

Матисаков Т.К.

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК СОЛНЕЧНО-ВОДОНАГРЕВАТЕЛЬНОГО КОЛЛЕКТОРА
НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

T.K. Matisakov

**THE BASIC RESEARCH TEPLOFIZICHESKIH
FEATURES SUNNY-WATER HEATING COLLECTOR ON BASE
OF MATHEMATICAL MODELING**

УДК: 662.997.534.4

На основе математического моделирования определены тепловые эффективности, а также теплофизические характеристики солнечно-водонагревательного коллектора (СВК).

On base of mathematical modeling are determined heat efficiency, as well as thermo physical features sunny-water of the heating collector.

Эффективность солнечного трубчатого коллектора определяется балансом энергии в ней. При этом лучистая энергия, падающая на коллектор, приравнивается к сумме оптических потерь приемника и поглощаемой энергии [1,2]. Запишем уравнение баланса энергии солнечного трубчатого коллектора

$$Q_{\text{пад}} = Q_{\text{опт}} + Q_{\text{погл}} \quad (1)$$

где $Q_{\text{пад}}$ – лучистая энергия падающая на приемник коллектора, Вт; $Q_{\text{опт}}$ – оптические потери, Вт; $Q_{\text{погл}}$ – поглощенная энергия теплоприемником, Вт.

Количество солнечной энергии, поступающей на поверхность коллектора:

$$Q_{\text{пад}} = ES_{\text{пр}}, \quad (2)$$

где $E = E_{\perp} + E_d$ – суммарное количество солнечной радиации, поступающей на наклонную поверхность солнечного коллектора, Вт/м²; $E_{\perp} = E_{\text{max}} \cdot \cos i \cdot K_{\text{атм}}$ – поток прямой солнечной радиации на поверхность, Вт/м² расположенную под углом i ; E_d – количество диффузной, солнечной радиации Вт/м²; $S_{\text{пр}} = 2\pi r l + ah$ – площадь поверхностей тепловоспринимающей панели и облучаемой части трубы, м²; r – радиус тепловоспринимающей трубы, м; l – длина трубы, м; h – высота панели, м; a – ширина панели, м.

Оптические потери теплоприемника $Q_{\text{опт}}$ определяется из соотношения

$$Q_{\text{опт}} = ES_{\text{пр}}(1 - c_{\text{опт}} \cos \delta) \quad (3)$$

где $c_{\text{опт}}$ – оптическая постоянная коллектора, определяемая по формуле

$$c_{\text{опт}} = \tau_c A_s, \quad (4)$$

τ_c – пропускательная способность прозрачной покрытий; A_s – поглощательная способность поверхности приемника.

Поглощенная поверхностью теплоприемника часть солнечной радиации преобразуется в тепло, которое идет на компенсацию тепловых потерь установки в окружающую среду связанные с теплопередачи и лучистым теплообменами $Q_{\text{ном}}$ и получение полезной энергии $Q_{\text{пол}}$.

Таким образом, балансовые уравнения для теплоприемника имеют вид

$$Q_{\text{пог}} = Q_{\text{пол}} + Q_{\text{ном}} \quad (5)$$

Суммарные тепловые потери с поверхности теплоприемника

$$Q_{\text{ном}} = Q_{\text{мн}} + Q_{\text{кон}} + Q_{\text{из}} \quad (6)$$

здесь $Q_{\text{мн}}$ – потеря тепла теплопроводностью, Вт; $Q_{\text{кон}}$ – потеря тепла конвективным путем, Вт; $Q_{\text{из}}$ – потеря тепла излучением, Вт.

При этом

$$Q_{\text{мн}} = KS_{\kappa}(T_{\text{мн}} - T_o) \quad (7)$$

где K – коэффициент теплопередачи стеклянного ограждения коллектора, Вт/(м²·К); S_{κ} – площадь теплообменной поверхности КСЭ, м²; $T_{\text{мн}}$, T_o – температуры теплоприемника и окружающей среды, К.

Для определения коэффициента теплопередачи СВК используем формулу, предложенную в [3]:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_s} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_n}} \quad (8)$$

где δ – толщина стеклянного ограждения, м; λ – коэффициент теплопроводности этого ограждения, Вт/(м²·К); α_H и $\alpha_{\text{в}}$ коэффициенты тепловосприятия и теплоотдачи внутренней и наружной поверхности стеклянных ограждений, Вт/(м²·К).

Конвективные потери с поверхности теплоприемника в окружающую среду определяются по формуле

$$Q_{\text{кон}} = \frac{1}{3} \pi d_c H \alpha_{c.o} (T_{\text{мн}} - T_o) \quad (9)$$

где d_c , H – диаметр и длина стеклянного ограждения коллектора, м; $\alpha_{c.o}$ – коэффициент теп-

лоотдачи от стеклянной оболочки в окружающую среду, Вт/(м²·К).

Коэффициент теплоотдачи $\alpha_{c.o}$ в окружающую среду можно рассчитать с помощью полученного Мак – Адамсом соотношения [3]

$$\alpha_{c.o} = 5,7 + 3,8\mathcal{G}, \quad (10)$$

где \mathcal{G} - скорость ветра, м/с.

Лучистые потери от поглощающей поверхности теплоприемника к окружающей среде определяются по формуле

$$Q_{из} = \varepsilon_{mn} S_{np} \sigma (T_{mn}^4 - T_o^4) \quad (11)$$

$$Q_{пол} = ES_{np} - ES_{np}(1 - c_{онм} \cos \delta) - \left[KF_{\kappa} (T_{mn} - T_o) + \frac{1}{3} \pi d_c H \alpha_{c.o} (T_c - T_o) + \varepsilon_{mn} F_{np} \sigma (T_{mn}^4 - T_o^4) \right]; \quad (14)$$

$$\text{Оптический КПД коллектора } \eta_{онм} = c_{онм} \cos \delta \quad (15)$$

КПД солнечно – водонагревательного коллектора представляет собой отношение тепловой производительности коллектора к падающей на его поверхность солнечной радиации.

$$\eta_{менл} = 1 - \frac{ES_{np}(1 - c_{онм} \cos \delta) - \left[KF_{\kappa} (T_{mn} - T_o) + \frac{1}{3} \pi d_c H \alpha_{c.o} (T_c - T_o) + \varepsilon_{mn} F_{np} \sigma (T_{mn}^4 - T_o^4) \right]}{ES_{np}} \quad (16)$$

Все составляющие энергетического баланса в (14), заключенные в скобки, представляют собой тепловые потери теплоприемника за счет собственного излучения, неполного поглощения солнечного излучения, конвекции потерь по элементам конструкции и теплопередачи через стенку коллектора.

Для проведения расчетов по разработанной программе задаются следующие исходные данные [4-5]: $T_{тп}=313\div353\text{K}$; $T_o=283\div300\text{K}$; $T_c=293\div313\text{K}$; $S_{np}=0,125\text{м}^2$; $E=100\div900 \text{ Вт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$; $d_c=0,15\text{м}$; $H=0,2\text{м}$; $\delta_{ст}=0,04\text{м}$; $\lambda_{ст}=0,74\text{Вт}/\text{м}\cdot\text{К}$; $\alpha_{вст}=8,14\text{Вт}/\text{м}^2\cdot\text{К}$; $\alpha_{нст}=23,26\text{Вт}/\text{м}^2\cdot\text{К}$.

Результаты вычислений в графическом виде при различных значениях температуры окружающей среды приведены на рис. 1. Видно, что при увеличении плотности суммарного солнечного излучения в зависимости от температуры теплоприемника величина к.п.д. уменьшается. Это значит, что с увеличением температуры рабочей воды в СВК величина теплотерь возрастает, а к.п.д. СВК соответственно уменьшается. По нашим вычислениям значения к.п.д. СВК в зависимости от скорости ветра $v=0\div5\text{м}/\text{с}$ составляют $\eta=0,36\div0,55$.

По полученным значениям тепловые потери СВК построены графические зависимости количества тепловых потерь от скорости воздуха при различных значениях температуры теплоприемника СВК рис. 2. А по результатам вычислений величин теплотерь СВК видно, что с увеличением плотности суммарного солнечного излучения соответственно увеличивается температура

где ε_{mn} - степень черноты теплоприемника; S_{np} - общая площадь теплопринимающей панели и трубы, м²; σ - постоянная Стефана-Больцмана, Вт/(м²·К⁴).

Полученная полезная энергия коллектором определяется из уравнения (5).

$$Q_{пол} = Q_{ног} - Q_{ном}, \quad (12)$$

или

$$Q_{пол} = Q_{над} - Q_{онм} - Q_{ном} \quad (13)$$

Таким образом, уравнение баланса солнечного водонагревательного коллектора можно представить в виде:

теплоприемника в коллекторе. При этом величина разности температуры между теплоприемником, и наружной температурой окружающей среды увеличивается, за счет чего повышается величина теплотерь от СВК.

На основе математических моделей тепловых процессов, происходящих в СВК, а также при учете климатических параметров для различных местонахождений были созданы расчетные программы для подбора наиболее оптимальных для потребителя элементов СВК. Программы позволяют также предварительно определить в виде предполагаемых суточных тепловой эффективности спроектированных СВК.

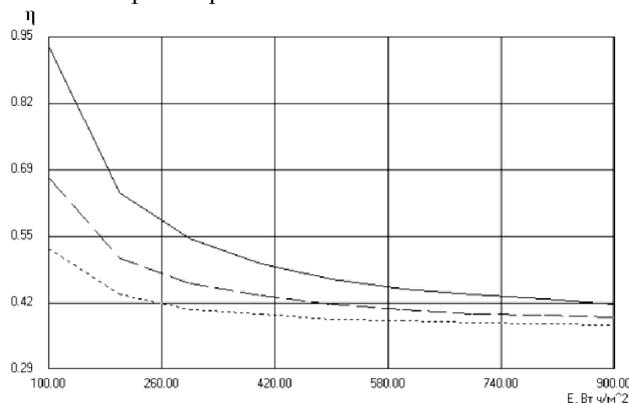


Рис. 1. Зависимость величины к.п.д. СВК от плотности суммарного солнечного излучения при различных значениях температуры окружающей среды.

----- $T_o = 10^\circ\text{C}$, - - - - $T_o = 20^\circ\text{C}$, — $T_o = 30^\circ$.

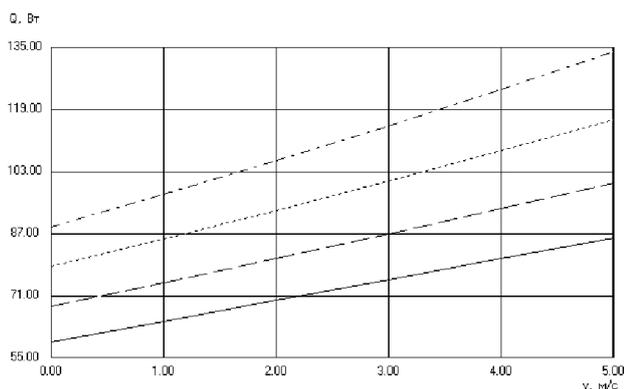


Рис. 2. Зависимость величины теплотерь СВК от скорости воздуха и температуры теплоприемника в СВК.
 — $T_{гр} = 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$, - - - - $T_{гр} = 60 \text{ }^{\circ}\text{C}$,
 ······ $T_{гр} = 70 \text{ }^{\circ}\text{C}$, - ··· - $T_{гр} = 80 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Литература:

1. Аvezов Р.Р., Орлов А.Ю. Солнечные системы отопления и горячего водоснабжения. – Т.: Фан, 1988.
2. Мухитдинов М.М., Эргашев С.Ф. Солнечные параболоцилиндрические установки. – Т.: Фан, 1995.
3. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. – Москва: Энергия, 1969.
4. Тепло- и массообмен. Теплотехнический справочник /АметистовЕ.В., Григорьев В.А. и др. / под редакцией Григорьева В.А. М.: энергоиздат., 1972, 512 с.
5. Исманжанов А.И., Сатыбалдиев А.Б., Матисаков Т.К. Численное исследование суточного прихода суммарной солнечной радиации на произвольно ориентированную поверхность//НОТ КУУ. Вып.№3, Ош 2008.

Рецензент: д.ф.-м.н., профессор Ташполотов Ы.