



## ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СВЕТОПРОЗРАЧНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ НА КЕРАМИЧЕСКОЙ ОСНОВЕ В ПАССИВНЫХ СИСТЕМАХ СОЛНЕЧНОГО ОТОПЛЕНИЯ

Р.Х. Рахимов<sup>1</sup>, К.А. Самиев<sup>2,1</sup>, Д.Х. Арабов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт материаловедения АН РУз

<sup>2</sup>Физико-технический институт АН РУз

**Аннотация.** В данном исследовании экспериментальным путем оценена возможность использования светопрозрачных ограждений на керамической основе в пассивных системах солнечного отопления. Как показывают результаты, использование светопрозрачных ограждений на керамической основе в пассивных системах солнечного отопления является приемлемым. Преимуществом таких светопрозрачных ограждений являются: почти идентичное с обычным стеклом влияние на температурный режим пассивной системы солнечного отопления; благодаря отсутствию конденсата на поверхности обеспечивается работа элементов системы пассивного солнечного отопления с сохранением их свойств в течение длительного времени; легко устанавливается и заменяется; стоимость в несколько раз меньше, чем обычное стекло.

**Ключевые слова.** Солнечная энергия, теплоаккумулирующая стена, светопрозрачное ограждение на керамической основе, температурный режим, солнечная радиация.

**Abstract.** In this study, the possibility of using translucent ceramic-based fences in passive solar heating systems has been experimentally evaluated. As the results show, the use of ceramic-based translucent barriers in passive solar heating systems is acceptable. The advantage of such translucent barriers is: the effect on the temperature regime of a passive solar heating system is almost the same as with ordinary glass; due to the absence of condensate on the surface, the operation of the elements of the passive solar heating system is ensured with the preservation of their properties for a long time; easy to install and replace; the cost is several times less than ordinary glass.

**Keywords.** Solar energy, heat storage wall, translucent ceramic-based fencing, temperature regime, solar radiation.

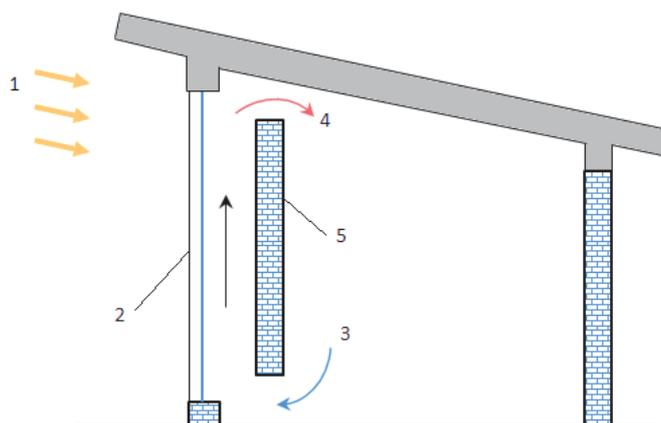
**Введение.** Энергия всегда была преобладающим стимулом финансового прогресса человечества [1]. В последние десятилетия энергетические системы по всему миру в таких сферах, как производство, жилой сектор, транспорт и сельское хозяйство, стали сильно зависеть от неустойчивых источников энергии, и в результате возникли проблемы, связанные с истощением запасов ископаемых видов топлива и загрязнением атмосферы [2].

Потребление энергии в строительном секторе, как правило, связано с системами вентиляции, отопления и охлаждения [3]. Приблизительно половина энергии, потребляемой строительным сектором, используется для управления нагрузками на отопление и охлаждение зданий, достижения желаемых тепловых условий [4]. Необходимость повышения энергоэффективности зданий привела к усовершенствованию различных методов использования энергии [5].

Стена Тромба представляет собой простую классическую пассивную систему солнечного отопления, используемую в зданиях, которую можно недорого синтезировать, удобно применять и легко обслуживать [6].

Стены Тромба являются важными элементами “зеленой” архитектуры, которые способствуют вентиляции, обогреву и охлаждению зданий [7].





**Рис.1. Классическая стена Тромба:**

*1- Солнечная радиация; 2- светопрозрачное ограждение; 3-прохладный воздух; 4- теплый воздух; 5-массивная стена.*

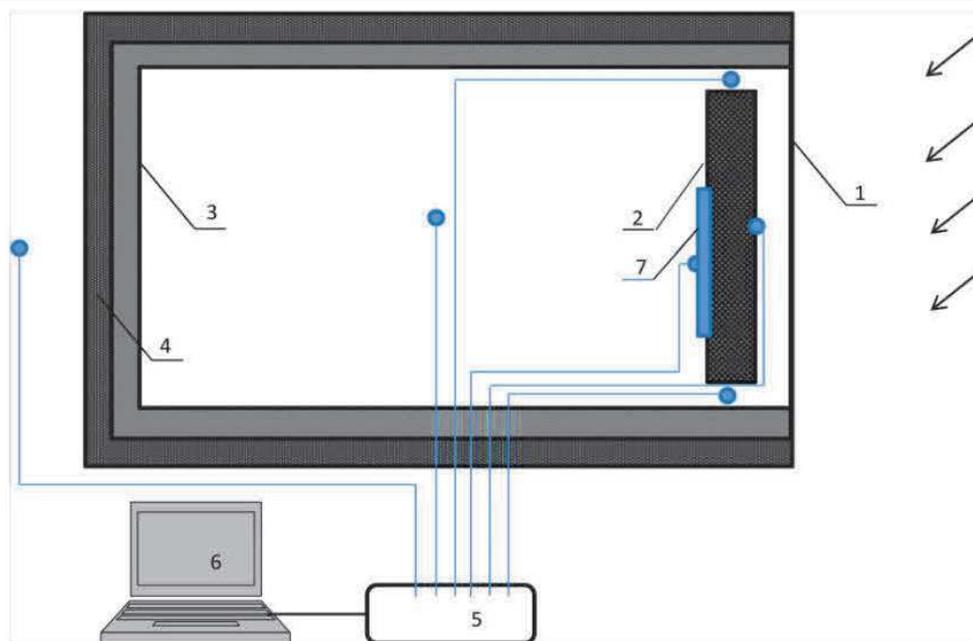
Классическая стена Тромба (как показано на рис. 1) состоит из массивной черной стены, наружного остекления и вентилируемого воздушного зазора между ними [8]. Массивная стена обычно сделана из камня, кирпича, самана или бетона; из-за высокой емкости этих материалов. Два вентиляционных отверстия на массивной стене предназначены для подачи воздуха в помещение. Массивная черная стена поглощает и накапливает солнечную энергию, передаваемую через наружное остекление. Поглощенное тепло частично передается через стену внутрь помещения за счет конвекции и излучения, а частично передается через вентиляционные отверстия путем циркуляции воздуха за счет эффекта плавучести [9].

Светопрозрачное ограждение является основным элементом теплоаккумулирующей стены (стены Тромба) [10]. В практике используются различные виды светопрозрачного ограждения, например: однослойное обычное оконное стекло [11]; многослойные стеклопакеты [12], жидкостные стеклопакеты [13], полиэтиленовые пленки на керамической основе [14-15] и т.д.

**Материалы и методы.** В данном исследовании представлены результаты натуральных экспериментов температурного режима экспериментального объекта с теплоаккумулирующей стеной с различными светопрозрачными ограждениями.

**Описание экспериментальных объектов.** Принципиальная схема стены Тромба приведена на рис. 2. Высота физической модели (Термобокс уменьшенного масштаба) равна 0.6 м, ширина 0.6 м, длина 1 м, толщина южной бетонной стены 6 см, она окрашена черной краской (коэффициент лучепоглощения  $\alpha_{ст}=0,8$ ). Бетонная стена (2) расположена так, что внизу и наверху остаются отверстия высотой 1.5 см. На расстоянии 1.5 см от южной стены расположено однослойное светопрозрачное ограждение. Остальные элементы являются двухслойными, изнутри выполнена теплоизоляция пенопластом (3) толщиной 4 см, а снаружи покрыты древесно-стружечной плитой (4), теплофизические свойства которых приведены в [22]. Древесно-стружечная плита (ДСП) окрашена в молочный цвет.

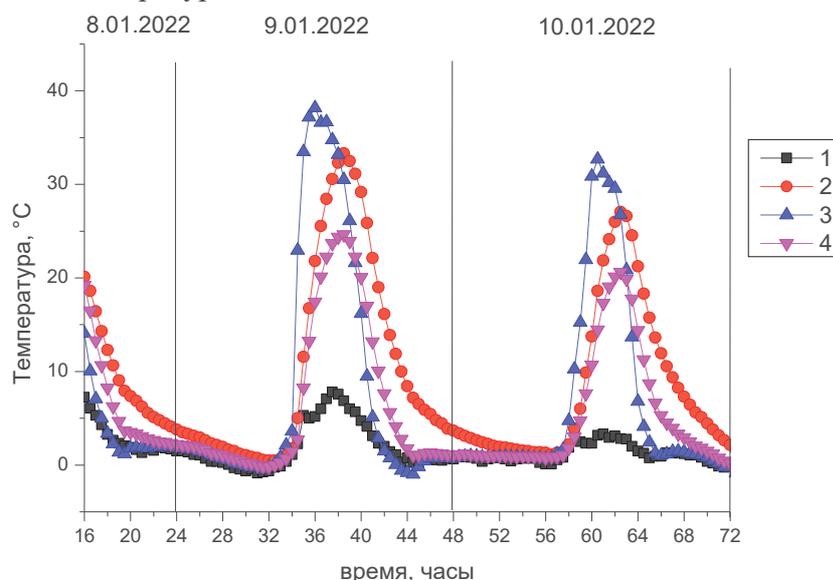
Все размеры выбраны по теории подобия [23-25]. Термическое сопротивление стен равны первому уровню теплоизоляции [22]. Для измерения температур в различных местах рассматриваемого объекта расположены цифровые датчики температуры ArduinoDS18B20. Погрешность измерения не больше  $0.5^{\circ}\text{C}$ , для температур от  $-10$  до  $+85^{\circ}\text{C}$  [26]. Для измерения плотности потока падающего суммарного солнечного излучения использован высоковольтный беспроводной характериограф (с ФВ эталонным датчиком): PVA-1000SPV [27].



**Рис. 2. Принципиальная схема пассивного солнечного отопления со стеной Тромба.**

*1-светопрозрачное ограждение; 2-южная бетонная стена; 3-пенопласт; 4- наружная часть ограждения (ДСП); 5- Arduino; 6- компьютер; •- датчики температуры.*

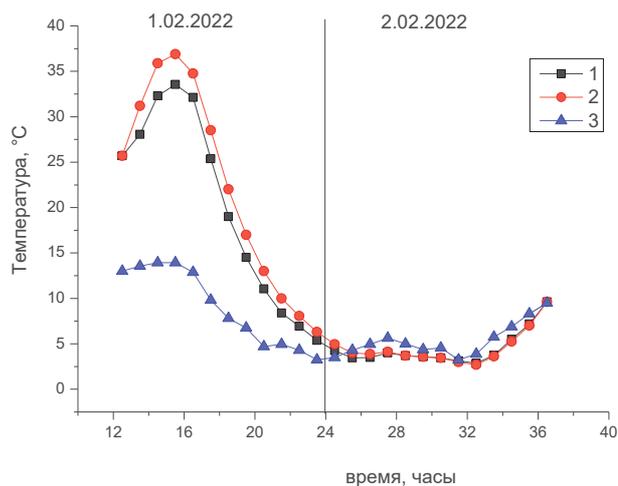
**Экспериментальная часть.** Результаты экспериментов приведены на рис. 3-7. Из рис.3 видно, что в дневные часы максимальная температура внутреннего воздуха объекта с обычным оконным стеклом и керамическими пленками (пленка расположена снаружи стекла, керамическая сторона обращена наружу) на 5-15°C выше, чем у остальных объектов. Это объясняется тем, что внутрь этого объекта в дневные часы падает солнечная радиация. У остальных двух объектов температурный режим образуется в основном конвективным путем. Из-за того, что в экспериментальном объекте не установлен тепловой аккумулятор (на остальных объектах установлена бетонная стена), во второй половине дня наблюдается резкое понижение температуры.



**Рис. 3. Суточные изменения температур:**

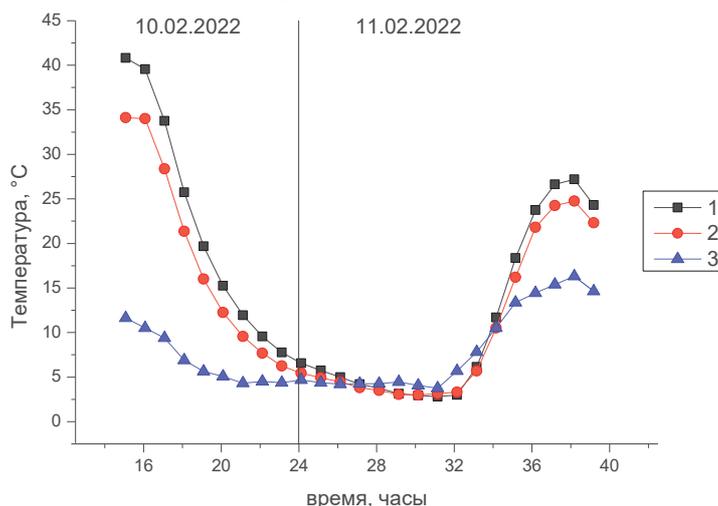
*1- температура окружающей среды; 2- температура внутреннего воздуха в объекте со стеной Тромба; 3- температура внутреннего воздуха в объекте с обычным оконным стеклом и керамическим светопрозрачным ограждением (пленка расположена на наружной поверхности стекла, керамическая сторона обращена наружу); 4- температура внутреннего воздуха в объекте с бетонной стеной.*





**Рис.4. Суточные изменения температур:**

1- температура внутреннего воздуха в объекте со стеной Тромба с обычным оконным стеклом и керамическим светопрозрачным ограждением (пленка расположена на наружной поверхности стекла, керамическая сторона обращена внутрь); 2- температура внутреннего воздуха в объекте со стеной Тромба с обычным оконным стеклом; 3- температура окружающей среды.



**Рис.5. Суточные изменения температур:**

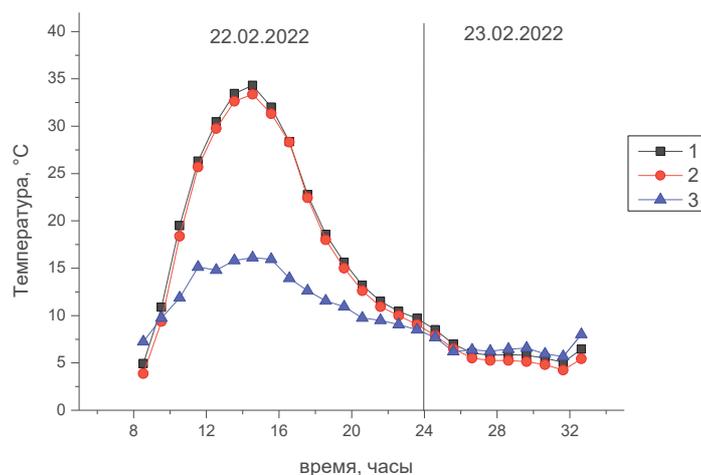
1- температура внутреннего воздуха в объекте со стеной Тромба с обычным оконным стеклом; 2- температура внутреннего воздуха в объекте со стеной Тромба с керамическим светопрозрачным ограждением (керамическая сторона обращена внутрь); 3- температура окружающей среды.

Результаты, приведенные на рис. 4 и 5 показывают, что совместное использование обычного оконного стекла и светопрозрачного ограждения на керамической основе ухудшает общую эффективность. Это происходит из-за уменьшения оптического свойства системы, т.е. коэффициента пропускания солнечной радиации через светопрозрачное ограждение.

Сопоставление температурного режима объектов с обычным оконным стеклом, обычной пленкой и светопрозрачным ограждением на керамической основе приведены на рис. 6 и 7. Как видно, разница температур внутреннего воздуха экспериментальных объектов не более 5°C.

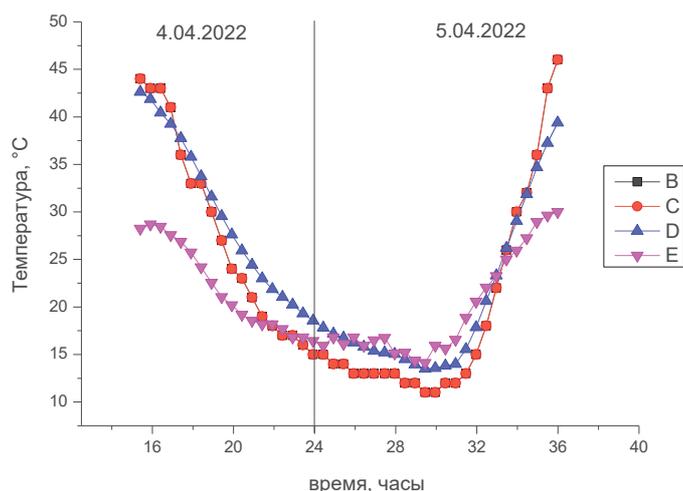
На рис. 8 показаны фотографии экспериментальных объектов до начала эксперимента (а) и в течение эксперимента (б). Как видно, до начала эксперимента объекты выглядят одинаково, через некоторое время на внутренней поверхности светопрозрачного ограждения образуется водяной конденсат. Как известно, образование конденсата плохо влияет на

теплофизические и оптические свойства элементов объекта и ускоряет деградацию. С другой стороны, образование конденсата меняет влажностный режим внутри здания.



**Рис.6. Суточные изменения температур:**

1- температура внутреннего воздуха в объекте со стеной Тромба с обычной пленкой; 2- температура внутреннего воздуха в объекте со стеной Тромба с керамическим светопрозрачным ограждением (керамическая сторона обращена внутрь); 3- температура окружающей среды.



**Рис.7. Суточные изменения температур:**

1,2 - температура внутреннего воздуха в объекте со стеной Тромба с керамическим светопрозрачным ограждением (керамическая сторона обращена внутрь и наружу); 3- температура внутреннего воздуха в объекте со стеной Тромба с обычным оконным стеклом; 4- температура окружающей среды.



а)



б)

**Рис. 8. Объекты до начала эксперимента (а) и в течение эксперимента (б).**



### Выводы.

Проведенные экспериментальные исследования показывают, что использование светопрозрачных ограждений на керамической основе в пассивных системах солнечного отопления является приемлемым. Преимущество таких светопрозрачных ограждений заключается в следующем: идентичное с обычным стеклом влияние на температурный режим пассивной системы солнечного отопления; благодаря отсутствию конденсата на поверхности обеспечивается работа элементов системы пассивного солнечного отопления с сохранением их свойств в течение длительного времени; легко устанавливается и заменяется; стоимость в несколько раз меньше, чем обычное стекло.

Данная работа выполнена в рамках базового финансирования Физико-технического института и Института Материаловедения АН РУз.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Omara A.M., Abuelnuor A.A. Trombe walls with phase change materials: A review / Energy Storage. 2020, P.1-28. DOI: 10.1002/est2.123
2. Reynolds L, Wenzlau S. Climate-Friendly Agriculture and Renewable Energy: Working Hand-in-Hand toward Climate Mitigation. Washington: Worldwatch Institute; 2012.
3. Pérez-Lombard L, Ortiz J, Pout C. A review on buildings energy consumption information. *Energy Buildings*. 2008;40: 394-398.
4. Omrany H, Ghaffarianhoseini A, Ghaffarianhoseini A, Raahemifar K, Tookey J. Application of passive wall systems for improving the energy efficiency in buildings: a comprehensive review. *Renew Sustain Energy Rev*. 2016;62:1252-1269.
5. Diaconu BM. Thermal energy savings in buildings with PCM enhanced envelope: influence of occupancy pattern and ventilation. *Energy Buildings*. 2011;43:101-107.
6. Dong J, Chen Z, Zhang L, Cheng Y, Sun S, Jie J. Experimental investigation on the heating performance of a novel designed Trombe wall. *Energy*. 2019;168:728-736.
7. Duan S, Jing C, Zhao Z. Energy and exergy analysis of different Trombe walls. *Energy Buildings*. 2016;126:517-523.
8. Chan H-Y, Riffat SB, Zhu J. Review of passive solar heating and cooling technologies. *Renew Sustain Energy Rev*. 2010;14: 781-789.
9. Akbarzadeh A, Charters W, Lesslie D. Thermocirculation characteristics of a Trombe wall passive test cell. *Solar Energy*. 1982;28:461-468.
10. Duffie J., Beckman W. "Solar engineering of thermal processes", New York, Wiley, p. 928, 2013.
11. F. Abbassi, L. Dehmani, Experimental and numerical study on thermal performance of an unvented Trombe wall associated with internal thermal fins, *Energy and Buildings* (2015), <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.07.042>
12. Н.Р. Аvezова, К.А. Самиев. Выбор рациональных значений параметров невентилируемой стены Тромба с помощью метода многокритериальной оптимизации для климатических условий Узбекистана / Проблемы энерго- и ресурсосбережения, Специальный выпуск, 2021г. С.358-365
13. Y. Piffer et al. A review on windows incorporating water-based liquids / *Solar Energy* 214 (2021) 606–631
14. R. Kh. Rakhimov, D. N. Mukhtorov, Application of solar dryers for drying agricultural products and optimization of drying time, *Comp. nanotechnol.*, 2020, Issue 4, 21–24 DOI: <https://doi.org/10.33693/2313-223X-2020-7-4-21-24>
15. R.Kh. Rakhimov, V.P. Ermakov, M.P. Rakhimov Solar Heater Incorporating Polythene Film–Ceramics Composite Material on the Basis of Iron Oxide / *Applied Solar Energy*, 2010, Vol. 46, No. 1, pp. 56–59.