

**ТЕПЛООБМЕН В ВЕНТИЛИРУЕМОЙ
ВОЗДУШНОЙ ПРОСЛОЙКЕ ВЕНТФАСАДОВ
С УЧЕТОМ КОЭФФИЦИЕНТА ИЗЛУЧЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ**

**HEAT TRANSFER IN A VENTILATED AIR GAP
OF VENTRA-GARDENS AND TAKING ACCOUNT
OF THE EMISSIVITY OF SURFACES**

Н.П. УМНЯКОВА
N.P. UMNYAKOVA

(Научно-исследовательский институт строительной физики
Российской академии архитектуры и строительных наук)
(Research Institute of Building Physics
of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences)
E-mail: n.umniakova@mail.ru

Для улучшения архитектурного облика зданий предприятий текстильной промышленности и решения вопросов экономии топливно-энергетических ресурсов целесообразно использовать навесные вентилируемые фасады. Оценка их теплозащитных качеств в настоящее время проводится без учета теплозащитных качеств вентилируемых воздушных прослоек. Приведенные в статье результаты исследований показали, что применение отражательной теплоизоляции на теплой поверхности вентилируемой воздушной прослойки повышает теплозащитные качества навесных вентилируемых фасадов. Представленная методика позволяет вычислить термическое сопротивление вентилируемых воздушных прослоек с отражательной теплоизоляцией и без нее с учетом конвективной и лучистой составляющей теплообмена в навесных вентилируемых фасадных системах зданий.

To improve the architectural appearance of the buildings of the textile enterprises and for solution the problem of energy saving it is advisable ventilated facades. Evaluation of heat-protection properties is currently being conducted without regard to heat-protection qualities of ventilated air-pass layer. Given in the article studies have shown that the use of reflective insulation on the warm surface of a ventilated air gap increases thermal insulation qualities of ventilated facades. Presented in the article method allows us to calculate the thermal resistance of ventilated air layers with reflective insulation and without taking into account the convective and radiative heat transfer component in the ventilated curtain facade building systems.

Ключевые слова: вентилируемая воздушная прослойка, коэффициент теплообмена, лучистый тепловой поток, конвективный теплообмен.

Keywords: ventilated air layer, heat transfer coefficient, the radiant heat flux, convective heat transfer.

Экономия тепловой энергии на отопление и снижение теплопотерь через наружные ограждающие конструкции промышленных зданий актуальны для предприя-

тий текстильной и легкой промышленности. Большинство этих предприятий были построены достаточно давно и в настоящее время нуждаются не только в реконструк-

ции, но и улучшении внешнего вида. Использование навесных вентилируемых фасадов для реконструкции зданий предприятий текстильной и легкой промышленности позволит не только улучшить архитектурный облик города, но и будет способствовать решению проблемы энергосбережения. Для снижения теплопотерь через наружные ограждающие конструкции давно построенных предприятий должны использоваться современные конструкции с эффективными теплоизоляционными материалами. Одним из таких материалов может быть отражательная теплоизоляция из алюминиевой фольги. Она изготавливается отечественными производителями в сочетании с пенополиэтиленом различных марок: пенофол, олефол, линотерм, армофол. Все они зарекомендовали себя – как хороший и долговечный теплоизоляционный материал.

Рассмотрим эффективное использование отражательной теплоизоляции из алюминиевой фольги в конструкциях навесных вентилируемых фасадов.

Известно, что спектральная интенсивность излучения зависит от длины волны и абсолютной температуры черного излучения. Энергия теплового излучения переносится электромагнитными волнами, длина которых находится в диапазоне 0,3...0,5 мкм. Для практического использования методов теплообмена излучения вводится понятие "серое тело". Это позволяет считать, что серое тело при данной температуре характеризуется непрерывным распределением энергии в спектре собственного излучения, аналогичным распределению энергии в спектре абсолютно черного тела. К серым телам относятся все строительные материалы, включая отражательную теплоизоляцию из алюминиевой фольги.

При расчете лучистого теплообмена в теплопередаче ограждающих конструкций используются соответствующие экспериментальные радиационные характеристики, относящиеся ко всему диапазону длин волн. В отечественной технической литературе приводятся коэффициенты излучения различных материалов [1], [2]. Они

используются в строительной практике при расчете лучистого теплообмена в воздушных прослойках строительных конструкций.

Анализ данных показывает, что коэффициенты излучения материалов изменяются в достаточно широких пределах. Так, полированные и шероховатые поверхности алюминия имеют низкий коэффициент излучения по сравнению с поверхностями пенополистирола, минераловатными плитами и другими материалами.

Блестящие поверхности алюминиевой фольги отражают большую часть падающего излучения, и их поверхности, в свою очередь, излучают незначительно малое количество тепловой энергии. На рис. 1 (отражательная способность алюминиевых поверхностей: 1 – алюминий полированный; 2 – алюминий с окисленной пленкой) на графике отчетливо видна отражательная способность алюминиевой поверхности. Из графика следует, что отшлифованная поверхность алюминия имеет высокую отражательную способность в диапазоне лучей с короткой длиной волны. Для поверхности алюминия, имеющей окисленную пленку, отражательные качества понижаются с увеличением длины волны.

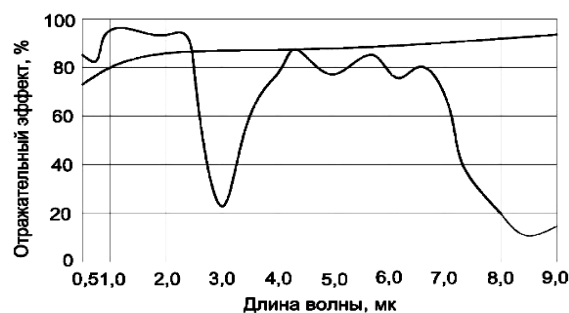


Рис. 1

Интересная закономерность наблюдается у алюминиевых полированных поверхностей, спектральная поглощающая способность которых монотонно уменьшается с ростом длины волны. При наличии окисленной пленки наблюдается максимум поглощения в области 3 мкм. При величине поглощающей способности более 3 мкм она сначала падает, затем повышается с ростом длины волны.

Отражательная теплоизоляция из алюминиевой фольги в настоящее время используется в воздушных прослойках, кото-

рые находятся в замкнутом объеме ограждающих конструкций и имеют термические сопротивления, представленные в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Толщина воздушной прослойки, см	Термические сопротивления замкнутых воздушных прослоек $R_{\text{воз.пр.}}$, ($\text{м}^2\text{°C}/\text{Вт}$, при температуре воздуха	
	положительная	отрицательная
1	0,13	0,15
2	0,14	0,15
3	0,14	0,16
5	0,14	0,17
10	0,15	0,18
15	0,15	0,18

В отличие от замкнутых воздушных прослоек в вентилируемых прослойках происходит вентиляция наружным воздухом всего объема прослойки. Поэтому в существующих нормативных документах при теплотехнических расчетах вентфасадов не учитывается термическое сопротивление вентилируемых воздушных прослоек. Кроме того, в этих расчетах рекомендуется принимать среднюю температуру наружного воздуха $t'_n = 0,95 t_n$.

Однако в любом замкнутом объеме при разности температур между поверхностями происходит лучистый теплообмен. Его величина зависит от коэффициентов излучения этих поверхностей. Тем не менее, в работах, посвященных теплозащитным свойствам конструкций навесных вентилируемых фасадов (НВФ), использование отражательной теплоизоляции в воздушных прослойках не рассматривалось. В частности, не изучался вопрос, когда по одной из ее поверхностей имеется отражательная теплоизоляция, а другая поверхность состоит из наружного облицовочного слоя.

Для уточнения определения величин составляющих лучистого теплообмена зададимся величинами конвективных термических сопротивлений вентилируемых воздушных прослоек, приведенными в табл. 2 (значение термического сопротивления воздушной вентилируемой прослойки толщиной 7 см и шириной 1,0 м (по данным Н.П. Умняковой [2])), учитывающих только конвективный теплообмен.

Т а б л и ц а 2

Температура воздуха, °C	Термическое сопротивление прослоек при скорости воздушного потока (ветра/вентилируемой воздушной прослойки), м/с							
	0,1/0,1	0,35/0,2	0,8/0,3	1,5/0,4	2,5/0,5	3,3/0,6	5,2/0,7	7,0/0,8
30	0,163	0,153	0,135	0,110	0,101	0,090	0,080	0,072
20	0,178	0,164	0,141	0,116	0,104	0,095	0,084	0,075
10	0,19	0,172	0,144	0,117	0,105	0,097	0,086	0,076
0	0,199	0,180	0,155	0,122	0,108	0,099	0,087	0,076
-10	0,215	0,190	0,155	0,126	0,11	0,102	0,085	0,075
-20	0,224	0,200	0,160	0,130	0,113	0,102	0,086	0,084
-30	0,230	0,208	0,163	0,135	0,114	0,101	0,088	0,083

Теплозащитные свойства вентилируемой воздушной прослойки зависят от скорости ветра и температуры наружного воздуха. Конвективное термическое сопротивление понижается с понижением температуры и изменяется в зависимости от скорости ветра и скорости движения воздуха в вентилируемой воздушной прослойке. Так,

при $t_n = -30\text{°C}$, скорости ветра $v_{\text{ветр}} = 0,35$ м/с и скорости движения воздуха в вентилируемой воздушной прослойке $v_{\text{воз.пр}} = 0,2$ м/с термическое сопротивление составило $R_{\text{воз.пр}} = 0,208$ $\text{м}^2\text{°C}/\text{Вт}$; при $v_{\text{ветр}} = 3,3$ м/с и $v_{\text{воз.пр}} = 0,6$ м/с термическое сопротивление воздушной прослойки $R_{\text{воз.пр}} = 0,101$ ($\text{м}^2\text{°C}/\text{Вт}$). При изменении температуры наружного

воздуха от 30 до -30°C при $v_{\text{ветр}} = 3,3$ м/с и $v_{\text{воз. пр}} = 0,6$ м/с термическое сопротивление воздушной прослойки будет меняться от 0,09 до 0,101 ($\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$)/Вт.

Рассмотрим многослойную стену вентфасада, состоящую из кирпичной стены с коэффициентом теплопроводности 0,81 Вт/($\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$), толщиной 51 см и термическим сопротивлением $R_{\text{кир}} = 0,63$ ($\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$)/Вт; двух слоев минераловатной каменной ваты с коэффициентом теплопроводности 0,048 Вт/($\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$), толщиной 10 см и сопротивлением $R_{\text{кам. ват}} = 2,08$ ($\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$)/Вт; воздушная вентилируемая прослойка, ($\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$)/Вт и облицовочная керамическая

$$R_0 = 0,115 + 0,628 + 2,085 + 0,1 + 0,037 + 0,043 = 3,1 \text{ (м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})/\text{Вт.}$$

Для определения температуры и характера ее распределения в конструкции вентфасада воспользуемся известной формулой:

$$t_n = t_{\text{в}} - \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}}{R_0} (R_{\text{в}} + \bar{z}_{n-1} R), \quad (1)$$

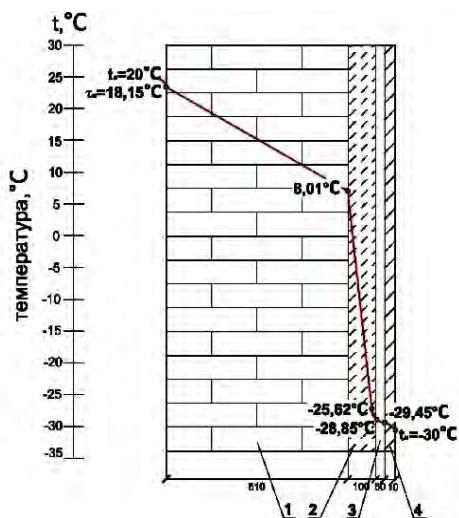


Рис. 2

Распределение температуры по конструкции стены вентфасада при учете конвективной составляющей в воздушной вентилируемой прослойке 0,1 ($\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$)/Вт приводится на рис. 2 (распределение температуры в конструкции кирпичной стены с навесным вентилируемым фасадом: 1 – кирпичная кладка; 2 – утеплитель из минеральной ваты; 3 – вентилируемая воздуш-

плитка с коэффициентом теплопроводности 1,15 Вт/($\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$), толщиной 4 см и термическим сопротивлением $R_{\text{кер.пл}} = 0,034$ ($\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$)/Вт.

Примем температуру внутреннего воздуха $t_{\text{в}} = 20^{\circ}\text{C}$ и наружного воздуха $t_{\text{н}} = -30^{\circ}\text{C}$.

При определении температуры по слоям многослойной стены вентфасада по формуле (1) термическое сопротивление воздушной вентилируемой прослойки примем 0,1 и 0,2 ($\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$)/Вт. Тогда сопротивление теплоотдачи соответственно составит:

где t_n – температура на внутренней поверхности n-го слоя ограждения; $t_{\text{в}}$ и $t_{\text{н}}$ – температуры внутреннего и наружного воздуха, $^{\circ}\text{C}$; R_0 – сопротивление теплоотдачи стены вентфасада ($\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$)/Вт.

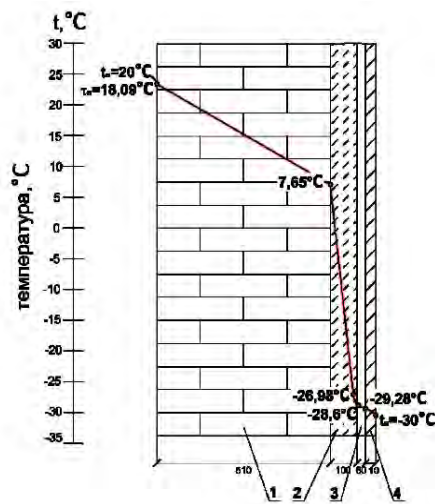


Рис. 3

ная прослойка; 4 – облицовочная плитка вентфасада), а при учете – 0,2 ($\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$)/Вт приводится на рис. 3 (распределение температуры в конструкции кирпичной стены с навесным вентилируемым фасадом: 1 – кирпичная кладка; 2 – утеплитель из минеральной ваты с отражательной теплоизоляцией из алюминиевой фольги; 3 – вентили-

лируемая воздушная прослойка; 4 – облицовочная плитка вентфасада).

При рассмотрении лучистого теплообмена в вентилируемой воздушной прослойке в отношении отраженных и поглощенных лучей между поверхностями принимаем ряд незначительных допущений, которые в дальнейшем не повлияют на точность полученных результатов. В частности, считаем, что поверхности утеплителя и облицовки на откосе, обращенные в воздушную вентилируемую прослойку, параллельны и их площади практически равны между собой. Поэтому интенсивность лучей, исходящих от одной поверхности, равна интенсивности лучей, воспринимаемой другой поверхностью. Это позволяет считать, что угловой коэффициент для этих поверхностей $\varphi = 1$. Таким образом, в ограниченном объемном пространстве воздушной вентилируемой прослойки имеются две, расположенные параллельно, поверхности с разными температурами, и между ними происходит лучи-

стый теплообмен. Температуру, излучательную и отражательную способность этих поверхностей обозначим соответственно T_1, E_1, A_1 и T_2, E_2, A_2 . Так, при $T_1 > T_2$ с первой поверхности в единицу времени излучается энергии в количестве E_1 . Попадая на вторую поверхность, эта энергия частично поглощается второй поверхностью, частично от нее отражается.

Таким образом, баланс лучистого теплообмена между двумя поверхностями, имеющими серый спектр излучения, представляет лучистый тепловой поток Q_p , Вт/м², определяемый по зависимости:

$$Q_p = f(C_{отр.теп.}, C_{об.}, \tau_{отр.теп.}, \tau_{об.}, t_{н.}). \quad (2)$$

После соответствующих преобразований получим термическое сопротивление воздушной вентилируемой прослойки, характеризующей в ней лучистый теплообмен:

$$R_{воз.пр.л.}^{вен} = \frac{\tau_{отр.теп.} - \tau_{об.}}{C_{отр.теп.} \left(\frac{\tau_{отр.теп.} + 273}{100} \right)^4 - \frac{C_{отр.теп.}}{C_0} \left[C_{об.} \left(\frac{\tau_{об.} + 273}{100} \right)^4 \right]}. \quad (3)$$

Рассмотрим другие решения определения термического сопротивления воздушной вентиляционной прослойки с учетом лучистого теплообмена.

Составим уравнение лучистого теплового баланса, происходящего между воздушной вентилируемой прослойкой и наружным воздухом. При этом для простоты дальнейших теплотехнических расчетов, учитывая незначительное термическое сопротивление наружной облицовки, равное 0,03...0,04 (м²·°C)/Вт, заменим аб-

солютные температуры на внутренней $T_{в.об}$ и наружной $T_{н.об}$ поверхностях облицовки на среднюю температуру облицовки:

$$\overline{T_{об}} = \frac{(T_{в.об} + T_{н.об})}{2}, \text{ или } \overline{\tau_{об}} = \frac{(\tau_{в.об} + \tau_{н.об})}{2}.$$

После соответствующих преобразований термическое сопротивление воздушной вентилируемой прослойки, характеризующее проходящий в ней лучистый теплообмен, будет:

$$R_{воз.пр.л.} = \frac{(\tau_{отр.теп.} - \overline{\tau_{об.}})(\tau_{н.об.} - \tau_{н.})}{C_{отр.теп.} \left(\frac{\tau_{отр.теп.} + 273}{100} \right)^4 - \frac{C_{отр.теп.}}{C_0} \left[C_{об.} \left(\frac{\tau_{об.} + 273}{100} \right)^4 \right]}. \quad (4)$$

Рассмотрим закономерность уменьшения теплопередачи только излучением между двумя поверхностями в двух вариантах.

Первый вариант – одна поверхность вентилируемой прослойки имеет отражательную изоляцию из алюминиевой фоль-

ги $C_{отр.теп.} = 0,5$ Вт/(м²·K) и другая поверхность – наружная облицовка НВФ из керамической плитки $C_{кер.об} = 3,3$ Вт/(м²·K).

Второй вариант – одна поверхность – минеральная каменная вата $C_{отр.теп.} = 4,5$ Вт/(м²·K) и другая поверхность – наруж-

ная облицовка из керамической плитки $C_{\text{кер.об}} = 3,3 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$.

Определим величины термических сопротивлений для вентилируемых воздушных прослоек с учетом лучистой теплопередачи. Примем температуру внутреннего воздуха $t_{\text{в}} = 20^\circ\text{C}$, а температуру $t_{\text{н}} = -30^\circ\text{C}$.

Для первого варианта с учетом характера распределения температуры (рис. 2) при $R_{\text{воз.пр.к.}}^{\text{вен}} = 0,1 \text{ (м}^2\cdot^\circ\text{C)/Вт}$ по формуле (3) получим следующее значение $R_{\text{воз.пр.л.}}^{\text{вен}} = 0,2 \text{ (м}^2\cdot^\circ\text{C)/Вт}$ и по формуле (4) получим $R_{\text{воз.пр.л.}}^{\text{вен}} = 0,244 \text{ (м}^2\cdot^\circ\text{C)/Вт}$.

Термическое сопротивление воздушной вентилируемой прослойки с учетом лучистого и конвективного теплообмена между одной ее поверхностью с отражательной теплоизоляцией из алюминиевой фольги и другой керамической облицовки можно выразить как сумму их сопротивлений:

$$R_{\text{воз.пр.л.к.}}^{\text{вен}} = R_{\text{воз.пр.л.}}^{\text{вен}} + R_{\text{воз.пр.к.}}^{\text{вен}} \quad (5)$$

При расчете по формуле (3):

$$R_{\text{воз.пр.л.к.}}^{\text{вен}} = 0,2 + 0,1 = 0,30 \text{ (м}^2\cdot^\circ\text{C)/Вт}$$

и по формуле (4):

$$R_{\text{воз.пр.л.к.}}^{\text{вен}} = 0,24 + 0,1 = 0,34 \text{ (м}^2\cdot^\circ\text{C)/Вт}.$$

Затем для второго варианта с учетом характера распределения температуры (рис. 3) при $R_{\text{воз.пр.к.}}^{\text{вен}} = 0,2 \text{ (м}^2\cdot^\circ\text{C)/Вт}$ по формуле (3) получим значение $R_{\text{воз.пр.л.}}^{\text{вен}} = 0,37 \text{ (м}^2\cdot^\circ\text{C)/Вт}$ и по формуле (4) вычисляем, что $R_{\text{воз.пр.л.}}^{\text{вен}} = 0,38 \text{ (м}^2\cdot^\circ\text{C)/Вт}$.

Термическое сопротивление воздушной вентилируемой прослойки с учетом лучистого и конвективного теплообмена составит:

$$R_{\text{воз.пр.л.к.}}^{\text{вен}} = 0,37 + 0,2 = 0,57 \text{ (м}^2\cdot^\circ\text{C)/Вт}$$

и

$$R_{\text{воз.пр.л.к.}}^{\text{вен}} = 0,38 + 0,2 = 0,58 \text{ (м}^2\cdot^\circ\text{C)/Вт}.$$

По аналогии с предыдущими вычислениями проведем определение термического сопротивления воздушной вентилируемой прослойки, только вместо отражательной теплоизоляции из алюминиевой фольги $C_{\text{отр. теп.}} = 0,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ будет минераловатный утеплитель $C_{\text{мин}} = 4,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$.

Для первого варианта, принимая характер распределения температуры на рис.2, при $R_{\text{воз.пр.к.}}^{\text{вен}} = 0,1 \text{ (м}^2\cdot^\circ\text{C)/Вт}$ по формуле (3) найдем $R_{\text{воз.пр.л.}}^{\text{вен}} = 0,023 \text{ (м}^2\cdot^\circ\text{C)/Вт}$ и термическое сопротивление по формуле (4) $R_{\text{воз.пр.л.}}^{\text{вен}} = 0,027 \text{ (м}^2\cdot^\circ\text{C)/Вт}$. При учете лучистого и конвективного теплообмена:

$$R_{\text{воз.пр.л.к.}}^{\text{вен}} = 0,023 + 0,1 = 0,123 \text{ (м}^2\cdot^\circ\text{C)/Вт}$$

и

$$R_{\text{воз.пр.л.к.}}^{\text{вен}} = 0,027 + 0,1 = 0,127 \text{ (м}^2\cdot^\circ\text{C)/Вт}.$$

Для второго варианта с учетом характера распределения температуры на рис.3 при $R_{\text{воз.пр.к.}}^{\text{вен}} = 0,2 \text{ (м}^2\cdot^\circ\text{C)/Вт}$ по формуле (3) $R_{\text{воз.пр.л.}}^{\text{вен}} = 0,042 \text{ (м}^2\cdot^\circ\text{C)/Вт}$. При определении термического сопротивления по формуле (4) его величина равна $R_{\text{воз.пр.л.}}^{\text{вен}} = 0,043 \text{ (м}^2\cdot^\circ\text{C)/Вт}$. Суммарная их величина:

$$R_{\text{воз.пр.л.к.}}^{\text{вен}} = 0,042 + 0,2 = 0,242 \text{ (м}^2\cdot^\circ\text{C)/Вт}$$

и

$$R_{\text{воз.пр.л.к.}}^{\text{вен}} = 0,043 + 0,2 = 0,243 \text{ (м}^2\cdot^\circ\text{C)/Вт}.$$

В Ы В О Д Ы

На основании проведенного анализа результатов исследования лучистого теплообмена можно констатировать следующее.

1. Получено новое уравнение лучистого теплообмена для вентилируемой воздушной прослойки, позволяющее определить ее термическое сопротивление в зависимости от составляющей лучистого и конвективного теплообмена и разности температур между поверхностями.

2. Выполненные расчеты по двум уравнениям при заданной температуре внутреннего и наружного воздуха показали сходимость результатов. Это подтверждает достоверность полученных уравнений, когда одна из поверхностей вентилируемой воздушной прослойки выполнена из отражательной теплоизоляции с алюминиевой фольгой и коэффициентом излучения $0,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$.

3. Установлена закономерность, что при действии ветрового напора на конструкцию вентфасада происходит увеличение скорости движения воздуха в вентилируемой прослойке и уменьшение температурного перепада между ее поверхностями. Этот процесс при определенных сочетаниях температур не только резко уменьшает конвективную теплозащиту, но и незначительно уменьшает лучистую составляющую теплозащиты.

4. Проведенные исследования показали, что отражательная теплоизоляция из алюминиевой фольги, установленная на теплой поверхности вентилируемой воздушной прослойки, повышает ее теплотехнические свойства. Однако в настоящее время теплозащита воздушных вентилируемых прослоек с отражательной теплоизоляцией с коэффициентом излучения $C=0,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ в теплотехнических расчетах не

учитывается в отличие от замкнутых воздушных прослоек, которые широко применяются в ограждающих конструкциях. Поэтому для повышения теплозащитных свойств конструкций вентфасадов целесообразно в них использовать отражательную теплоизоляцию с алюминиевой фольгой.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р. Здания и сооружения. Расчет показателя теплозащиты ограждающих конструкций отражательной теплоизоляцией. – М., 2015.

2. Умнякова Н.П. Элементы навесных вентилируемых фасадов, определяющие их теплоизоляционные качества // AMEDIA архитектуры и строительства. – 2009, №5. С. 372...380.

REFERENCES

1. GOST R. Zdanija i sooruzhenija. Raschet pokazatelja teplozashhity ograzhdajushhijh konstrukcij otrazhatel'noj teploizoljaciej. – M., 2015.

2. Umnyakova N.P. Jelementy navesnyh ventiliруemyh fasadov, opredel'jajushhie ih teploizoljacionnye kachestva // AMEDIA arhitektury i stroitel'stva. – 2009, №5. S. 372...380.

Рекомендована Ученым советом НИИСФ РААСН. Поступила 15.05.16.