

УДК 621.47: 677.057
DOI 10.47367/0021-3497_2021_5_58

**МЕТОДЫ СТАЦИОНАРНОГО И НЕСТАЦИОНАРНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ
ВОДЯНОГО АППАРАТА СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА
С ТЕКСТИЛЬНОЙ ГЕЛИОПАНЕЛЬЮ ТРУБЧАТОГО ТИПА**

**METHODS OF STATIONARY AND NON-STATIONARY RESEARCH
OF A WATER APPARATUS OF A SOLAR COLLECTOR
WITH A TEXTILE HELIOPANEL OF A TUBULAR TYPE**

Н.М. ШАРПАР, Л.И. ЖМАКИН, К.А. МАРКОВА, Л.И. ОСИПОВА

N.M. SHARPAR, L.I. ZHMAKIN, K.A. MARKOVA, L.I. OSIPOVA

(Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство))

(Russian State University named after A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art))

E-mail: sharpar-nm@rguk.ru

Целью работы является применение и исследование стационарных и нестационарных методов к теплообменным аппаратам, изготовленным на базе полимерных и текстильных материалов с теплообменными поверхностями осуществляющих эффективное преобразование низкопотенциальной теплоты не только искусственного, но и естественного происхождения. В качестве реализации данной цели были решены задачи по применению тех-

нологических и технических возможностей использования в теплообменниках полимерных и текстильных материалов в качестве поверхностей теплообменного солнечного коллектора, а также определение характеристик этих аппаратов по стационарному и нестационарному методу.

Поглощающая панель абсорбера аппарата выполнена из рукавной ткани, имеющей трубчатую форму каналов. Регистрация данных в работе осуществлялась автоматически. Определен коэффициент потерь теплообменной панели при ее ориентации в горизонте и под углом 45°. Оба независимых метода привели к удовлетворительным согласующимся результатам.

The aim of the work is to apply and study stationary and non-stationary methods to heat exchangers made on the basis of polymer and textile materials with heat exchange surfaces that perform effective conversion of low-potential heat not only of artificial, but also of natural origin. As an implementation of this goal, the tasks were solved on the application of technological and technical possibilities of using polymer and textile materials in heat exchangers as surfaces of a heat exchange solar collector, as well as determining the characteristics of these devices by the stationary and non-stationary method.

The absorbing panel of the absorber of the device is made of a sleeve fabric having a tubular shape of channels. Data registration in the work was carried out by means of automation. The coefficient of losses of the heat exchange panel at its orientation in the horizon and at an angle of 45° is determined. Both independent methods led to satisfactory consistent results.

Ключевые слова: трубчатая панель, теплообменный аппарат, гелиоэнергетика, стационарный и нестационарный метод, теплоноситель, каналы, теплообмен, солнечный коллектор.

Keywords: tubular panel, heat exchanger, solar energy, stationary and non-stationary method, heat carrier, channels, heat exchange, solar collector.

В работе рассмотрены методы стационарного и нестационарного исследования характеристик аппарата радиационно-конвективного типа с трубчатой поглощающей панелью, из рукавной ткани, представляющий из себя теплообменник (рис. 1). В качестве теплоносителя в солнечном коллекторе использовалась вода, она распределялась по паре полипропиленовых каналов 1, имеющих одинаковое количество подводящих и отводящих штуцеров. Каналы закреплялись на определенном расстоянии в корпусе теплообменного аппарата 2, имеющего теплоизолированное днище 3 и защитное покрытие 4 в виде сотового поликарбоната. На штуцеры в количестве 18 шт. крепились текстильные рукава 5 с внутренним покрытием из натурального латекса.

Диаметр рукавов составлял 22 мм. Теплоизолированный корпус теплообменного аппарата солнечного коллектора обладал следующими геометрическими размерами: 620×1420×75 мм.

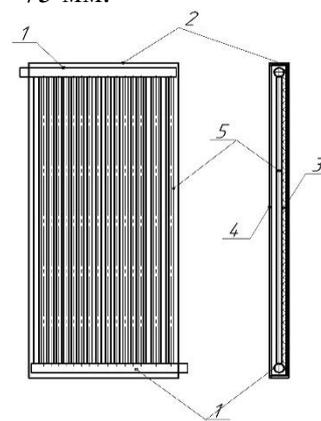


Рис. 1

В соответствии с теплотехнической характеристикой солнечного коллектора имеется, как известно, коэффициент, определяющий тепловые потери. По своим показателям его относят к эффективному коэффициенту нагреваемого теплоносителя в каналах аппарата и окружающей аппарат среды, то есть воздуха, соотношенного с активной поверхностью текстильной панели [1], [2].

Экспериментальные замеры коэффициента потерь осуществлялись в условиях лаборатории, то есть облучение исследуемой поглощающей текстильной панели отсутствовало. Измерения велись по двум независимым методикам – стационарной и нестационарной. Проведение опытов на данном теплообменнике, изготовленном из текстильных и полимерных материалов

$$F_R U_L = -\frac{g c_p (t'' - t')}{(t' - t_0)}; \quad F' U_L = -\frac{g c_p (t'' - t')}{[0,5(t'' + t') - t_0]}. \quad (1)$$

Здесь F_R и F' – коэффициент теплоотвода от панели аппарата и его поглощающая эффективность; t' , t'' – температуры теплоносителя при входе и выходе из распределяющих полипропиленовых каналов; U_L – полный коэффициент потерь; $g = G/F_K$ – удельный расход теплоносителя (G – расход, F_K – площадь теплообменной панели); t_0 – температура окружающей среды; c_p – теплоемкость используемого теплоносителя (воды).

В процессе проведения опытов были получены типичные зависимости изменения температур с течением времени при циркуляции через текстильную панель солнечного коллектора, которые приведены на рис. 2.

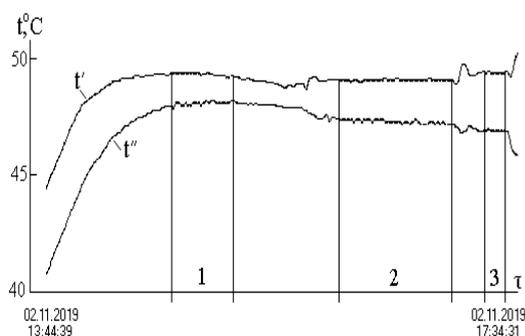


Рис. 2

[3...5], проводилось при режиме автономной работы системы, использовался термостат, представляющий собой электрический водонагреватель.

Рассмотрим стационарный метод, при котором осуществлялась циркуляция теплоносителя через контур теплообменной текстильной панели. Во время опыта были зарегистрированы следующие показатели: расход, температура при входе и выходе, а также окружающей среды, в которой находился аппарат. Данный метод дает возможность определения коэффициентов потерь приведенного вида, рассчитываемых через уравнения Уиллера и Уиллера-Хоттеля-Блисса [1]:

Данные, полученные в ходе опытов и обработанные при определении коэффициента потерь относительно различных удельных расходов теплоносителя, проходящего через панель теплообменного аппарата, выполненную из текстильных и полимерных материалов, приведены на рис. 3.

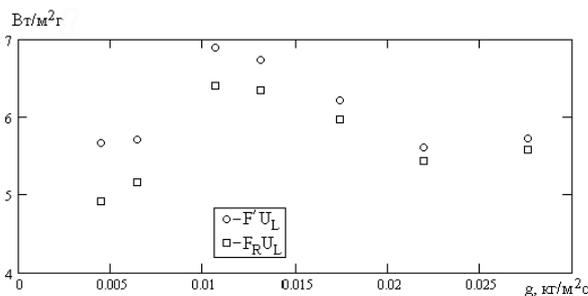


Рис. 3

По результатам опытов были определены средние значения приведенных коэффициентов потерь, которые составили $F' U_L = 6,00$ Вт/м²г и $F_R U_L = 5,64$ Вт/м²г; отклонение данных от среднего значения составляло не более 16%, а среднее квадратичное отклонение не превышало 3,5%.

В соответствии с данными, полученными при проведении опытов на трубчатом теплообменном аппарате, были определены расчетным путем параметры

$F'' = F_R / F'$ в зависимости от функции безразмерного расхода циркулирующего теплоносителя $g_{c_p} / F'U_L$, результаты расчетов показаны на рис. 4. Эффективность поглощающей текстильной панели F' при этом можно установить из отношения пары термических сопротивлений, таких как теплоноситель – окружающая среда и окружающая среда – стенка панели [1].

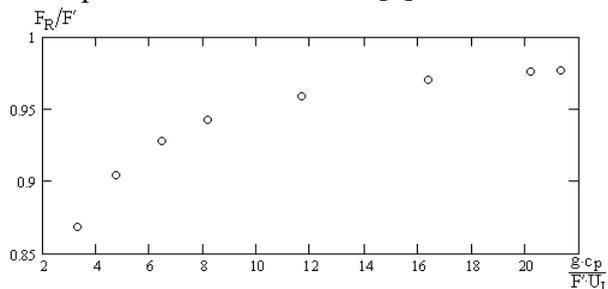


Рис. 4

По аналогии с эффективностью традиционных рекуперативных теплообменных аппаратов можно представить коэффициент отвода тепла F_R в форме, определяемой по отношению перепада теплового потока, установленного по факту к его максимальному значению [6], [7]. Так, максимальный поток тепловой энергии, направленный к теплоносителю в теплообменном солнечном аппарате, возможен при равенстве температуры теплоносителя [1] и его текстильной поглощающей панели, выступающей в роли абсорбера.

Вторым методом, рассматриваемым в работе, является нестационарный. Он основан на том, что через солнечный теплообменный аппарат, выполненный на основе текстильных и полимерных материалов (при отсутствии воздействия на поглощающую панель аппарата облучения), осуществляется принудительная циркуляция предварительно подогретого теплоносителя. По завершении циркулирования теплоносителя по системе осуществляется регистрация значений температуры при ее падении с течением времени и учет тепловых потерь в окружающую среду.

Регистрация температурных изменений велась с помощью пары хромель-копелевых датчиков, соединенных с контроллером марки ТРМ-138 фирмы Овен, и компьютером через адаптер АС-4 той же фирмы

по каналу связи RS-485. Типичные термограммы, показывающие охлаждение теплоносителя с течением времени, представлены в графической форме на рис. 5.

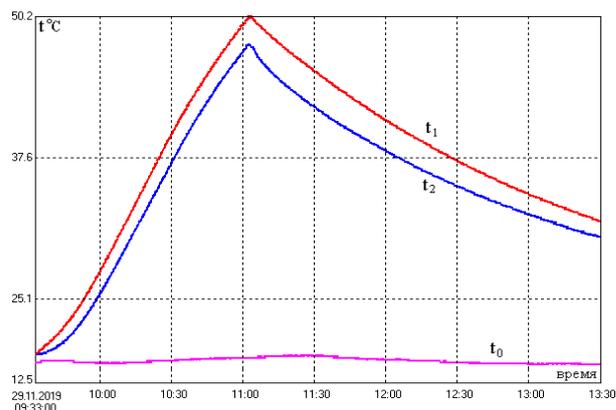


Рис. 5

Математическая модель охлаждения рассматриваемого нами теплоносителя в каналах теплообменной панели, выполненной из текстильных и полимерных материалов, представляет собой уравнение дифференциального теплового баланса, которое с учетом упрощений имеет вид:

$$M_{ж} c_p dt = -KF(t - t_0)dt = -KF\vartheta dt. \quad (2)$$

Здесь t , t_0 – температуры теплоносителя и окружающей среды; $M_{ж}$, c_p – масса и теплоемкость теплоносителя в теплообменной панели; F – расчетная площадь абсорбера; K – некоторый эффективный коэффициент теплопередачи.

Выполним интегрирование уравнения (2), которое приведет к следующему выражению:

$$\ln \vartheta = \ln \vartheta_n - \frac{KF}{M_{ж} c_p} \tau,$$

или

$$\ln \theta = -\frac{KF}{M_{ж} c_p} \tau = -m\tau, \quad (3)$$

где ϑ , ϑ_n – настоящее и изначальное значение избыточной температуры теплоносителя в абсорбере ($\vartheta = t - t_0$); $\theta = \vartheta / \vartheta_n$ – безразмерная температура, а m – темп охлаждения.

При условии, что режим охлаждения используемого теплоносителя будет относиться к регулярному, зависимость (3), записанная в полулогарифмических координатах, является линейной. Тогда темп охлаждения теплообменной панели можно рассчитать из следующего соотношения:

$$K = m \frac{M_{ж} c_p}{F},$$

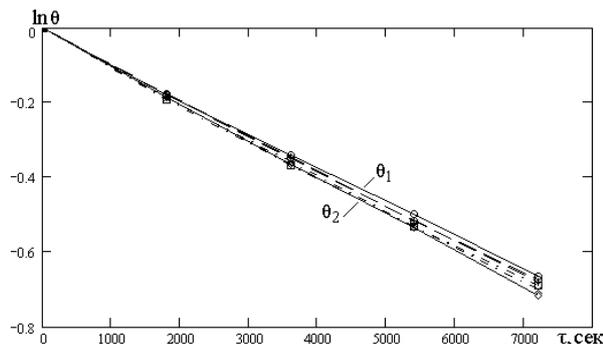


Рис. 6

и вычислить полный коэффициент ее потерь [8].

На рис. 6, 7 приведены некоторые серии данных, полученных по результатам проведенных опытов в координатах "ln θ – τ", которые описывают процесс охлаждения теплоносителя, находящегося в трубчатой теплообменной панели солнечного коллектора. Фиксация экспериментальных температур с течением времени велась в двух точках теплообменной панели при шаге в 30 мин.

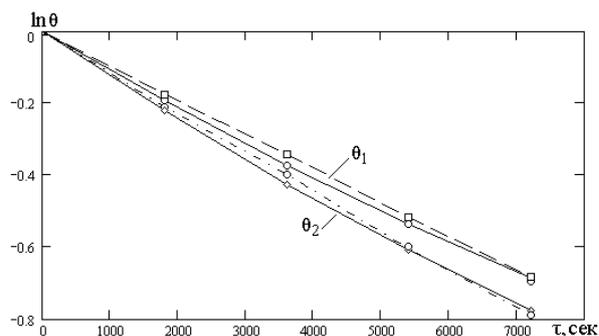


Рис. 7

В работе были выполнены две серии опытов при наклоне и три для ориентирования теплообменной панели в горизонтальном положении. Значения, определенные во время проведения опытов в лаборатор-

ных условиях, найденные по нестационарной методике для полных коэффициентов потерь на рассматриваемом аппарате, сведены в табл. 1.

Таблица 1

Ориентация панели	Горизонтальная		Наклонная (45°)	
	1	2	1	2
Коэффициент потерь K, Вт/м²Г	5,42	5,99	5,64	6,43
	5,74	5,87	5,60	6,49
	5,65	5,56	-	-

ВЫВОДЫ

В соответствии с приведенными графиками на рис. 6, 7, видно, что при горизонтальном расположении теплообменной панели безразмерные температуры отклонены меньше, чем при ее наклоне в 45°. Но при этом панель с углом в 45° обладает заметным расхождением точек, что обусловлено наличием естественной конвекции теплоносителя, распределяемого в каналах. Показания термомпар, находящихся на входе и выходе из гидравлических каналов полипропиленовых труб коллектора, искажают

конвективные токи, что впоследствии сказывается на разбросе значений темпа охлаждения и коэффициентов потерь, найденных по данным, определенным во время проведения экспериментов.

Согласно табл. 1 результаты, полученные в ходе экспериментов, удовлетворительно согласуются с данными найденными по стационарной методике.

ЛИТЕРАТУРА

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

2. Zhmakin L.I., Sharpar N.M. Simulation of heat transport in a solar air collector with porous absorber // *Fibre Chemistry*. – V. 49, № 5, 2018. P. 338...341.

3. Шарпар Н.М., Жмакин Л.И. Емкостные текстильные гелиоколлекторы для солнечного нагрева воды // Сб. научн. тр. кафедры промышленной теплоэнергетики. – М.: МГУДТ, 2016. С. 62...66.

4. Жмакин Л.И., Шарпар Н.М. Солнечные водонагреватели из текстильных материалов // В сб. научн. тр. VI Междунар. научн.-техн. симпозиума: Современные энерго- и ресурсосберегающие технологии СЭТТ: Современные задачи инженерных наук. – 2017. С. 252...256.

5. Жмакин Л.И., Шарпар Н.М., Ефимов М.В., Пелевина Р.А., Одинцова Т.С. Гелиоколлектор из полимерных материалов с текстильным абсорбером для систем теплоснабжения сезонных потребителей // Сб. научн. тр. Междунар. научн.-техн. симпозиума: Вторые международные Косыгинские чтения, приуроченные к 100-летию РГУ имени А. Н. Косыгина. Т. 1. – М.: РГУ имени А. Н. Косыгина, 2019. С.61...64.

6. Корнюхин И.П. Тепломассообмен в теплотехнике текстильного производства. – М., 2004. С.597.

7. Теория тепломассообмена / Под ред. А.И. Леонтьева, – М.: Изд. МГТУ им. Н.Э.Баумана, 1997.

8. Кондратьев Г.М. Регулярный тепловой режим. – М.: ГИТТЛ, 1954.

REFERENCES

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

2. Zhmakin L.I., Sharpar N.M. Simulation of heat transport in a solar air collector with porous absorber // *Fibre Chemistry*. – V. 49, № 5, 2018. P. 338...341.

3. Sharpar N.M., Zhmakin L.I. Emkostnye tekstil'nye geliokollektory dlya solnechnogo nagreva vody // Sb. nauchn. tr. kafedry promyshlennoy teploenergetiki. – М.: MGUDT, 2016. S. 62...66.

4. Zhmakin L.I., Sharpar N.M. Solnechnye vodonagrevateli iz tekstil'nykh materialov // V sb. nauchn. tr. VI Mezhdunar. nauchn.-tekhn. simpoziuma: Sovremennye energo- i resursosberegayushchie tekhnologii SETT: Sovremennye zadachi inzhenernykh nauk. – 2017. S. 252...256.

5. Zhmakin L.I., Sharpar N.M., Efimov M.V., Pelevina R.A., Odintsova T.S. Geliokollektor iz polimernykh materialov s tekstil'nym absorberom dlya sistem teplosnabzheniya sezonnykh potrebiteley // Sb. nauchn. tr. Mezhdunar. nauchn.-tekhn. simpoziuma: Vtorye mezhdunarodnye Kosyginские чтения, priurochennye k 100-letiyu RGU imeni A. N. Kosygina. T.1. – М.: RGU imeni A. N. Kosygina, 2019. S.61...64.

6. Kornukhin I.P. *Teplomassoobmen v teplo- tekhnike tekstil'nogo proizvodstva*. – М., 2004. S.597.

7. *Teoriya teplomassoobmena* / Pod red. A.I. Leont'eva, – М.: Izd. MGTU im. N.E.Baumana, 1997.

8. Kondrat'ev G.M. *Regulyarnyy teplovoy rezhim*. – М.: GITTL, 1954.

Статья опубликована по материалам Косыгинского форума. Поступила 29.09.21.