

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПУСТОТ В КОНСТРУКЦИЯХ СТЕН.

Заволока М.В. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры г. Одесса), **Хлевчук В.Р., Бушава Н.В., Косульников Т.А., Терещенко В.В., Плотников А.В., Волков Н.Т., Кокоев М.Н.** (Научно-исследовательский институт строительной физики г. Москва.)

В статье рассмотрены результаты теплотехнических исследований вакуумных прослоек с применением теплоотражающих материалов в стенах. Дана оценка возможности использования вакуумных воздушных прослоек в реальных условиях эксплуатации зданий.

Применение пустотных конструкций с замкнутыми воздушными прослойками (пустотных бетонных камней, кирпичной кладки из пустотного кирпича, слоистых конструкций с воздушными прослойками) заметно повышают теплозащитные качества ограждающих конструкций по сравнению со сплошными конструкциями из таких же материалов.

В конструкциях со сплошными материалами теплопередача тепла происходит, главным образом, теплопроводностью.

В конструкциях с пустотами теплопередача происходит:

- 1 - теплопроводностью неподвижного воздуха, расположенного около стенок прослойки (в пределах пограничного слоя толщиной $1,5 \div 2 \text{ мм} - Q_1$;
- 2 - конвекцией воздуха в прослойке $- Q_2$;
- 3 - излучением $- Q_3$.

Общее количество тепла проходящее через прослойку определяется уравнением:

$$Q_{\text{пр.}} = Q_1 + Q_2 + Q_3, \text{ Вт/м}^2 \quad /1/.$$

Сопротивление теплопередаче прослойки определяется по формуле:

$$R_{\text{пр.}} = t_1 - t_2 / Q_{\text{пр.}} \text{ М}^\circ\text{С/Вт} \quad /2/.$$

На рисунке показан вертикальный разрез прослойки толщиной $\delta_{\text{пр.}}$ с температурой на ограничивающих поверхностях t_1 и t_2 . Температура t_1 больше температуры t_2 .

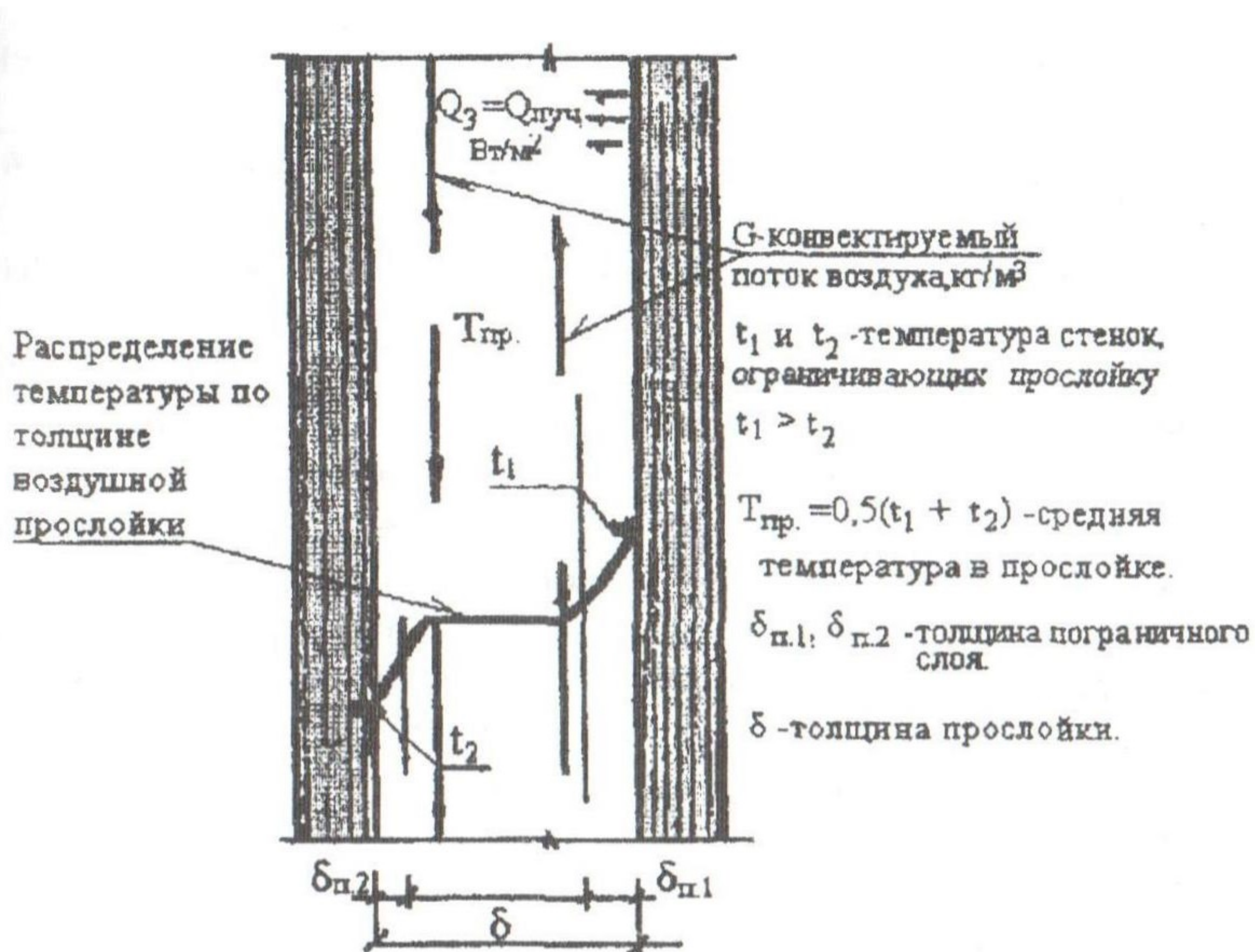


Рисунок 1. Расчетная схема теплопередачи через вертикальную воздушную прослойку.

1. Тепловой поток, определяемый теплопроводностью пограничных слоев:

$$Q_1 = \frac{T_{\text{пр}} - t_1}{\delta_1 / \lambda_{\text{в.1}}} + \frac{t_1 - T_{\text{пр}}}{\delta_2 / \lambda_{\text{в.1}}}, \text{ Вт/м}^2 \quad /3/$$

2. Тепловой поток, переносимый от нагретой поверхности t_1 , и холодной поверхности конвекцией:

$$Q_2 = G \cdot c \cdot \delta \cdot T_{\text{пр}}, \text{ Вт/м}^2 \quad /4/$$

где G – количество конвектируемого воздуха, кг/м³;
 c – удельная теплоемкость воздуха;
 δ – толщина прослойки, м.

3. Тепловой поток, проходящий через прослойку излучением от нагретой поверхности к холодной:

$$Q_3 = \alpha_{\text{л}} \cdot (t_1 - t_2), \text{ Вт/м}^2 \quad /5/$$

где $\alpha_{\text{л}} =$

Вт/м² °К, Вт/м² °С – коэффициент теплопередачи излучением;

C_1, C_2 – коэффициенты излучением поверхностей стенок прослойки;

C_0 – коэффициент излучением абсолютно черного тела, $4,96 \text{ ккал/м}^2 \text{ } ^\circ\text{K}^4$

1,163 – переводной коэффициент из технической системы в систему СИ.

Общее количество тепла, проходящее через замкнутую воздушную прослойку $Q_{\text{пр}}$ в формуле /1/ может быть выражено уравнением:

$$Q_{\text{пр}} = (t_1 - t_2) \cdot \lambda_{\text{эк}} / \delta, \text{ Вт/м}^2$$

где $\lambda_{\text{эк}} = \lambda_1 + \lambda_2 + \alpha_{\text{л}}$ $\text{Вт/м}^\circ\text{C}$ - эквивалентный коэффициент теплопроводности замкнутой воздушной прослойки.

λ_1, λ_2 - эквивалентные коэффициенты теплопроводности неподвижного и конвектируемого воздуха. Значения $(\lambda_1 + \lambda_2)$ приведены в табл.6, стр.63 в книге К.Ф.Фокина "Строительная теплотехника ограждающих частей здания". М.1973.

$\alpha_{\text{л}}$ - коэффициент теплоотдачи излучением, $\text{Вт/м}^\circ\text{C}$

δ - толщина прослойки, м.

Рассмотрим слой идеальный аналитический случай, когда в прослойке создан вакуум среднего уровня давление воздуха не превышает $p = 1 \cdot 10^{-2}$ Па при барометрическом давлении воздуха с внешних сторон прослойки $B = 1 \cdot 10^5$ Па или 750 мм.рт.ст. При таком вакууме теплопроводностью и конвекцией воздуха можно пренебречь $\lambda_1 + \lambda_2 = 0$.

Поверхности стенок прослойки покрыты металлом с маленьким коэффициентом излучения:

1 - алюминием и медью $C_{1.1} = C_{1.2} = 0,26 \text{ ккал/м}^2 \text{ } ^\circ\text{K}^4$;

2 - серебром $C_{1.2} = C_{2.2} = 0,10 \text{ ккал/м}^2 \text{ } ^\circ\text{K}^4$;

3 - необработанной латунью $C_{1.3} = C_{2.3} = 0,34 \text{ ккал/м}^2 \text{ } ^\circ\text{K}^4$.

(По данным книги А. Шак «Промышленная теплопередача». М. 1961. Табл.46. Стр.503).

Значения температурного коэффициента:

$$\left[\frac{\left(\frac{t_1 + 273}{100} \right)^4 + \left(\frac{t_2 + 273}{100} \right)^4}{t_1 - t_2} \right]$$

в зависимости от температуры на теплой стенке прослойки $t_1 = 20^\circ\text{C}$ и холодной стенке $t_2 = -10, -20, -30, -40^\circ\text{C}$ приведены в табл.1.

Таблица 1. Температурный коэффициент (K_T, K^3)

Температурный коэффициент	$t_1 = 20^\circ\text{C}$ - нагреваемая поверхность			
	t_2 - охлаждаемая поверхность и прослойки			
	- 10	- 20	- 30	- 40
$K_T, ^\circ\text{K}^3$	0,876	0,818	0,777	0,737

В таблице 2 приведены значения коэффициента теплоотдачи излучением α_L Вт/м²°С при облицовке стен прослойки алюминием или медью, серебром и необработанной латунью. В прослойке создан вакуум ($\lambda_1 + \lambda_2 = 0$).

Значения коэффициента излучением

$$(\alpha_L, \text{Вт/м}^2\text{°C} = \frac{1 \cdot 1.163 \cdot K_T}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}},$$

Вт/м²°С; значения K_T приведены в табл.1)

Таблица 2

Коэффициент излучением	При $t_1 = +20^\circ$ на нагретой поверхности прослойки и температуре на холодной поверхности прослойки t_2 (°С)			
	-10	-20	-30	- 40
1. Алюминий или медь $C_{1.1}=C_{2.1}=0,22$ ккал/м ² ч °К ⁴	0,115	0,107	0,102	0,097
2. Серебро $C_{1.2}=C_{2.2}=0,1$ ккал/м ² ч °К ⁴	0,0517	0,0483	0,046	0,0435
3. Необработанная латунь $C_{1.3}=C_{2.3}= 0,34$ ккал/м ² ч °К ⁴	0,180	0,168	0,159	0,151

Таблица 3

Тепловой поток ($Q_{пр}$) и термическое сопротивление прослойки ($R_{пр}$) с вакуумом

$$Q_{пр} = (t_1 - t_2) \cdot \alpha_{л}, \text{ Вт/м}^2;$$

$$R_{пр} = (t_1 - t_2) / (t_1 - t_2) \cdot \alpha_{л} = 1/\alpha_{л} \text{ м}^2$$

Тепловой поток ($Q_{пр}$) и термическое сопротивление ($R_{пр}$) прослойки	Температура нагретой стенки прослойки $t_1=20$ °С при температуре холодной стенки прослойки t_2 (°С)			
	-10	20	30	40
1. Стенка прослойки выполнена с применением алюминия или меди				
Тепловой поток $Q_{пр.1}$, Вт/м ²	3,45	4,28	5,10	5,82
Термическое сопротивление прослойки $R_{пр}$, м ²	8,7	9,35	9,80	0,31
2. Стенки прослойки выполнены с применением серебра				

Показатели	Стенки прослойки покрыты			
	Алюминиев или медью	Серебром	Необработанной	
Тепловой поток,	90,5	88,5	92,4	
2. Термическое сопротивление прослойки, $R_{пр}$.	0,332	0,339	0,325	
Тепловой поток $Q_{пр.2}$, Вт/м ²	1,55	1,93	2,30	2,61
Термическое сопротивление прослойки $R_{пр.2}$, м	9,34	20,7	21,74	23,0
3. Стенки прослойки выполнены с применением необработанной				
Тепловой поток $Q_{пр.3}$, Вт/м ²	5,4	6,72	7,95	9,06

Термическое сопротивление прослойки $R_{пр.3, м}$	5,56	5,95	6,29	6,62
---	------	------	------	------

Для сравнения рассмотрим прослойку без создания в ней вакуума.

Эквивалентный коэффициент такой прослойки равен:

$$\lambda_{эк} = \lambda_1 + \lambda_2 + \alpha_{л} \cdot \delta_{пр.}, \text{ Вт/м}^{\circ}\text{С}$$

где $\lambda_1 + \lambda_2$ - эквивалентная теплопроводность неподвижного и конвектируемого воздуха в прослойке.

При $t_1 = 20^{\circ}\text{С}$ и $t_2 = -10^{\circ}\text{С}$ и толщина прослойки $\delta_{пр.} = 20$ мм сумма эквивалентных теплопроводностей $(\lambda_1 + \lambda_2) \cdot 1,163 = 0,05 \cdot 1,163 = 0,058$ Вт/м $^{\circ}\text{С}$ (См. К.Ф. Фокин "Строительная теплотехника ограждающих частей зданий". Табл.6. Стр.67. М. 1973.

Эквивалентный коэффициент теплопроводности прослойки с учетом теплоотдачи излучением равен.

1. Стенки прослойки покрыты алюминием или медью:

$$\lambda = 0,058 + 0,115 \cdot 0,02 = 0,0603 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{С.}$$

2. Стенки прослойки покрыты серебром:

$$\lambda_{с.2} = 0,058 + 0,0517 \cdot 0,02 = 0,059 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{С.}$$

3. Стенки прослойки покрыты необработанной латунью:

$$\lambda_{с.3} = 0,058 + 0,18 \cdot 0,02 = 0,0616 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{С.}$$

Значения $\alpha_{л}$ даны в табл.2, в графе для температуры холодной стенки прослойки $t_2 = -10^{\circ}\text{С}$.

Тепловой поток, который будет проходить через воздушную прослойку и термическое сопротивление прослойки приведены в табл.4.

Таблица 4

Тепловой поток ($Q_{пр.}$) определяется по формуле:

$$Q_{пр.} = (t_1 - t_2) \cdot \lambda_{эк} / \delta_{пр.}, \text{ Вт/м}^2;$$

Термическое сопротивление прослойки ($R_{пр.}$) определяется по формуле:

$$R_{пр.} = \delta_{пр.} / \lambda_{эк} = 1 / \alpha_{л}, \text{ м}^{\circ}\text{С/Вт}$$

Сопоставление значения термического сопротивление вакуумированной прослойки с невакуумированной $t_2 = -10^{\circ}\text{С}$.

Данные приведены в табл.5.

Термическое сопротивление прослойки $R_{пр.}$ м $^{\circ}\text{С/Вт}$

Таблца.5

Вакуумированной	Невакуумированной	Во сколько раз превышает вакуумированная прослойка по сравнению с невакуумированной $n = \text{вакуум/без вакуума}$
1. Стенки прослойки покрыты алюминием или медью		
8,70	0,322	26,2 раза
2. Стенки прослойки покрыты серебром		
19,34	0,339	57 раза
3. Стенки прослойки покрыты необработанной латунью		
5,56	0,325	17,1 раза

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные теплотехнические исследования вакуумных прослоек с применением теплоотражающих материалов в стенках прослоек показывают значительное повышение их теплозащитных качеств.

Термическое сопротивление вакуумированных прослоек может повысится по сравнению с невакуумированными от 17 до 57 раз (см. табл.5).

Термическое сопротивление невакуумированных прослоек только от применения теплоотражающих материалов в стенках прослоек (алюминия, меди, серебра, латуни) повышается в $0,325/0,15 = 2,2$ раза, где $0,325 \text{ м}^0\text{С/Вт}$ -термическое сопротивление невакуумированной прослойки с применением теплоотражающих покрытий стенок, $0,15 \text{ м}^0\text{С/Вт}$ - нормативное значение термического сопротивления замкнутой воздушной прослойки по СНиП Н-3-79*. Приложение 4.

Полученные высокие значения теплозащитных качеств вакуумированных прослоек с применением материалов в стенках прослоек с высокими отражающими способностями имеют чисто теоретическое и условное значение, так как не учитывается целый ряд факторов снижающих теплозащитные качества вакуумированных прослоек:

1. Создание и поддержание вакуума в прослойках является сложной технической задачей и возможно в элементах малых объемов, например, сосуд Дьюара, термосы.

2. Неравномерная осадка зданий, усадка и температурные деформации несущих ограждений зданий образуют в них трещины и неплотности, что не позволяет создать в системах прослоек вакуум.

3. Наличие диафрагм и ребер жесткости в вакуумированных прослойках применяемых для обеспечения необходимой прочности, значительно снижают теплозащитные качества вакуумированных прослоек.

4. В наружных ограждениях зданий применяются конструкции с небольшими размерами в виде отдельных камней, блоков, панелей. В местах сопряжения этих элементов применяются материалы с высокой теплопроводностью, что в целом значительно снижает теплозащитные качества ограждений.

5. Почти все строительные материалы, применяемые в ограждающих конструкциях обладают паропроницаемостью и вакуумированные прослойки могут быть заполнены водяным паром, понижающим теплозащитные качества прослоек. Теплопроводность неподвижного водяного пара $\lambda_{\text{пар.}}=0,019 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{C}$ при $t=0^{\circ}\text{C}$ (теплопроводность неподвижного воздуха $\lambda_{\text{пар.}}=0,024 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{C}$).

6. Наружные ограждающие конструкции с применением вакуумированных прослоек не «дышат». Экологическая обстановка в таких помещениях резко ухудшается.

7. Применение в наружных ограждающих конструкциях вакуумированных прослоек потребует огромных материальных и энергетических затрат, которые в настоящее время не могут окупиться.