



## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НА ОСНОВЕ ТЕПЛОВЫХ СВОЙСТВ ЦИРКУЛЯЦИОННОЙ ТЕПЛОВОЙ ТРУБЫ

Очиллов Л.И., Мирзаев М.С., Самиев К.А.

Бухарский государственный университет, Бухара, Узбекистан

**Аннотация.** В данной статье теоретические расчеты процессов теплообмена, происходящих в циркуляционной тепловой трубе, сравниваются с экспериментальными результатами. При этом были определены экономические и экологические показатели тепловой трубы. Эксперименты проводились в естественных условиях с помощью тепловой трубы кольцевого типа. В ходе экспериментальных исследований фиксировались почасовые изменения солнечной радиации в течение суток, почасовые изменения температуры окружающей среды, почасовые изменения скорости ветра и изменения температуры. почасовое изменение температуры в участках тепловой трубки, нуждающихся в измерении, определено экспериментальным путем. Изменения температуры можно объяснить на основе происходящих в ней тепловых и термодинамических процессов. Математическая модель для объяснения этих процессов была создана с помощью программы MathCAD. По результатам КПД кольцевой тепловой трубы составляет 25-32% в зависимости от параметров окружающей среды, срок окупаемости - 2,5-8 лет, ежегодное снижение выбросов вредных газов в атмосферу - 111 кг. При установке предлагаемой тепловой трубы на стены здания коэффициент теплопередачи стен здания может быть увеличен до 3,2 раза в зависимости от уровня тепловой защиты.

**Ключевые слова:** тепловая труба, теплообмен, стена, энергосбережение, солнечная энергия, теплообмен, солнечное излучение, рабочее тело, змеевик, испаритель, адиабатическая область, конденсатор.

## MATHEMATICAL MODEL BASED ON THE THERMAL PROPERTIES OF CIRCULATING HEAT PIPE

Ochilov L.I., Mirzaev M.S., Samiev K.A.

Bukhara State University, Bukhara, Uzbekistan

**Abstract.** In this article, the theoretical calculations of heat and mass exchange processes occurring in the circulation heat pipe are compared with the results of experiment. At the same time, the economic and ecological indicators of the heat pipe were determined. Experiments were conducted in natural conditions with the help of an annular type of heat pipe. During the experimental research, hourly changes in solar radiation during the day, hourly changes in ambient temperature, hourly changes in wind speed, and temperature changes were recorded. The hourly temperature change in the parts of the heat pipe that needs to be measured has been determined experimentally. Changes in temperature can be explained on the basis of heat and thermodynamic processes occurring in it. A mathematical model to explain these processes was created using the MathCAD program. According to the results, the efficiency of the ring heat pipe is 25-32% depending on environmental parameters, the payback period is 2.5-8 years, the annual reduction in emissions of harmful gases into the atmosphere is 111 kg. When installing the proposed heat pipe on the walls of a building, the heat transfer coefficient of the building walls can be increased up to 3.2 times, depending on the level of thermal protection.

**Keywords:** heat pipe, heat exchange, wall, energy saving, solar energy, heat and mass transfer, solar radiation, working fluid, coil, evaporator, adiabatic region, condenser.





## HALQASIMON ISSIQLIK QUVURINING ISSIQLIK XOSSALARI ASOSIDAGI MATEMATIK MODEL

Ochilov L.I., Mirzayev M.S., Samiyev K.A.

Buxoro davlat universiteti, Buxoro, O'zbekiston

**Annotatsiya.** Ushbu maqolada halqasimon issiqlik quvurida sodir bo'luvchi issiqlik va massa almashinish jarayonlarining nazariy hisoblashlari tajriba natijalari bilan taqqoslangan. Shu bilan birga issiqlik quvurining iqtisodiy va ekologik ko'rsatkichlari aniqlangan. Halqasimon turdagi issiqlik quvuri yordamida tabiiy sharoitda tajribalar o'tkazilgan bo'lib, tajriba tadqiqotlarini o'tkazish vaqti davomida quyosh radiatsiyasining kun davomida soatlik o'zgarishi, atrof muhit haroratining soatlik o'zgarishlari, shamol tezligining soatlik o'zgarishi hamda, temperaturani o'lchash kerak bo'lgan issiqlik quvuri qismlaridagi haroratlarning soatlik o'zgarishi tajribada aniqlangan. Haroratlar o'zgarishi unda ro'y beruvchi issiqlik va termodinamik jarayonlar asosida tushuntirishga imkon beradi. Ushbu jarayonlarni tushuntirishga xizmat qiluvchi matematik model MathCAD dasturi yordamida yaratildi. Natijalar ko'rsatishicha halqasimon issiqlik quvurining foydali ish koeffitsiyenti atrof parametrlariga bog'liq holda 25-32%, xarajatlarni qoplash muddati 2,5-8 yil atrofida, yillik atmosferaga chiqadigan zararli gazlarning kamaygan miqdori 111 kg ni tashkil etadi. Taklif etilayotgan issiqlik quvurini bino devorlariga o'rnatilganda bino devorlarining issiqlik uzatish koeffitsiyentini issiqlik himoyasining darajasiga qarab 3.2 barobargacha oshirish mumkin.

**Kalit so'zlar:** issiqlik quvuri, issiqlik uzatish, devor, energiya tejash, quyosh energiyasi, issiqlik va massa almashinish, quyosh radiatsiyasi, ishchi suyuqlik, pilik, bug'latgich, adiabatik hudud, kondensator.

**Введение.** Ископаемые источники энергии быстро сокращаются [1], 20-40% производимой энергии используется для обеспечения энергопотребления жилых зданий [2], парниковые газы, выбрасываемые зданиями, составляют почти треть от общего количества [3], Большое количество энергии [4] и виртуальной воды [5], используемой в производстве строительных материалов для зданий, остается фактором возникновения экологических проблем, связанных с энергетикой и глобальными изменениями климата.

Если принять во внимание, что солнечная радиация, падающая на землю, составляет  $3,0 \times 10^{24}$  Дж в год [6], то можно увидеть, что частично покрыть энергопотребление жилых зданий можно с помощью активных и пассивных систем солнечного отопления [7]. Использование солнечных тепловых трубок в зданиях также становится все более популярным с каждым годом [13]. Первые исследования тепловых трубок были инициированы Гоглером в 1942 году [14] и позднее развиты Гроувом в 1960-х годах [15]. Как видно из рисунка 1, количество научных и исследовательских работ, посвященных использованию тепловых трубок для повышения энергоэффективности зданий, увеличивается с каждым годом.

Тепловая трубка состоит из трех основных частей: рабочего тела, капилляра или капиллярной структуры и контейнера [16]. Тепловая труба состоит из трех частей в зависимости от протекающих в ней тепловых процессов: испарителя, адиабатической области и конденсатора (конденсатообразующей части) [16,17]. По строению тепловой трубки ее разделяют на два типа: традиционные тепловые трубки и кольцевые (пульсирующие) тепловые трубки [16,17,18]. По принципу работы различают такие типы тепловых трубок, как гравитационные тепловые трубки, капиллярные тепловые трубки и вращающиеся [18].



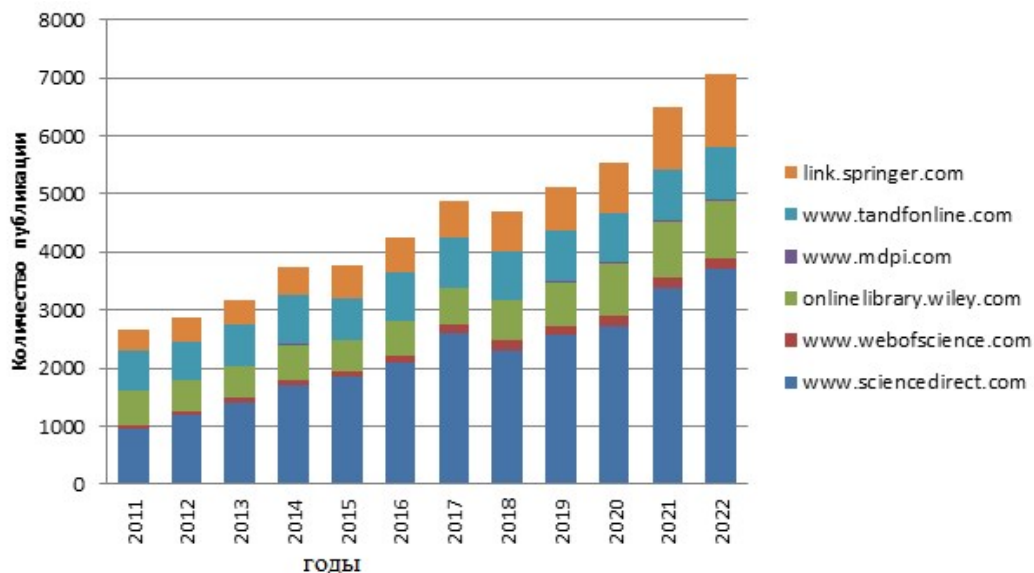


Рисунок 1. Количество статей, опубликованных в международных научных базах данных о тепловых трубках.

**Описание устройства.** В данной работе были изучены тепловые свойства гравитационных тепловых трубок (рис. 2) [19]. Функция предлагаемых тепловых труб – преобразование солнечной энергии в тепловую и передача ее в здание. При этом он заключается в накоплении тепловой энергии в стенах здания.

Тепловая трубка изготовлена из медных трубок по схеме на рис. 2. Устройство состоит из 3-х частей, первая часть называется испарителем. Эта часть устройства состоит всего из 30 трубок длиной 45 см и внутренним диаметром 8 мм, расположенных на расстоянии 3,4 см друг от друга. Конденсаторная часть соединена с испарительной частью трубой длиной 34 см и внутренним диаметром 10 мм. Часть 2, конденсационная, состоит из 26 трубок длиной 42 см и внутренним диаметром 6 мм, соединенных между собой трубкой диаметром 10 мм и длиной 28 см. В конденсационной части пар отдает свою энергию и превращается в конденсат (жидкость).

Часть 3 — это адиабатическая часть, объединяющая части 1 и 2, указанные выше. Эта часть состоит из изолированной резиновой трубки длиной 30 см.

**Принцип работы устройства.** Солнечные лучи падают на внешнюю (испарительную) часть тепловой трубки и поглощаются ею. Поглощенный солнечный свет преобразуется в тепловую энергию в трубах и передается жидкости внутри труб. По мере повышения температуры жидкости увеличивается и интенсивность ее испарения, и частицы, вылетающие с ее свободной поверхности, движутся вверх. Испаренная жидкость движется по трубе и попадает в конденсатор, установленный внутри стены, где конденсируется. В процессе конденсации пары жидкости отдают свою энергию трубе, а труба, в свою очередь, передает тепло внутри здания воздуху помещения путем конвекции и излучения.

**Метод расчета.** Тепловые трубы характеризуются такими параметрами, как коэффициент теплопередачи, эквивалентный коэффициент теплопередачи, коэффициент полезной работы [21].

$$k_h = \frac{4\lambda_h L}{d_o^2} \left\{ \left[ \frac{\ln(d_o/d_i)}{2e} + \frac{\lambda_h}{\alpha_e d_i e} + \frac{\lambda_h}{\alpha_c d_i c} + \frac{\ln(d_o/d_i)}{2c} \right]^{-1} \right\} \quad (1)$$

где  $k_h$  – коэффициент теплопередачи тепловой трубы, Вт/(м<sup>2</sup>·°C);  $\lambda_h$  – коэффициент теплопроводности тепловой трубы, Вт/(м·°C); L – длина тепловой трубки, м;  $d_o$ ,  $d_i$  – внешний и внутренний диаметр тепловой трубы, м;  $\alpha_e$ ,  $\alpha_c$  – коэффициент теплоотдачи при испарении и конденсации, Вт/(м·°C).

$$\alpha_e = 0.32 \left( \frac{\rho_l^{0.65} \lambda_l^{0.3} C p_l^{0.7} g^{0.2} q_e^{0.4}}{\rho_v^{0.25} h_{fg}^{0.4} \mu_l^{0.1}} \right) \left( \frac{P_{sat}}{P_a} \right)^{0.3} \quad (2)$$

где  $\rho_l$ ,  $\lambda_l$ ,  $\mu_l$ ,  $C p_l$ ,  $h_{fg}$  – плотность жидкости в тепловой трубке, кг/м<sup>3</sup>; коэффициент теплопередачи, Вт/(м<sup>2</sup>·°C); коэффициент динамической вязкости, Па·с; удельная теплоемкость, Дж/(кг·°C); удельная теплота испарения, Дж/кг;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

Тепловой поток из испарительной секции

$$q_e = \frac{T_{av} - T_{sat}}{\frac{1}{2\pi\lambda_h} \ln \frac{d_o}{d_i}} \quad (3)$$

где  $T_{av}$  – температура внешней части тепловой трубки, °C;  $T_{sat}$  – температура насыщения рабочей жидкости, °C.

$$T_{av} = (T_o + T_{ip})/2 \quad (4)$$

где  $T_o$  – температура внешней поверхности слоя (гипс или штукатурки), окружающего наружную часть тепловой трубы, °C;  $T_{ip}$  – температура внутренней поверхности слоя (гипс или штукатурки), окружающего внешнюю часть тепловой трубки, °C.

$$T_{sa} = T_a + \frac{\alpha I_T}{h_o} \quad (5)$$

где  $T_{sa}$  – температура наружной поверхности стены, °C;  $\alpha$  – коэффициент поглощения наружной поверхности стены;  $I_T$  – суммарная солнечная радиация, падающая на наружную поверхность стены, Вт/м<sup>2</sup>;  $h_o$  – коэффициент теплопередачи внешней поверхности стены, Вт/(м<sup>2</sup>·°C).

$$\alpha_c = 0.943 \left\{ \frac{\rho_l g \lambda_l^3 (\rho_l - \rho_v) [h_{fg} + 0.68 C p_l (T_{sat} - T_{ex})]}{\mu_l L_c (T_{sat} - T_{ex})} \right\}^{\frac{1}{4}} \quad (6)$$

где  $T_{ex}$  – температура внешней поверхности конденсирующей части, °C;  $L_c$  – длина уплотняющей части, м.

$$k_{eq} = \frac{k_w A_w + k_h A_h}{A_w + A_h} \quad (7)$$

где  $k_{eq}$  – средний эквивалентный коэффициент теплоотдачи по площади, Вт/(м<sup>2</sup>·°C);  $k_w$  – коэффициент теплопередачи стены, Вт/(м<sup>2</sup>·°C);  $A_w$  – площадь стены, м<sup>2</sup>;  $A_h$  – общая площадь поперечного сечения тепловой трубки, м<sup>2</sup>.

Теперь посчитаем количество тепла, передаваемого с поверхности верхней части тепловой трубки в помещение путем конвекции и излучения (в нашем случае устройство не интегрировано в здание, поэтому мы получаем температуру окружающей среды).

$$Q_{kn} = h_{kn} F_d (T_2 - T_a) \tau \quad (8)$$

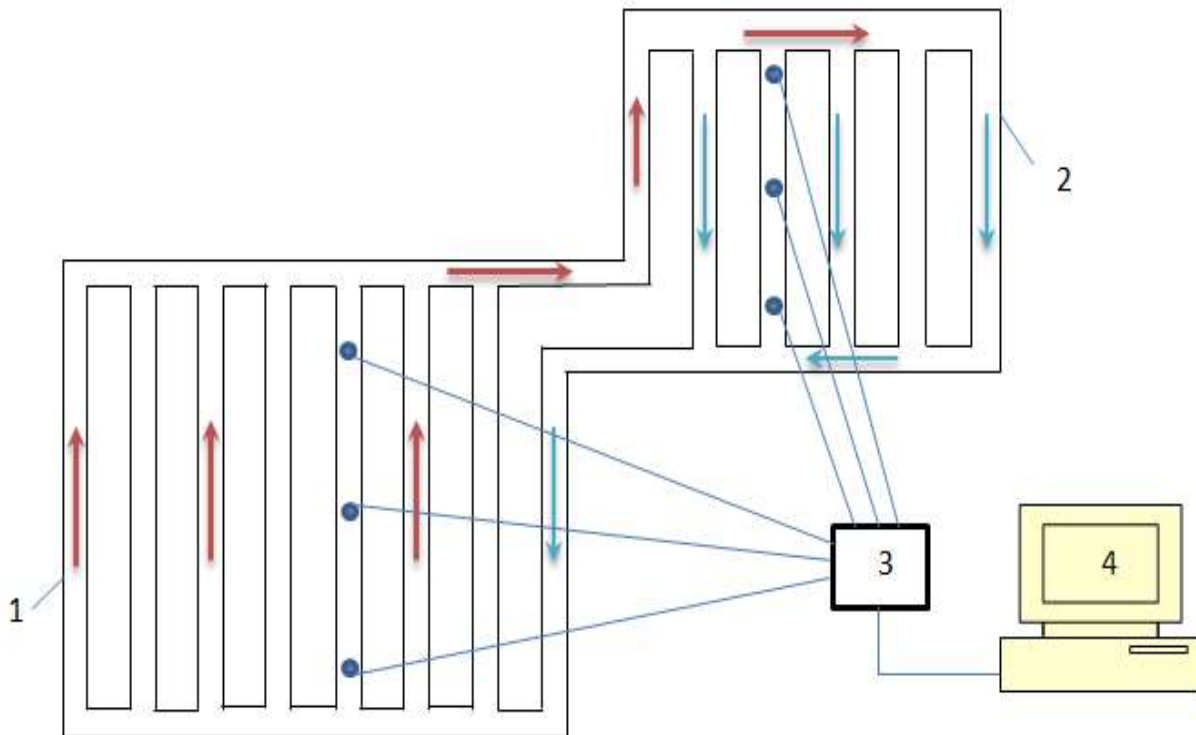
где  $Q_{kn}$  – количество тепла, подаваемого в помещение путем конвекции и излучения от тепловой трубы, Дж или кВт·ч;  $h_{kn}$  – коэффициент теплопередачи от тепловой трубы в помещение путем конвекции и излучения, ( $h_{kn}=8$  Вт/(м<sup>2</sup>·°C));  $F_d$  – площадь стены, м<sup>2</sup>.

Коэффициент полезной работы тепловой трубы рассчитывается следующим образом:



$$\eta_{is} = \frac{Q_{kn}}{I_T} \quad (9)$$

Экспериментальная установка и измерения. В ходе экспериментов использовались следующие приборы: пирометр универсальный М-80М; датчик температуры DS18B20; Ардуино Уно. Экспериментальные исследования проводились 1 августа 2022 г., 8-9 октября 2022 г. и 31 мая 2023 г. на территории Бухарского государственного университета. В ходе экспериментов с помощью имеющихся измерительных приборов и от источника определялись такие параметры климата, как температура окружающей среды, влажность, скорость ветра и солнечная радиация [20]. Временной интервал измерений составляет 15 минут.



**Рис 2. Расположение датчиков температуры, установленных в устройстве: 1- испаритель; 2- конденсатор; 3- микроконтроллер; 4 – компьютер; • - датчики температуры.**

**Определение технико-экономических показателей тепловой трубы.** Для этого в первую очередь рассчитывается количество денег, затраченное на изготовление тепловой трубы (табл. 1).

Срок окупаемости тепловой трубы определяется следующим образом.

$$n_{qm} = \frac{N_{BiPV}}{N_{kf}} \quad (10)$$

где  $n_{qm}$  – срок возмещения расходов, дней;  $N_{BiPV}$  - Цена тепловой трубы (таблица 1), в суммах и долларах США (конвертация проводилась по курсу ЦБ на 10 сентября [23]);  $N_{kf}$  - Цена полезной энергии, получаемой от тепловой трубы, в суммах и долларах США.

В свою очередь, при определении  $N_{kf}$ , мы определяем суточное значение  $Q_{kn}$  в кВт-часах из уравнения (1) и умножаем его на цену электроэнергии. Тогда можно определить, какую экономическую выгоду принесла тепловая трубка за один день.



Таблица 1

Сумма денег, потраченная на изготовление тепловой трубки.

№	Название продукта (акционерное наименование)	Единица измерения	Использованная сумма	Сумма потрачена, сум	Потраченная сумма, в долларах США
1.	Стекло	м <sup>2</sup>	1	24000	1,977398
2.	Деревянная тарелка	м <sup>2</sup>	1	24000	1,977398
3.	Смешивание	кг	0.5	10 000	0,823916
4.	Медь	кг	1.8	150000	12,35874
5.	Клѐнка	м	1.5	24000	1,977398
6.	Скотч	штук	1	5000	0,411958
7.	Трубка	штук	1	8000	0,659133
8.	Транспортные расходы			50 000	4,11958
9.	Стоимость строительства			100 000	8,23916
Общая стоимость				395000	32,54468

Экологический анализ. Учитывая, что исследуемая тепловая трубка работает с использованием солнечной энергии, количество токсичных газов, выбрасываемых в окружающую среду, будет уменьшено. Одним из ядовитых газов является CO<sub>2</sub>, то есть углекислый газ. Снижение выбросов токсичных газов в окружающую среду определяется следующим выражением [22].

$$M_{CO_2} = \frac{Q_f}{\chi \cdot \eta} K_{CO_2} \frac{44}{12} \quad (11)$$

где  $\Delta M_{CO_2}$  – масса приведения количества токсичных газов, выделяемых в окружающую среду при использовании солнечных устройств, кг;  $Q_f$  – полезная энергия, получаемая при использовании солнечного устройства, Дж;  $\chi$  – удельная теплота сгорания традиционного топлива, Дж/кг;  $\eta$  – коэффициент полезной работы источника тепла;  $K_{CO_2}$  – коэффициент выбросов углерода для различных источников энергии.

Коэффициент выбросов углерода также различен для разных источников энергии. Коэффициент выбросов углерода составляет  $K_{CO_2}=0,4$  для природного газа,  $K_{CO_2}=0,7$  для угля,  $K_{CO_2}=0,5$  для электричества и  $K_{CO_2}=0,5$  для дров  $K_{CO_2}=0,5$  [22].

**Результаты и обсуждение.** При расчете по уравнению (1) эквивалентный коэффициент теплопередачи тепловой трубки равен 2,087 Вт/м<sup>2</sup>°С, что в 2,1-3,2 раза превышает коэффициент теплопередачи обычной стены в зависимости от уровня тепловая защита.

Эксперименты показывают (рис. 3), что от предлагаемого устройства в течение суток можно получить 0,21 МДж или 0,058 кВт·ч полезной энергии. Это количество составляет 1,6 кВт·ч на 1 м<sup>2</sup> полезной площади (предполагается перпендикулярность труб).

Таблица 2.

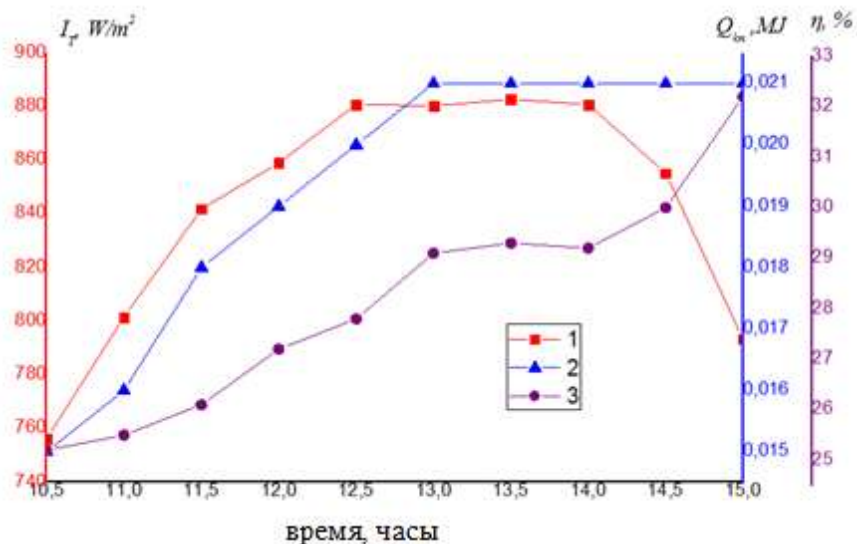
Запишите результаты экспериментов

Время (часы, минуты)	T <sub>1</sub> , °C	T <sub>2</sub> , °C	T <sub>3</sub> , °C	T <sub>4</sub> , °C	T <sub>5</sub> , °C	T <sub>9</sub> , °C	I <sub>т</sub> , W/m <sup>2</sup>	V, m/s	T <sub>а</sub> , °C
10:30	50.6	48.7	53.3	22.9	25.1	25.8	756.3	1.2	31.3



11:00	58.1	55.2	60.9	26.3	28.2	29.2	861.5	1.4	32.6
11:30	58.1	55.2	60.9	26.3	28.2	29.2	861.5	1.4	32.6
12:00	63.3	59.5	66.1	28.8	30.3	31.5	841.9	2.2	33.1
12:30	67.4	64.3	70.2	31.2	32.7	34.2	859.0	2.2	33.6
13:00	70.6	67.7	73.3	33.4	34.8	36.4	880.8	2.5	33.6
13:30	72.6	69.6	75.1	35.3	36.3	38.2	880.3	2.6	33.7
14:00	73.3	70.5	75.8	36.0	36.8	38.6	882.7	2.9	33.9
14:30	71.9	69.8	75.4	36.3	36.8	38.6	880.8	3.7	34.2
15:00	70.3	68.1	73.4	36.6	37.1	38.8	855.2	3.9	34.3

где  $T_1, T_2, T_3$  – температура коллекторной части (нижней части) тепловой трубки;  $T_4, T_5, T_9$  – температура радиаторной части (верхней части) тепловой трубки;  $T_a$  – температура окружающей среды;



**Рис 3. Результаты расчета по определению тепловых свойств тепловой трубы**

1-общая солнечная радиация, падающая на наружную поверхность стены, 2-количество тепла, поступающее в помещение за счет конвекции и излучения от тепловой трубки, 3- полезный коэффициент работы тепловой трубки

Сумма денежных средств, затрачиваемых на отопление, экономится в течение года в размере 47,9 тыс. сумов на  $1 \text{ м}^2$  полезной площади (160 тыс. сумов для промышленных предприятий). Срок окупаемости устройства, определенный по уравнению (3), в среднем составляет 8 лет в жилых домах и 2,5 года в промышленных зданиях.

В течение года, если тепловая труба используется в качестве вспомогательного источника тепла, можно избежать выброса 111 кг газа  $\text{CO}_2$  в атмосферу, когда в качестве топлива для отопления используется уголь.

#### Выводы.

В ходе исследования была изучена тепловая трубка кольцевого типа. Определены его основные термические свойства, экономические и экологические показатели. Эксперименты проводились в естественных условиях. Эксперименты и расчеты показывают, что КПД исследуемой тепловой трубы составляет 25-32% в зависимости от параметров окружающей среды, период окупаемости - 2,5-8 лет, ежегодное снижение выбросов газов в атмосферу - 111 кг. При установке предлагаемой тепловой трубы на стены здания коэффициент теплопередачи стен здания может быть увеличен в 2,1-3,2 раза.



## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. <https://earthbuddies.net/when-will-we-run-out-of-fossil-fuel/> (25.07.2023)
2. <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=TESbySource> (25.07.2023)
3. Costa A., Keane M.M., Torrens J.I., Corry E. Building operation and energy performance: monitoring, analysis and optimisation toolkit *Appl. Energy*, 101 (2013), pp. 310-316
4. Elaouzy Y., El Fadar A. Energy, economic and environmental benefits of integrating passive design strategies into buildings: A review // *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 167 (2022) 112828. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112828>
5. Gholamreza Heravi, Mohammad Mehdi Abdolvand Assessment of water consumption during production of material and construction phases of residential building projects // *Sustainable Cities and Society* 51 (2019) 101785. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101785>
6. Tingsen Chen, Shuli Liu, Yongliang Shen, Bin Xu Gao, Abdur Rehman Mazhar A novel triangular pulsating heat pipe with enhanced heat transfer performance for building energy efficiency // *Case Studies in Thermal Engineering* 49 (2023) 103286. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2023.103286>
7. Duffie J., Beckman W. "Solar engineering of thermal processes", New York, Wiley, p. 928, 2013.
8. Samiev K.A., Halimov A.S. Annual Thermal Performance of the Trombe Wall with Phase Change Heat Storage under Climate Conditions of Uzbekistan // *Applied Solar Energy*. –USA. – 2022. – Vol.58, №2. – P.297-305
9. Samiev K.A., Halimov A.S., Fayziev Sh.Sh. Multiobjective Optimization of Integration of the Trombe Wall in Buildings Using a Full Factorial Experiment // *Applied Solar Energy*. –USA. – 2022. – Vol.58, №1. – P.127-136
10. Avezova N.R., Avezov R.R., Rashidov Yu.K., Samiev K.A. Model-based analysis of nonstationary thermal mode in premises with an insulation passive heating system with a three-layer translucent shield // *Applied Solar Energy*. –USA. – 2014. Vol.50, №3. –pp.184-187
11. Avezova N.R., Avezov R.R., Samiev K.A., Kakhkharov S.K. Comparative analysis of technical characteristics and economic indicators of the "Trombe wall" system in different climatic zones of Uzbekistan // *Applied Solar Energy*. –USA. – 2021. Vol.57, №2. – P.128-134
12. Zhang, H. and Shu, H., A comprehensive evaluation on energy, economic and environmental performance of the Trombe wall during the heating season, *J. Therm. Sci.*, 2019, vol. 28, pp.1141–1149.
13. Wanxiang Yao, Chunze Liu, Xiangru Kong, Zhigang Zhang, Yan Wang, Weijun Gao. A systematic review of heat pipe applications in buildings / *Journal of Building Engineering* 76 (2023) 107287. <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2023.107287>
14. Gaugler, R. S. (1944, June 6). Heat transfer device. U.S. Patent 2,350,348.
15. Grover G.M., US Patent 3229759. Filed 1963.
16. Reay D.A., Kew P.A., McGlen R.J. Heat Pipes Theory, Design and Applications / Sixth edition, Elsevier 2014, 251 pages
17. Bahman Zohuri Heat Pipe Design and Technology / Second Edition, Springer, 2016, 537 pages.
18. Stéphane Lips, Valérie Sartre, Frédéric Lefèvre, Sameer Khandekar, Jocelyn Bonjour. Overview of heat pipe studies during the period 2010-2015. *Interfacial Phenomena and Heat Transfer*, 2016, 4 (1), pp.33-53. [10.1615/InterfacPhenomHeatTransfer.2016016345](https://doi.org/10.1615/InterfacPhenomHeatTransfer.2016016345). hal-01481272
19. Ахатов Ж.С., Самиев К.А., Рашидов К.Ю., Очиллов Л.И. Пассивная теплоаккумулирующая система солнечного отопления с тепловой трубой. Патент на полезную модель, № FAP 02206 от 18.05.2022 // Официальный бюллетень. Агентство по интеллектуальной собственности РУз. – 2023. – Том.263, №2. – С.186.
20. <https://data.meteo.uz/>
21. Tan R., Zhang Z. Heat pipe structure on heat transfer and energy saving performance of the wall implanted with heat pipes during the heating season / *Applied Thermal Engineering* 102 (2016) 633–640.







22. Zhang H., Shu H.A. Comprehensive Evaluation on Energy, Economic and Environmental Performance of the Trombe Wall during the Heating Season / Journal of Thermal Science 28, pages1141–1149 (2019).
23. Ochilov L.I., Tursunov S.U. Bino va inshootlarni isitishda issiqlik quvurlaridan foydalanish / Ilm-fan va innovatsiya ilmiy-amaliy konferensiyasi 5 iyun 2023.
24. <https://cbu.uz/oz/arkhiv-kursov-valyut/>