

Классификация вентилируемых фасадных систем. Влияние теплопроводных включений на их теплозащитные характеристики

*К.т.н., доцент А. М. Протасевич,
Белорусский национальный технический университет;
зав. сектором теплофизических исследований А. Б. Крутилин*,
РУП «Институт БелНИИС»*

Ключевые слова: вентилируемая фасадная система; фильтрация воздуха; классификация; сопротивление теплопередаче; теплоизоляция; теплопроводные включения

В многослойных наружных стенах с эффективными теплоизоляционными материалами протекают процессы переноса теплоты и массы, формирующие их тепловлажностный режим. Особенностью многослойных конструкций является возможность образования зон с повышенной влажностью материалов, что интенсифицирует перенос теплоты, тем самым, ухудшая теплоизоляционные качества ограждений. Использование вентилируемых фасадных систем (ВФС) утепления для большинства конструкций наружных стен обеспечивает отсутствие накопления влаги в их толще и, следовательно, эксплуатацию материалов в области сорбционного увлажнения. Вентилируемая воздушная прослойка улучшает влажностный режим наружных стен с ВФС по сравнению с панельными стенами, стенами из штучных материалов и стенами со скрепленной теплоизоляцией.

В настоящее время разработано большое количество конструкций ВФС утепления. При этом конструкции значительно отличаются по организации вентиляции прослойки, по виду защиты от фильтрации воздуха в слое теплоизоляции, по уровню теплозащиты при одинаковой толщине утеплителя и т.д. Данные различия указывают на необходимость создания классификации ВФС, которая позволит принимать обоснованные конструктивные решения при их проектировании.

1. Классификация вентилируемых фасадных систем

На данный момент известно ряд классификаций ВФС, предложенных в разных странах. В Литве [1] выполнена классификация ВФС по типу вентиляции прослоек. На ее основании предложены меры по предотвращению фильтрации воздуха в теплоизоляционном слое. В Канаде и США [2] разработана классификация конструкций наружных стен, возводимых с защитными экранами и вентилируемыми воздушными прослойками.

Однако в предложенных классификациях не охвачен ряд конструктивных решений утепления ВФС, используемых в Республике Беларусь и странах ближнего зарубежья, что не позволяет их эффективно использовать. Многочисленные натурные и стендовые исследования, проведенные авторами [3], а также анализ работ зарубежных авторов [4, 5, 6, 7 и др.] показали, что при выполнении классификации ВФС для климатических условий Республики Беларусь и стран СНГ необходимо учитывать:

- вид организации вентиляции вентилируемых воздушных прослоек (естественная, механическая);
- расположение вентилируемых воздушных прослоек (в толще стен, у наружного или внутреннего слоя);
- назначение вентилируемых воздушных прослоек (для удаления водяного пара; для подогрева приточного воздуха трансмиссионным теплом и подача его в помещение и др.);
- интенсивность вентиляции вентилируемых воздушных прослоек (слабо вентилируемая – с суммарной площадью входных и выходных вентиляционных отверстий на квадратный метр поверхности стены $F_{от} \leq 3000 \text{ мм}^2/\text{м}^2$, вентилируемая – $3000 < F_{от} \leq 18000 \text{ мм}^2/\text{м}^2$, интенсивно вентилируемая – $F_{от} > 18000 \text{ мм}^2/\text{м}^2$);
- тип защитного экрана (сплошной, из штучных материалов с открытыми вертикальными, либо горизонтальными, либо вертикальными и горизонтальными стыками);
- этажность зданий.

Предлагаемая классификация ВФС и наружных стен с вентилируемыми воздушными прослойками показана на рис. 1.

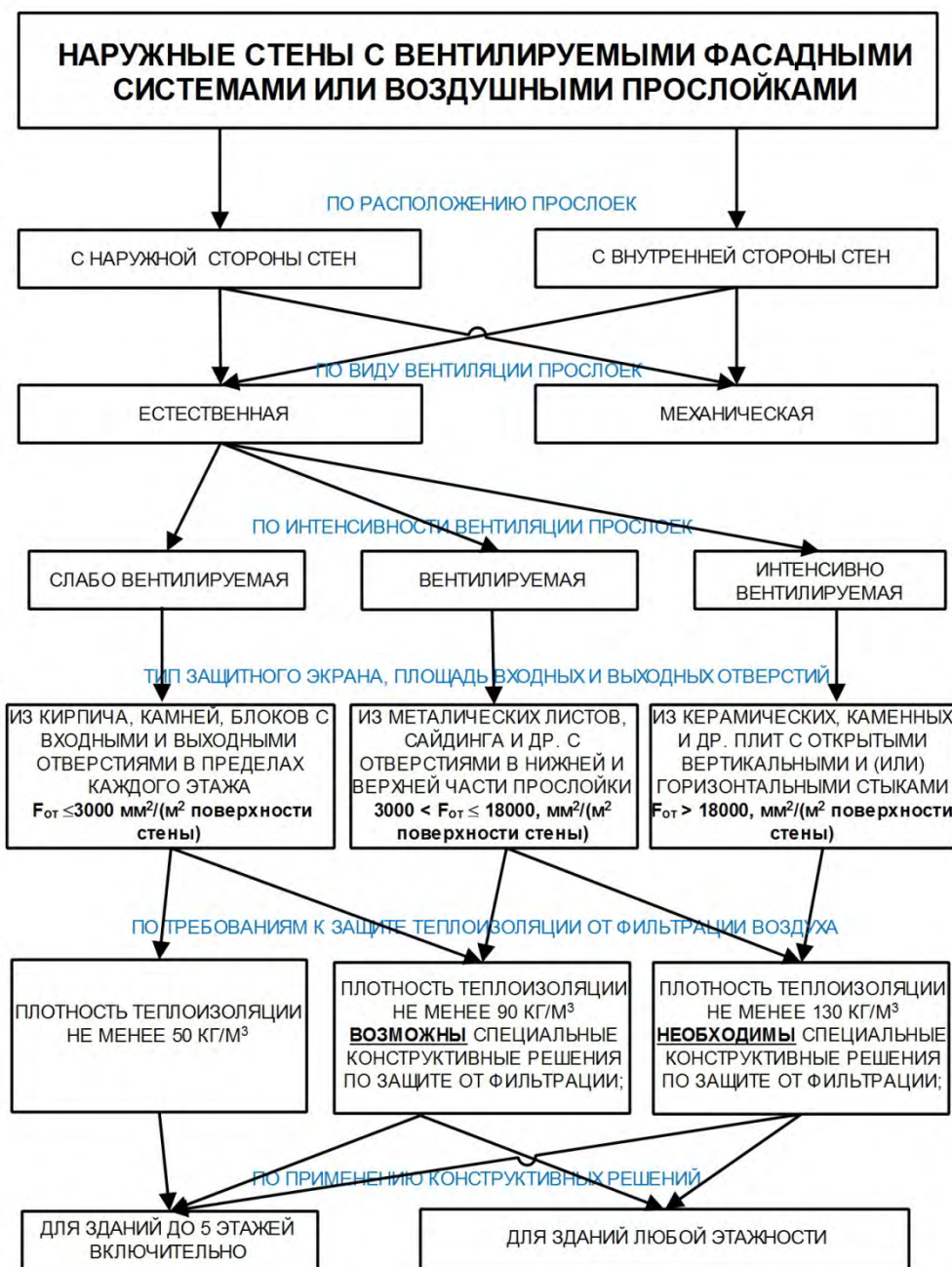


Рисунок 1. Классификация наружных стен с вентилируемыми воздушными прослойками, или ВФС

Наибольшее практическое применение в строительстве получили ВФС утепления с вентилируемыми воздушными прослойками, расположенными с наружной стороны стен, и сконструированные с использованием принципа естественной вентиляции. Различные конструкции наружных стен с ВФС нашли применение при проектировании жилых, административных и общественных зданий и зданий с повышенными требованиями к архитектурному облику, с экранами из стекла и стеклопакетов в высотном строительстве.

Одним из наиболее сложных вопросов при проектировании, строительстве и эксплуатации ВФС является обеспечение нормируемого сопротивления теплопередаче стен из-за возможности возникновения фильтрации воздуха в слое теплоизоляции и особенностей крепления подблицовочной конструкции и экрана к основанию стены.

Несмотря на наличие проблемы защиты теплоизоляции от охлаждающего фильтрационного потока воздуха [7, 8, 9, 10 и др.], универсального решения на данный момент не разработано.

Для снижения негативного влияния фильтрации воздуха в ВФС утепления с «интенсивно вентилируемой» прослойкой предлагается, вне зависимости от этажности здания, использовать минераловатные плиты плотностью не менее 130 кг/м^3 и тщательно выполнять подготовку поверхности стен под теплоизоляцию. В «вентилируемых» прослойках фасадных систем возможно использование минераловатных плит плотностью не менее 90 кг/м^3 и, в зависимости от этажности, следует предусматривать специальные конструктивные решения для защиты от фильтрации воздуха.

2. Влияние подоблицовочной конструкции на сопротивление теплопередаче наружных стен с вентилируемыми фасадными системами

Многочисленные исследования [11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 и др.] проведены по определению влияния элементов крепления ВФС утепления наружных стен на величину их приведенного сопротивления теплопередаче. Металлические элементы крепления являются теплопроводными включениями и значительно снижают величину сопротивления теплопередаче стен. Влияние на перенос теплоты оказывает каждая точка крепления, как слоя теплоизоляции, так и экрана, материал элементов крепления, вид защитного экрана и другие факторы. Снижение сопротивления теплопередаче стен из-за влияния теплопроводных включений принято учитывать введением коэффициентов теплотехнической однородности:

$$r = \frac{R_T^{Bк}}{R_T},$$

где R_T – сопротивление теплопередаче по «глади» наружной стены, $\text{м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$;

$R_T^{Bк}$ – сопротивление теплопередаче расчетного фрагмента наружной стены с учетом влияния теплопроводных включений, $\text{м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$.

Определение сопротивления теплопередаче расчетного участка наружной стены следует выполнять с учетом влияния ветрового воздействия на здание, которое определяет режим движения и интенсивность теплообмена в вентилируемой воздушной прослойке.

Особое внимание следует уделить определению границ расчетных участков теплопроводных включений. Зоны влияния, создаваемые теплопроводными включениями, определяются по изолиниям или изоповерхностям температуры в каждом i -том расчетном фрагменте. При этом геометрические размеры расчетных фрагментов не должны быть «заужены».

В качестве примера определения влияния теплопроводных включений на уровень теплозащиты выполнены расчеты сопротивления теплопередаче участков наружной стены жилого дома, утепленной ВФС.

Наружная стена – из керамзитобетонных стеновых панелей с наружным железобетонным слоем толщиной $\delta = 30 \text{ мм}$, средним слоем из керамзитобетона ($\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$) толщиной $\delta = 250 \text{ мм}$ и внутренним фактурным слоем из бетона, толщиной $\delta = 20 \text{ мм}$.

Вентилируемая фасадная система – с теплоизоляционным слоем из минераловатных плит на основе базальтового волокна ($\rho = 90 \text{ кг/м}^3$, $\lambda_A = 0,0406 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$) толщиной $\delta = 100 \text{ мм}$. Защитный экран выполнен металлическим профилированным сайдингом; крепление экрана к основанию стены – с помощью кронштейнов и анкеров. Крепление минераловатных плит к основанию предусмотрено с помощью дюбелей с металлическими сердечниками $\varnothing 5 \text{ мм}$. Толщина вентилируемой воздушной прослойки $\delta = 60 \text{ мм}$.

Геометрические размеры кронштейнов приняты как для ВФС утепления реального объекта.

В ходе расчетов варьировались:

- количество точек установки кронштейнов на 1 м^2 площади стены (1 и 2 шт./ м^2);
- материал, из которого выполнены кронштейны (сталь и алюминий);
- количество дюбелей с металлическими сердечниками для крепления слоя теплоизоляции (2, 4, 6 и 8 шт./ м^2).

Коэффициенты теплопроводности материалов приняты в соответствии с действующей нормативно-технической документацией для условий эксплуатации «А».

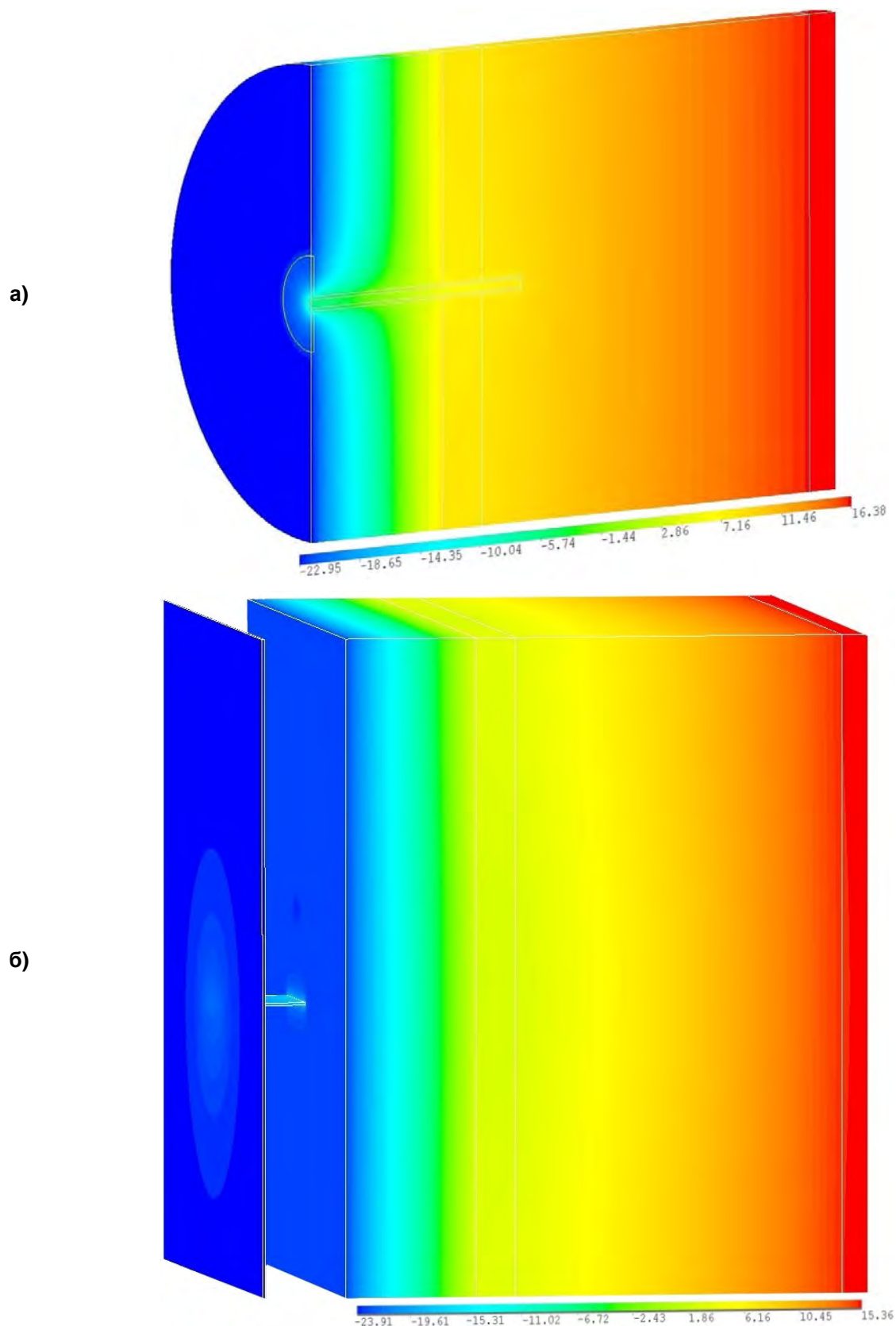


Рисунок 2. Трехмерные поля температур (t , °C) фрагментов наружной стены с ВФС утепления: а – дюбель с металлическим сердечником крепления слоя теплоизоляции; б – кронштейн с анкером крепления защитного экрана

Протасевич А.М., Крутилин А.Б. Классификация вентилируемых фасадных систем. Влияние теплопроводных включений на их теплозащитные характеристики

Температурные поля фрагментов указанной наружной стены с теплопроводными включениями показаны на рис. 2. Результаты расчетов коэффициентов теплотехнической однородности приведены в табл. 1 и 2.

Определяющее влияние на уровень теплозащиты наружных стен с ВФС оказывают кронштейны, их материал и количество на единицу площади фасада. При этом установка стальных кронштейнов предпочтительнее по сравнению с алюминиевыми вследствие более высоких коэффициентов теплотехнической однородности утепленной стены.

Таблица 1

Сопротивление теплопередаче по «глади» стены R_T , $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$	Коэффициент теплотехнической однородности для каждого из теплопроводных включений							
	Кронштейны с анкерами				Дюбеля с металлическими сердечниками, шт./ m^2			
	алюминиевые, шт./ m^2		стальные, шт./ m^2		2	4	6	8
	1	2	1	2				
3,446	0,768	0,536	0,858	0,717	0,986	0,972	0,957	0,944

Таблица 2

Тип и количество теплопроводных включений на $1 m^2$ поверхности стены	Коэффициент теплотехнической однородности наружной стены с ВФС утепления	Сопротивление теплопередаче расчетного фрагмента наружной стены с учетом влияния включений R_T^{Bk} , $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$
Стальной кронштейн с анкером (1 шт.) и дюбеля с металлическими сердечниками (6 шт.)	0,816	2,81
Алюминиевый кронштейн с анкером (1 шт.) и дюбеля с металлическими сердечниками (6 шт.)	0,726	2,50

Общий коэффициент теплотехнической однородности ВФС утепления при установке 1-го кронштейна и 6 дюбелей с металлическими сердечниками на $1 m^2$ площади наружной стены (см. таблицу 2) получен в пределах $\gamma = 0,726 \dots 0,816$; сопротивление теплопередаче стены с учетом влияния теплопроводных включений – в пределах $R_T^{Bk} = 2,50 \dots 2,81 m^2 \cdot ^\circ C / Вт$, что ниже нормативного сопротивления теплопередаче $R_{T,n} = 3,2 m^2 \cdot ^\circ C / Вт$, принятого в Республике Беларусь.

При проектировании ВФС утепления с «тяжелыми» экранами (из керамических, керамогранитных и бетонных плит) увеличение точек крепления защитного экрана еще сильнее снижает уровень теплозащиты наружных стен в целом. В ряде случаев увеличением толщины слоя теплоизоляции сложно добиться действующих нормативных величин сопротивления теплопередаче наружных стен.

Заключение

Разработанная классификация вентилируемых фасадных систем и наружных стен зданий с вентилируемой воздушной прослойкой позволяет выполнить предварительную оценку при принятии решения по проектированию ВФС утепления для различных зданий. Особое внимание в данной статье уделено необходимости тщательного подхода к решению вопросов по защите теплоизоляции ВФС от фильтрации в их толще наружного воздуха.

Представлены результаты расчетов коэффициентов теплотехнической однородности наружных стен с ВФС утепления с различным количеством теплопроводных включений. Указано, что снижение уровня теплозащиты наружной стены может достигать 50% вследствие влияния элементов крепления экранов и слоя теплоизоляции.

Литература

1. Проектирование и строительство стен с воздушными промежутками: Рекомендации / Институт архитектуры и строительства. Вильнюс, 2002. 24 с.
2. Salonvarra M., Karagiozis Achilles N., Pazera M., Miller W. Air Cavities Behind Claddings – What Have We Learned? [Электронный ресурс] // Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Whole Buildings X International Conference. – Florida, USA, December 2-7, 2007. URL: http://www.ornl.gov/sci/buildings/2010/B_X_Proceedings.htm. (Дата обращения: 20.01.2011).
3. Протасевич А. М., Крутилин А. Б. Натурные исследования наружных стен зданий, теплоизолированных по системе «вентилируемый фасад» // Современные фасадные системы: эффективность и долговечность: Материалы научно-технической конференции. Москва, 21 ноября 2008 г. М. : МГСУ, 2008. С. 212–217.
4. Езерский В. А., Монастырев П. В. Влияние вентилируемого фасада на теплозащитные качества утеплителя // Жилищное строительство. 2003. № 3. С. 18–20.
5. Блюджюс Р., Самаяускас Р. Воздействие передвижения воздуха на теплопередачу конструкций с теплоизоляцией из минераловатных плит // Проблемы строительной теплофизики систем обеспечения микроклимата и энергосбережения в зданиях: Материалы шестой научно-практической конференции. Москва, НИИСФ, 26 – 28 апреля, 2001 г. М., 2001. С. 157–188.
6. Самаяускас Р., Станкявичюс В., Блюджюс Р. Воздействие конвекции на теплопередачу через вентилируемые ограждения. Каунас : Технология, 2003. 125 с.
7. Гагарин В. Г., Козлов В. В., Садчиков А. В. О влиянии продольной фильтрации воздуха на теплозащиту стен с вентилируемым фасадом // СтройПРОФИль. 2005. № 6. С. 34–36.
8. Лешкевич, М. В. Как строить чтобы меньше гореть? Перспективы перехода к европейским требованиям пожарной опасности вентилируемых фасадов // Мастерская. Современное строительство. 2010. № 7. С. 13–15.
9. Немова Д. В. Навесные вентилируемые фасады: обзор основных проблем // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 5(15). С. 7-11.
10. Мешалкин Е. А. Пожарная безопасность навесных вентилируемых фасадов // Пожарная безопасность в строительстве. 2011. № 3. С. 40-47.
11. Гагарин В. Г. Теплотехнические проблемы современных стеновых ограждающих конструкций многоэтажных зданий // Academia. Архитектура и строительство. 2009. № 5. С. 297-305.
12. Гагарин В. Г., Козлов В. В., Цыкановский Е. Ю. Теплозащита фасадов с вентилируемым воздушным зазором. Часть 1 // АВОК. 2004. № 2. С. 20–26.
13. Гагарин В. Г., Козлов В. В., Цыкановский Е. Ю. Теплозащита фасадов с вентилируемым воздушным зазором. Часть 2 // АВОК. 2004. № 3. С. 20–26.
14. Езерский В. А., Монастырев П. В., Федоров С. В. Коэффициент теплотехнической однородности наружных стен вентилируемых фасадов // Жилищное строительство. 2004. № 12. С. 8–11.
15. Tanner C., Zürcher C. Bauphysik der hinterlüfteten Fassade. Ein Einblick in ausgewählte physikalische Phänomene und Folgerungen für die konstruktive Umsetzung und Ausführung [Электронный ресурс] // Hinterlüftete Fassade als Witterungsschutz: WTA Seminar. Системные требования: Adobe Acrobat Reader. URL: www.wta-schweiz.ch/mitglieder/seminar-04-hugentobler.pdf (Дата обращения: 20.01.2011).
16. Peer L. V. B. Practical Use of Thermal Breaks in Cladding Support Systems [Электронный ресурс] // Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Whole Buildings X International Conference. Florida, USA, December 2-7, 2007. URL: http://www.ornl.gov/sci/buildings/2010/B_X_Proceedings.htm. (Дата обращения: 20.01.2011)

** Антон Борисович Крутилин, Минск, Республика Беларусь*

Тел. моб.: +37(529)754-05-67; эл. почта: ankr@tut.by