

DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-2-119-124

УДК 621.74/519.2

Влияние местоположения неперфорированного экрана на процесс теплопередачи в наружных ограждающих конструкциях зданий

Канд. техн. наук, доценты В. Д. Сизов¹⁾, Л. В. Нестеров¹⁾, канд. техн. наук, проф. В. М. Копко¹⁾

¹⁾Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2017
Belarusian National Technical University, 2017

Реферат. В многослойных ограждающих конструкциях зданий для защиты теплоизоляционного слоя от увлажнения рекомендуется использовать паронепроницаемый слой на внутренней стороне системы утепления, так как относительная влажность внутреннего воздуха обычно выше, чем наружного, и диффузия водяных паров направлена из помещения наружу. При наличии с внешней стороны слоя с большой паропроницаемостью часть влаги может скапливаться в толще конструкции и утеплителя, а разница действительных и максимально возможных парциальных давлений приводит к выпадению конденсата. Для повышения теплозащитных качеств ограждающих конструкций возникает необходимость создания паронепроницаемого защитного экрана. Этому соответствует конструкция панели с паронепроницаемым экраном в виде неперфорированной алюминиевой фольги. Расположение данного экрана у внутреннего слоя панели препятствует проникновению водяных паров из помещения в ограждающую конструкцию и в слой утеплителя. При этом в отдельных слоях ограждающей конструкции в зависимости от их теплофизических характеристик могут возникать зоны конденсации и соответственно увлажнение их. Проведен расчет тепловлажностного режима ограждающих конструкций с расположением паронепроницаемого слоя (неперфорированной алюминиевой фольги) в толще ограждающей конструкции между различными слоями. Анализ графиков тепловлажностных режимов многослойной наружной ограждающей конструкции показывает, что наиболее рациональной является конструкция с расположением неперфорированного экрана – алюминиевой фольги – между внутренним слоем бетона и слоем перфорированного утеплителя. При этом другие экраны между отдельными слоями выполнены перфорированными.

Ключевые слова: теплопередача, многослойная ограждающая конструкция, паронепроницаемый слой, тепловлажностный режим, теплозащитные качества

Для цитирования: Сизов, В. Д. Влияние местоположения неперфорированного экрана на процесс теплопередачи в наружных ограждающих конструкциях зданий / В. Д. Сизов, Л. В. Нестеров, В. М. Копко // *Наука и техника*. 2017. Т. 16, № 2. С. 119–124. DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-2-119-124

Influence of Non-Perforated Screen Location on Heat Transfer Process in Building Enclosing Parts

V. D. Sizov¹⁾, L. V. Nesterov¹⁾, V. M. Kopko¹⁾

¹⁾Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. It is recommended to have a vapor-proof barrier on the internal side of heat insulation system in multi-layer building enclosing parts in order to ensure protection of a heat-insulation layer against humidification because relative humidity of internal air is generally higher than external one and diffusion of water steam is directed from premises outside. While having

Адрес для переписки

Копко Виктор Михайлович
Белорусский национальный технический университет
просп. Независимости, 150,
220013, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 265-97-29
tg_v_fes@bntu.by

Address for correspondence

Kopko Viktor M.
Belarusian National Technical University
150 Nezavisimosty Ave.,
220013, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 265-97-29
tg_v_fes@bntu.by

a barrier with high vapor permeability a part of moisture can be accumulated in the structure and heat insulation core and difference of actual and maximum possible partial pressures leads to condensate formation. In order to improve thermal properties of enclosing parts the necessity arises to create a vapor-proof protection screen. It complies with the design of a panel with a vapor-proof screen in the form of non-perforated aluminium foil. The given screen located at internal panel layer prevents penetration of water vapor from premises into enclosing part and heat insulation layer. In such a case condensation zones and, consequently, their moistening can occur in some layers of enclosing parts according to their thermal and physical characteristics. The paper contains a calculation of thermal and moisture regime of the enclosing parts with vapor-proof layer (non-perforated aluminium foil) located in enclosing part core between various layers. An analysis of thermal and moisture regime diagrams for multi-layer external enclosing part demonstrates that the part of non-perforated screen (aluminium foil) located between internal concrete layer and perforated heat insulation layer is considered the most rational one. At the same time other screens between separate layers are perforated.

Keywords: heat transfer, multi-layer enclosing part, vapor-proof layer, thermal and moisture regime, thermal properties

For citation: Sizov V. D., Nesterov L. V., Kopko V. M. (2017) Influence of Non-Perforated Screen Location on Heat Transfer Process in Building Enclosing Parts. *Science and Technique*. 16 (2), 119–124. DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-2-119-124 (in Russian)

При использовании трехслойных ограждающих конструкций внутренний конструкционный слой из бетона или другого материала обычно выступает в роли инерционного буфера, который входит в определенный баланс с микроклиматом помещения и берет на себя функцию сглаживания резких изменений относительной влажности в нем. При резком повышении относительной влажности внутренний слой ограждающей конструкции адсорбирует излишнюю влагу и предотвращает превышение величины относительной влажности, более предельно допустимой. При резком снижении относительной влажности в помещении происходит обратный процесс. В этой связи для защиты теплоизоляционного слоя от увлажнения рекомендуется наличие надежного паронепроницаемого слоя на внутренней стороне системы утепления, так как относительная влажность теплого внутреннего воздуха обычно выше, чем наружного холодного и диффузия водяных паров направлена из помещения наружу.

Перфорированные или волокнистые теплоизоляционные материалы не препятствуют движению пара наружу, не позволяя влаге скапливаться в толще утеплителя. При наличии с внешней стороны слоя с большой паропропускаемостью часть влаги может скапливаться в толще конструкции и утеплителя, а разница действительных и максимально возможных парциальных давлений приводит к выпадению конденсата.

Для повышения теплозащитных качеств ограждающих конструкций и улучшения усло-

вий их эксплуатации, особенно в помещениях с повышенной влажностью, возникает необходимость создания конструкции панели, способной предотвратить указанные недостатки. При этом в соответствии с действующими нормативными документами [1–4] не следует допускать накопления влаги в ограждающих конструкциях за годовой период эксплуатации, а также ограничивать попадание влаги в ограждающую конструкцию за период с отрицательными среднемесячными температурами наружного воздуха.

Всем этим предпосылкам отвечает предлагаемая авторами конструкция (заявка на патент а20130830, исх. № 10-196 от 08.07.2013), которая отличается от существующих тем, что в многослойной стеновой панели (включающей наружный и внутренний бетонные слои, промежуточный слой утеплителя, выполненный из листа с перфорациями, и слой фольги, уложенный на внутреннюю поверхность наружного слоя панели) лист с перфорациями выполнен многослойным. Между его слоями и на внутренней поверхности наружного слоя панели расположены листы перфорированной фольги с упрочняющей сеткой. Кроме того, внутренний бетонный слой отделен от листа с перфорациями слоем алюминиевой фольги. Упрочняющая сетка может быть выполнена из алюминия или полиэтилена, промежуточный слой утеплителя – из модулей ячеистой формы в виде пустотных колец или полусфер.

Наличие нескольких перфорированных слоев алюминиевой фольги между слоями утепли-

теля с перфорациями увеличивает термическое сопротивление последних за счет уменьшения радиационной составляющей при наличии нескольких экранов и в то же время не препятствует удалению парообразной влаги из панели в целом [5–11]. Вместе с тем расположение неперфорированного слоя фольги на внутреннем слое панели препятствует проникновению водяных паров из помещений в слой утеплителя. Конструкция стеновой панели представлена на рис. 1.

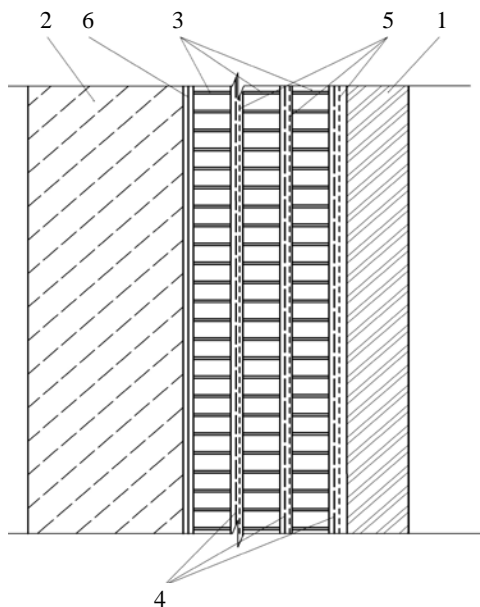


Рис. 1. Конструкция стеновой панели

Fig. 1. Wall panel structure

Многослойная стеновая панель состоит из наружного 1 и внутреннего 2 бетонных слоев, промежуточных слоев утеплителя с перфорациями 3, слоев перфорированной алюминиевой фольги 4 с упрочняющей сеткой 5, слоя алюминиевой фольги 6. Собранные таким образом перфорированные слои утеплителя или светопрозрачных ячеек имеют высокое сопротивление теплопередаче благодаря отражательной способности экранов в виде перфорированной алюминиевой фольги, оптимальным геометрическим размерам каждого слоя утеплителя между слоями фольги с минимальной конвективной составляющей и максимальной паровлагопроницаемостью для предотвращения накопления влаги в теплоизоляционном слое.

Крепление каждого из слоев конструкции осуществляется легкими связями.

Повышение термического сопротивления перфорированных или светопрозрачных ячеек слоев за счет экранирования сделано на основании расчетов [6], которые показывают, что учет уменьшения теплового потока через слой утеплителя за счет экранирования снижает тепловой поток через ограждение в целом. А это приводит к повышению его термического сопротивления.

Улучшение условий эксплуатации при выполнении конструкции наружного ограждения по предлагаемой схеме позволит уменьшить влияние увлажнения слоя утеплителя за счет расположения неперфорированного листа между внутренним слоем бетона и перфорированными листами утеплителя. Преимущество данного конструктивного решения подтверждается расчетом тепловлажностного режима конструкции.

Расчет тепловлажностного режима проводили на параметры наружного воздуха при наиболее неблагоприятных характеристиках – температуре холодного месяца для условий г. Минска (табл. 1–3). Для расчета принимали конструкцию наружного ограждения, состоящую из двух слоев бетона – внутреннего и наружного толщиной 150 и 60 мм соответственно, и слоя микромодулей толщиной 150 мм, состоящих из трех элементов и разделенных перфорированной алюминиевой фольгой (рис. 2–4). Характеристики материалов приняты следующими:

- железобетон: $\lambda_6 = 2,04 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°С})$;

$$\mu = 0,03 \text{ мг}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па});$$

- трехслойный микромодуль:

$$\lambda = 0,04 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°С}).$$

Алюминиевые экраны в данном случае были перфорированными (для них сопротивление паропрооницанию $R_n = 11 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{м}$). Для алюминиевой фольги без перфорации в научной литературе данных нет, т. е. она считается паронепроницаемой ($R_n = \infty$). Однако на практике при нанесении алюминиевой фольги на микромодуль, при монтаже и иных операциях

с этими элементами возможны повреждения, неплотность при приклеивании отдельных листов. Таким образом, сопротивление па-

ропроницанию снижается. Авторами статьи для неперфорированной фольги принято $R_{п} = 100 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{м}$.

Таблица 1

Данные для построения графика влажностного режима наружной стены
(все экраны с перфорацией)

Data for construction of diagram on moisture conditions of external wall
(all screens with perforation)

Расчетная температура воздуха, °С	Определяемый параметр	Номер плоскости					
		I	II	III	IV	V	VI
$t_n = -6,9$	Температура t , °С	17,3	16,8	9,0	4,2	-6,6	-6,81
	Максимальное парциальное давление E , Па	1975	1913	1148	667	351	344
	Действительное парциальное давление e , Па	1135	900,8	729	557,1	385,7	292

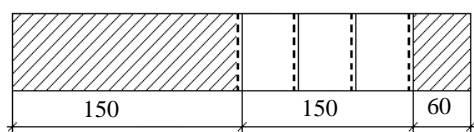
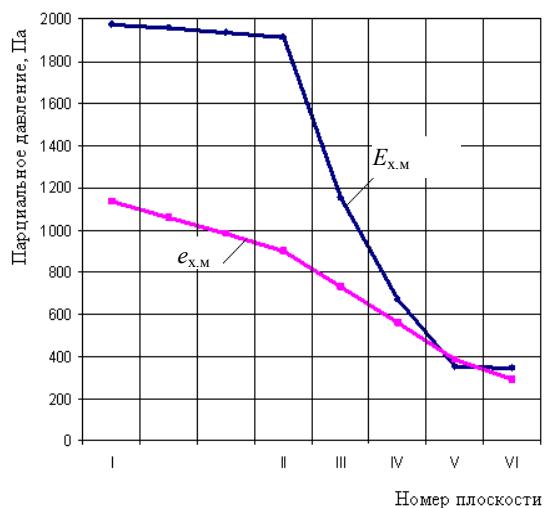


Рис. 2. График влажностного режима наружной стены (все экраны с перфорацией)

Fig. 2. Diagram on moisture conditions of external wall (all screens with perforation)

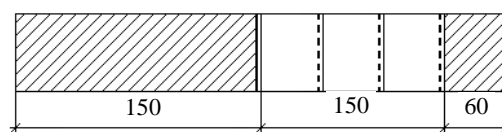
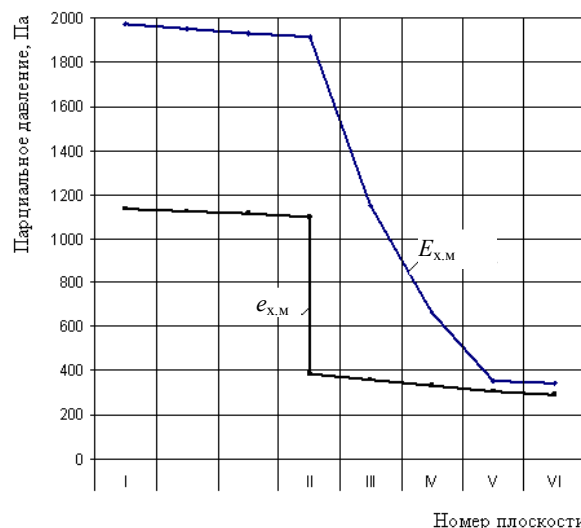


Рис. 3. График влажностного режима наружной стены (первый экран без перфорации, остальные – с перфорацией)

Fig. 3. Diagram on moisture conditions of external wall (first screen without perforation, rest – with perforation)

Как видно из построенных графиков, наиболее рациональным является расположение неперфорированного алюминиевого экрана меж-

ду внутренним слоем бетона и слоем перфорированного утеплителя (рис. 3), в то время как остальные экраны выполнены с перфорацией.

Таблица 2

Данные для построения графика влажностного режима наружной стены
(первый экран без перфорации, остальные – с перфорацией)

Data for construction of diagram on moisture conditions of external wall
(first screen without perforation, rest – with perforation)

Расчетная температура воздуха, °С	Определяемый параметр	Номер плоскости					
		I	II	III	IV	V	VI
$t_n = -6,9$	Температура t , °С	17,3	16,8	9,0	4,2	-6,6	-6,81
	Максимальное парциальное давление E , Па	1975	1913	1148	667	351	344
	Действительное парциальное давление e , Па	1135	1099 / 385	359	333,2	306	292

Таблица 3

Данные для построения графика влажностного режима наружной стены
(первый экран с перфорацией, остальные – без перфорации)

Data for construction of diagram on moisture conditions of external wall
(first screen with perforation, rest – without perforation)

Расчетная температура воздуха, °С	Определяемый параметр	Номер плоскости					
		I	II	III	IV	V	VI
$t_n = -6,9$	Температура t , °С	17,3	16,8	9,0	4,2	-6,6	-6,81
	Максимальное парциальное давление E , Па	1975	1913	1148	667	351	344
	Действительное парциальное давление e , Па	1135	1121	1112 / 847	837 / 572	562 / 297	292

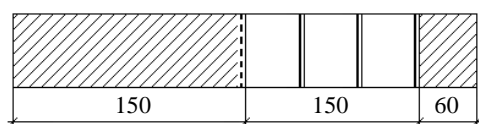
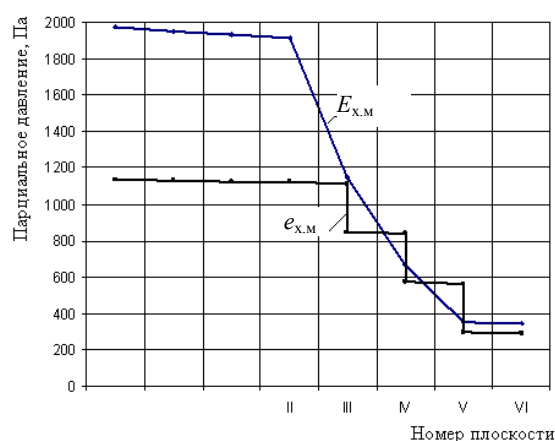


Рис. 4. График влажностного режима наружной стены
(первый экран с перфорацией, остальные – без перфорации)

Fig. 4. Diagram on moisture conditions of external wall
(first screen with perforation, rest – without perforation)

ВЫВОД

Предлагаемая конструкция наружного ограждения с многослойным перфорированным утеплителем, между слоями которого находятся перфорированные слои из алюминиевой фольги, а внутренний бетонный слой отделен от утепляющих слоев неперфорированной фольгой, является наиболее приемлемой для длительной эксплуатации, исходя из влажностного режима работы теплоизоляции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Наружное ограждение здания: пат. № 13547 Респ. Беларусь, МПК Е 2/42 / Б. М. Хрусталева, В. Д. Сизов, В. Д. Акельев, И. М. Золотарева; дата публ. 25.05.2010.
2. Тепловая защита зданий. Теплоэнергетические характеристики: ТКП-45-2.04-196-2010. Введ. 01.09.2010. Минск: Минстройархитектуры, 2010. 23 с.
3. Тепловая защита зданий: СНиП 23-02-2003. Введ. 01.10.2003. М.: Госстрой России, 2004. 31 с.

4. Строительная теплофизика. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-2.04-43-2006. Взамен СНБ 2.04.01-97; введ. 01.07.07. Минск: Минстройархитектуры, 2007. 32 с.
5. Сизов, В. Д. Использование теплоизоляционных слоев из микромодулей в новых конструкциях стеновых панелей / В. Д. Сизов, Л. В. Нестеров, В. М. Копко // Наука и техника. 2014. № 5. С. 54–60.
6. Сизов, В. Д. Влияние отражательной способности экранов на процесс теплопередачи в ограждающих конструкциях / В. Д. Сизов, Л. В. Нестеров, В. М. Копко // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2016. Т. 59, № 1. С. 46–55.
7. Ключников, А. Д. Теплопередача излучением в огне-технических установках (инженерные решения задач) / А. Д. Ключников, Г. П. Иванцов. М.: Энергия, 1970. 400 с.
8. Протасевич, А. М. Строительная теплофизика ограждающих конструкций зданий и сооружений / А. М. Протасевич. Минск: Вышэйш. шк., 2015. 239 с.
9. Elsner, N. Grundlagen der Technischen Termodinamik / N. Elsner. Berlin: Akademie Verlag, 1974. 660 p.
10. Тепло- и массообмен: в 2 ч. / Б. М. Хрусталеv [и др.]; под общ. ред. А. П. Несенчука. Минск: БНТУ, 2007. Ч. 1. 607 с.
11. Тепло- и массообмен: в 2 ч. / Б. М. Хрусталеv [и др.]; под общ. ред. А. П. Несенчука. Минск: БНТУ, 2009. Ч. 2. 273 с.
2. ТКР-45-2.04-196–2010. Thermal Protection of Buildings. Heat- and Power Characteristics. Minsk, Ministry of Architecture and Construction, 2010. 23 (in Russian).
3. SNiP 23-02–2003 [Construction Rules and Regulations]. Thermal Protection of Buildings. Moscow, State Construction Committee of Russia, 2004. 31 (in Russian).
4. ТКР 45-2.04-43–2006. Construction Thermal Physics. Structural Design Code. Minsk, Ministry of Architecture and Construction, 2007. 32 (in Russian).
5. Sizov V. D., Nesterov L. V., Kopko V. M. (2014) Usage of Micro-Modular Heat-Insulation Layer in Structures of Wall Panels. *Nauka i Tekhnika* [Science and Technique], (5), 54–60 (in Russian).
6. Sizov V. D., Nesterov L. V., Kopko V. M. (2016) Effect of the Screens Radiant Reflectance on Thermal Transport Process in the Cladding Structures. *Energetika. Proceedings of CIS Higher Education Institutions and Power Engineering Associations*, 59 (1), 46–55 (in Russian). DOI: <http://dx.doi.org/10.21122/1029-7448-2016-59-1-46-55>.
7. Kluchnikov A. D., Ivantsov G. P. (1970) *Heat Transfer While Using Radiation in Fire Engineering Units (Engineering Solution of Problems)*. Moscow, Energiya Publ. 400 (in Russian).
8. Protasevich A. M. (2015) *Construction Thermal Physics of Claddings and Structures*. Minsk, Vyshaihsaya Shkola Publ. 239 (in Russian).
9. Elsner N. (1974) *Grundlagen der Technischen Termodinamik*. Berlin, Akademie Verlag. 660.
10. Khrustalev B. M., Nesenchuk A. P., Timoshpolskii V. I., Akelev V. D., Sednin V. A., Kopko V. M., Nerezko A. V. (2007) *Heat- and Mass Transfer. Part 1*. Minsk, Belarusian National Technical University. 607 (in Russian).
11. Khrustalev B. M., Nesenchuk A. P., Timoshpolskii V. I., Akelev V. D., Sednin V. A., Kopko V. M., Nerezko A. V. (2009) *Heat- and Mass Transfer. Part 2*. Minsk, Belarusian National Technical University. 273 (in Russian).

Поступила 27.06.2016

Подписана в печать 05.09.2016

Опубликована онлайн 28.03.2017

REFERENCES

Received: 27.06.2016

Accepted: 05.09.2016

Published online: 28.03.2017