

## ТЕПЛОВАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТРЕХСЛОЙНОГО СВЕТОПРОЗРАЧНОГО ОГРАЖДЕНИЯ С ЧАСТИЧНО ЛУЧЕ ПОГЛОЩАЮЩИМ ВОДЯНЫМ ПОТОКОМ

Комилов О.С.<sup>1</sup>, Махмудов М.И.<sup>1</sup>, Садыков И.Ш.<sup>2</sup>, Ахророва М.И.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Бухарский инженерно-технологический институт  
Азиатский международный университет

В данной статье изучена модель энергоэффективности трехслойной светопрозрачной ограждающей конструкции содержащей воздушную камеру и камеру с водяным потоком. Приведены системные уравнения для расчета тепловой нагрузки на конструкции стационарных и переходных воздействующие параметров. Приведенные экспериментальные и расчетные данные и их сопоставление позволяет сделать вывод об их удовлетворительном согласии и возможности использования предложенной модели для расчета и анализа теплотехнических характеристик светопрозрачных проемов различных конструкций.

В последние годы энергосбережение и повышения энергоэффективности стали одним из основных направлений политики нашей Республики. Среди ключевых направлений развития республиканской экономики весомое место занимают энерго эффективность и энергосбережение [1].

Энергосбережение в зданиях при решении практических задач сокращения общего расхода не возобновляемых энергоресурсов (угля, газа, нефти и др.) реализуется путем применения эффективных инсоляционных пассивных систем солнечного отопления.

Инсоляционные пассивные системы солнечного отопления основаны на непосредственном поступлении солнечной радиации т.е. излучения в отапливаемые помещения через световые проёмы на южной стене. Они являются одним из основных элементов наружных ограждающих конструкций, которые оказывают существенное влияние на параметры микроклимата помещения. Совместное воздействие низкой температуры и большой скорости ветра в зимний период, высокой температуры и солнечной радиации летом на светопрозрачных ограждениях может привести к чрезмерному переохлаждению или перегреву самих конструкций и помещений. Преимуществами систем солнечного отопления рассматриваемого типа являются их простота, низкая стоимость и высокая

тепловая эффективность (в полтора раза больше, чем у других активных и пассивных систем); а основными недостатками возможно световой и тепловой дискомфорт, сложность регулирования температурного режима отапливаемого помещения[2,3].

Светопрозрачные ограждающие конструкции являются важными элементами в жилых помещениях и общественных зданиях. Во-первых, с точки зрения эстетики и более того для естественного освещения, через которые происходят теплообменные процессы в виде тепловых потерь и тепло поступлений. Во-вторых, светопрозрачные ограждающие конструкции с тепловой точки зрения являются самыми слабыми элементами в здании, которые отделяют внешнюю и внутреннюю среду[4].

Ясно что, стекло имеет коэффициент пропускания около 90%, это позволяет проникать внутрь помещения почти всех солнечных излучений. При поглощении внутренней средой, эти излучения превращаются в тепло. Также обычный стеклянный лист имеет низкую теплопроводность, следовательно термосопротивление вызывающее большую теплопотерю между внутренней и внешней средами. В холодных погодных условиях на которых находится около  $10 \div 25\%$  тепловые потери в отапливаемых помещениях. В жарких погодных условиях, избыточное проникновение солнечной радиации через них, отражается на увеличении расхода энергии для кондиционирования воздуха[5-7].

Эффективный способ уменьшить чрезмерное (теплопоступление) проникновение тепла, особенно летом в жарких погодных условиях заключается в использовании пассивных механизмов, которые уменьшают проникновение прямых солнечных излучения. Шторы и жалюзи обычно используются в качестве пассивной системы для контроля и снижения притока прямых солнечных излучений[2].

В последние годы многие проведенные экспериментальные, численные и теоретические исследования были посвящены изучению и разработке эффективных светопрозрачных ограждений, улучшение их тепловых характеристик позволяющих уменьшить тепловые потери и нежелательные теплопоступления при сохранении эстетики и естественности аспектов освещения.

Известно, что настоящее время светопрозрачные ограждающие конструкции различного типа широко используются в современной архитектуре. Это в свою очередь, приводит к увеличению расхода энергии, необходимой для систем отопления или охлаждения зданий и сооружений. Особенно в районах с жарким климатом значение коэффициента притока солнечного тепла через светопрозрачные ограждения должен быть низкими, а большие значения, которые вызывают значительные энергетические затраты на поддержание необходимого температурного режима помещения[6].

Для оптимального конструирования светопрозрачных ограждающих конструкций зданий с целью повышения их эффективности и расширения масштабов применения, в первую очередь необходимо устранить указанные недостатки, сохранив при этом все перечисленные преимущества. Для этого требуются знания об их оптических, теплотехнических и энергетических показателях, которые могут быть определены из балансовых уравнений для отдельных элементов.

Для решения данной задачи нами предложена замена обычного светопрозрачного ограждения состоящего из двухслойного оконного стекла на трехслойное состоящее из неоднородные параметров по оптическим свойствам. Предложенная конструкция светопрозрачного ограждения включает в себя воздушную прослойку и прослойку частично теплопоглощающего водяного потока. Использование предложенной конструкции светопрозрачных ограждений в строительство даст возможность обеспечения оптимального светового и теплового комфорта помещения, особенно в летний период года.

Поток полезного тепла, поступающего в помещение через предложенные светопрозрачные ограждающие конструкции, как правило, складываются из двух составляющих: потока тепла суммарного солнечного излучения, прошедшего сквозь светопрозрачное ограждение и входящего в помещение и потока тепла, передаваемого путем теплопередачи за счет разницы между температурами внутри помещения и внешней окружающей средой.

Использование светопрозрачных ограждающих конструкций, рассматриваемого типа, позволяет уменьшить степень влияния фактора, являющегося причиной светового дискомфорта, не только исключив дневное перегревание, но и передать в помещение определенное количество полезной тепловой энергии.

При создании математической модели и достижения поставленных исследовательских целей необходимо последовательно решить следующие задачи:

- рассчитать интенсивность теплового потока проходящего через светопрозрачные слои с различными теплофизическими характеристиками;

Определение параметров поглощения энергии солнечной радиации на каждом, элементе (элементу) данной светопрозрачной ограждающей конструкции.

Методика расчета температурного поля и теплопередачи в трехслойных светопрозрачных ограждениях инсоляционных пассивных систем солнечного отопления в зависимости от их конструктивных исполнении приведена в предыдущих работах.

Рассмотрим теплопоступления через трехслойные светопрозрачные ограждения состоящие из воздушной камеры (прослойки) и камерой с водяном потоком.

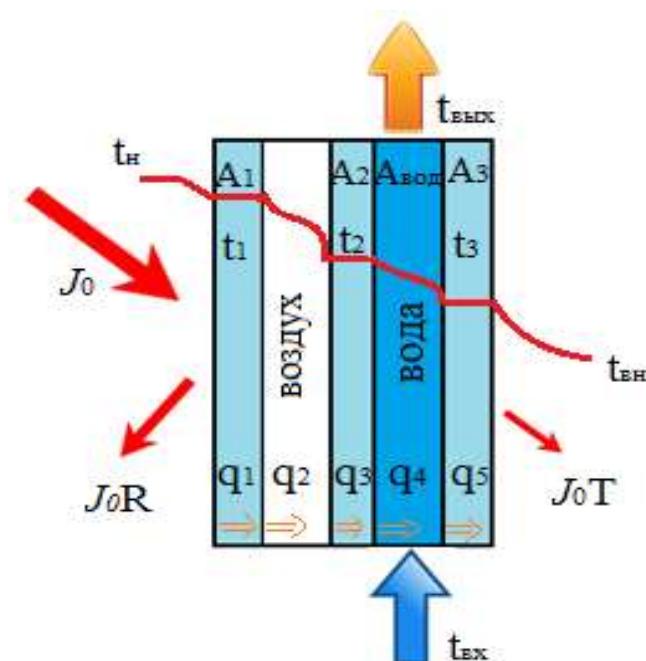
Ныне представлены результаты исследовательских работ по разработки

математического модуля теплового потока поступающего в помещение через трёхслойное светопропускающее с водяной потоком.

В целях упрощения математической модели теплового потока через данное светопрозрачное ограждение вводятся некоторые допущения о различных способах теплообмена протекающих в различных (частях) данной конструкции.

Относительно водяной камеры предполагается, что температурное поле внутри водяной и воздушной камеры однородна, а теплообменные процессы между стеклянными слоями считаем стационарной, что, подчиняется закону Ньютона.

Схема теплопоступления и характер изменения температуры по слоям трехслойного светопрозрачного проема с водяным потоком приведены на рис 1.



На рис.1. Показана схема теплового потока проходящего через трёхслойное светопрозрачное ограждение с водяным потоком и распределение температур в отдельных частях конструкции.

Из рис.1. видно что, теплопоступление через трехслойный светопрозрачный стеклопакет с водяным потоком, как правило, складывается из двух составляющих: потока суммарного солнечного излучения, прошедшего сквозь светопрозрачное ограждение и входящего в помещение.

Также, потока тепла передаваемый путем теплопередачи за счет разностей температуры внешней среды и внутри помещения.

Ниже приведена совокупность уравнений показывающих тепловые потоки через различные слоя остекления[10].

$$q_1 = k_1(t_h - t_1), \quad (1)$$

здесь

$$k_1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1}}$$

$$q_2 = q_1 + A_1 J_0, \quad (2)$$

$$q_3 = q_2 = k_2(t_1 - t_2), \quad (3)$$

$$k_2 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{в.пр}}} + \frac{1}{\alpha_L}},$$

$$q_2 = q_3 \quad (4)$$

$$q_4 = k_4(t_2 - t_{\text{вод}}), \quad (5)$$

здесь

$$k_4 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{в.пр}}} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}},$$

или

$$q_4 = q_3 + A_2 J_0 \quad (6)$$

$$q_5 = \alpha_{\text{вод}}(t_{\text{вод}} - t_3), \quad (7)$$

или

$$q_5 = q_4 + A_{\text{вод}} J_0 + \dot{m}c(t_{\text{вых}} - t_{\text{вх}}), \quad (8)$$

где

$$q_6 = k_3(t_3 - t_{\text{вн}}), \quad (9)$$

$$k_3 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{вод}}} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}},$$

или

$$q_6 = q_5 + A_3 J_0, \quad (10)$$

Значения общего коэффициента теплопередачи зависят от внутреннего коэффициента теплопередачи  $k_3$ , внешнего коэффициента теплопередачи  $k_1$ , коэффициента теплопередачи воздушной камеры  $k_1$  и коэффициента теплопередачи воды  $k_4$

$$\frac{1}{k_{\text{вн}}} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_4}, \quad (11)$$

$$\frac{1}{k_{\text{вн}}} = \frac{1}{k_3} + \frac{1}{k_4}, \quad (12)$$

В уравнениях (1-10)  $A_1, A_2, A_3$  – коэффициенты лучепоглощения наружного, среднего и внутреннего стеклах и  $A_{\text{вод}}$  – лучепоглощающая способность водяной камеры.

Учитывая значение вышеперечисленных коэффициентов, приведенная коэффициента поглощения  $A_{\text{пр}}$ , которая зависит от энергии, поглощаемой стеклянными слоями и водой;

$$A_{\text{пр}} = A_1 \left( \frac{k_h}{k_1} \right) + A_2 \left( \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_1} \right) + A_3 \left( \frac{k_h}{k_3} \right) + A_{\text{вод}}, \quad (13)$$

решая уравнения (1)-(10) и используя значения уравнений (11)-(13) определим температуру водного потока на выходе по формуле

$$t_{\text{вых}} = \frac{J_0 A_{\text{пр}} + k_{\text{вн}} t_{\text{вн}} + k_h t_h + \dot{m} c t_{\text{вх}}}{\dot{m} c + k_h + k_{\text{вн}}}. \quad (14)$$

Тепловой мощности уносимой водяным потоком т.е. количество тепла полученное водным потоком за единицу времени определяется:

$$P = \dot{m} c (t_{\text{вых}} - t_{\text{вх}}), \quad (15)$$

где,  $P$  – тепловая мощность, поглощаемая водой,  $t_{\text{вх}}$  и  $t_{\text{вых}}$  – температуры воды входящего и выходящего потока в остекление, соответственно,  $\dot{m}$  – массовый расход воды, а  $c$  – удельная теплоемкость воды. Из уравнение (15) видно что, при высоком массовом расходе воды перепад температуры понижается, а при низком ее значении разница температур входящего и выходящего водяного потока увеличивается. Объединяя уравнений (14) и (15), получили уравнение определяющее тепловую мощность водяного потока.

$$P = \frac{\dot{m} c}{\dot{m} c + k_h + k_{\text{вн}}} [J_0 A_{\text{пр}} + k_{\text{вн}} (t_{\text{вых}} - t_{\text{вх}}) + k_h (t_h - t_{\text{вх}})], \quad (16)$$

где,  $t_h$  и  $t_{\text{вн}}$  – соответственно температуры наружной среды и внутри помещения. Анализируя уравнение (16), можно сделать вывод что, тепловая мощность поглощаемая водой изменяется в зависимости от температуры воды входящей в камеру  $t_{\text{вх}}$ .

$$P = P_0 - t_{\text{вх}} (k_h - k_{\text{вн}}) \quad (17)$$

Если граничные условия не меняются со временем, то есть первоначальное значение внешних факторов, действующих на систему будут постоянными, тогда теплообменные процессы протекающие в данной системе считаются стационарными. В данном примере считаем что, солнечные лучи направлены перпендикулярно остеклению. Это предположение устраняет неопределенность, связанную с зависимостью поглощающей способности каждого слоя светопрозрачного ограждения от угла падения. Ныне рассматриваются два примера: (а) и (б). В таблице 1 определены наружные и внутренние граничные условия. В примере (а) изучается влияние внутренней температуры  $t_{\text{вн}}$  с фиксированным коэффициентом поглощения, а в примере (б) рассматривается влияние поглощения при фиксированном значении внутренней температуры.

Таблица 1. Наружные и внутренние граничные условия для устойчивых тепловых характеристик трехслойного светопрозрачного ограждения с водяным

потоком [11-12].

	$J_0$ $W/m^2$	$k_h$ $W/m^2 K$	$k_b$ $W/m^2 \cdot K$	$c$ $J/kg \cdot K$	$t_{bh}$ $^\circ C$	$t_h$ $^\circ C$	$t_{bx}$ $^\circ C$	$A_{pr}$
Стеклопакет	8	1.	6.	36	2	3	1	0
	00	08	89	00	5	0	5	.5
	8	1.	6.	36	2	3	2	0
	00	08	89	00	5	0	0	.5
	8	1.	6.	36	2	3	2	0
	00	08	89	00	5	0	5	.5

На рис 2. Показаны зависимости тепловой мощности поглощаемой водой в светопрозрачной конструкции с водяным потоком от удельного расхода воды  $\dot{m}$ .

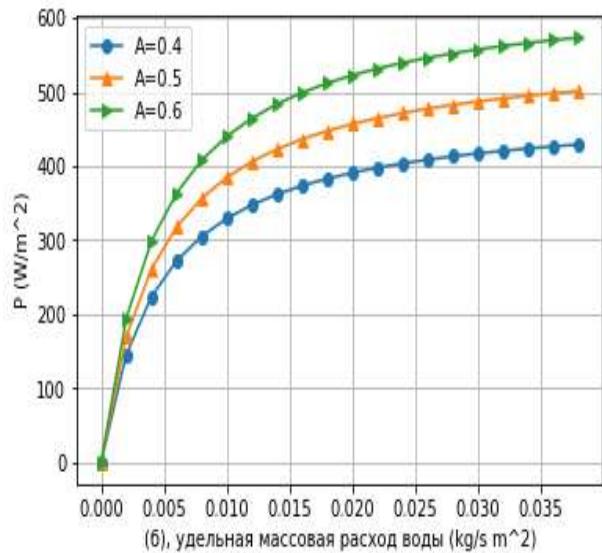
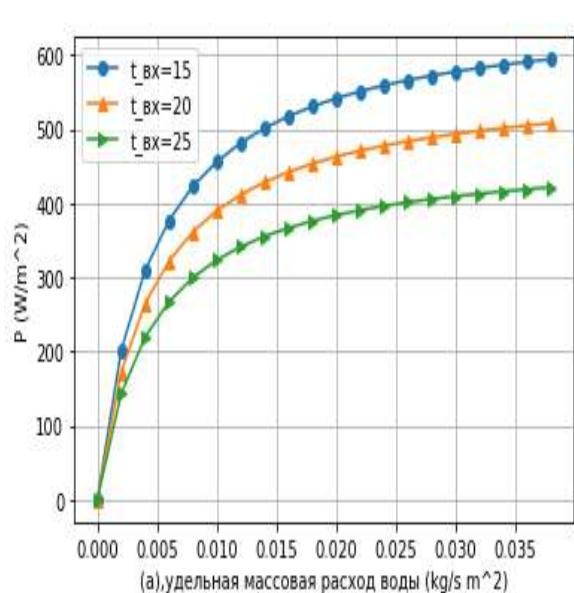


Рис 2. Тепловая мощность, поглощаемая водяным потоком: а)  $A_{pr} = \text{const}$  и при различных температурах воды на входе  $t_{bx}$ ; б) Температура входящей воды постоянна  $t_{bx} = \text{const}$  и при различных средних значениях  $A_{pr}$ .

Из графиков видно что максимальное тепловыделение воды происходит когда  $\dot{m}c \gg k_h + k_{bh}$ . Также значение максимальной мощности теплопоглощения происходит при высоком значении приведенного коэффициента лучепоглощения  $A_{pr}$  трехслойной светопрозрачной ограждающей конструкции и низким значением температуры входящего водяного потока  $t_{bx}$ .

$$P_{\max} = J_0 A_{pr} + k_{bh}(t_{bh} - t_{bx}) + k_h(t_h - t_{bx}), \quad (18)$$

или

$$P_{\max} = J_0 A_{\text{пр}} + k_{\text{вн}} t_{\text{вн}} + k_{\text{н}} t_{\text{н}} - t_{\text{вх}} (k_{\text{вн}} - k_{\text{н}}). \quad (19)$$

При расчетах полезно выработанной тепловой мощности, особое значение имеет температура воды выходящего из водяной камеры, ее значение можно определить объединяя уравнения (14) и (19) т.е.

$$t_{\text{вых}} = t_{\text{вх}} + \frac{P_{\max}}{\dot{m}c + k_{\text{н}} + k_{\text{вн}}}. \quad (20)$$

Расчетные и экспериментальные значения вышеприведенных параметров позволяет нам определить количество полезного тепла (т.е. количество тепла сохраняемое помещением от перегрева) выработанного трехслойного светопрозрачного проема с водяным потоком.

#### Выводы

1. В данной статье изучена модель энергоэффективности трехслойной светопрозрачной ограждающей конструкции содержащей воздушную камеру и камеру с водяным потоком. Приведены системные уравнения для расчета тепловой нагрузки на конструкции с стационарным и переходным воздействием различных параметров.

2. Преимущество использования предложенной конструкции светопрозрачного ограждения в строительстве в том, что если необходимая внутренняя температура помещения ниже наружной температуры, тогда предложенная система охлаждает помещение. В случае обратного, помещения отапливается за счет тепла поглощенного водяного потока.

3. Выше приведенные экспериментальные и расчетные данные и их сопоставление позволяет сделать вывод об их удовлетворительном согласии и возможности использования предложенной модели для расчета и анализа теплотехнических характеристик светопрозрачных проемов различных конструкций.

#### Литература

1. В.С. Беляев. Энергосбережение при выборе светопрозрачных наружных ограждений. Строительство. 2014. №8. С.6-11.
2. Р.Р.Аvezov. Температурное поле и теплопередача через частично лучепоглощающие светопрозрачные ограждения инсоляционных пассивных систем солнечного отопления. Гелиотехника. 2003. №3. С.54-57.
3. Комилов О. С. Ахророва М. И. Хамидов Я. Я. Садыков И. Ш. Расчет теплопоступлений в помещения через остеклённые световые проёмы ISSN: 2660-4159 2023. С. 329-336
4. В.М. Захаров, Н.Н. Смирнов, Д.А. Лапатеев. Снижение энергозатрат путем применения теплоотражающих экранов в окнах. Научно-технические

- ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. 2013 № 2. С.54-60
5. Ю.А. Табунщиков. Окно как интеллектуальный элемент конструкции здания. Энергосбережение. 2008. № 2. С. 16–21.
  6. О.А. Суржикова, И.Е. Никулина. Технико-экономические аспекты энергообеспечения изолированных потребителей Известия Томского политехнического университета. 2005. Т. 308. № 7 С 223- 226
  7. Л.В. Пчелинцева. Проблемы энергосбережения в России. Современные требования к системам оконного и фасадного остекления зданий. Строительная наука. №3. 2021. С. 445-449.
  8. Ji J., Luo C., Chow T.T., Sun W., He W. Thermal characteristics of a building-integrated dual-function solar collector in water heating mode with natural circulation. Energy 2011. 36. P.566–574.
  9. Lanzisera S., Dawson-Haggerty S., Cheung H.; Taneja J., Culler D., Brown R. Methods for detailed energy data collection of miscellaneous and electronic loads in a commercial office building, Build. Environ. 2013. 65. P.170–177.
  - 10.Б.К. Савин. Строительная физика: энергоперенос, энергоэффективность, энергосбережение.-М.: Лазурь, 2007. С.432.
  - 11.КМК 2.01.04-2018 “Строительная теплотехника”, Ташкент, 2018.
  - 12.КМК 2.01.04-97\* “Строительная теплотехника”, Ташкент, 2011
  - 13.Садыков, И. Ш. (2023). Динамика Изменений Микроэлементарного Состава Эритроцитов Крови У Спортсменов С Различной Физической Нагрузкой. *Research Journal of Trauma and Disability Studies*, 2(2), 113-119.
  - 14.Авизов, С. Р., Садыков, И. Ш., & Саломов, Б. Х. (2023). ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ HLORELLA VULGARIS В РАЦИОНЕ ПИТАНИЯ ПРИ РЕАБИЛИТАЦИИ И ПРОФИЛАКТИКИ СПОРТСМЕНОВ С ТРАВМАМИ ОПОРНО-ДВИГАТЕЛЬНОГО АППАРАТА. *European Journal of Interdisciplinary Research and Development*, 15, 252-257.
  - 15.Садыков, И. Ш., & Камалова, Ф. Р. (2021). ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЙ НЕКОТОРЫХ ФАКТОРОВ НЕСПЕЦИФИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ОРГАНИЗМА ЖИВОТНЫХ ОТРАВЛЕННЫХ БИДЕРОНОМ. *Актуальные вопросы и перспективы развития науки, техники и технологии*, 11.