБСОРБЕРОМ ТРУБЧАТОГО ТИПА

***И.К.ЖМАКИН, кандидат технических наук
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
электрификации сельского хозяйства», г. Москва***

Л.И.ЖМАКИН, доктор технических наук

***К.А.МАРКОВА, кандидат технических наук
Московский государственный университет дизайна
и технологии, г. Москва***

Приведены результаты испытаний солнечного коллектора для нагрева воды с трубчатым абсорбером из рукавной ткани с внутренним полимерным покрытием. Проведены экспериментальные исследования его теплотехнических характеристик, в ходе которых получены опытные данные по коэффициентам потерь тепла и эффективности этого коллектора.

Солнечный коллектор, трубчатый абсорбер, коэффициент потерь тепла, эффективность коллектора.

Расширение использования солнечной энергии в автономных системах теплоснабжения предполагает разработку эффективных и недорогих коллекторов с поглощающими панелями (абсорберами) из неметаллических, в том числе 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 °С.

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).

Цель исследований – проведение испытаний коллектора с трубчатым абсорбером в лабораторных и натуральных условиях и определение его теплотехнических характеристик.

Материалы и методика исследований. На рис. 1, 2 показаны принципиальные схемы трубчатого абсорбера и крепления текстильных рукавов.

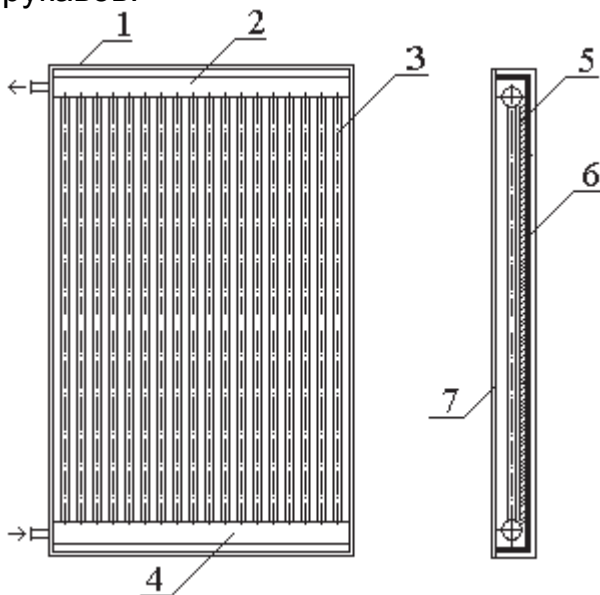


Рис. 1. Схема трубчатого абсорбера:
 1 – корпус;
 2, 4 – полипропиленовые трубы;
 3 – полиэфирный рукав; 5 – слой фольги; 6 – теплоизоляция;
 7 – прозрачное покрытие

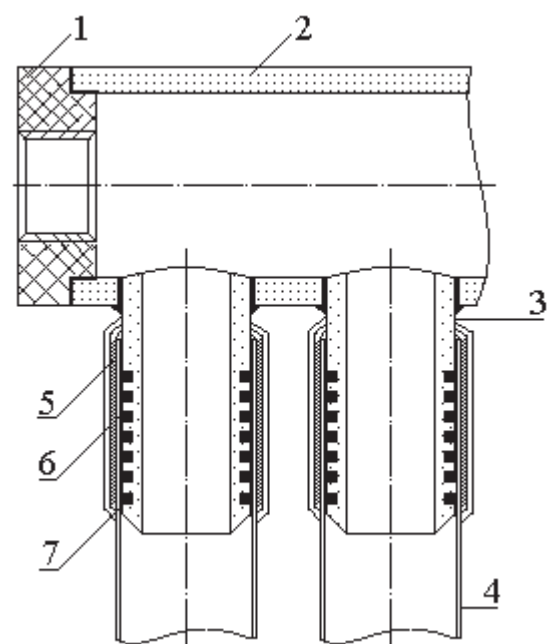


Рис. 2. Схема крепления текстильных рукавов:
 1 – заглушка; 2 - полипропиленовая труба;
 3 – штуцер; 4 – полиэфирный рукав; 5 – бандаж; 6 – слой герметика; 7 – термоусадочная трубка

Для распределения теплоносителя по каналам абсорберы имели два гидравлических коллектора из полипропиленовых труб диаметром 42x50 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 абсорберов – 580x1380 мм, их площадь 0,8 м², удельная масса 2,8 кг/м², собственная емкость 9,6 л; они имели 18 каналов для движения теплоносителя.

После опрессовки водой под давлением 2,5 бар в течение суток абсорбер окрашивался акриловой эмалью чёрного цвета и монтировался в жестком корпусе солнечного коллектора (его размеры 620x1420x75 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/мК. Спектр пропускания поликарбоната в ультрафиолетовой и видимой областях был исследован с помощью спектрофотометра SPECORD 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 данные лабораторных (на имитаторе солнечной энергии) и натуральных испытаний.

Эти испытания проводились с использованием квазистационарной методики на универсальном теплогидравлическом стенде с замкнутым контуром циркуляции теплоносителя. Стенд был смонтирован на подвижной платформе; на ней одновременно размещались 2 коллектора, каждый из которых мог независимо подключаться к циркуляционному контуру с помощью трехходовых кранов. Автоматизированная система записи и обработки опытных данных, подключенная к персональному компьютеру, позволяла с заданной периодичностью регистрировать и архивировать результаты измерений температур, расходов воды и интенсивностей лучистых потоков. На стенде определяли мгновенные КПД коллекторов

$$\eta = gc_p(t'' - t')/E, \quad (1)$$

которые аппроксимировали уравнениями Уиллера и Уиллера-Хоттеля-Блисса:

$$\eta = F_R \eta_0 - F_R U_L \frac{t' - t_0}{E} = A_1 - B_1 \cdot t_1^* ; \quad (2)$$

$$\eta = F'\eta_0 - F'U_L \frac{0,5(t' + t'') - t_0}{E} = A_2 - B_2 \cdot t_2^*, \quad (3)$$

где F_R и F' – коэффициент отвода тепла из коллектора и эффективность поглощающей панели (абсорбера); U_L – полный коэффициент потерь; E – плотность лучистого потока, Вт/м²; $g = G/F_K$ – удельный расход теплоносителя (G – расход, F_K – площадь панели), кг/с·м²; c_p – теплоемкость воды, Дж/кг·К; t и t'' – ее температуры на входе и на выходе, °С; t_0 – температура окружающей среды, °С; $\eta_0 = \tau\alpha$ – оптический КПД (произведение коэффициента пропускания покрытия и коэффициента поглощения панели), а t^* – приведенная температура.

Уравнения (2) и (3) устанавливают линейную связь между КПД и приведенной температурой при условии, что коэффициент потерь – постоянная величина. В соответствии с действующими стандартами комплексы $A_1 = F_R\eta_0$; $A_2 = F'\eta_0$ и $B_1 = F_RU_L$; $B_2 = F'U_L$ являются основными параметрами теплотехнического совершенства солнечных коллекторов [4].

Результаты исследований. Регрессионные уравнения для мгновенных КПД коллекторов с трубчатыми текстильными абсорберами, полученные при обработке результатов испытаний, приведены в таблице. Инструментальная погрешность определения КПД не превышала 12 %, но разброс опытных точек приводил к дополнительным ошибкам аппроксимации, составлявшим 5–7 %.

Уравнения регрессии для КПД коллекторов с трубчатыми абсорберами

Лабораторные испытания	Натурные испытания
$\eta = 0,71 - 5,26t_1^*$	$\eta = 0,69 - 8,17t_1^*$
$\eta = 0,73 - 4,79t_2^*$	$\eta = 0,71 - 7,42t_2^*$

Для коллекторов с трубчатыми абсорберами были проведены и независимые измерения коэффициентов тепловых потерь с использованием метода регулярного режима охлаждения [2]. Они проводились при остывании коллекторов с отключенной циркуляцией жидкости; в опытах фиксировались температуры воды в панелях в различные моменты времени. Из уравнения дифференциального теплового баланса коллектора можно получить следующее выражение для полного коэффициента потерь:

$$U_L = mc_p M_{ж} / F_K, \quad (4)$$

в котором $M_{ж}$ – масса воды в панели, кг, а m – темп ее охлаждения, определяемый при обработке соответствующих термограмм. Среднее значение коэффициента потерь для коллекторов с трубчатыми абсорберами в лабораторных условиях составило 5,70 Вт/м²·град.

В текстильных рукавах абсорберов был экспериментально установлен эффект интенсификации теплоотдачи при омывании жидкостью поверхности ткани. Средние коэффициенты конвективной теплоотдачи в полиэфирных рукавах с латексным покрытием были определены косвенно с помощью модифицированного метода Вильсона. При ламинарном течении воды их значения в 2,1 – 2,3 раза превышали соответствующие величины для гладких труб [3]. Это обусловлено дискретной шероховатостью текстильной теплообменной поверхности, проявляющей себя двояко. С одной стороны поверхность ткани становится более развитой по сравнению с гладкой стенкой (эффект ребрения), а с другой – за каждым элементом выступа возможно возникновение вихрей, нарушающих ламинарную структуру пограничного слоя.

Наряду с экспериментами, нами был определен ряд характеристик трубчатых текстильных абсорберов методами математического моделирования. Так, например, были рассчитаны распределения расходов жидкости в каналах абсорбера и дополнительные радиационные потоки за счет переизлучения подложки на стенки каналов.

Ясно, что неравномерность расходов теплоносителя (гидравлическая разверка) неизбежно приводит к тепловой разверке абсорбера, а последняя, в свою очередь, вызывает снижение эффективности коллектора. Были сопоставлены две схемы подачи жидкости в каналы: U – схема, когда вход и выход воды осуществляется с одной стороны панели (см. рис. 1), и Z – схема с патрубками, расположенными по обе стороны абсорбера. Расчеты проводились для общих расходов воды, изменяющихся в диапазоне 30...80 л/ч. Оказалось, что U – схема предпочтительнее: в ней коэффициенты неравномерности расходов воды в каналах изменялись в пределах 1,47...1,89 против 1,55...6,90 для Z – схемы.

Конструкция трубчатого абсорбера такова, что при относительно малых углах падения солнечных лучей часть радиационного потока через зазоры между трубами попадает на подложку, покрывающую днище корпуса коллектора. В свою очередь, эта подложка будет излучать энергию на абсорбер. Обусловленный этим явлением дополнительный тепловой поток зависит от шага труб в абсорбере и от угла падения лучей. Методами геометрической оптики были проведены расчеты переизлучения для двух типов подложек - абсолютно черной, излучающей в соответствии с законом Ламберта, и зеркально отражающей. Оптимальный шаг текстильных каналов в трубчатом абсорбере оказался равным $(2...2,5) \cdot R$, где R – радиус канала, м.

Выводы. Исследованы теплотехнические характеристики солнечных коллекторов с текстильными трубчатыми абсорберами в лабораторных и натуральных условиях. Для них определены приведенные значения оптического КПД и коэффициента потерь. Экспериментально установлен эффект интенсификации теплоотдачи при омывании жидкостью внутренней поверхности текстильных каналов.

Проведены модельные расчеты, позволившие оптимизировать шаг каналов в трубчатых абсорберах и схему подачи в них теплоносителя.

Расчет технико-экономических показателей данных коллекторов показал, что они окупаются за два сезона эксплуатации.

Список литературы

1 Опыт разработки солнечного коллектора из теплостойких пластмасс / О.С.Попель, И.В. Прокопченко, А.В. Мордынский и др. // Теплоэнергетика. – 2008. – №12. – С. 6–8.

2. Теория тепломассообмена / [под ред. Леонтьева А.И.]. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 1997. – 683 с.

3. Характеристики рекуперативного теплообменника с текстильной теплопередающей поверхностью / Л.И.Жмакин, И.В.Козырев, К.А.Кирокосян, М.В.Черных // Химические волокна. – 2010. – №6. – С. 50–53.

4. J.A.Duffie, W.A.Beckman, Solar Engineering of Thermal Processes. 2 Ed.. J.Wiley & Sons, USA, 1991. – 919 p.

Наведено результати випробувань сонячного колектора для нагрівання води з трубчастим абсорбером із рукавної тканини з внутрішнім полімерним покриттям. Проведено експериментальні дослідження його теплотехнічних характеристик, у ході яких отримано дослідні дані за коефіцієнтами втрат тепла та ефективності цього колектора.

Сонячний колектор, трубчастий абсорбер, коефіцієнт втрат тепла, ефективність колектора.

The results of testing of solar water heating collector with tube-type absorber produced from waterproof tube textiles with polymer coating were described. The experimental studies were made to determine the parameters of collector's thermal performance. The test data were obtained concerning the overall energy loss coefficient and the efficiency of the collector.

Solar collector, tube-type absorber, heat loss coefficient, collector's efficiency