

Матисаков Т.К.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ РАСЧЕТА
ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СОЛНЕЧНО-
ВОДОНАГРЕВАТЕЛЬНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ И УСТАНОВОК**

T.K. Matisakov

**MODELING AND PROGRAMME REALIZATION OF THE CALCULATION
TEPLOTENICHESKIH FEATURES SUNNY-WATER HEATING COLLECTOR
AND INSTALLATION**

УДК: 662.997.534.4

Для определения тепловой эффективности, а также теплофизических характеристик солнечно-водонагревательных установок (СВУ) разработан программный продукт на основе математической модели.

For determination of heat efficiency, as well as thermo physical of the features sunny - water of the heating installation is designed programme product on base of the mathematical model.

На эффективность работы СВУ влияние оказывают: КПД СВК, значения тепловых потерь в подводящих и отводящих трубопроводах солнечного контура (зависящие от длины подводящих и отводящих трубопроводов, материала трубопроводов, материала изоляции, расхода теплоносителя), объем бака-аккумулятора, а также величины тепловых потерь через стенки бака – аккумулятора.

Существуют два основных подхода к вопросу оценки эффективности работы как СВК, так и СВУ. Первый подход основан на проведении долгосрочных экспериментальных исследований эффективности работы СВУ в натурных условиях в месте нахождения данной установки. Другой подход основан на математическом моделировании процесса теплообмена в СВУ, и, таким образом, определению производительности СВК, температурного поля поглощающей пластины, температуры теплоносителя на выходе из СВК, количества тепла, передаваемого в бак-аккумулятор и др.

Моделирование позволяет быстро рассчитывать наиболее важные выходные параметры при заданных параметрах СВУ. Позволяет также, варьируя некоторыми входными параметрами, например, размерами теплоприемника, количества коллекторов в системе, теплоемкости теплоносителя и его начальной температурой, теплоизоляционные параметры бака и т.д., получать наиболее оптимальные режимы работы СВУ.

Для этого были выведены уравнения (1) и (4), с помощью которых можно рассчитать основные теплотехнические характеристики солнечно-водонагревательной установки. Результаты модели приведено на следующее уравнении:

$$T_c = T_o^{cp} + \left(T_x - T_o^{cp} - \frac{ES_{np}\eta_{onn}n}{\pi(K(d_c H + R^2) + \frac{1}{3}d_c H\alpha_{c.o}) + K_\delta S_\delta + K_{mp}\pi d_{mp} l_{mp}} \right) \times \exp \left(\frac{\pi(K(d_c H + R^2) + \frac{1}{3}d_c H\alpha_{c.o}) + K_\delta S_\delta + K_{mp}\pi d_{mp} l_{mp}}{V_\delta \rho c + \pi \rho_{cm} c_{cm} (r_n^2 h_n - r_\delta^2 h_\delta)} \right) \tau + \frac{ES_{np}\eta_{onn}n}{\pi(K(d_c H + R^2) + \frac{1}{3}d_c H\alpha_{c.o}) + K_\delta S_\delta + K_{mp}\pi d_{mp} l_{mp}} \quad (1)$$

В уравнении (1) приняты следующие обозначения: T_o^{cp} - средняя температура окружающей среды; E - солнечная суммарная радиация; S_{np} и η_{onn} - площадь и оптический КПД коллектора; V_δ - объем теплоносителя в баке, м³; c , c_{cm} - теплоемкость теплоносителя и стенки бака, Дж/(кг·К); ρ , ρ_{cm} - плотность теплоносителя и ограждения, кг/м³; r_n , r_δ , h_n , h_δ - наружные, внутренние радиусы и высоты бака аккумулятора, м; T , T_o - температуры теплоносителя и окружающей среды, К; R - радиус основания стеклянной банки, м; H - высота стеклянной банки, м; S_δ - площадь теплообменной поверхности бака аккумулятора, м²; d_{mp} , l_{mp} - диаметр и длина соединительного трубопровода СВУ, м; K , K_δ и K_{mp} - коэффициенты теплопередачи коллектора, бака аккумулятора и соединительного трубопровода СВУ, Вт/(м²·К).

Для определения коэффициенты теплопередачи бака аккумулятора и соединительного трубопровода СВУ теплопередачи K_δ , K_{mp} используем формулу, предложенную в [1]:

$$k_\delta = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{внб}} + \sum_1^n \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_{нб}}}}; \quad (2)$$

$$k_{mp} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{внмп}} + \frac{\delta_{узмп}}{\lambda_{узмп}} + \frac{1}{\alpha_{нмп}}}}. \quad (3)$$

где $\delta_n, \delta_{изтр}, \lambda_n, \lambda_{изтр}$ – толщины и коэффициенты теплопроводности n-ой изоляции бака аккумулятора и соединительного трубопровода; $\alpha_{нб}, \alpha_{итр}, \alpha_{внб}, \alpha_{витр}$ – коэффициенты тепло-восприятия и теплоотдачи внутренней и на-

ружной поверхности бака аккумулятора и соединительного трубопровода.

Продолжительность нагрева теплоносителя в СВУ до заданной температуры T_z

$$\tau_z = \frac{V_{\bar{\sigma}} \rho c + \pi \rho_{cm} c_{cm} (r_n^2 h_n - r_e^2 h_e)}{\pi \left(K(d_c H + R^2) + \frac{1}{3} d_c H \alpha_{c.o} \right) + K_{\bar{\sigma}} S_{\bar{\sigma}} + K_{mp} \pi d_{mp} l_{mp}} \times$$

$$\times \ln \left(T_z - T_o^{cp} - \frac{ES_{np} \eta_{онм} n}{\pi \left(K(d_c H + R^2) + \frac{1}{3} d_c H \alpha_{c.o} \right) + K_{\bar{\sigma}} S_{\bar{\sigma}} + K_{mp} \pi d_{mp} l_{mp}} \right) -$$

$$- \ln \left(T_x - T_o^{cp} - \frac{ES_{np} \eta_{онм} n}{\pi \left(K(d_c H + R^2) + \frac{1}{3} d_c H \alpha_{c.o} \right) + K_{\bar{\sigma}} S_{\bar{\sigma}} + K_{mp} \pi d_{mp} l_{mp}} \right) \quad (4)$$

Переданное тепло – потребителю в течение светового дня продолжительностью τ с температурой T_z Дж,

$$Q = V_{\bar{\sigma}} c \rho (T_z - T_x) \quad (5)$$

Вычисление характеристик и моделирование параметров СВУ производилась по специализированной программе, написанной в среде Delphi7. Разработанный программный продукт позволяет одновременно рассчитать располагаемое количество солнечной энергии и теплотехнические характеристики СВУ. Программа скомпилируется с файла программ.exe. В стартовом окне

«окно для выбора расчетов» содержатся следующие значки:

– переключатели «Расчет располагаемого количества солнечной радиации», «Расчет параметров трубчатого и плоского водонагревательных коллекторов» и «Расчет параметров солнечно-водонагревательной установки собранных из КСЭ». После выбора каждого из них появятся отдельные соответствующие формы «Расчет располагаемого количества солнечной радиации» (рис.1), «Расчет параметров трубчатого и плоского водонагревательных коллекторов» (рис.2) и «Расчет параметров солнечно-водонагревательной установки собранных из КСЭ» (рис.3).

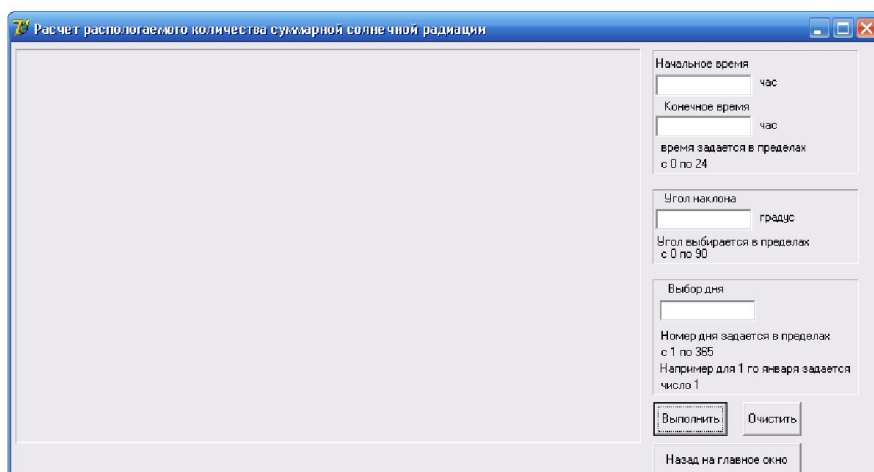


Рис.1. Форма для расчета располагаемого количества солнечной радиации.

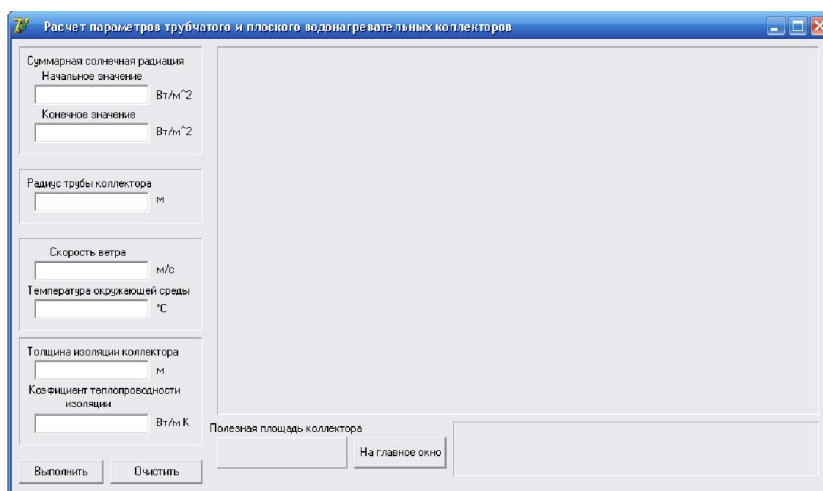


Рис.2. Форма для расчета параметров трубчатого и плоского водонагревательных коллекторов.

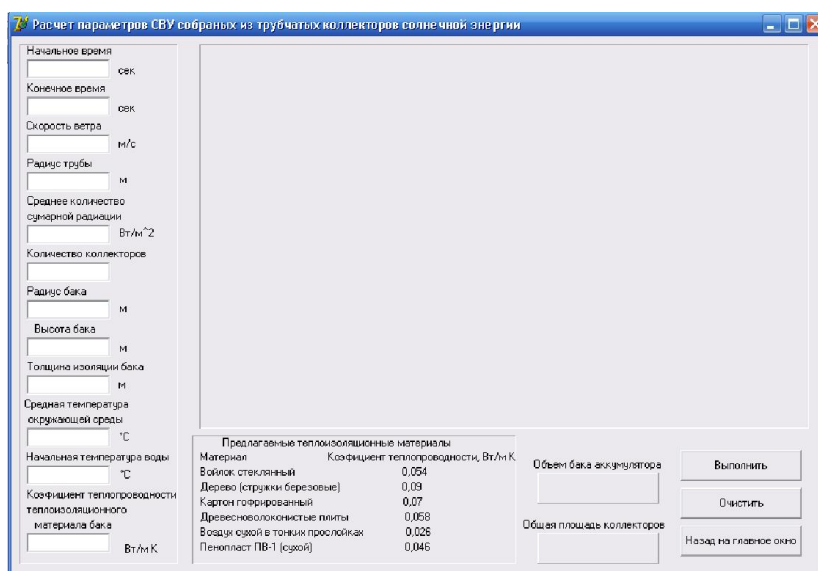


Рис.3. Форма для расчета параметров солнечно-водонагревательной установки собранных из КСЭ.

В расчетах использовались следующие исходные данные [2-3]:

$$T_o^{\text{cp}} = 293 \div 298 \text{K}; T_x = 290 \text{K}; S_{np} = 0,125 \text{m}^2;$$

$$E = 100 \div 900 \text{Вт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2; n = 12 \div 36; d_c = 0,15 \text{м}; H = 0,2 \text{м};$$

$$v = 0 \div 5 \text{м}/\text{с}; S_o = 1,25 \div 2,55 \text{м}^2; V_o = 0,1 \div 0,3 \text{м}^3;$$

$$d_{mp} = 0,015 \text{м}; l_{mp} = 6 \text{м}; \tau = 1 \div 12 \text{ч}; \delta_{cm} = 0,04 \text{м};$$

$$\delta_n = 0,4 \div 0,8 \text{м}; \delta_{изтр} = 0,02 \div 0,04 \text{м}; \lambda_{cm} = 0,74 \text{Вт}/\text{м} \cdot \text{К};$$

$$\lambda_n = 0,42 \div 0,9 \text{Вт}/\text{м} \cdot \text{К}; \lambda_{изтр} = 0,04 \text{Вт}/\text{м} \cdot \text{К};$$

$$\alpha_{вст} = 8,14 \text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}; \alpha_{нст} = 23,26 \text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К};$$

$$\alpha_{вб} = 10 \div 20 \text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}; \alpha_{нб} = 100 \div 300 \text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К};$$

Результаты расчета T в зависимости от времени нагрева при различных значениях количества коллекторов n приведены на рис.4. Видно, что температура воды в баке аккумулятора сильно зависит от количества коллекторов.

Для правильного выбора теплоизоляционного материала и его толщины проведен расчет, и его результаты приведены на рис.5. Как видно из

рисунка, например, при увеличении толщины войлочного покрытия $\delta_{из}$ от 4 до 15 см, величина $K_{из}$ уменьшается незначительно.

Выполнены расчеты суточной теплопроизводительности солнечной водонагревательной установки при изменении площади коллектора от 1 до 4 м² и его результаты приведены на рис. 6. Результаты расчетов показали, что увеличение площади более 3 м² в расчете на 200 литровый бак приводит к повышению максимальной температуры воды в баке и более раннему в течение дня достижению выбранных контрольных температур, но при этом вероятность ежедневного нагрева воды до требуемой температуры не возрастает. Таким образом, исходя из назначения установки, увеличение площади солнечного коллектора более 3 м² оказывается нецелесообразно, так как неоправданно повышает стоимость установки.

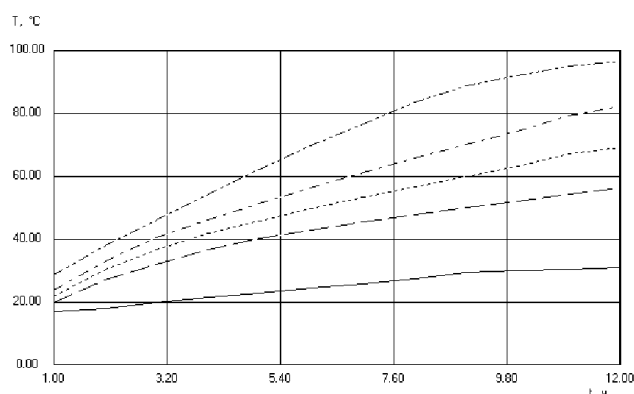


Рис.4. Зависимость изменения температуры воды в баке аккумулятора от времени нагрева при различных значениях количества коллекторов.

----- n =12, ----- n =18, - - - - - n =24, · · · · · n =30, ——— температура окружающей среды.

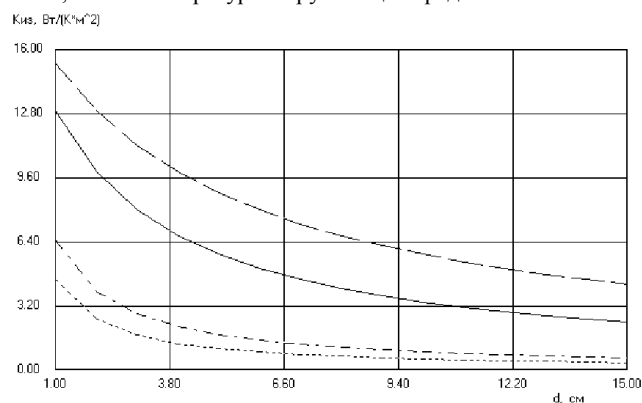


Рис.5. Зависимость изменения коэффициента теплопередачи бака – аккумулятора от толщины теплоизоляционного материала.

····· войлок, - · - · - · древесноволокнистые плиты (ДВП), ——— дерево, - - - - - бетон.

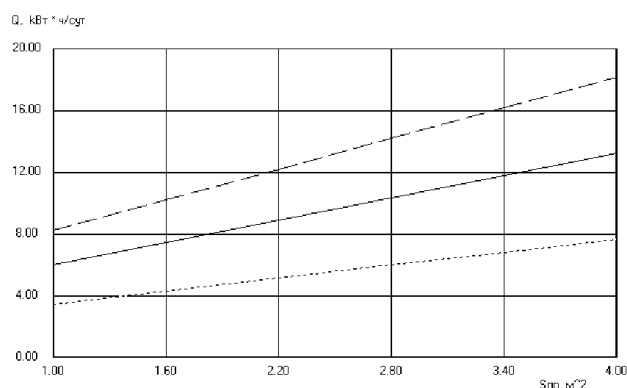


Рис.6. Зависимость изменения полезной энергии от площади тепловоспринимающей поверхности коллекторов СВУ при разных объемах бака – аккумулятора.

····· 0,1 м³, ——— 0,2 м³, - - - - - 0,3 м³.

Литература:

1. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. – Москва: Энергия, 1969.
2. Тепло-и массообмен. Теплотехнический справочник /АметистовЕ.В., Григорьев В.А. и др. / под редакцией Григорьева В.А. М.: энергоиздат., 1972, 512 с.
3. 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.
4. Мухитдинов М.М., Эргашев С.Ф. Солнечные параболоцилиндрические установки. – Т.: Фан, 1995.
5. Авезов Р.Р., Орлов А.Ю. Солнечные системы отопления и горячего водоснабжения. – Т.: Фан, 1988.

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