

[DOI:10.26104/NNTIK.2023.69.65.006](https://doi.org/10.26104/NNTIK.2023.69.65.006)

*Турсунбаев Ж.Ж., Смаилов Э.А., Кунелбаев М.М.,  
Султанова Н.Б., Эркинбай уулу Н.*

**СИФОНДУУ ЖАЛПАК КҮН КОЛЛЕКТОРУНУН МОДЕЛИ**

*Турсунбаев Ж.Ж., Смаилов Э.А., Кунелбаев М.М.,  
Султанова Н.Б., Эркинбай уулу Н.*

**МОДЕЛЬ ПЛОСКОГО СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА С СИФОНОМ**

*Zh. Tursunbaev, E.A. Smailov, M.M. Kunelbaev  
N. Sultanova, Erkinbay uulu N.*

**MODEL OF A FLAT-PLATE SOLAR COLLECTOR WITH A SIPHON**

УДК: 662.997

Сифондуу жалпак күн коллекторлору күн технологиясы тармагында келечектүү багыт болуп саналат. Алардын эффективдүүлүгү, ишенимдүүлүгү жана ар кандай шарттарда колдонулушу аларды өнөр жай жана турак жай колдонуучулары үчүн жагымдуу чечим кылат. Бул технология дагы эле өнүгүү стадиясында болсо да, анын күн энергиясын колдонуу үчүн потенциалы келечектүү көрүнөт жана андан аркы изилдөөлөрдүн жана ишке ашыруунун маанилүүлүгүн баса белгилейт. Сунушталган күн суу жылытуу системасынын долбоору жалпак күн коллекторунан, сактоочу резервуардан жана орнотуу түтүктөрүнөн турат. Плот соргуч пластина түтүк менен жакшы байланышты камсыз кылуу үчүн оюктарга суу түтүктөрүн жана коллекторлорду жайгаштыруу үчүн толкундуу баракка түзүлгөн. Жалпак плиталуу коллектор колдонуунун каалаган мезгилинде эң чоң күн радиациясын кабыл алууга багытталган. Эң жакшы туруктуу багыт – Түндүк жарым шарда түштүк. Бул абалда жыл бою мыкты иштеши үчүн коллектордун горизонталдык тегиздикке эңкейиши болжол менен болот. Жергиликтүү кеңдиктен  $10^\circ$  жогору. Иштелип чыккан термосифондук күн суу жылытуу системасынын коллекторунун жылуулук мүнөздөмөлөрү коллектордун сиңирүү пластинкасындагы энергия менен коллектордун агым түтүктөрүндөгү суунун балансына негизделген.

**Негизги сөздөр:** жалпак күн коллекторлору, сифон, резервуар, орнотуу түтүктөрү, кеңдик, энергия балансы, жылуулук жоготуу коэффициенти.

Плоские солнечные коллекторы с сифоном представляют собой перспективное направление в области солнечных технологий. Их эффективность, надежность и применимость в различных условиях делают их привлекательным решением для промышленных и домашних потребителей. Несмотря на то, что эта технология все еще находится в стадии развития, ее потенциал в области использования солнечной энергии выглядит многообещающим, что подчеркивает важность дальнейших исследований и внедрения в практику. Предлагаемая конструкция солнечной системы нагрева воды состоит из плоского солнечного коллектора, накопительного бака и монтажных труб. Стальная пластина поглотителя был сформирован в виде гофрированного листа для размещения водопроводных труб и коллекторы в пазах для обеспечения хорошего контакта с трубами. Плоский коллектор ориентирован таким образом, чтобы приобретать наибольшую солнечную радиацию в течение желаемого сезона использования. Лучшая неподвижная ориентация – на юг в Северном полушарии. В этом положении наклон коллектора к горизонтальной плоскости для наилучшей круглогодичной работы составляет примерно  $10^\circ$  больше местной географической широты. Тепловые характеристики

коллектора разработанной термосифонной солнечной водонагревательной системы обоснованы балансом энергии на абсорбционной пластине коллектора и воды в расходомерных трубках коллектора.

**Ключевые слова:** плоские солнечные коллекторы, сифон, накопительный бак, монтажные трубы, географическая широта, баланс энергии, коэффициент тепловых потерь.

Flat-plate solar collectors with a siphon represent a promising direction in the field of solar technology. Their efficiency, reliability and applicability in a variety of environments make them an attractive solution for industrial and residential users. Although this technology is still in its developmental stages, its potential for solar energy applications looks promising, highlighting the importance of further research and implementation. The proposed design of a solar water heating system consists of a flat-plate solar collector, a storage tank and installation pipes. The steel absorber plate was formed into a corrugated sheet to accommodate the water pipes and manifolds in the grooves to ensure good contact with the pipes. The flat-plate collector is oriented to receive the greatest solar radiation during the desired season of use. The best fixed orientation is south in the Northern Hemisphere. In this position, the inclination of the collector to the horizontal plane for best year-round operation is approximately  $10^\circ$  more than local latitude. The thermal characteristics of the collector of the developed thermosiphon solar water heating system are based on the balance of energy on the absorption plate of the collector and water in the flow tubes of the collector.

**Key words:** flat solar collectors, siphon, storage tank, installation pipes, latitude, energy balance, heat loss coefficient.

**Введения.** В последние десятилетия солнечная энергия привлекает все больше внимания как экологически чистый и устойчивый источник энергии. При развитии технологий солнечные коллекторы стали неотъемлемой частью систем для преобразования солнечного света в тепловую и электрическую энергию [1-4]. Однако, для дальнейшего улучшения эффективности и экономической целесообразности, исследователи постоянно работают над совершенствованием дизайна солнечных коллекторов. В этом контексте, модель плоского солнечного коллектора с сифоном представляет собой инновационное решение и перспективное направление в области солнечных технологий. Их эффективность, надежность и применимость в различных условиях делают их привлекательным решением для промышленных и домашних потребителей.

Плоские солнечные коллекторы с сифоном, являются инновационным решением для эффективного использования солнечной энергии. Преимущества плоских солнечных коллекторов с сифоном являются: - эффективность, то есть использование сифона позволяет более эффективно передавать тепло от теплопоглощающей поверхности к теплоносителю. Это повышает общую эффективность коллектора, особенно в условиях переменной интенсивности солнечного излучения; - надежность, система с сифоном обеспечивает надежный и стабильный теплотранспорт, что делает ее менее чувствительной к изменениям температуры и атмосферных условий; - применимость в холодных климатических условиях; - плоские солнечные коллекторы с сифоном проявляют отличную производительность даже в холодных климатических зонах, где традиционные модели могут столкнуться с проблемами замерзания; - минимизация потерь тепла, сифонный дизайн позволяет сократить потери тепла в процессе транспортировки, что увеличивает общую эффективность системы; - горячая вода, идеально подходит для обогрева воды в домах, бассейнах, а также для горячего водоснабжения в промышленности.

Несмотря на то, что эта технология все еще находится в стадии развития, ее потенциал в области использования солнечной энергии выглядит многообещающим, что подчеркивает важность дальнейших исследований и внедрения в практику.

Принцип работы плоского солнечного коллектора с сифоном: Основная идея этой модели заключается в использовании сифонного принципа для улучшения теплопередачи и обеспечения более эффективного сбора солнечной энергии. Плоский солнечный коллектор обычно состоит из теплопоглощающей поверхности, теплоносителя, и сифонной трубы. Когда солнечный свет попадает на поверхность коллектора, тепло поглощается и передается теплоносителю. Затем сифон, который частично заполнен водой, используется для эффективного транспортирования тепла к месту использования или накопителю.

**Результаты исследования.** Предлагаемая конструкция солнечной системы нагрева воды (рис. 1) состоит из плоского солнечного коллектора, накопительного бака и монтажных труб. Стальная пластина поглотителя был сформирован в виде гофрированной листа для размещения водопроводных труб и коллекторы в пазах для обеспечения хорошего контакта с трубами. Каждая труба длиной 1 м и имеет внутренний диаметр 17 мм и внешний диаметр 20 мм. Трубы размещены близко друг к другу по горизонтали с зазором 83 мм между ними и приварены с обоих концов к коллекторным трубам внутренним диаметром 22 мм, внешним диаметром 25 мм. боковой диаметр и длина 700 мм каждая.



Рис. 1. Плоский солнечный коллектор с водопроводными трубами.

Узел абсорбер-водопровод образует внутреннюю коробку, которая, в свою очередь, установлена во внешней коробке, участок между узлом поглотитель-водопровод и внешней коробкой заполнено стекловатой в качестве изоляционного материала. Внешняя поверхность коробки далее покрывается прозрачным простым стеклом толщиной 4 мм, а воздушный промежуток между пластиной и стеклянной крышкой составляет 76 мм. Габаритные размеры плоского солнечного коллектора составляют 1130 мм x 830 мм x 190 мм, эффективная площадь остекления – 0,7 м<sup>2</sup>. Соединение между плоским коллектором и накопительным баком состоит из двух частей; обратная труба и подающая труба. Обратная труба объединяет выход накопительного бака и вход коллектора, а подающая труба соединяет выход коллектора и вход накопительного бака вместе.

Плоский коллектор ориентирован таким образом, чтобы приобретать наибольшую солнечную радиацию в течение желаемого сезона использования. Лучшая неподвижная ориентация – на юг в Северном полушарии. В этом положении наклон коллектора к горизонтальной плоскости для наилучшей круглогодичной работы составляет примерно. На 10° больше местной географической широты. Данный подход применялся в данной работе, поглощающие поверхности покрашены черной непрозрачной краской. Поглощающая пластина и поглощающая поверхность труб поглощают солнечное излучение, а поглощенное тепло далее передается воде в трубах. В режиме естественной конвекции вода течет по трубам под действием термосифонной силы и поступает в накопительный бак.

Тепловые характеристики коллектора термосифонной солнечной водонагревательной системы можно описать балансом энергии на абсорбционной пластине коллектора и воды в расходомерных трубках коллектора. Для упрощения термического анализа системы при разработке стационарной модели [5] сделаны следующие допущения: (а) работа коллектора находится в установившихся условиях; (б) расходомеры трубки параллельны друг другу, а градиенты температуры вокруг трубок незначительны; (в) перепад температур между верхом и низом пластины коллектора и остеклением незначителен; (г) тепловой поток одномерен через чехлы, а также через заднюю изоляцию; (д) теплофизические свойства материалов не зависят от температуры; и (е) потери тепла от передней и задней части абсорбера соответствуют одной и той же температуре окружающей среды. Рассмотрим пластину абсорбера с конфигурацией трубок, как показано на рисунке 1. Расстояние между трубками равно «А», диаметр трубки – «d», а толщина пластины абсорбера – «h». Исходя из вышеизложенных предположений, пластина над связкой имеет некоторую локальную температуру T<sub>0</sub>. Тогда область между осевой линией, разделяющей трубки, и основанием трубки можно рассматривать как классическую задачу о плавниках. Ребро длиной (A-D)/2 показано на рисунке 2, а элементная область шириной dx для единичной длины в направлении потока показана на рисунке 2. К – поглощенная солнечная энергия на единицу площади (Вт/м<sup>2</sup>). Энергетический баланс по этому элементу:

$$K \partial x + U_L \partial x (T_a - T) + (-kd \frac{\partial T}{\partial x}) \Big|_x - (kd \frac{\partial T}{\partial x}) \Big|_{x+\partial x} = 0 \quad (1)$$

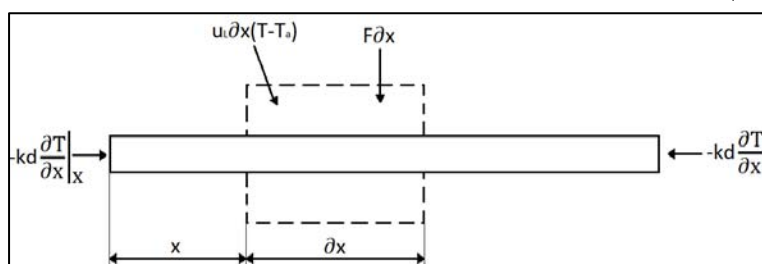


Рис. 2. Размеры поглотительной пластины и трубки.

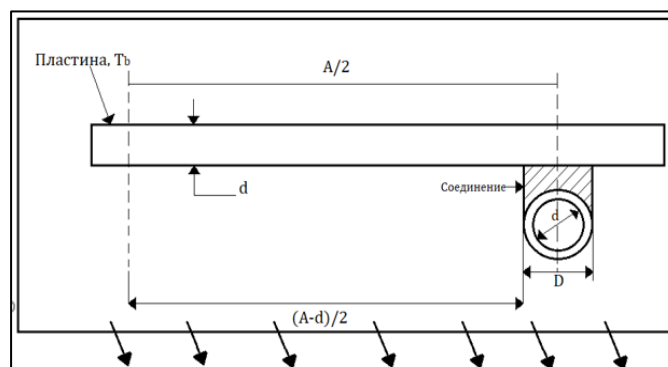


Рис. 3. Ребристый элемент.

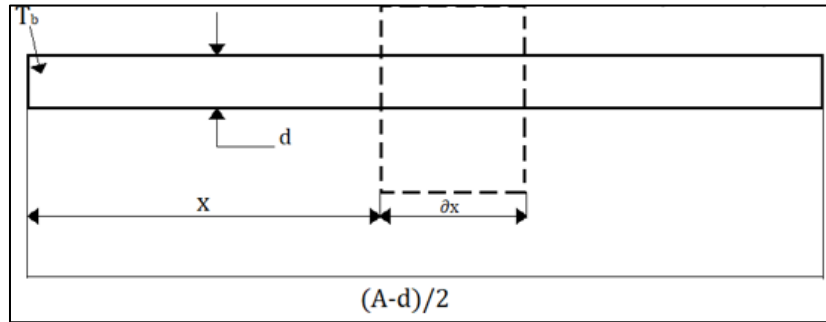


Рис. 3. Энергетический баланс на ребренном элементе.

Разделив на  $dx$  и найдя предел, когда  $dx$  приближается к нулю, получим:

$$\frac{d^2T}{dx^2} = \frac{U_L}{kd} \left( T - T_a - \frac{K}{U_L} \right) \quad (2)$$

Двумя граничными условиями, необходимыми для этого дифференциального уравнения второго порядка, являются симметрия на центральной линии известные корневые температуры

$$\left. \frac{dT}{dx} \right|_{x=0} = 0 \text{ и } T \Big|_{x=(A-d)/2} = T_b$$

Если мы определим

$$m^2 = \frac{U_L}{kd} \quad (3)$$

и

$$C = T - T_0 - \frac{K}{U_L} \quad (4)$$

уравнение (2) становится

$$\frac{d^2C}{dx^2} - m^2 = 0 \quad (5)$$

который имеет граничные условия

$$C \Big|_{x=(A-D)/2} = T_b - T_a - \frac{K}{U_L} \quad (6)$$

Тогда общее решение таково:

$$C = B_1 \sinh nx + B_2 \cosh nx \quad (7)$$

Константы  $C_1$  и  $C_2$  можно найти, подставив граничные условия уравнение (7) в общее решение, уравнение (8). Результаты:

$$\frac{T - T_a - K / U_L}{T_b - T_a - K / U_L} = - \frac{\cosh mx}{\cosh m(A-D)/2} \quad (8)$$

$$\frac{T - T_a - F / U_L}{T_b - T_a - F / U_L} = - \frac{\cosh mx}{\cosh m(A-D)/2} \quad (9)$$

Энергию, передаваемую в область трубки на единицу длины в направлении потока, можно найти,

вычислив по закону Фурье у основания ребра

$$W = -kd \left. \frac{dT}{dx} \right|_{x=(A-D)/2} \quad (10)$$

$$W = \frac{kd m}{U_L} [K - U_L(T_b - T_a)] \tanh m(A-D)/2$$

Уравнение (10) учитывают энергию, собранную только на одной стороне трубки; поэтому, для обеих сторон и замена уравнения (4), накопление энергии равно

$$W = (A-D)F [K - U_L(T_b - T_a)] \frac{\tanh(A-D)/2}{m(A-D)/2} \quad (11)$$

Удобно использовать концепцию эффективности стабилизатора, чтобы переписать уравнение (11) как

$$W = (A-D)F [K - U_L(T_b - T_a)] \quad (12)$$

$$F = \frac{\tanh m(A-D)/2}{m(A-D)/2} \quad (13)$$

Функция «F» представляет собой стандартную эффективность плавников для прямых плавников с прямоугольным профилем. Полезный коэффициент усиления коллектора также включает в себя энергию, собранную над областью трубки. Полезная энергия, для трубчатой области равен

$$W_t = D [K - U_L(T_b - T_a)] \quad (14)$$

а полезная энергия коллектора на единицу длины в направлении потока переходит в:

$$W_{\text{пол}} = [(A-D)F + D] [K - U_L(T_b - T_a)] \quad (15)$$

Полезная энергия от уравнения (15) необходимо перенести в жидкость. Сопротивление тепловому потоку к жидкости возникает из-за связи и сопротивления жидкости к трубке. Полезную энергию можно выразить через эти два сопротивления следующим образом:

$$W_{\text{пол}} = \frac{T_b - T_f}{\frac{1}{h\pi D_i} + \frac{1}{C_b}} \quad (16)$$

где:  $D$  – внутренний диаметр трубы, а  $h_1$  – коэффициент теплопередачи между жидкостью и стенкой трубы. Проводимость связи  $C_b$  может быть выражена как [6]:

$$C_b = \frac{k_b b}{\zeta} \quad (17)$$

$T_b$  можно исключить из рассмотрения, чтобы получить выражение полезной энергии через известные физические параметры и локальную температуру жидкости. Решение уравнения (16) для  $T_b$ , подставив его в уравнение (15) и решив результат для полезной энергии на единицу длины, получим:

$$W'_{\text{пол}} = WF' [K - U_L(T_f - T_a)] \quad (18)$$

Где:  $F'$  – коэффициент эффективности коллектора, определяемый как

$$F' = \frac{1/U_L}{W(\frac{1}{U_L(D+(W-D)F)} + \frac{1}{C_b} + \frac{1}{\pi D_i h})} \quad (19)$$

Если коллектор имеет длину « $L$ » в направлении потока и количество трубок в коллекторе равно « $n$ », то тепло, полученное коллектором, находится путем умножения уравнения (18) на  $L_n$ :

$$Q = WLnF'K - U_L(T - T_a) \quad (20)$$

$$Q = AF' (K - U_L(T - T_a))$$

Где:  $A_c$  – общая площадь коллектора ( $m^2$ ). Полезная энергия, полученная за счет течения жидкости в коллекторных трубках ( $Q$ ), равна путем умножения уравнения (20) на коэффициент расхода коллектора [7]:

$$Q_{\text{пол}} = A_c F' F'' (K - U_L(T - T_a)) \quad (21)$$

Коэффициент теплоотвода коллектора ( $F_R$ ) представляет собой произведение коэффициента полезного действия коллектора ( $F'$ ) и коэффициента расхода коллектора ( $F''$ ), поэтому уравнение (21) можно записать в виде:

$$Q_{\text{пол}} = A_c F_R (K - U_L(T - T_a)) \quad (22)$$

Общий коэффициент тепло потерь коллектора ( $U_L$ ) состоит из верхних и нижних потерь. Для системы с одинарным стекляннным покрытием коэффициент верхних потерь от коллекторной пластины до окружающей среды определяется как [6]:

$$U_{cp} = \frac{1}{R_{nl} + R_{cm}} \quad (23)$$

Где:  $R_{\text{пл}}$  – сопротивление тепловому потоку между пластиной и покровным стеклом ( $m^2.K/Вт$ ); и  $R_{\text{ст}}$  – сопротивление тепловому потоку между покровным стеклом и окружающей средой ( $m^2.K/Вт$ ). Полная формулировка, приводящая к вычислению  $R_{\text{пл}}$  и  $R_{\text{ст}}$ , находится у Даффи и Бекмана [2]. Сопротивление тепловому потоку через нижнюю часть коллектора обусловлено изоляцией и определяется по формуле (24):

$$U_b = k/z \quad (25)$$

Где:  $k$  – теплопроводность изоляции ( $Вт/м.K$ ); и  $z$  – толщина изоляции ( $м$ ).

Кроме этого:

$$U_L = U_t + U_b \quad (26)$$

Общий коэффициент тепловых потерь ( $U$ ) используется для оценки полученного тепла. Следовательно,  $U_1 = U_2 + U_b$  коллектор ( $Q$ ) и полезную энергию, получаемую жидкостью, текущей в трубках коллектора ( $Q_u$ ), по формулам. (20) и (22), а эффективность коллектора ( $\eta_c$ ) получается по уравнению (26):

$$\eta_c = \frac{Q_{\text{пол}}}{A_c I} \quad (27)$$

Теоретические данные были получены путем варьирования различных входных данных модели: температуры жидкости на входе в коллектор ( $T_i$ ), температуры окружающей среды ( $T_a$ ) и интенсивности солнечного излучения ( $I$ ).

#### Заключение:

1. Плоские солнечные коллекторы с сифоном представляют собой перспективное направление в области солнечных технологий. Их эффективность, надежность и применимость в различных условиях делают их привлекательным решением для промышленных и домашних потребителей. Несмотря на то, что эта технология все еще находится в стадии развития, ее потенциал в области использования солнечной энергии выглядит многообещающим, что подчеркивает важность дальнейших исследований и внедрения в практику.

2. Предложена конструкция солнечной системы нагрева воды, которая состоит из плоского солнечного коллектора, накопительного бака и монтажных труб. Стальная пластина поглотителя был сформирован в виде гофрированного листа для размещения водопроводных труб и коллекторы в пазах для обеспечения хорошего контакта с трубами.

3. Плоский коллектор ориентирован таким образом, чтобы приобретать наибольшую солнечную радиацию в течение желаемого сезона использования. Лучшая неподвижная ориентация – на юг в Северном полушарии. В этом положении наклон коллектора к горизонтальной плоскости для наилучшей круглогодичной работы составляет примерно. На  $10^\circ$  больше

местной географической широты.

4. Тепловые характеристики коллектора разработанной термосифонной солнечной водонагревательной системы обоснованы балансом энергии на абсорбционной пластине коллектора и воды в расходомерных трубках коллектора.

**Литература:**

1. Турсунбаев Ж.Ж. Основные параметры приемника солнечного излучения [Текст] / Ж.Ж. Турсунбаев. – Бишкек: Вестник Кыргызстана, №2(2), 2022. – С. 156-164.
2. Tursunbaev Zh.J. Investigation of the parameters of the solar radiation receiver Stirling engine. International Conference «Scientific research of the SCO countries: synergy and integration» Part 2, February 10, 2023, Beijing, PRC, p. 157-166.
3. Турсунбаев Ж.Ж. Особенности работы солнечных установок с эффектом сифона [Текст] / Ж.Ж. Турсунбаев, А.А. Тагайматова. – Бишкек: Вестник КНУ им. Ж.Баласагына, №3(111), 2022. – С. 346-352.
4. Турсунбаев Ж.Ж. Возможности и эффективность использования солнечных нагревателей [Текст] / [Турсунбаев Ж.Ж., Камилов К.С., Исламов М., Абдыкадыров А.Б.]. – Б., Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана, №7, 2023.
5. Jansa, P., Chungpaibulpatana, S. & Limmeechokchai, B. (2004). A simulation model for predicting the performance of a built-in-storage solar water heater. *Thammasat International Journal of Science and Technology*, 9(4), 47-60 p.
6. Duffie, J.A., Beckman, W.A. (1991). *Solar engineering of thermal processes*. 2nd Edition, John Wiley and Sons New York.
7. Ismail K.A.R., Abogderah M.M. (1998). Performance of a heat pipe solar collector. *Journal of Solar Energy Engineering, Transactions of the ASME*, 120, 51-59 p.
8. Кенжаев И.Г., Турсунбаев Ж.Ж. Анализ термодинамических процессов происходящих в энергоустановках // Известия ВУЗов (Кыргызстан). 2011. №6. С. 16-17. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26534681>
9. Турсунбаев Ж.Ж. Определение площади миделя параболического концентратора для солнечной энергетической установки // Вестник Кыргызстана. 2022. №2-2. С. 148-156. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50397455>