

УДК 699.86

Р. Ш. МАНСУРОВ, Т. А. РАФАЛЬСКАЯ

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК НАРУЖНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ С ВОЗДУШНЫМИ
ПРОСЛОЙКАМИ**

Аннотация. Предложена экранированная ограждающая конструкция наружной стены здания без использования теплоизоляционных материалов. Для обеспечения необходимого термического сопротивления наружного ограждения используются экраны (цементносодержащие плиты) с замкнутыми воздушными прослойками. В программном комплексе ANSYS выполнено моделирование процессов теплопередачи в экранированной ограждающей конструкции, состоящей из несущей части и экранов с замкнутыми воздушными прослойками. Выявлены особенности процесса теплопередачи в толще наружного ограждения.

Ключевые слова: наружное ограждение, замкнутая воздушная прослойка, экран, теплопередача, термическое сопротивление.

ВВЕДЕНИЕ

Проблемы рационального использования топливно-энергетических ресурсов, освоение районов Крайнего Севера, новые технологии строительства быстровозводимых конструкций делают актуальной задачу утепления фасадов зданий, как реконструируемых, так и вновь возводимых. В РФ принят нормативно-правовой документ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 23.11.2009 г. N 261-ФЗ, направленный на обеспечение требований по энергосбережению. На его основе разработаны своды правил СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» по проектированию тепловой защиты зданий и сооружений.

Традиционные многослойные ограждающие конструкции состоят из несущих (конструкционных) и теплоизоляционных слоев. Применяются различные виды теплоизоляционных материалов, которые, как правило, должны быть расположены с наружной стороны ограждения.

В качестве теплоизоляционных слоев в настоящее время используются минеральная вата, пенополистирол, пенополиуретан и т. д. Получили широкое распространение следующие фасадные конструкции: сэндвич-панели, вентилируемые фасады и др. [1].

На выбор теплоизоляционных материалов влияют их характеристики: плотность, теплопроводность, теплоусвоение поверхности. Теплоизоляционные материалы являются слабым звеном в наружных ограждающих конструкциях, поскольку имеют ряд недостатков: горючесть, гигроскопичность, усадка, слабая шумоизоляция, низкая прочность и т. п. [2].

Известно, что наиболее эффективным теплоизолятором является воздух в неподвижном или малоподвижном состоянии [3], например, в замкнутых воздушных прослойках. Ещё в 1905 году В. М. Чаплин предложил использовать воздушные прослойки в качестве теплоизоляционного материала в ограждающих конструкциях. В результате проведенных исследований было показано, что:

- альтернативой одного слоя утеплителя может служить несколько воздушных прослоек;
- оптимальная ширина воздушной прослойки составляет 25...50 мм воздушные прослойки не следует делать высокими для уменьшения скорости циркуляции воздуха в них, по возможности, пересекать их по высоте горизонтальными перегородками;

• воздушные прослойки не должны соединяться между собой и с окружающим пространством, так как всякое проникновение воздуха из одной прослойки в другую или извне ухудшает теплоизоляционные свойства.

Несмотря на то, что эти исследования выполнены более 100 лет назад, ранее экранированные ограждающие конструкции без использования теплоизоляционных материалов в строительстве не применялись.

Целью работы является компьютерное моделирование теплового режима ограждающих конструкций, не использующих традиционные теплоизоляционные материалы. В качестве основного инструмента исследования использован программный комплекс ANSYS, позволяющий рассчитать процессы теплообмена и теплотехнические характеристики ограждающей конструкции. Ранее аналогичный подход был успешно использован для теплотехнического расчета многослойной ограждающей конструкции типа «сэндвич-панели» [4, 5].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В работе рассмотрены модели панелей, содержащих одну и 15 воздушных прослоек. На рис. 1 представлено поперечное сечение ограждающей конструкции с одной воздушной прослойкой (модель 1). Цифрами 1–6 отмечены номера слоев, характеристики которых приведены в таблице 1.

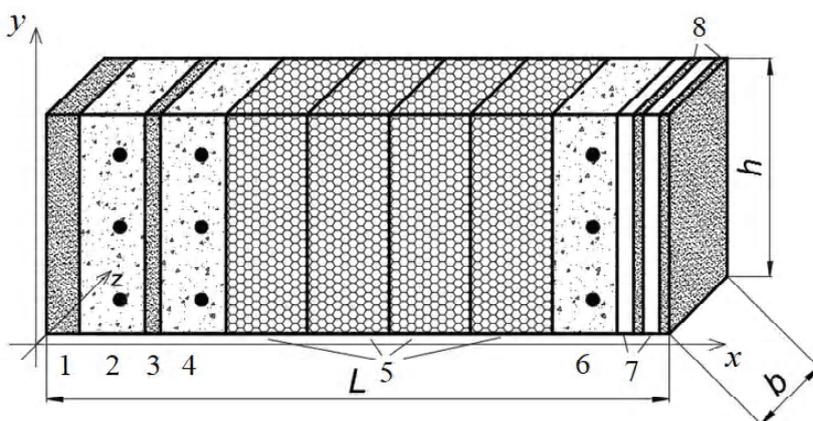


Рисунок 1 – Схема модели № 1 – Ограждающая конструкция с одной воздушной прослойкой.

Таблица 1 – Характеристика ограждающей конструкции по слоям

№ слоя	Наименование	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/м·°С	Толщина слоя δ , мм	Плотность ρ , кг/м ³	Удельная теплоемкость C_p , кДж/(кг·°С)
1	Штукатурка	0,7	10	1 600	0,84
2, 4, 6	Железобетон	1,92	30	2 500	0,84
3	Стяжка	0,76	5	1 800	0,84
5	Пенополистирол	0,052	200	10	1,34
7	Воздушная прослойка	0,14–0,28	16	1,225	1,005
8	Экран (цементнодержащая плита)	0,47	8	1800	0,84

Если предположить, что распределение температуры одинаково во всех поперечных сечениях, задачу можно рассматривать как двумерную. Если, кроме этого, пренебречь зависимостью температуры от вертикальной координаты, получим одномерное приближение задачи.

На рис. 2 представлена схема 3D модели ограждающей конструкции с 15 воздушными прослойками (модель № 2). Слои 1–8 те же, что и в модели № 1. В 3D постановке решена задача с учетом движения воздуха.

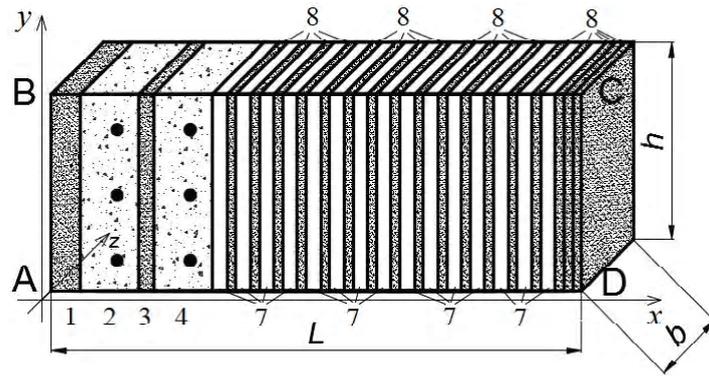


Рисунок 2 – Схема модели № 2 – 3D модель ограждающей конструкции с 15 воздушными прослойками.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ

Моделирование тепловых процессов в многослойной ограждающей конструкции выполнено в одно-, двух- и трехмерной постановках с использованием собственной программы в пакете MathCAD и различных модулей ПК ANSYS.

Подход 1. Для описания процессов теплопереноса в многослойной ограждающей конструкции в одномерной постановке используется 1D уравнение теплопроводности:

$$\rho \cdot C_p \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + F(x, t), \quad (1)$$

где $F(x, t)$ – функция, описывающая источники или стоки тепла. Уравнение (1) можно записать в виде:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K(x) \frac{\partial T}{\partial x} \right) + F(x, t), \quad (1')$$

где $K(x) = \lambda(x) / C_p(x) \cdot \rho(x)$ – коэффициент температуропроводности материала, $K > 0$;
 λ – коэффициент теплопроводности материала, Вт/м·°С;
 ρ – плотность материала, кг/м³;
 C_p – удельная теплоемкость материала, кДж/(кг·°С).

Значения коэффициентов температуропроводности материалов различных слоев конструкции приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Значения коэффициента температуропроводности

№ слоя	Материал	Коэффициент температуропроводности K , м ² /с
1	Штукатурка	$5,6 \cdot 10^{-7}$
2, 4, 6	Железобетон	$8,1 \cdot 10^{-7}$
3	Стяжка	$5,6 \cdot 10^{-7}$
7	Воздушная прослойка	$1,8 \cdot 10^{-5}$
8	Экран (цементносодержащая плита)	$6,7 \cdot 10^{-7}$

Уравнение (1) решается методом установления в области $D = [0; T_k] \times [0; L]$, где L – толщина панели, T_k – конечный момент времени. В момент $t = 0$ задано начальное распределение температуры $T = 0$ °С. При $x = 0$ (внутренняя поверхность) и $x = L$ (наружная поверхность) заданы краевые условия 3-го рода (конвективного теплообмена):

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial n} \Big|_w = \alpha(T_w - T_\infty), \quad (2)$$

где T_w – температура стенки, °С;
 T_∞ – температура окружающей среды, °С.

В расчетах использованы значения коэффициентов теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции $\alpha_{\text{вн}} = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$, наружной поверхности $\alpha_{\text{нар}} = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$. Расчётные температуры $T_{\infty, \text{вн}} = 21 \text{ }^\circ\text{С}$ для внутренней поверхности ($x = 0$) и $T_{\infty, \text{нар}} = -37 \text{ }^\circ\text{С}$ для наружной поверхности ($x = L$).

Построим в области D конечно-разностную сетку с шагами τ и h . Для решения $1D$ задачи используем неявную конечно-разностную схему со специальной аппроксимацией тепловых потоков, позволяющей рассчитывать уравнение с разрывным коэффициентом температуропроводности [5].

$$\frac{T_j^{n+1} - T_j^n}{\tau} = \frac{1}{h^2} \cdot \left[\frac{K_j^n + K_{j+1}^{n+1}}{2} (T_{j+1}^{n+1} - T_j^{n+1}) - \frac{K_j^n + K_{j-1}^n}{2} (T_j^{n+1} - T_{j-1}^{n+1}) \right], \quad (3)$$

Для аппроксимации краевых условий (2) используем соотношения:

$$\lambda_{\text{вн}} \frac{T_1^{n+1} - T_0^{n+1}}{h} = \alpha_{\text{вн}} (T_0 - T_{\infty, \text{вн}}); \quad -\lambda_{\text{нар}} \frac{T_M^{n+1} - T_{M-1}^{n+1}}{h} = \alpha_{\text{нар}} (T_M - T_{\infty, \text{нар}}).$$

Перепишем (3) в виде трехточечного уравнения:

$$AA_j \cdot T_{j-1}^{n+1} - CC_j \cdot T_j^{n+1} + BB_j \cdot T_{j+1}^{n+1} = FF_j, \quad (4)$$

где $AA_j = \frac{K_j + K_{j-1}}{2} \cdot \frac{\tau}{h^2}$; $BB_j = \frac{K_j + K_{j+1}}{2} \cdot \frac{\tau}{h^2}$; $CC_j = AA_j + BB_j + 1$; $FF_j = -T_j^n$.

Для определения решения на верхнем временном слое $n+1$ используется метод прогонки [5].

Подход 2. Процессы теплопереноса для моделей № 1, 2 и 3 в двух- и трехмерном приближении рассчитывались в модулях StaticThermal и Fluent ПК ANSYS.

Общий вид $2D/3D$ уравнения теплопроводности:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \sum_{i=1}^N \frac{\partial}{\partial x_i} K(x) \frac{\partial T}{\partial x_i} + Q + Q, \quad (5)$$

где $N = 2$ и 3 – для двух и трехмерной задачи, соответственно.

В двухмерной постановке рассматривалась панель высотой 1 м. На боковых поверхностях $x = 0$ и $x = L$ заданы условия конвективного теплообмена, аналогичные (2). На верхней и нижних границах AD , BC заданы условия теплоизоляции (отсутствие теплового потока).

При решении трехмерной задачи рассматривалась панель высотой 1 м и шириной 1 м. На всех боковых поверхностях типа Symmetry заданы условия теплоизоляции:

$$\left. \frac{\partial T}{\partial n} \right|_w = 0. \quad (6)$$

На внешней и внутренней поверхностях – условия конвективного теплообмена (2).

Данный подход позволяет моделировать стационарные тепловые процессы в твердых телах и в воздушных прослойках. Однако эффекты конвективного теплообмена за счет движения воздуха в воздушных прослойках, которые могут вносить существенный вклад в термическое сопротивление конструкции, в этом подходе не учитываются. Поэтому на следующем этапе (*Подход 3*) было выполнено моделирование задачи в модуле ANSYS Fluent.

Математическая модель, кроме уравнения теплопроводности, включает уравнения Навье – Стокса [6], которые описывают движение воздуха. Поэтому модель позволяет учесть конвективное движение воздуха в прослойках. Поскольку скорости потока невелики, расчет выполнен в предположении ламинарности течения. Учет силы тяжести и зависимости плотности воздуха от температуры необходим для организации естественной конвекции в замкнутых пространствах.

Для полноценного исследования был также проведен расчет с учетом лучистого теплообмена, для чего в правую часть уравнения добавлен источниковый член Q , который определяется законом Стефана-Больцмана:

$$Q = q_{\text{л}} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_{\infty}^4 - T_w^4), \quad (7)$$

где ε – излучательная способность поверхности (степень черноты);

σ – постоянная Стефана – Больцмана.

В дальнейших расчетах принято значение степени черноты экранов $\varepsilon = 0,4$ – что соответствует принятому материалу (алюминиевая фольга).

Воздух имеет низкую поглощающую и рассеивающую способность. В этом случае тепловым излучением самой среды можно пренебречь, а лучистый теплообмен вычисляется между поверхностями, ограничивающими эту среду, поэтому была выбрана модель S2S (SurfacetToSurface) для расчета лучистого теплообмена [5, 6].

Для оценки эффективности ограждающих конструкций используют величину термического сопротивления, которая характеризует свойство материала противостоять изменениям температур.

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_n} + \sum R_i + \frac{1}{\alpha_n} \quad (8)$$

Здесь $R_i = \delta_i / \lambda_i$ – термическое сопротивление i -го слоя конструкции;
 δ – толщина слоя ограждающей конструкции, м.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

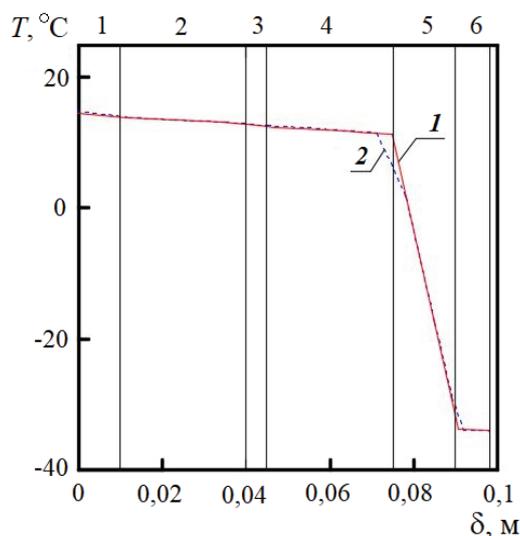


Рисунок 3 – Распределение температур по толщине ограждения (модель № 1): 1 – подход 1; 2 – подход 2.

На рис. 4 представлено распределение температуры по толщине панели модели № 2. Количество элементов сетки составляет 54 500. Анализ полученных данных, показал, что температура понижается равномерно по всей толщине ограждающей конструкции. Это свидетельствует о том, что конструкция теплоустойчива, т. е. тело стремится сохранить первоначальную температуру. Термическое сопротивление модели № 2 составляет $R = 10,71 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$. Падение температуры внутри отдельного слоя происходит по линейному закону и не зависит от y .

Области слабого изменения температуры соответствуют экранам, а области падения температур – воздушным прослойкам. Падение температуры в воздушной прослойке существенно, что объясняется низкой теплопроводностью воздуха и её шириной.

Далее выполнено моделирование температурного поля модели № 2 в ANSYS Fluent. Количество элементов сетки – 1 497 600. Размер сеточного элемента в воздушной прослойке равен 0,5 мм.

В результате расчетов видим, что в воздушных прослойках организуется естественное конвективное движение воздуха. Поток воздуха поднимается вверх вдоль более теплой стенки, а вдоль более холодной опускается вниз.

Решение задачи для модели № 1 получено с помощью подходов 1 и 2. В начальный момент стена имела температуру $T = 0 \text{ °C}$. Расчет «на установление» выполнен по описанным выше методикам. Количество элементов сетки в подходе 2 составляло 11 500 элементов. В подходе 1 использован шаг разностной сетки $h = 0,2 \cdot 10^{-3}$. Результаты расчетов представлены на рис. 3.

График распределения температур (подход 2) построен по сечению $y = 1 \text{ м}$. График показывает, что в слоях 1 4 и 6 температура изменяется незначительно, а в слое 5 (воздух) наблюдается резкое падение температуры, что можно объяснить низкой теплопроводностью воздуха.

Сравнительный анализ графиков распределения температуры показал, что результаты расчетов с использованием подходов 1 и 2 совпадают, за исключением узких зон на границах раздела воздух-твердое тело. Это свидетельствует о том, что в данной постановке поле температур является одномерным.

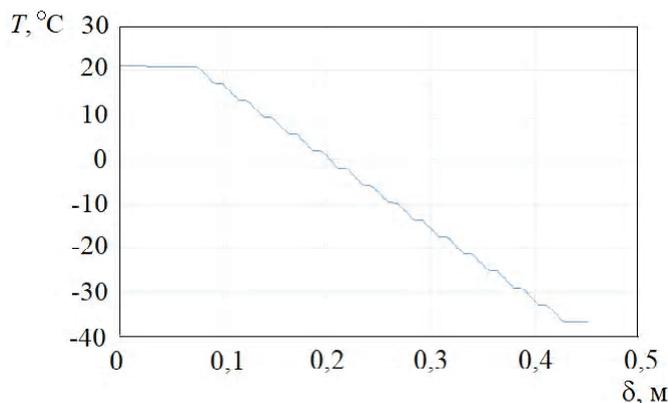


Рисунок 4 – Распределение температур по слоям ограждающей конструкции модели 2.

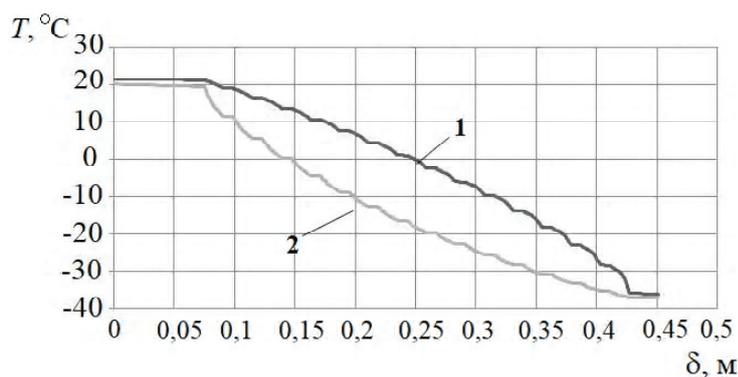


Рисунок 5 – Распределение температур в сечениях 1 и 2, расположенных в верхней и нижней частях конструкции стены.

Были рассчитаны модели ограждающей конструкции с толщинами воздушной прослойки 8, 12, 16, 20, 24, 32 мм. Кроме этого, изменялись размеры (высота и ширина) панели: 0,5×0,5; 1×1; 2×2 и 3×3 м. При увеличении толщины воздушной прослойки с 8 до 16 мм термическое сопротивление резко возрастает, а затем стабилизируется. Это можно объяснить изменением структуры воздушных потоков в толще воздушных прослоек.

За счет движения воздуха в воздушных прослойках образуются вихри. При увеличении толщины воздушных прослоек частные вихри сливаются в один вихрь, циркулирующий с большой скоростью между нагретыми и охлажденными поверхностями, что приводит к росту интенсивности теплообмена.

Таким образом, оптимальная толщина воздушной прослойки варьируется от 16 до 20 мм. Термическое сопротивление ограждающей конструкции $R = 9,32 \text{ м}^2\text{К/Вт}$, при толщине прослойки 16 мм и размере конструкции 3×3 м.

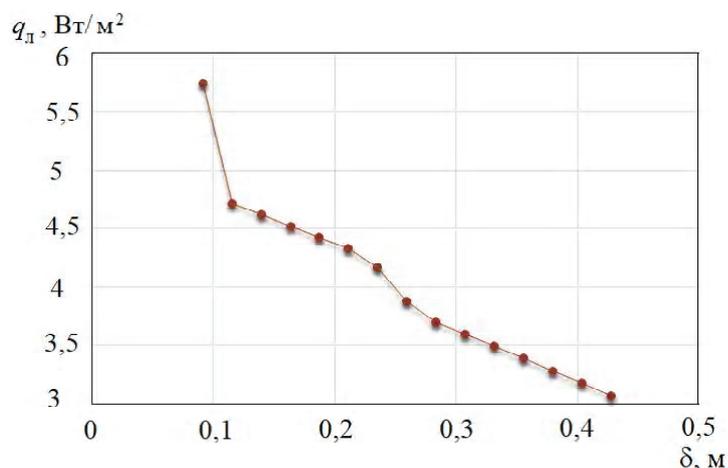


Рисунок 6 – Лучистый тепловой поток по толщине ограждения.

Следует отметить, что по нормативным документам значение термического сопротивления может быть вычислено только для одной воздушной прослойки, так как информация о распределении температуры внутри конструкции отсутствует. При моделировании в ПК ANSYS данные получены более точно, так как температура непосредственно вычисляется в каждом слое.

ВЫВОДЫ

1. Традиционные теплоизоляционные материалы в ограждающих конструкциях могут быть заменены экранированными наружными ограждениями.
2. Отсутствие теплоизоляционного материала в экранированных ограждающих конструкциях обуславливает их долговечность и пожаробезопасность.

Распределение температуры в верхнем сечении стенки 1 и в нижнем сечении 2 представлено на рис. 5, где видно, что распределение температуры зависит от положения сечения.

Анализ распределения температур показал, что в верхней части конструкции температура выше, чем в нижней, что можно объяснить движением воздуха в воздушных прослойках.

Следующей задачей являлся подбор оптимальной толщины воздушных прослоек. Для решения задачи использовалась геометрия модели № 3, в которой толщина воздушной прослойки является параметром.

Для полноценного исследования теплообмена был проведен расчет с учётом лучистого теплообмена [7]. На рис. 6 представлено изменение лучистого теплового потока q_l по толщине ограждающей конструкции с воздушными прослойками 16 мм.

Анализ полученных данных показывает, что интенсивность лучистого теплового потока снижается по толщине конструкции, что обуславливается изменением температуры по слоям конструкции. Полное термическое сопротивление наружного ограждения с учётом лучистого теплообмена, вычисленное в ПК ANSYS, составляет $R = 5,75 \text{ м}^2\text{К/Вт}$, а по СП 50.13300.2012 $R = 4,7 \text{ м}^2\text{К/Вт}$.

3. Оптимальная толщина воздушной прослойки, при которой достигается максимальное термическое сопротивление, составляет 16÷20 мм.

4. В конструкции с малой шириной воздушной прослойки воздух неподвижен или движется с минимальной скоростью, и поэтому является хорошим теплоизолятором. При увеличении ширины воздушной прослойки – теплообмен возрастает за счет конвективной составляющей.

5. Снижение степени черноты поверхности экранов позволит достичь значений термического сопротивления $R = 9 \text{ м}^2\text{К/Вт}$. Это согласуется с результатами [3], где показано, что при $\varepsilon = 0,05$ вклад лучистого теплообмена близок к нулю.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Levin, Sh. Modular design and improvement system in the smart home with the use of interval multiset estimates [Текст] / Sh. Levin // Journal of communication technology and electronics, 2013. – Vol. 58. – P. 584–593.
2. Rita, Yi. The usage of automation system in smart home to provide a sustainable indoor environment: a content analysis in web 1.0 v [Текст] / Yi. Rita, Li. Man // International journal of smart home, 2013. – Vol. 7. – P. 47–59.
3. Фокин, К. Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий [Текст] / К. Ф. Фокин; под ред. Ю. А. Табунщикова, В. Г. Гагарина. – М. : АВОК-ПРЕСС, 2006. – 256 с.
4. Мансуров, Р. Ш. Исследование теплотехнических характеристик наружных экранированных ограждающих конструкций [Текст] / Р. Ш. Мансуров, Т. А. Рафальская, Д. И. Ефимов // Инвестиции, строительство, недвижимость как драйверы социально-экономического развития территории и повышения качества жизни населения : материалы IX Международной научно-практической конференции. – В 2 частях, ч. 2. – Томск : Изд-во Том. гос. ахит.-строит. ун-та, 2019. – С. 709–714.
5. Данилов, М. Н. Численное исследование теплозащитных характеристик строительных сэндвич-панелей [Текст] / М. Н. Данилов, Н. Н. Федорова // Инженерно-физический журнал. – 2014. – Т. 87. – № 5. – С. 1096–1105.
6. Флэтчер, К. Вычислительные методы в динамике жидкостей [Текст] / К. Флэтчер. – М. : Мир, 1991. – 552 с.
7. Siegel, R. Thermal Radiation Heat Transfer. Hemisphere Publishing Corporation [Текст] / R. Siegel, J. R. Howell. – Washington : DC. – 1992. – 862 p.

Получено 14.03.2019

Р. Ш. МАНСУРОВ, Т. А. РАФАЛЬСЬКА
МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ЗОВНІШНІХ ОГОРОДЖЕНЬ З ПОВІТРЯНИМИ ПРОШАРКАМИ
Новосибірський державний архітектурно-будівельний університет

Анотація. Запропонована екранована захисна конструкція зовнішньої стіни будівлі без використання теплоізоляційних матеріалів. Для забезпечення необхідного термічного опору зовнішнього огородження використовуються екрани (цементномістильні плити) з замкнутими повітряними прошарками. У програмному комплексі ANSYS виконано моделювання процесів теплопередачі в екранованій огорожувальній конструкції, що складається з несучої частини і екранів з замкнутими повітряними прошарками. Виявлено особливості процесу теплопередачі в товщі зовнішнього огородження.

Ключові слова: зовнішнє огородження, замкнутий повітряний прошарок, екран, теплопередача, термічний опір.

RUSTAM MANSUROV, TATYANA RAFALSKAYA
MATHEMATICAL MODELING OF THERMAL CHARACTERISTICS OF
EXTERNAL FENCES WITH AIR GAPS

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering

Abstract. A screened enclosing structure of the outer wall of the building without the use of thermal insulation materials is proposed. To ensure the required thermal resistance of the outer fence, screens (cement-containing slabs) with closed air gaps are used. In the ANSYS software package, the simulation of heat transfer processes was performed in a shielded building envelope consisting of a carrier part and screens with closed air gaps. The features of the heat transfer process in the thickness of the outer enclosure are revealed.

Key words: external enclosure, closed air gap, screen, heat transfer, thermal resistance.

Мансуров Рустам Шамильевич – кандидат технических наук, доцент; заведующий кафедрой теплогаснабжения и вентиляции Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (Сибстрин). Заслуженный работник высшей школы РФ. Научные интересы: вентиляция, кондиционирование воздуха, микроклимат помещений, строительная теплофизика.

Рафальская Татьяна Анатольевна – кандидат технических наук, доцент кафедры теплогаснабжения и вентиляции Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (Сибстрин). Научные интересы: теплоснабжение, строительная теплофизика, микроклимат помещений.

Мансуров Рустам Шамильевич – кандидат технічних наук, доцент; завідувач кафедри теплогазопостачання та вентиляції Новосибірського державного архітектурно-будівельного університету (Сібстрін). Заслужений працівник вищої школи РФ. Наукові інтереси: вентиляція, кондиціонування повітря, мікроклімат приміщень, будівельна теплофізика.

Рафальська Тетяна Анатоліївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри теплогазопостачання та вентиляції Новосибірського державного архітектурно-будівельного університету (Сібстрін). Наукові інтереси: теплопостачання, будівельна теплофізика, мікроклімат приміщень.

Mansurov Rustam – Ph. D. (Eng.), Associate Professor; Head of Heat Supply and Ventilation Department, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin). Honored Worker of Higher School of the Russian Federation. Scientifics interests: ventilation, air conditioning, indoor microclimate, building thermal physics.

Rafalskaya Tatyana – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Heat Gas Supply and Ventilation Department, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin). Scientifics interests: heat supply, building heat physics, indoor microclimate.