УДК 697.7

ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ ЗЕРКАЛЬНОГО КУБА

Дворецкий А.Т.[1], Завалий А.А.[2], Шубин И. Л.[3]

[1,2]Крымский федеральный университет им. В.А. Вернадского, г. Симферополь
[2]Научно-исследовательский институт строительной физики, г. Москва
E-mail: [1]erces_crimea@mail.ru,[a]zavalym@mail.ru, [b]shuig@mail.ru

Аннотация. Расчётно-аналитически и экспериментально исследовано тепловое состояние поверхностей архитектурного объекта «зеркальный куб», представляющего собой объём размерами 20х20х20м, выполненный в массиве грунта так, что его верхняя грань представляет собой отверстие на поверхности грунта, боковые стены «куба» оформлены как зеркально отражающие поверхности, а дно куба представляет собой бетонированную площадку. Верхняя грань куба открыта для прямого солнечного излучения и воздухообмена объёма куба с окружающей атмосферой, а зеркально отражающие боковые поверхности «куба» представляют собой многослойные панели, закреплённые на его бетонных боковых поверхностях. Архитектурный объект расположен на южном побережье Крыма в районе посёлка Форос.
Предмет исследований: Предметом исследований являются тепловой режим пространств перед фасадами, которые отражают солнечную энергию.
Материалы и методы: В статье предлагаются определение температурного режима работы зеркальных панелей.
Результаты: Установлено, что максимальные значения температуры на поверхности стекла зеркальных стенок «куба» могут достигать кратковременно 200ºС. Вследствие прямого и отражённого солнечного излучения в наихудших температурных условиях находятся нижние слои боковых граней «куба», а наиболее нагретой является бетонная поверхность пола. Локальный перегрев поверхностей стекла нижних ярусов стенок «куба» является основной причиной нарушения целостности клеевого слоя зеркальных панелей стенок.
Выводы: В наиболее сложных условиях дополнительно к конвекции находятся нижние слои граней «куба», т.к. на них приходится наибольшее количество прямой и отражённой от соседних граней тепловой солнечной энергии. Наиболее нагретой является бетонная поверхность пола, т.к. воспринимает прямое и три отражённых излучения и обладает наименьшей отражающей способностью.

Ключевые слова: солнечное излучение, отражённое излучение, зеркально отражающая поверхность, конвективный тепловой поток, концентрация теплового излучения, архитектурный объект.

ВВЕДЕНИЕ

В сентябре 2015 года небоскреб Walkie Talkie в Лондоне с большим отрывом от конкурентов победил в антиконкурсе Carbuncle Cup как худшее новое британское здание.

Вызывает удивление, что создатели столь дорогого здания, как WalkieTalkie (рис.1, а), строительство которого оценивается в 200 млн фунтов стерлингов, не смогли на стадии моделирования и тестирования рассчитать эффект отражения. Удивляет также то, что до сих так много проектировщиков рассматривает стекло как некий «футуристический материал», концептуально «застряв в 1950-х» и не обращают внимание на негативные явления, связанные с отражениями от стеклянных фасадов [1].

Проблемы с WalkieTalkie начались в первых числах сентября 2013 года, когда южная сторона здания была почти полностью остеклена. Вогнутые стекла стали концентрировать и отражать свет, что в солнечные дни приводило к повреждению движимого и недвижимого имущества в окрестностях башни.

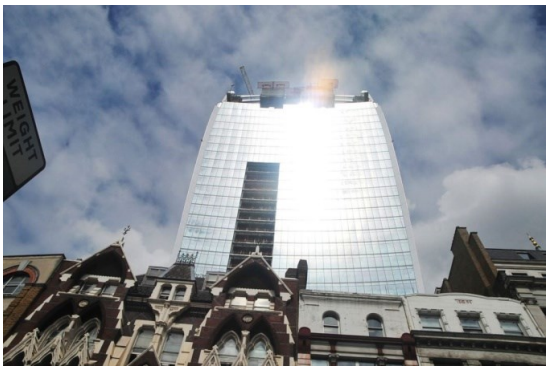
Эта архитектурная вогнутость ловит и так мощно отражает солнечные лучи, что температура в концентрированном луче достигает рекордных 69,8 градуса по Цельсию и можно жарить яичницу (рис. 1 б). Это абсолютный рекорд в естественных условиях — сто лет назад в Долине Смерти была зафиксирована максимальная температура в 56,7 градуса.

Похожий отрицательный эффект наблюдается в Винном парке в Форосе в сооружении под названием «зеркальный куб».

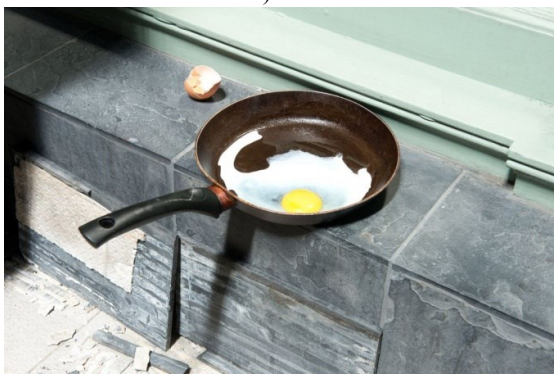
Тепловое состояние поверхностей «зеркального куба» определяется его конструкцией (форма, геометрические размеры, взаимное положение конструкции «куба» и окружающих его объектов), потоком теплового излучения Солнца и конвективными потоками теплоты от стенок «куба» к окружающему их атмосферному воздуху.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Геометрия отражений от кривых поверхностей с источником света в собственной точке рассмотрены в работах профессора Подгорного А.Л. и его учеников. Двухпараметрическое множество отраженных от поверхности концентратора лучей заменяется однопараметрическим множеством поверхностей лучей, отраженных от плоских сечений поверхности концентратора. Такое расслоение конгруэнции отражённых лучей позволило исследовать особенности поверхностей отражённых лучей и разработать теорию квазифокальных точек и квазифокальных линий [2,3].



а)



б)

Рис. 1 а), б). Небоскреб Walkie Talkie в Лондоне. https://www.ixbt.com/live/travel/neboskreb-kotoryy-plavit-avtomobili-i-sbivaet-lyudey-s-nog-istoriya-proekta-walkie-talkie.html

Fig.1 a),b). Walkie Talkie skyscraper in London. https://www.ixbt.com/live/travel/neboskreb-kotoryy-plavit-avtomobili-i-sbivaet-lyudey-s-nog-istoriya-proekta-walkie-talkie.html

Учёт условий облучения зданий важно для анализа теплообменных процессов в стенах, в том числе в прозрачных ограждающих конструкциях, для освещения и инсоляции помещений, поступление солнечного тепла через остекление окон и устройств для нагрева воздуха, регулирование его солнцезащитными устройствами [4].

Геометрическое моделирование показало, что на полу зеркального зала в некоторых зонах происходит сложение трёх отражённых от граней потоков солнечной радиации и прямого потока солнечной радиации [5]. Тепловые снимки, выполненные тепловизором «testo 882», подтвердили достоверность предложенной геометрической модели.

Тепловое равновесие поверхностей «куба» определяется равенством источников теплоты и стоков теплоты. Источником теплоты служит солнечное излучение, а стоком теплоты – конвективные потоки теплоты от стенок к окружающему их воздуху. При этом следует учитывать, что тепловое состояние поверхностей «куба» является динамическим, то есть непостоянным во времени. В определённые часы суток температура воздуха в объёме «куба» может быть выше температуры стенок за счёт нагрева дна куба. В дневное солнечное время температура стенок может быть существенно выше температуры воздуха.

Теплотехнические расчеты элементов зеркальных панелей.

Оценки конвективных тепловых потоков выполнены для предполагаемых диапазонов изменения величины коэффициента конвективной теплоотдачи для вертикальной стенки в условиях естественной конвекции. Этот диапазон по данным различных авторов составляет от 5 до 20 Вт/(м^2·К) [6, 7, 8, 9].

Стоки теплоты от стенок «куба» теплопроводностью следует исключить, так как стенки крепятся к стенам фундамента «куба» стержнями, площадь сечения которых пренебрежимо мала по сравнению с площадью поверхности стенок «куба». Между стенками «куба» и стенами фундамента имеется воздушная замкнутая полость, служащая почти идеальным теплоизолятором.

Таким образом, тепловой баланс стенок «куба» определяется выражением (2.2):

$$q_1 + q_2 = 0, \tag{2.2}$$

где q_1 – поток теплового солнечного излучения, Вт/м^2; q_2 – конвективный тепловой поток от стенок «куба» в окружающую их атмосферу, Вт/м^2.

В соответствии с законом Ньютона-Рихмана величина q_2 равна (2.3):

$$q_2 = \alpha \cdot (t_p - t_a), \tag{2.3}$$

где α – коэффициент конвективной теплоотдачи, Вт/(м^2·К);

t_p – температура поверхности стенки куба, ºС;

t_a – температура атмосферного воздуха внутри «куба», ºС.

Из выражений (2.2) и (2.3) следует формула для определения температуры поверхности стенки «куба» (2.4):

$$t_p = \frac{q_1}{\alpha} + t_a. \tag{2.4}$$

Вычисление температуры поверхности t_p выполним для ряда значений потока теплового солнечного излучения q_1, коэффициента конвективной теплоотдачи α и температуры атмосферы t_a.

Следует учитывать, что величина q_1 включает в себя сумму всех потоков падающего на поверхность стенки «куба» теплового излучения, то есть прямого солнечного излучения и отражённого, включая однократное и многократные отражения.

Выполненное нами ранее экспериментальное определение величины потока прямого солнечного излучения на площадку, расположенную перпендикулярно потоку солнечного излучения, показало, что в середине октября в солнечный день в Симферополе

максимальное значение потока прямого солнечного излучения достигало 1750 Вт/м^2 при среднем значении 1017 Вт/м^2 в период с 13 по 16 часов местного времени.

В условиях облучения стенок «куба» величина прямого солнечного излучения существенно снижается, так как стенки не перпендикулярны направлению потока излучения, а поверхности стенок обладают отражающей способностью, составляющей до 60% от падающего потока излучения. Поэтому для дальнейших расчётов принято, что величина q_1 в формуле (2.4) может изменяться от 300 до 800 Вт/м^2.

Как следует из приведенных выше рисунков, дно куба облучается прямым солнечным излучением с 9-00 до 16-00 по местному времени. Доля облучаемой площади дна S_d достигает в 12-00 величины 0,57.

Величины q_n и S_d приведены в таблице 1.

В расчёте принимаем, что бетонная поверхность пола является диффузно излучающим по закону Ламберта телом со степенью черноты ε = 0,8. Принимаем также, что излучение осуществляется всей поверхностью пола, угол облучения боковой стенки определяем от центра пола на центр выделенной на стенке полосы по высоте в направлении, перпендикулярном поверхности стенки (рис. 2.).

Максимальное значение температуры поверхности пола принимаем равным t_{max} = 220 ºС по результату экспериментального определения факта плавления пенополиуретановой теплоизоляции на дне куба в июле 2020 года. Максимальное значение температуры пола соотносим с максимальными значениями q_{nmax} и S_{dmax} (табл. 1), значения температуры в другие моменты времени определяем как прямо пропорционально зависящие от q_n и S_d.

Таблица 1. Удельная мощность теплового излучения q_n и доля облучаемой Солнцем площади дна куба S_d на 12 июня

Table 1. Specific power of thermal radiation q_n and the proportion of the area of the cube bottom irradiated by the Sun S_d on June 12

	дата 12.06				
№	Время, час	Азимут, град.	Высота, град.	q_n	S_d
		α	γ	Вт/м^2	%
1	6	65	9		
2	7	75	20		
3	8	82	30		
4	9	92	40	700	2,5
5	10	105	50	1000	17,5
6	11	120	60	1400	33,8
7	12	144	66	1500	57
8	13	190	67	1550	52,5
9	14	216	63	1600	42,5
10	15	240	55	1400	28
11	16	255	45	1000	9
12	17	268	34		
13	19	285	24		

Такая оценка даёт заниженные значения теплового потока для прилежащих к облучаемой поверхности дна стенок и завышенные – для удалённых стенок.

Для определения теплового потока излучения от дна используем закон Стефана-Больцмана, в котором температуру стенки куба примем равной температуре этой стенки, определённой без учёта искомого потока от дна куба.

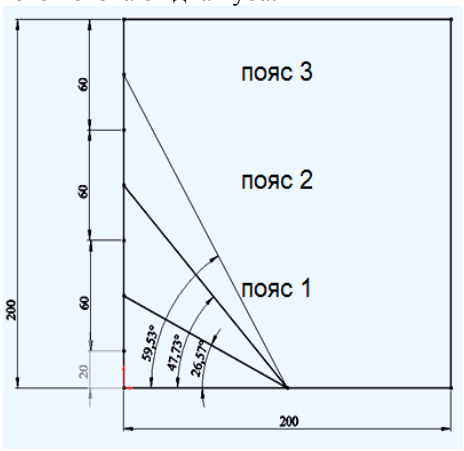


Рис. 2. Углы облучения боковых стенок дном куба
Fig. 2. Irradiation angles of the side walls by the cube bottom

Расчётная формула определения суммы падающего прямого и первого отражённого от смежных стенок потоков излучения на поверхность стенки имеет вид (2.5):

$$q_0 = (1-R)\cdot q_n \cdot \sin(\beta_n) + \\ + R\cdot q_n \cdot \sum(\sin(\beta_i)\cdot\sin(\beta 1_i)), \quad (2.5)$$

где q_0 – суммарный падающий поток теплового излучения без учёта излучения дна куба, Вт/м^2;

β_n – угол падения прямого излучения на исследуемую стенку, град.;

β_i – угол падения прямого излучения на смежную стенку, град.;

$\beta 1_i$ – угол падения отражённого излучения от смежной стенки, град.

Температуру поверхности стенки определяем по уравнению теплового баланса потока теплового излучения и конвективного теплового потока от стенки окружающему воздуху (2.6):

$$t_p = \frac{q_0}{\alpha} + t_a \quad (2.6)$$

где α – коэффициент конвективной теплоотдачи, Вт/(м^2·К);

t_p – температура поверхности стенки куба, ºС;

t_a – температура атмосферного воздуха внутри «куба», ºС.

Величину суммарного теплового потока излучения на j-й пояс стенки с учётом излучения дна куба определяем по формуле (2.7):

$$q_{1j} = q_0 + (1 - R) \cdot \varepsilon \cdot$$
$$\cdot \sigma \left[\left(273{,}15 + t_{\max} \cdot \frac{q_n \cdot S_d}{q_{n\max} \cdot S_{d\max}} \cdot \frac{S_d}{100} \right)^4 - (271{,}15 + t_p)^4 \right] \cdot$$
$$\cdot \cos(\varphi_j), \qquad (2.7)$$

где φ_j – угол падения теплового излучения от дна куба на пояс боковой стенки в соответствии с рисунком 2.18.

Окончательно температуру поверхности пояса стенки определяем по формуле (2.8):

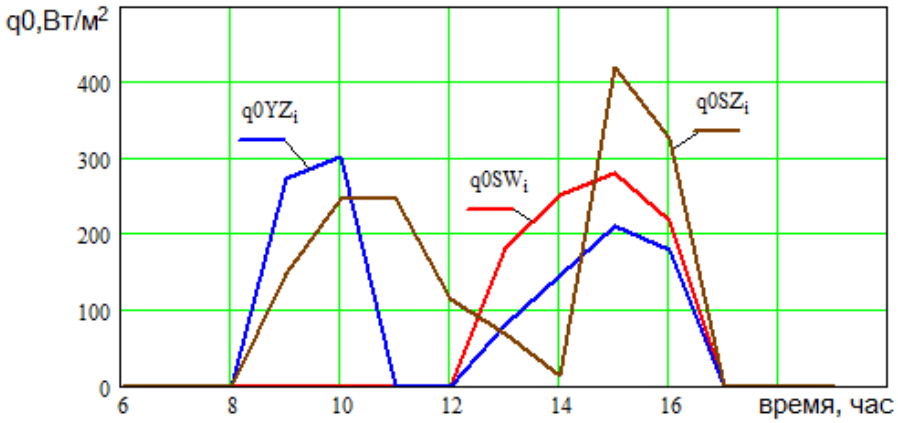
$$t_{pj} = \frac{q_{1j}}{\alpha} + t_a \qquad (2.8)$$

Результаты расчёта q_0 по формуле (2.5) приведены в таблице 2.3. Графическое изображение данных таблицы 2 приведено на рисунке 3.

Таблица 2. Сумма падающего прямого и первого отражённого от смежных стенок потоков излучения на поверхности стенки куба

Table 2. The sum of the incident direct and first reflected from adjacent walls radiation fluxes on the surface of the cube wall

№	время, час	qСВ, Вт/м^2	qЮЗ, Вт/м^2	qСЗ, Вт/м^2
1	6	0	0	0
2	7	0	0	0
3	8	0	0	0
4	9	0	273,72	148,38
5	10	0	300,63	246,26
6	11	0	0	245,49
7	12	0	0	114,49
8	13	181,27	79,498	68,08
9	14	250,07	146,56	13,091
10	15	280	210	420
11	16	217,86	177,98	326,78
12	17	0	0	0
13	19	0	0	0



qСВ – q_0SW; qЮЗ – q_0YZ; qСЗ – q_0SZ

Рис. 3 Падающий на стены поток теплового излучения q0, рассчитанный по формуле (2.5)

Fig. 3. The flux of thermal radiation q0 falling on the walls, calculated using formula (2.5)

Определение температурного режима работы зеркальных панелей на объекте

На графике (рис. 4) приведены поверхности возможных температур поверхности стенок «куба» для принятых диапазонов величин α, q_1 и величины t_a = 50ºС.

Как следует из графиков наиболее неблагоприятным сочетанием α и q_1 является низкое значение α и высокое значение q_1 (солнечная безветренная погода). В этих условиях температура поверхности стенки может достигать 200ºС.

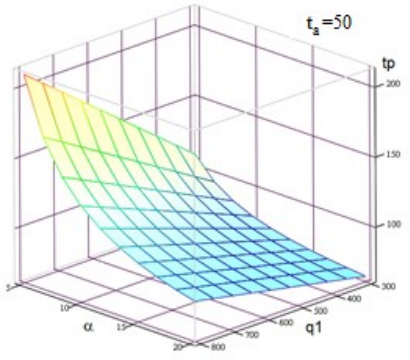


Рис. 4. Величина температуры стенки поверхности «куба»

Fig. 4. The value of the wall temperature of the “cube” surface

Следует иметь в виду, что полученная в расчётах оценка максимального значения температуры является оценкой «сверху», так как получена для стационарного теплового состояния стенки, то есть, когда максимальное значение потока теплового излучения действует на стенку продолжительный период времени. В то время как в действительности период действия максимального теплового потока ограничен несколькими десятками минут.

Экспериментальное определение температуры поверхности стенок «куба» выполнено 12 марта 2021 года в период с 14-00 до 14-30 по местному времени.

В течение дня эксперимента была преимущественно облачная погода. Безоблачная солнечная погода установилась к 13-30. Таким образом, температурное состояние стенок и дна «куба» следует определить, как динамическое, то есть в состоянии разогрева.

Измерения выполнены тепловизором testo 882 с матрицей размером 320x240 пикселей.

Для проверки корректности показаний тепловизора выполнены тестовые измерения, в результате которых получено:

1) тепловизор регистрирует температуру поверхности стекла (рис. 5);

2) заданные в программное обеспечение тепловизора коэффициенты отражения и температура окружающей среды позволяют получать корректные значения температуры поверхности стекла с погрешностью не более 5%;

3) отражение в зеркальных поверхностях стенок «куба» излучения объектов, имеющих более высокую температуру по сравнению с температурой поверхности стенки, приводит к завышению показаний тепловизора. Величина завышения составляет примерно 20% от разницы температур более горячего объекта и отражающей поверхности. Например, если температура поверхности составляет 20ºС, а температура горячего объекта 100ºС, то регистрируемая тепловизором температура составляет:

$$20ºC+(100-20)/5ºC = 36ºC.$$

На иллюстрациях ниже представлены диаграммы распределения температуры и фотографические изображения объектов измерения.

Расчёт температуры поверхности стенок выполнен для значений коэффициента конвективной теплоотдачи α = 5, 10, 15 и 20 Вт/(м^2·К) и температуре воздуха внутри куба ta = 50 ºС.

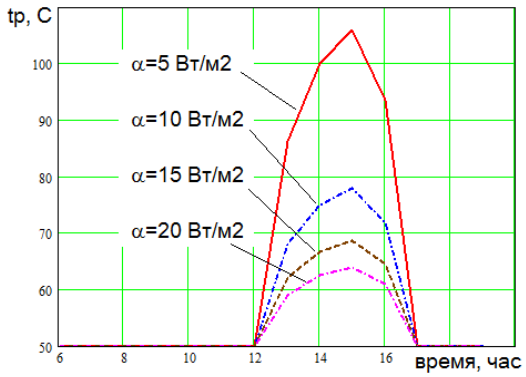
Результаты расчёта для каждой из стенок приведены в таблице 3.

Представленные в таблице 3 значения температуры поверхности стенки позволяют определить поток теплового излучения от поверхности пола на стенки по формулам (2.5) и (2.6).

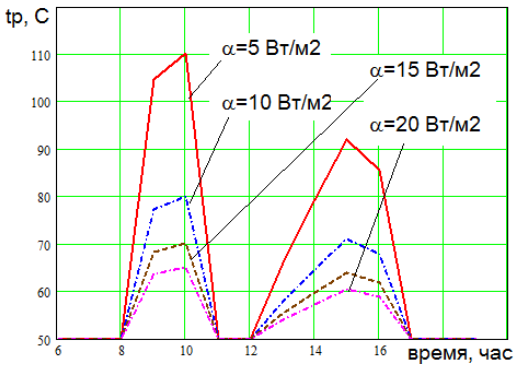
Графическое изображение результатов расчёта температуры стенок приведены на рисунке 5.

Таблица 3. Расчётные температуры поверхности стенок
Table 3. Calculated wall surface temperatures

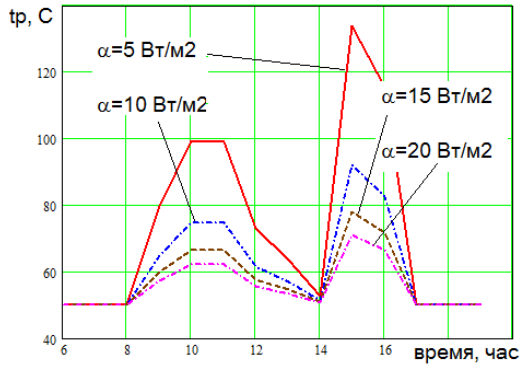
время, час	t_pСВ, ºС				t_pЮЗ, ºС				t_pСЗ, ºС			
	α, Вт/м^2				α, Вт/м^2				α, Вт/м^2			
	5	10	15	20	5	10	15	20	5	10	15	20
7,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
8,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
9,00	50,00	50,00	50,00	50,00	104,74	77,37	68,25	63,69	79,68	64,84	59,89	57,42
10,00	50,00	50,00	50,00	50,00	110,13	80,06	70,04	65,03	99,25	74,63	66,42	62,31
11,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	99,10	74,55	66,37	62,27
12,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	72,90	61,45	57,63	55,72
13,00	86,25	68,13	62,08	59,06	65,90	57,95	55,30	53,97	63,62	56,81	54,54	53,40
14,00	100,01	75,01	66,67	62,50	79,31	64,66	59,77	57,33	52,62	51,31	50,87	50,65
15,00	106,00	78,00	68,67	64,00	92,00	71,00	64,00	60,50	134,00	92,00	78,00	71,00
16,00	93,57	71,79	64,52	60,89	85,60	67,80	61,87	58,90	115,36	82,68	71,79	66,34
17,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
19,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00



а)



б)



в)

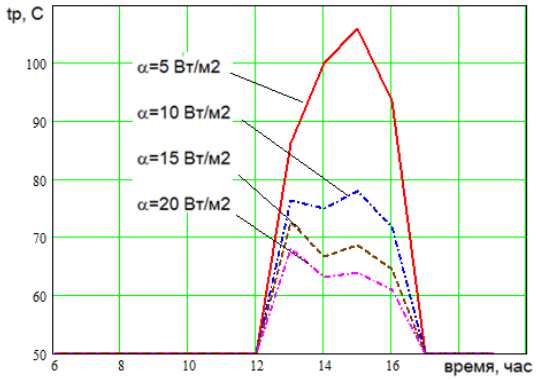
Рис. 5. Расчётные значения температуры tp поверхности стенок:
а) стенка СВ; б) стенка ЮЗ; в) стенка СЗ

Fig. 5. Calculated values of wall surface temperature tp: a) wall CB; b) wall SW; c) wall SZ

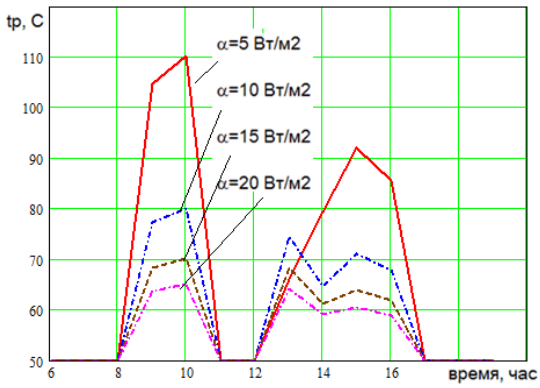
В таблице 4 и на рисунке 6 приведены расчётные значения температуры для 1-го пояса стен куба в соответствии с обозначениями на рисунке 3.

Таблица 4 Расчётные температуры поверхности стенок 1-го пояса
Table 4 Calculated surface temperatures of the walls of the 1st belt

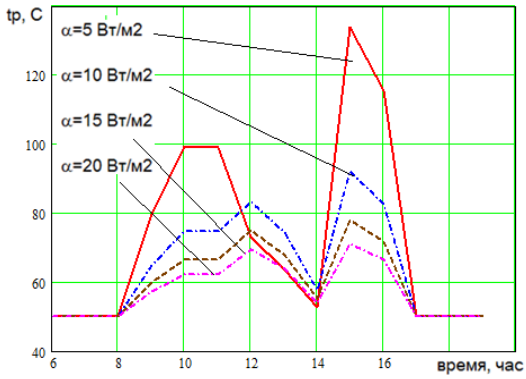
время, час	t_pСВ, ºС				t_pЮЗ, ºС				t_pСЗ, ºС			
	α, Вт/м^2				α, Вт/м^2				α, Вт/м^2			
	5	10	15	20	5	10	15	20	5	10	15	20
6,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0
7,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0
8,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0
9,0	50,0	50,0	50,0	50,0	104,7	77,4	68,2	63,7	79,7	64,8	59,9	57,4
10,0	50,0	50,0	50,0	50,0	110,1	80,1	70,0	65,0	99,3	74,6	66,4	62,3
11,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	99,1	74,5	66,4	62,3
12,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	72,9	83,2	75,1	69,5
13,0	86,3	76,3	72,6	68,1	65,9	74,5	68,3	64,2	63,6	74,2	67,8	63,7
14,0	100,0	75,0	66,7	63,1	79,3	64,7	61,1	59,2	52,6	57,5	55,3	54,1
15,0	106,0	78,0	68,7	64,0	92,0	71,0	64,0	60,5	134,0	92,0	78,0	71,0
16,0	93,6	71,8	64,5	60,9	85,6	67,8	61,9	58,9	115,4	82,7	71,8	66,3
17,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0
19,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0



а)



б)



в)

Рис. 6. Расчётные значения температуры поверхности стенок 1-го пояса:
а) стенка СВ; б) стенка ЮЗ; в) стенка СЗ

Fig. 6. Calculated values of the surface temperature of the walls of the 1st belt:
a) wall CB; b) wall SW; c) wall NW

Заметное влияние тепловое излучение пола оказывает на нижний 1-й пояс стен в период с 12 до 14 часов местного времени, о чём свидетельствует сравнение диаграмм на рисунках 5 и 6.

ВЫВОДЫ

1. Для принятых диапазонов изменения теплового потока солнечного излучения и коэффициентов естественной конвективной теплоотдачи максимальные значения температуры на поверхности стекла стенок «куба» может достигать кратковременных значений 200ºС.

2. В наиболее угнетённых условиях дополнительно к конвекции находятся нижние слои граней «куба», т.к. на них приходится наибольшее количество прямой и отражённой от соседних граней тепловой солнечной энергии. Наиболее нагретой является бетонная поверхность пола, т.к. воспринимает прямое и три отражённых излучения и обладает наименьшей отражающей способностью. Известно, что бетон обладает наибольшей аккумулирующей способностью после воды.

3. Таким образом, явления локального перегрева поверхностей являются основной причиной нарушения целостности клеевого слоя зеркальной панели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Интернет ресурс https://www.ixbt.com/live/travel/neboskreb-kotoryy-plavit-avtomobili-i-sbivaet-lyudey-s-nog-istoriya-proekta-walkie-talkie.html

2. Подгорный А.Л. Поверхности отраженных лучей // Прикладная геометрия и инженерная графика. Киев. «Будівельник», 1975. – Вып. 20. С.13 – 16.

3. Dvoretsky A.T. The special points of reflected beam surfaces // Прикладна геометрія та інженерна графіка. – Київ. КНУБА, 2002 – вип. 70. – С. 208-213.

4. Сергейчук О.В. Геометрична комп'ютерна модель "Atmospheric Radiation" для енергоефективного будівництва// Енергосбереження в будівництві та архітектурі. .- Київ:-2011 -вип. 1.- С 22-28.

5. Дворецкий А.Т., ЗавалийА.А., Спиридонов А.В., Шубин И.Л. Оценка инсоляционного режима зеркального зала уникального здания Светотехника. №2, 2022, С. 17-21.

6. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена. – Изд. 5-е перераб. и доп. – М.: Атомиздат, 1979. - 416 с.

7. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. Учебник для вузов. - Изд. 3-е, перарб. и доп. – М.: Энергия, 1975. - 488 с.

8. Кейс В.М. Конвективный тепло- и массообмен. Пер. с англ. – М.: Энергия, 1972. - 448 с.

9. Матрыненко О.Г., Соковишин Ю.А. Свободно-кнвективный теплообмен. Справочник – Минск: Наука и техника, 1982. – 400 с.

REFERENCES

1. Internet resource https://www.ixbt.com/live/travel/neboskreb-kotoryy-plavit-avtomobili-i-sbivaet-lyudey-s-nog-istoriya-proekta-walkie-talkie.html.

2. Podgorny A.L. Surfaces of reflected rays // Applied geometry and engineering graphics. Kyiv. "Budivelnik", 1975. - Issue 20. Pp. 13 - 16.

3. Dvoretsky A.T. The special points of reflected beam surfaces // Прикладна геометрія та інженерна графіка. – Київ. КНУБА, 2002 – вип. 70. – С. 208-213.

4. Sergeychuk O.V. Geometric computer model “Atmospheric Radiation” for energy efficient living// Energy saving in everyday life and architecture. .- Kiev:-2011 -vip. 1.- From 22-28.

5. Dvoretsky A.T., Zavaliy A.A., Spiridonov A.V., Shubin I.L. Assessment of the insolation regime of the mirror hall of the unique building// Light&Engineering. No. 2, 2022, pp. 17-21.

6. Kutateladze S.S. Fundamentals of the Theory of Heat Transfer. – 5th ed. revised and enlarged. – M.: Atomizdat, 1979. 416 p.

7. Isachenko V.P., Osipova V.A., Sukomel A.S. Heat Transfer. Textbook for Universities. 3rd ed., revised and enlarged. – Moscow: Energiya, 1975. 488 p

8. .Case V.M. Convective heat and mass transfer. Translated from English. – Moscow: Energy, 1972. 448 p.

9. Matrynenko O.G., Sokovishin Yu.A. Free convective heat transfer. Handbook – Minsk: Science and Technology, 1982. – 400 p.

THERMAL CONDITIONS OF THE MIRROR CUBE

Dvoretsky A.T.[1], Zavaliy A.A.[2], Shubin I. L.[3]

[1,2]The Crimean Federal University named after V.I. Vernadsky, Simferopol,
[3]Research Institute of Building Physics, Moscow
E-mail: [1]erces_crimea@mail.ru,[a]zavalym@mail.ru, [b]shuig@mail.ru

Abstract. The thermal state of the surfaces of the architectural object "mirror cube" was investigated by calculation, analysis and experiment. It is a volume measuring 20x20x20 m, made in a soil massif so that its upper edge is an opening on the soil surface, the side walls of the "cube" are designed as mirror-reflecting surfaces, and the bottom of the cube is a concrete platform. The upper edge of the cube is open to direct solar radiation and air exchange of the cube volume with the surrounding atmosphere, and the mirror-reflecting side surfaces of the "cube" are multilayer panels fixed to its concrete side surfaces. The architectural object is located on the southern coast of Crimea in the area of the village of Foros.
Subject of research: The subject of research is the thermal conditions of spaces in front of facades that reflect solar energy.
Materials and methods: В статье предлагаются определение температурного режима работы зеркальных панелей.
Results: It has been established that the maximum temperature values on the glass surface of the "cube" mirror walls can reach 200ºC for a short time. Due to direct and reflected solar radiation, the lower layers of the "cube" side faces are in the worst temperature conditions, and the concrete surface of the floor is the hottest. Local overheating of the glass surfaces of the lower tiers of the "cube" walls is the main reason for the violation of the integrity of the mirror panel adhesive layer of the walls.
Conclusions: In addition to convection, the lower layers of the cube faces are in the most difficult conditions, since they receive the greatest amount of direct and reflected solar thermal energy from adjacent faces. The concrete floor surface is the hottest, since it receives direct and three reflected radiation and has the lowest reflectivity.

Key words: solar radiation, reflected radiation, mirror reflecting surface, convective heat flow, concentration of thermal radiation, architectural object.