

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ СОЛНЕЧНОЙ ВОДОНАГРЕВАТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ С ИНТЕНСИВНЫМ НАГРЕВОМ ВОДЫ.

Рахимов Дилмурод Марипжанович
Ошский технологический университет
Email: dur1203@mail.ru

<https://doi.org/10.5281/zenodo.10454711>

Аннотация: Расчетным методом исследована зависимость объема первого-малого бака-аккумулятора солнечной водонагревательной установки для интенсивного нагрева воды и определены его оптимальные объемы в зависимости от плотности интегрального солнечного излучения. Результаты исследований сведены в номограмму.

Ключевые слова: солнечная водонагревательная установка, стоимость, годовой экономический эффект, срок окупаемости.

OPTIMIZATION OF PARAMETERS OF A SOLAR WATER HEATING INSTALLATION WITH INTENSIVE WATER HEATING.

Abstract: Calculated the dependence of the first small - volume tank for hot water of the solar water heater installation and determined its optimal volumes, depending on the density of the integral solar. Results of calculations are summarized in monogram.

Key words: solar water heating installation, cost, year economic efficiency, payback period

ВВЕДЕНИЕ

В работах [1,2] описана разработанная нами солнечная водонагревательная установка (СВУ), содержащая бак-аккумулятор (БА), состоящий из двух неравных объемов, причем вода, находящаяся в меньшем баке аккумулятора (МБА), нагревается быстрее, чем вода, находящаяся в большом баке-аккумуляторе (ББА). Воду как в МБА, так и в ББА нагревает горячая вода, проходящая через змеевик, который, в свою очередь, последовательно проходит через МБА и ББА.

Скорости нагрева воды в МБА, следовательно и в ББА в первую очередь зависят от плотности интегрального солнечного излучения (ИСИ) и соотношения объемов МБА и ББА.

В данной статье изложены результаты теоретических исследований указанных выше зависимостей и найдены оптимальные объемы МБА а также соотношения объемов МБА и ББА в зависимости от плотности ИСИ.

ГЛАВНАЯ ЧАСТЬ

При выполнении расчетов нами приняты следующие допущения:

1. Режим передачи энергии от греющей воды к нагреваемой воде принят стационарным из-за низкой скорости изменения температуры греющей воды во времени;
2. Теплофизические данные теплоносителей и твердых поверхностей теплообмена взяты при их средних арифметических значениях.

Общий ход расчетов следующий. В первую очередь определяем коэффициент теплопередачи от горячей воды в змеевике к нагреваемой воде в МБА.

Сначала определяем коэффициенты теплопередачи α_1 от рабочей воды к внутренней стенке змеевика – теплообменника, расположенного внутри МБА.

Для этого определяем режим движения воды в змеевике /3/:

$$Re = vd/\nu \quad (1)$$

Максимальную скорость воды примем равной 0,2 м/с, равной ее максимальному значению, наблюдающейся на практике. Гидродинамические характеристики воды берем для средней температуры воды в СВК $(80+20)/2 = 50^\circ\text{C}$. Для данной температуры $\nu = 17,95 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$, $d=0,025 \text{ м}$ (внутренний диаметр змеевика) /4/.

Для этих значений получим $Re=1392$, что намного меньше его критического значения. Следовательно, режим движения воды в трубе змеевика – теплообменника – ламинарный.

Определяем, оказывает ли влияние на теплоотдачу от воды к стенке трубы змеевика естественная конвекция воды в нем.

Для этого вычислим критерий Релея:

$$Ra = GrPr = g\beta\Delta t l^3/\nu a \quad (2)$$

Для нашего случая $g=9,8$, $\beta=4,49 \cdot 10^{-4} \text{ К}^{-1}$, $\Delta t=60^\circ\text{C}$, $\nu=0,556 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$, $a=15,5 \cdot 10^{-6}$, $Pr=3,59$ /4/. В качестве определяющего размера нами принят внутренний диаметр змеевика – 0,025 м.

Расчеты дают $Ra=47883,7$, что меньше его критического значения – $5 \cdot 10^5$ /4/.

Следовательно, естественная конвекция пренебрежимо мало влияет на теплопередачу от воды к стенке трубы.

Определяем коэффициент конвективного теплообмена (коэффициент теплоотдачи) от рабочей воды к внутренней стенке змеевика. Для вязкостного режима течения жидкости, что имеет место в нашем случае, критериальная зависимость для расчета процесса теплоотдачи имеет вид /4/:

$$Nu_c = C (Pe_{rd}/l)^{1/3} (\mu_1/\mu_2)^n \varepsilon \quad (3)$$

В свою очередь /4/:

$$Pe_{rd}/l = 4GC_{ж}/\pi l \lambda_{ж} \quad (4)$$

Индексы «с» и «ж» означают, что физические параметры жидкости выбираются соответственно при температуре стенки t_c и температуре жидкости $t_{ж}$.

При соотношении коэффициентов динамической вязкости жидкости при температурах стенки и самой жидкости

$$0,08 < (\mu_c/\mu_{ж}) < 10 \quad (5)$$

значения коэффициентов уравнения (3) равны: $C=1,55$, $n=-1/6$ /4/.

ε – поправочный коэффициент, учитывающий влияние участка гидродинамической стабилизации потока воды в начале трубы:

В нашем случае $\mu_c = 653,3 \cdot 10^{-6} \text{ Н/с м}^2$ и $\mu_{ж} = 549,4 \cdot 10^{-6} \text{ Н/с м}^2$ /5/.

Их отношение дает величину 1,19, следовательно, значения коэффициентов в уравнении (3) равны: $C=1,55$, $n=-1/6$ /4/.

Далее рассчитаем величину поправочного коэффициента

$$\varepsilon = 1 + 0,01 (Pe_{rd}/l)^{2/3} \Psi \quad (6)$$

В свою очередь /4/:

$$\Psi = (\mu_c/\mu_{ж})^{-0,56} \quad (7)$$

Для Ψ получаем значение 1,09 ($\Psi=1,09$).

Тогда, согласно /4/, $C=1,55$, $n=-1/6$.

Путем итерации определяем среднюю температуру внутренней стенки теплообменника – змеевика t_{c1} , который получается равным $t_{c1}=45,2^\circ\text{C}$.

Вычисляем значение ε :

$$\varepsilon = 1 + 0,01(Re_1 d/l)^{2/3} \Psi = 1 + 0,01[(4\nu\rho S C_p)/\pi\lambda]^{2/3} \quad (8)$$

При этом при 50°C для воды $\rho = 972 \text{ кг/м}^3$, $C_p = 4,174 \text{ кДж/кг град}$, $\lambda_{ж} = 0,648 \text{ Вт/м град}$.
Расчеты дают величину $\varepsilon = 1,06$.

Далее по формуле (3) рассчитываем значение критерия Нуссельта, которое дает $Nu_c = 10,21$.

С помощью формулы /4/

$$Nu = \alpha d / \lambda_{ж} \quad (9)$$

определяем значение конвективного теплообмена между жидкостью и стенкой змеевика ($d = 0,025 \text{ м}$, $\lambda_{ж} = 0,648 \text{ Вт/м град}$), которая дает величину

$$\alpha_1 = 264,8 \text{ Вт/м}^2 \text{ град}$$

Далее определяем значение коэффициента конвективного теплообмена между нагреваемой водой в первом баке-аккумуляторе и внешней стенкой теплообменника – змеевика α_2 . Для этого используем формулу для расчета теплообмена при внешнем обтекании тел. /4/:

$$Nu_{ж} = C(Gr Pr)^n_{ж} \quad (10)$$

Так как у нас $Ra = (GrPr) = 47883,7$, то согласно условию /4/:

$$5 \times 10^2 < (GrPr) < 2 \times 10^7 \quad (11)$$

Следовательно /4/, значения коэффициентов в уравнении (10) равны: $C = 0,54$, $n = 1/4$.

Расчеты дают величину $Nu = 7,98$.

Расчеты при значениях внешнего диаметра змеевика 0,028 м и коэффициенте теплопроводности воды при 20°C, равном 0,640 Вт/м град по формуле (10) дают величину $\alpha_2 = 182,5 \text{ Вт/м}^2 \text{ град}$.

Для изогнутой трубы вводится поправочный коэффициент /4/:

$$\varepsilon = 1 + 1,77 (d/R) \quad (12)$$

где d – внешний диаметр трубы и R – радиус змеевика (в нашем случае $R = 0,125 \text{ м}$).

Тогда значение $\varepsilon = 1,39$.

Следовательно, окончательно для α_2 получим величину ($\alpha_2 \varepsilon$):

$$\alpha_2 \varepsilon = 253,6 \text{ Вт/м}^2 \text{ град}$$

Коэффициент теплопередачи от греющей воды, поступающей в змеевик к нагреваемой воде, находящейся в МБА для 1 метра трубы змеевика будет равен /5/:

$$k = \{ (1/\pi d_1 \alpha_1) + [1/\pi \lambda_c \ln(d_1/d_2)] + (1/\pi \alpha_2) \}^{-1} \quad (13)$$

Расчеты дают для данного коэффициента величину $k = 10,75 \text{ Вт}$.

Змеевик (его виток) имеет средний радиус кривизны 0,26 м и длина одного витка составляет 0,71 м. Длина всего змеевика, имеющего в нашем случае пять витков, соответственно будет равна 3,54 м. С учетом прямых участков змеевика она будет равна 3,6 м. Тогда площадь теплообмена змеевика составит 0,31 м².

Количество передаваемого со всей поверхностью змеевика теплота при разности температур (теплоносителей) внутренней и наружной поверхностей стенок змеевика Δt за время $\Delta \tau$ определится как

$$Q = kL \Delta t \Delta \tau \quad (14)$$

Для нагрева воды массой m от температуры $t_1 = 20^\circ\text{C}$ до температуры $t_2 = 50^\circ\text{C}$ необходимо $Q = C_p m (t_2 - t_1)$ Дж энергии.

Нами рассчитаны время, необходимое для нагрева различного количества воды - от 20 до 40 литров в МБА СВУ до 50°C, когда она считается пригодной для использования в

бытовых целях /7/ в зависимости от плотности падающего интегрального солнечного излучения.

При этом нами использовалась эмпирическая зависимость температуры воды, выходящей из солнечного водонагревательного коллектора (СВК) СБУ от плотности интегрального солнечного излучения, которые были получены во время экспериментов с СБУ.

Как показывают эксперименты, при правильном соотношении объема БА и площади СВК максимальное значение температуры воды на выходе из СВК доходит до 80-85°C (при максимально наблюдающихся плотностях интегрального солнечного излучения 850-900 Вт/м²) /1/.

Результаты расчетов сведены в номограмму, которая показана на рис.1 Здесь будет номограмма.

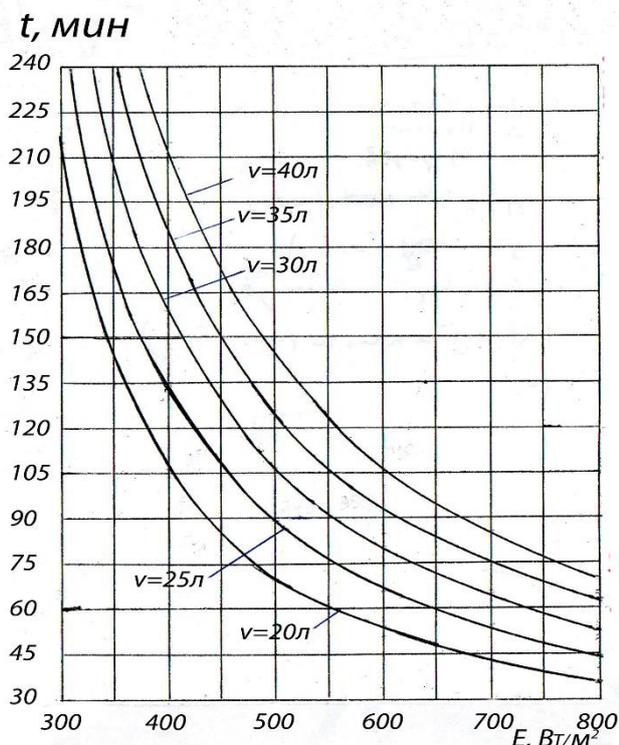


Рис.1. Номограмма для определения оптимального объема малого бака-аккумулятора СБУ в зависимости от плотности солнечного излучения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как видно из рисунка, между временем нагрева воды в баке-аккумуляторе и плотностью интегрального солнечного излучения при всех рассмотренных объемах бака-аккумулятора наблюдается экспоненциальная зависимость.

Таким образом, используя номограмму можно определить оптимальный объем МБА или, имея неизменный объем МБА можно определить время, необходимое для нагрева воды в нем до температуры 50°C, что по санитарно-гигиеническим нормам пригодна для использования в качестве горячей воды для бытовых нужд /7/.

Литература

1. Разработка и исследование малоинерционной солнечной водонагревательной установки//Наука, образование, техника. -2020. -№ 7. –С.88-93.
2. Солнечная водонагревательная установка. Бюллетень изобретений, 2017, №2.
3. Чугуев Р.Р. Гидравлика.Учебн. Для вузов. Л., Энергия, 1985, 600с.
4. Краснощеков Е.А., Сукомел А.С. Задачник по теплопередаче. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1983, 224 с.
5. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. М.: Энергия, 1983, 319 с.
6. Кутателадзе С.С. Теплопередача и гидродинамическое сопротивление. Справочное пособие. М.: Энергоатомиздат, 1990, 366 с.