

Гелиоустановки и их применение

УДК 662.997:621.47

Н.Р. АВЕЗОВА, Р.Р. АВЕЗОВ

МЕТОДИКА УСКОРЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПЛОСКИХ СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ ДЛЯ НАГРЕВА ЖИДКОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

Предложена и реализована методика ускоренного определения основных теплотехнических параметров плоских солнечных коллекторов (ПСК) для нагрева жидкого теплоносителя (ЖТН) по результатам их краткосрочного теплового тестирования в натуральных квазистационарных условиях.

Организация серийного производства ПСК для нагрева ЖТН и расширение масштабов их применения в системах горячего водоснабжения (СГВС) объектов различного назначения в республике ставит задачи оценки степени их теплотехнического совершенства.

Основными показателями степени теплотехнического совершенства ПСК для нагрева ЖТН, на основе которых определяются: - их удельная теплопроизводительность ($q_{пол}$) и - тепловая эффективность (η) в различных погодных-климатических условиях, являются приведенный к единице площади фронтальной поверхности ПСК суммарных тепловых потерь (K_{np-p-o}), - коэффициент тепловой эффективности лучепоглощающей теплообменной панели (ЛПТП) рассматриваемого коллектора (η_{mn}), в которой происходит поглощение и преобразование в тепло падающего на ее зачерненную поверхность суммарного (прямого и диффузного) солнечного излучения (СИ), - эффективная приведенная поглощательная способность поверхности ЛПТП относительно СИ ($\alpha_p \tau_{cn}$)_{эфф}. Последняя величина определяется произведением эффективных коэффициентов поглощения СИ поверхности ЛПТП ($\alpha_{p_{эфф}}$) и пропускания СИ светопрозрачного покрытия (СП) корпуса коллектора ($\tau_{cn_{эфф}}$), в которых учтены многократные внутренние отражения СИ между границами раздела СП и замкнутой воздушной прослойки системы «ЛПТП-СП», а также загоразивание и затенение поверхности ЛПТП боковыми стенками корпуса тестируемого коллектора.

Одним из наиболее распространенных методов теплового тестирования ПСК, который основан на тепловой модели с нулевой теплоемкостью, предложенной Хоттелем-Уиллером-Блиссом [3], считается натуральный квазистационарный метод Национального Бюро Стандартов США (ныне NIST-Национальный институт стандартов и технологий), принятый в 1974г. [1-3] и получивший название «метод NBC» или «методика ASHRAE», который положен в основу ряда национальных стандартов по тепловому тестированию ПСК [5,6].

В процессе проведения теплового тестирования ПСК по методике ASHRAE измеряются: - поверхностная плотность потока суммарного СИ, падающего на поверхность СП корпуса коллектора ($q_{над_c}^{\Sigma}$), - температуры окружающей среды (t_o), теплоносителя на входе в коллектор ($t_{f_{вх}}$) и на выходе из него ($t_{f_{вых}}$), - а также удельный (на единицу площади фронтальной поверхности корпуса ПСК) расход теплоносителя (\dot{m}_f) через данный коллектор. Обработка результатов теплового тестирования ПСК по методике [6] выполняется в следующей последовательности.

Из отношения мгновенной удельной теплопроизводительности коллектора, определяемой по формуле:

$$q_{пол} = (\dot{m}c_p)_f (t_{f_{вых}} - t_{f_{вх}}) \quad (1)$$

к $q_{nad_c}^\Sigma$, т.е. на основе выражения

$$\eta = \frac{(\dot{m}c_p)_f (t_{f_{вых}} - t_{f_{вх}})}{q_{nad_c}^\Sigma} \quad (2)$$

определяется значение мгновенной тепловой эффективности тестируемого коллектора. Результаты испытаний обрабатываются в виде зависимости

$$\eta = f\left(\frac{\bar{t}_f - t_o}{q_{nad_c}^\Sigma}\right) \quad (3)$$

методом наименьших квадратов.

Значение среднемассовой температуры теплоносителя в ЛПТП коллектора (\bar{t}_f) в формуле (3) определяется из выражения

$$\bar{t}_f = 0,5(t_{f_{вх}} + t_{f_{вых}}). \quad (4)$$

Типичный график зависимости $\eta = f\left(\frac{\bar{t}_f - t_o}{q_{nad_c}^\Sigma}\right)$, в котором не учтена зависимость $K_{np_{p-o}}$ от средней рабочей температуры ЛПТП тестируемого коллектора (\bar{t}_f) и окружающей среды (t_o), представляет уравнение прямой с угловым коэффициентом φ (рис. 1).

Значение η при $\bar{t}_f = t_o$, т.е. $\frac{\bar{t}_f - t_o}{q_{nad_c}^\Sigma} = 0$, на оси ординаты представляет собой значение комплекса $\eta_{mn}(\alpha_p \tau_{cn})_{эфф}$, а тангенс угла прямой $\eta = f\left(\frac{\bar{t}_f - t_o}{q_{nad_c}^\Sigma}\right)$ относительно положительного направления оси абсциссы ($tg\varphi$) - значение комплекса $\eta_{mn}K_{np_{p-o}}$.

В соответствии с тепловой моделью коллектора Хоттеля-Уиллера-Блисса [3] уравнение прямой на рис. 1 может быть представлено в виде

$$\eta = \eta_{mn}(\alpha_p \tau_{cn})_{эфф} - \eta_{mn}K_{np_{p-o}} \frac{\bar{t}_f - t_o}{q_{nad_c}^\Sigma}. \quad (5)$$

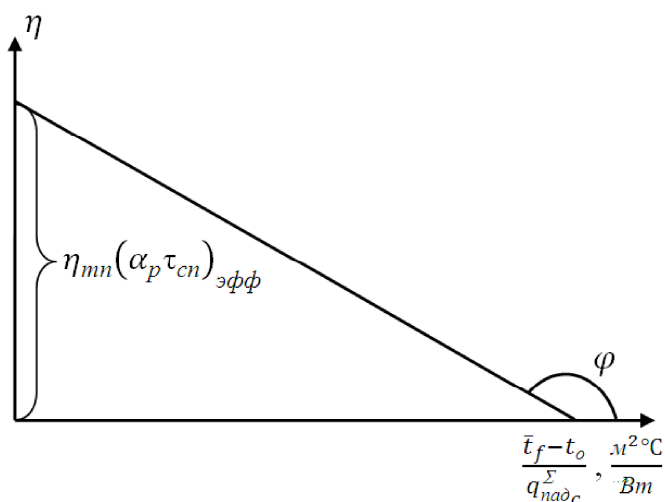


Рис. 1. Зависимость тепловой эффективности ПСК от отношения $\frac{\bar{t}_f - t_o}{q_{nad_c}^\Sigma}$, в которой не учтена зависимость $K_{np_{p-o}}$ от \bar{t}_f и t_o .

С целью обеспечения условия квазистационарности, т.е. $q_{nad_c}^\Sigma \cong const$ и $t_o \cong const$ тепловое тестирование проводится в околополуденные часы ясного дня при заданных постоянных значениях \dot{m}_f и $t_{f_{вх}}$.

Согласно методике [6] на основе графической обработки результатов теплового тестирования ПСК можно определить лишь значения комплексов $\eta_{mn}(\alpha_p \tau_{cn})_{эфф}$ и $\eta_{mn} K_{np-p-o}$, а не параметров η_{mn} , $(\alpha_p \tau_{cn})_{эфф}$ и K_{np-p-o} в отдельности.

В связи с тем, что значения комплексов $\eta_{mn}(\alpha_p \tau_{cn})_{эфф}$ и $\eta_{mn} K_{np-p-o}$ в уравнении (5) определены для промежутка времени (10-15 мин) около полуденных часов светового дня, полученные результаты могут быть использованы для идентификации параметров тепловой модели коллектора с нулевой теплоемкостью, только для данного промежутка времени, а не для расчета дневного хода удельной теплопроизводительности данного коллектора при различных значениях \bar{t}_f , t_o и $q_{надс}^{\Sigma}$.

Как показывают результаты обобщения опытов по тепловому тестированию ПСК по методике [6], в течение одного ясного дня можно провести не более 3-4 серий измерений при постоянном значении \bar{t}_f . На проведение теплового тестирования ПСК при различных, но постоянных значениях \bar{t}_f , требуется 1,5-2 месяца.

Общими недостатками теплового тестирования ПСК в натуральных квазистационарных условиях по методике [6] считается трудоемкость, многодневность и плохая воспроизводимость получаемых результатов из-за их зависимости от климатических условий [1].

В связи с этим и с целью экономии материальных и технических средств, сокращения продолжительности процессов натуральных испытаний ПСК и обработки их результатов, в данном обобщении предлагается методика ускоренного определения K_{np-p-o} и η_{mn} ПСК для нагрева ЖТН в отдельности.

Предлагаемая методика, как и натурная квазистационарная методика теплового тестирования ПСК [6], базируется на модели коллектора с нулевой теплоемкостью. Однако, в отличие от методики [6], значения α_p и τ_{cn} определяются расчетным способом на основе измерений коэффициентов диффузного отражения СИ (ρ_p) поверхности ЛПТП и экстинкции СИ материала СП корпуса ПСК (β_c), а также площадей поверхности ЛПТП ($F_{ТП}$) и ПСК ($F_{фр}$), ширины боковых стенок корпуса в плане, и толщину замкнутой воздушной прослойки, заключенной между ЛПТП и внутренней поверхностью СП рассматриваемого коллектора.

Сущность ускоренной методики определения значений K_{np-p-o} и $\eta_{ТП}$ ПСК для нагрева ЖТН, заключается во введение в практику обработки результатов их теплового тестирования впервые полученные нами выражения для определения значений \bar{t}_p и \bar{t}_f [7, 8], а также результатов исследований по определению зависимости K_{np-p-o} от \bar{t}_p и t_o [9].

Подставляя значение \bar{t}_p из работы [7]

$$\bar{t}_p = 22,9358 \left\{ \left[(5,8426 - 0,0101t_o)^2 + 0,0872 (5,8426t_o + 0,0117t_o^2 + q_{нозлп}^{\Sigma} - q_{пол}) \right]^{0,5} - 5,8426 + 0,0101t_o \right\}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (6)$$

в выражение [8]

$$K_{np-p-o} = 5,8426 + 0,0218t_p + 0,0117t_o, \text{ } \text{Bm}/(\text{M}^2\text{ } ^\circ\text{C}), \quad (7)$$

получим соответствующее выражение для определения значения K_{np-p-o} в зависимости от $q_{нозлп}^{\Sigma}$ и $q_{пол}$

$$K_{np-p-o} = 2,9213 + 0,0168t_o + 0,5 \left\{ \left[(5,8426 - 0,0101t_o)^2 + 0,0872 (5,8426t_o + 0,0117t_o^2 + q_{нозлп}^{\Sigma} - q_{пол}) \right]^{0,5} \right\}, \text{ } \text{Bm}/(\text{M}^2\text{ } ^\circ\text{C}). \quad (8)$$

Значение η_{mn} в соответствии с [8] и с учетом значения K_{np-p-o} из выражения (8) определяется как:

$$\eta_{mn} = \frac{(\dot{m}c_p)_f}{K_{np-p-o}} \cdot \ln \frac{\frac{q_{нозлп}^{\Sigma}}{K_{np-p-o}} + t_o - t_{f_{ax}}}{\frac{q_{нозлп}^{\Sigma}}{K_{np-p-o}} + t_o - t_{f_{вых}}}}{\quad} \quad (9)$$

Значение усредненного по длине теплоотводящего канала (ТОК) ЛПТП среднемассовая температура теплоносителя ($\bar{t}_{f\ell}$) в предложенной нами методике, в отличие от выражения (4), определяется из выражения [8]

$$\bar{t}_{f\ell} = \frac{q_{\text{ползлр}}^{\Sigma}}{K_{\text{нрр-о}}} + t_o - \frac{t_{f_{\text{вых}}} - t_{f_{\text{вх}}}}{\frac{q_{\text{ползлр}}^{\Sigma}}{K_{\text{нрр-о}} + t_o - t_{f_{\text{вх}}}} \ln \frac{q_{\text{ползлр}}^{\Sigma}}{K_{\text{нрр-о}} + t_o - t_{f_{\text{вых}}}}} \quad (10)$$

Достоверность предложенной методики может быть подтверждена сопоставлением значений тепловой эффективности рассматриваемого коллектора η , определенных по выражениям (2) и (5).

Как уже отмечено выше, значение $q_{\text{ползлр}}^{\Sigma}$ определяется на основе измерений значений α_p и $\tau_{\text{сн}}$ для прямого и диффузного СИ из выражения:

$$q_{\text{ползлр}}^{\Sigma} = (\alpha_p \tau_{\text{сн}})_{\text{эфф}}^{\text{нр}} q_{\text{надс}}^{\text{нр}} + (\alpha_p \tau_{\text{сн}})_{\text{эфф}}^{\text{диф}} q_{\text{надс}}^{\text{диф}}, \quad (11)$$

где $q_{\text{надс}}^{\text{нр}}$ и $q_{\text{надс}}^{\text{диф}}$ – соответственно, поверхностные плотности потоков прямого и диффузного СИ, падающего на поверхность СП корпуса данного коллектора.

Приводим численный пример реализации предложенной методики.

Тестируемый ПСК имеет площадь фронтальной поверхности корпуса ($F_{\text{фр}}$) $1,8 \times 1,2 = 2,16 \text{ м}^2$ и ориентирован на юг под углом 30° к горизонту. Площадь поверхности СП ($F_{\text{сн}}$) равна площади поверхности ЛПТП ($F_{\text{мн}}$), которая составляет $1,75 \times 1,15 = 2,01 \text{ м}^2$. Отношение $\frac{F_{\text{мн}}}{F_{\text{фр}}} = \frac{F_{\text{сн}}}{F_{\text{фр}}} = 0,93$. Согласно результатам лабораторных измерений и соответствующих расчетов значения $(\alpha_p \tau_{\text{сн}})_{\text{эфф}}^{\text{нр}} = 0,69$ и $(\alpha_p \tau_{\text{сн}})_{\text{эфф}}^{\text{диф}} = 0,63$. Значения $q_{\text{надс}}^{\text{нр}}$ и $q_{\text{надс}}^{\text{диф}}$ в момент истинного полудня (12ч. 30м. по стандартному времени) составляет, соответственно, 745 и 95 Вт/м^2 . Значение $q_{\text{ползлр}}^{\Sigma}$, определенное по (11) при этом составляет 573,9 Вт/м^2 .

Температура окружающей среды в этот момент времени дня была $32,7^\circ\text{C}$, температура воды на входе в коллектор ($t_{f_{\text{вх}}}$) равна $20,2^\circ\text{C}$, а на выходе из него ($t_{f_{\text{вых}}}$) – $60,5^\circ\text{C}$. Значение расхода теплоносителя через коллектор (G_f) 18,9137 л/час. При $F_{\text{фр}} = 2,16 \text{ м}^2$ соответствующее значение \dot{m}_f составляет:

$$\dot{m}_f = \frac{(G_p)_f}{F_{\text{фр}}} = \frac{18,9137}{3600 \cdot 2,16} = 2,4323 \cdot 10^{-3} \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}), \quad (12)$$

где $\rho_f \cong 1000 \text{ кг}/\text{м}^3$ – плотность воды.

Согласно результатам обработки измерений значение $q_{\text{ползлр}}^{\Sigma}$, определенное по (1), составляет 410,4 Вт/м^2 . Значение \bar{t}_p , определенное по (6), при условиях $q_{\text{ползлр}}^{\Sigma} = 573,9 \text{ Вт/м}^2$, $q_{\text{ползлр}} = 410,4 \text{ Вт/м}^2$ и $t_o = 32,7^\circ\text{C}$ составляет $54,74^\circ\text{C}$.

Значение $K_{\text{нрр-о}}$, определенное по (8), при $q_{\text{ползлр}}^{\Sigma} = 573,9 \text{ Вт/м}^2$, $q_{\text{ползлр}} = 410,4 \text{ Вт/м}^2$ и $t_o = 32,7^\circ\text{C}$ составляет 7,4206 $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$. Значение $\eta_{\text{мн}}$, определенное из выражения (9), при этом составляет 0,8144, а $\bar{t}_{f\ell}$, а определенное из выражения (10), при этом составляет $42,13^\circ\text{C}$, что отличается от его значения определенного по формуле (4), на 4,42%.

Значения комплексов $\eta_{\text{мн}} K_{\text{нрр-о}}$ и $\eta_{\text{мн}} (\alpha_p \tau_{\text{сн}})_{\text{эфф}}$ при этом составляют 6,0433 $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ и 0,5564, соответственно.

Значения η , определенные на основе выражений (2) и (5), равны и составляют 0,4886, что подтверждает достоверность предложенной методики по ускоренному определению основных теплотехнических параметров ПСК для нагрева жидкого теплоносителя.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Фрид С.Е. Методы тепловых испытаний солнечных коллекторов. //Препринт ИВТАН №3-248 – М.: 1988. 57 с. [2] Frid S.E. Multinode models and dynamic testing methods of solar collectors. // Solar and Wind Technology. 1990. V.7. №6. pp. 665-661. [3] Даффи Дж., Бекман У. Основы солнечной теплоэнергетики. Пер. с англ. – Долгопрудный: «Интеллект». 2013. – 888 с. [4] Hill J.E., Streed E.R. A method of testing for rating solar collectors based on thermal performance. // Solar Energy. 1976. V.18. №5. pp. 317-341. [5] Spears P.E., Valdin V.H. A solar collector standard: a test standard for the dominant collector in use today. //ASHRAE Journal. 1984. №12. pp. 30-34. [6] ASHRAE Standard 93-97. – New York: American Soc. Of Heating, Refrigeration and Air Condition Engineers. 1997. 90p. [7] Аvezова Н.Р., Аvezов Р.Р. // Гелиотехника. 2015. №2. С. 3-6. [8] Аvezова Н.Р. // Гелиотехника. 2015. №3. С. 11-17. [9] Аvezова Н.Р., Аvezов Р.Р. // Гелиотехника. 2015. №1. С. 14-19.

Физико-технический институт
НПО «Физика-Солнце» АН РУз
avezov@uzsci.net

Дата поступления
10.11.2015

УДК 664

Е.С. АББАСОВ, М.А. УМУРЗАКОВА, М.П. БОЛТБОЕВА

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СОЛНЕЧНЫХ ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЕЙ

Предложен способ оценки эффективности солнечных воздушных нагревателей, основанный на сравнении их тепловых и гидродинамических характеристик с тепловыми и гидродинамическими характеристиками гладкопластинчатых солнечных воздухонагревателей. Расчеты, выполненные для различных конструкций воздухонагревателей, показали перспективность данного способа при создании эффективных конструкций солнечных воздухонагревателей (СВН).

Одной из важных задач современной энергетики, строительства, машиностроительной, химической и ряда других отраслей экономики является оптимальное использование топливно-энергетических ресурсов, их экономия. Наиболее перспективным путем экономии традиционных энергетических ресурсов для стран с большим количеством солнечных дней в году является использование нетрадиционных источников энергии, т.е. энергии Солнца. Учитывая, что большинство технологических процессов, таких как отопление, сушка и т.п. осуществляется теплым воздухом, который может быть нагрет до 50 – 60⁰С в СВН, применение солнечных воздушных нагревателей для получения низкопотенциальной экологически чистой теплоты может наиболее оптимально соответствовать требованиям, предъявляемым к современным теплоэнергетическим установкам.

Использование СВН в теплоэнергетических системах и комплексах может значительно улучшить экономические показатели, а сами комплексы сделать простыми в эксплуатации.

Однако, эксплуатируемые в настоящее время СВН, не отвечают требованиям эффективности, которые предъявляются к теплоэнергетическим устройствам.

Поэтому в настоящее время в ряде стран с теплым и продолжительным солнечным периодом (Индия, Австралия, ЮАР, Греция и т.д.) систематически продолжаются исследования по повышению эффективности работы СВН, а именно по совершенствованию тепловых процессов, протекающих внутри гелиоприемных каналов. Как правило, такие процессы сопровождаются расходом мощности, расходуемой вентиляторами на прокачку воздушного потока. В данном направлении общепризнанным считается путь создания на поверхности гелиоприемного канала таких гидродинамических условий, при которых увеличивается теплообмен между воздушным потоком и стенкой канала. При этом должна быть сохранена эффективность теплового устройства как тепловая, так и гидродинамическая.

Современные гелиотехнические воздухонагревательные устройства состоят из поверхностей теплообмена, на которых осуществляются процессы теплоотдачи между стенкой и воздушным