

УДК 725 (075.8)

**А.А. ПАВЛОВ****ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ СТЕНОВЫХ ОГРАЖДЕНИЙ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИЗДЕЛИЙ ИЗ МОДИФИЦИРОВАННОГО ВОЛОКНА***DESIGN OF ENERGY EFFICIENT CONSTRUCTION FENCES WITH PRODUCTS FROM MODIFIED FIBERS*

*Рассматриваются новые конструктивные решения стен с использованием изделий из модифицированного волокна в современных условиях проектирования и эксплуатации в соответствии с новыми требованиями строительных норм и правил в свете сбережений топливно-энергетических ресурсов. Приводятся теория и результаты теплотехнического расчёта ограждающих конструкций зданий.*

**Ключевые слова:** модифицированное волокно, энергоэффективные ограждения, теплотехнический расчёт.

*New design models of walls with products of modified fibers in present conditions of design and operation according with new requirements of building regulations in the light of saving energy resources are viewed. Theory and results of heating calculation of construction fences are provided.*

**Keywords:** modified fiber, energy barriers, thermal engineering calculations.

Вопросы, связанные с теплозащитой зданий и сооружений, приобрели актуальность в связи с реализацией в России программы энергосбережения в строительстве. Проектирование ограждающих конструкций энергоэффективных зданий в настоящее время производится в соответствии со СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий»<sup>1</sup>. Традиционные строительные материалы (железобетон, кирпич, дерево) не способны в однослойной ограждающей конструкции обеспечить требуемое значение термического сопротивления в районах с умеренным и суровым климатом - оно может быть достигнуто лишь в многослойной ограждающей конструкции.

Кроме расчёта на сопротивление теплопередаче, обязателен расчёт на влажностное состояние. Выпадение конденсата в многослойных ограждающих конструкциях приводит к повышению влажности строительных и теплоизоляционных материалов и к ухудшению их теплозащитных свойств. Возникает необходимость в расчете влажностного режима строительных конструкций, так как за годовой период эксплуатации здания происходит накопление влаги внутри ограждающей конструкции.

По площади наружные стены занимают 50 % от общих площадей ограждений зданий. Классические типы наружных стен претерпевают конструктивные изменения. В основном новые конструктивные ре-

шения наружных стен основаны на использовании новых эффективных теплоизоляционных материалов с применением новых технологий. Это касается не только проектирования новых зданий, но и реконструкции старых, когда приходится производить утепление наружных стен. С появлением новых материалов и целых СИСТЕМ ограждающих конструкций большое внимание уделяется пониманию физических процессов, происходящих в наружных стенах, для проектирования и возведения.

Были проведены комплексные исследования минеральной ваты на шламоколлоидном, бентоколлоидном и микродисперсном связующем [1-3], а затем теоретические исследования конструкций наружных стен с применением этих утеплителей.

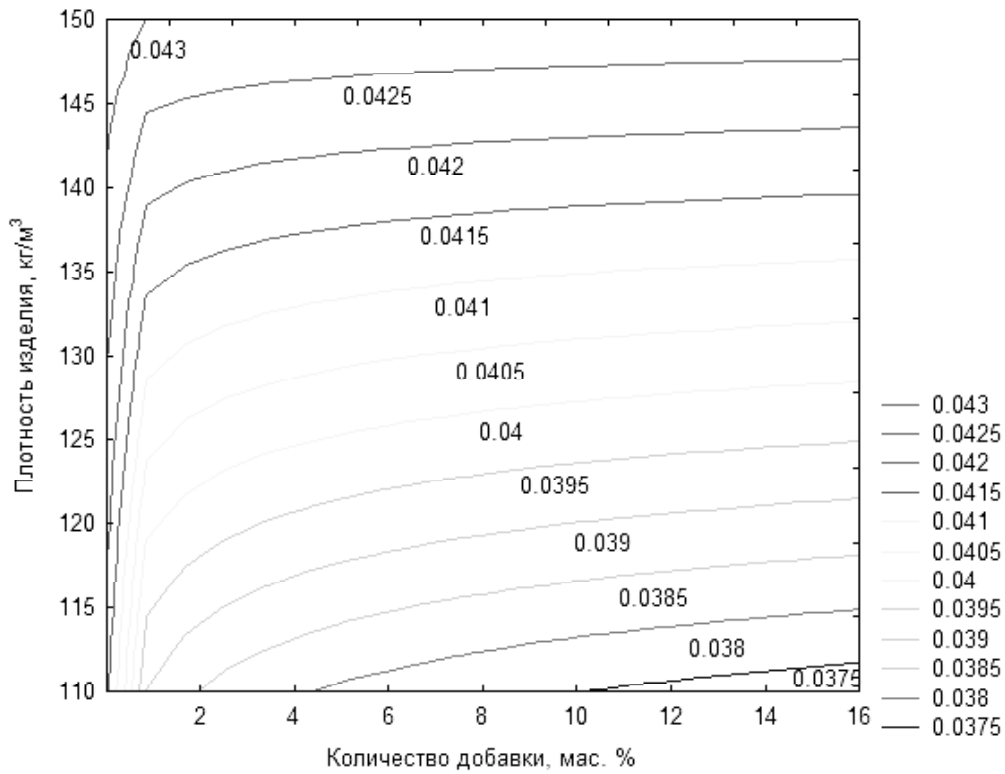
Экспериментальные теплоизоляционные минераловатные материалы на шламоколлоидном связующем имеют высокие расчетные характеристики:  $\lambda = 0,04 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ ;  $\gamma = 130 \text{ кг}/\text{м}^3$ ; прочность ТИМ на сжатие при 10 % деформации – 40 кПа; класс опасности материала - 4; водостойкости по рН – 2,16.

Изделия с использованием минераловатных плит на их основе обладают низкой теплопроводностью, негорючестью, долговечностью; сочетают в себе высокий уровень механической прочности с легкостью, экологическую безопасность с химической стойкостью.

Получены зависимости теплофизических свойств модифицированных минераловатных изде-

<sup>1</sup> СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий / Госстрой России. М., 2003.

а



б

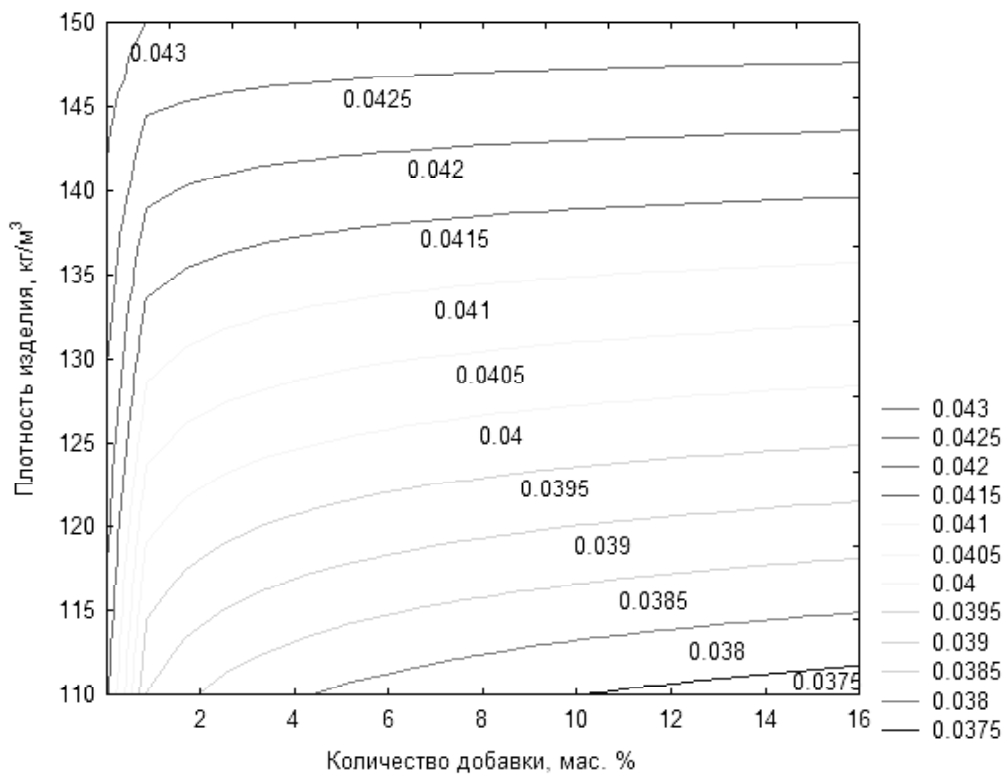


Рис. 1. Номограммы коэффициента теплопроводности (Вт/м·К) модифицированных ТИМ на связующих: а - шламоколлоидном; б – бентоколлоидном

лий от количества добавки и плотности изделия, на основе которых построены номограммы для практического применения (рис. 1).

На основе исследований составов и структуры шламов с позиций структурно-энергетических свойств катионов по положению их в таблице Менделеева установлено, что в соответствии с атомной массой, электроотрицательностью, координационным числом, ионным потенциалом и энергией связи шламы можно разделить на две группы: модификаторы и связующие. Алюмокальциевый шлам, имеющий более высокую пористость, будет в большей степени снижать коэффициент теплопроводности, чем карбонатный. Содержание р- и d- элементов в этом шламе повышает адгезионную прочность, термостойкость. Карбонатный шлам поверхностно модифицирует волокна и наполняет структуру ТИМ, понижая паропроницаемость и воздухопроницаемость, практически не снижая теплопроводности. Теоретически обосновано, что алюмокальциевый шлам как типичный минеральный клей (шламоколлоидное связующее) будет создавать более плотный контакт в местах переплетения волокон и тем самым повышать водо- и коррозионную стойкость по сравнению с бентонитовой глиной (бентоколлоидное связующее) и с карбонатным шламом (микродисперсный модификатор).

Для теоретического исследования наружных стен принято шестизэтажное жилое здание в Самаре. Конструкции наружных стен приняты в пяти вариантах, экспериментального утеплителя – в трёх вариантах: минеральная вата на шламоколлоидном, бентоколлоидном и микродисперсном связующем.

Слои конструкции наружной стены расположены в порядке убывания сопротивления паропроницанию по ходу движения водяных паров из помещения наружу.

Система навесных фасадов включает в себя материалы и изделия, относящиеся к категории негорючих и слабогорючих со слабой дымообразующей способностью, малоопасные по токсичности продуктов горения.

Эскизы конструкций стен и варианты утеплителей представлены на рис. 2.

Климатические параметры района строительства приняты по СНиП «Строительная климатология и геофизика»<sup>2</sup>.

Методика теплотехнического расчета базировалась на требованиях СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий» с применением метода безразмерных характеристик для влажностного режима помещений, разработанного в 1997 г. в Самарском государственном архитектурно-строительном университете проф. Ю.С. Вытчиковым [4].

В основу конструктивных решений наружных стен при определении приведенных сопротивлений теплопередаче главных фрагментов ограждений принимались толщины утеплителя, рассчитанные по формуле

$$\delta_{ym} = \left( \frac{R_{req}}{r} - R_1 - R_n - \frac{1}{\alpha_{int}} - \frac{1}{\alpha_{ext}} \right) \cdot \lambda_{ym}, \text{ м}, \quad (1)$$

где  $R_{req}$  - требуемое приведенное сопротивление теплопередаче стен,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ ;

$r$  - коэффициент теплотехнической однородности;

$\alpha_{int}$  - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций,  $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{°C}$ , принимаемый по табл. 7 СНиП 23-02;

$\alpha_{ext}$  - коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждений,  $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{°C}$ ;

$R_1, R_2, \dots, R_n$  - термические сопротивления отдельных слоев ограждающей конструкции,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ ;

Если в расчётах соблюдалось условие  $R_o \geq R_{req}$  (табл. 4 СНиП 23-02), то считалось, что конструкция стены удовлетворяет требованиям теплотехнических норм. Если  $R_o < R_{req}$ , то предлагалось увеличить толщину утепляющего слоя или рассмотреть возможность включения в проект энергосберегающих мероприятий (утепление узлов).

Сопротивление паропроницанию стены определялось по формулам:

$$R_{vr0} = \sum_{i=1}^n R_{vri}; \quad R_{vri} = \frac{\delta_i}{\mu_i}. \quad (2)$$

Общее сопротивление паропроницанию всей стены рассчитывалось:

$$R_{vr0} = R_{vr1} + R_{vr2} + R_{vr3} + R_{vr4} + R_{vr5}. \quad (3)$$

Результаты расчётов вариантов конструкций стен на сопротивление теплопередаче и паропроницанию показаны в табл. 1.

Согласно методу безразмерных характеристик, определялись значения переменных  $X_i$  и  $Y_i$  на границах слоёв стен по следующим формулам:

<sup>2</sup> СНиП 23-01-99. Строительная климатология и геофизика. М., 2000.

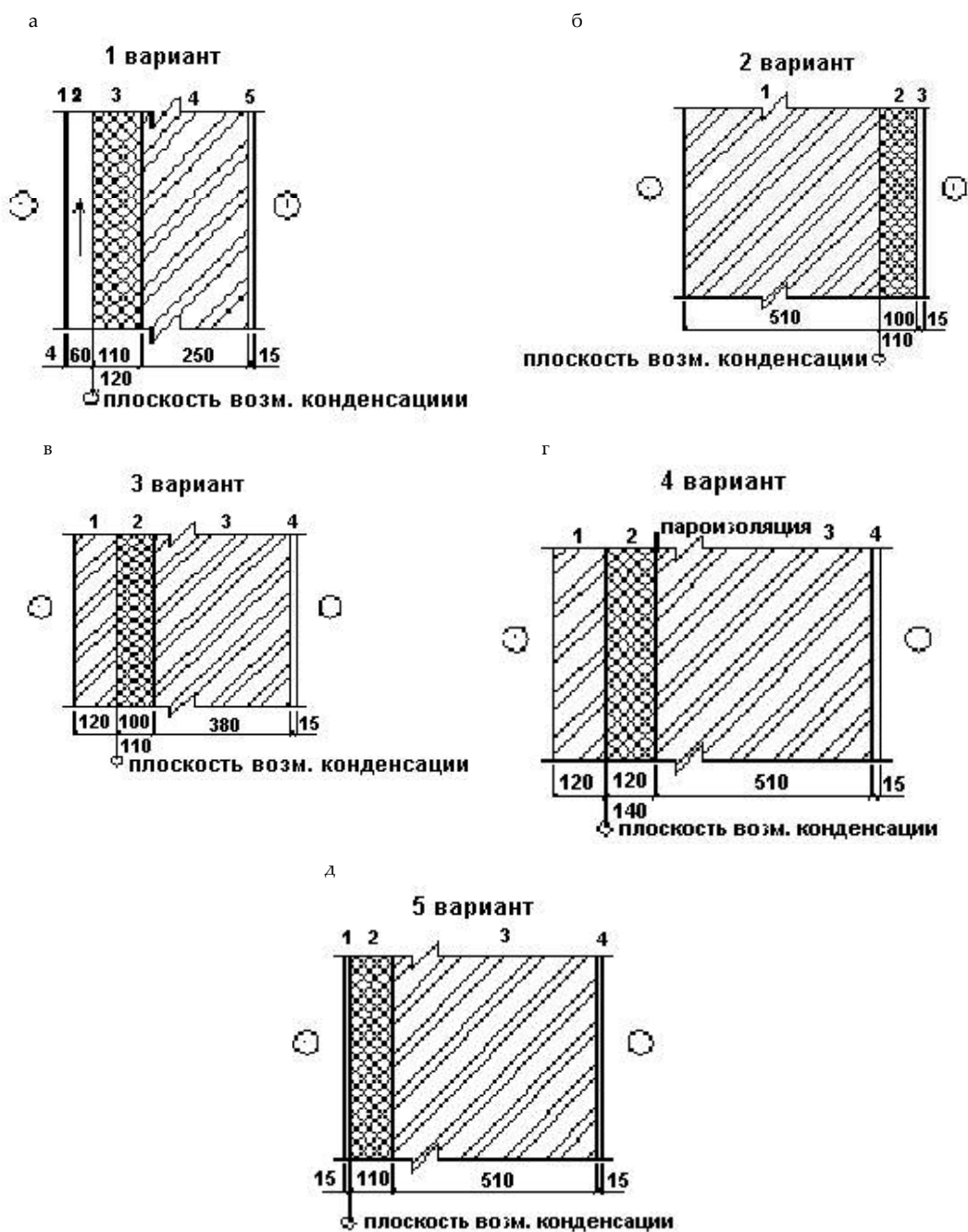


Рис. 2. Конструкции исследуемых стен: **а - вариант** с внутренним слоем из кирпича толщиной 0,25 м ( $\lambda_a = 0,7 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}$ ), с навесным вентфасадом: 1 - alucobond; 2 - воздушная прослойка; 3 - утеплитель; 4 - кирпичная кладка; 5 - известково-песчаный раствор; **б - вариант** с конструктивным слоем из кирпича толщиной 0,51 м ( $\lambda_a = 0,7 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}$ ). Утепление «изнутри»: 1 - кирпичная кладка; 2 - утеплитель; 3 - гипсокартон; **в - вариант** с конструктивным слоем из кирпича толщиной 0,38 м ( $\lambda_a = 0,7 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}$ ), утепление внутри конструкции стены, снаружи – отделочный слой из керамического кирпича толщиной 120 мм с  $\lambda_a = 0,47 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}$ : 1 - керамический кирпич (облицовочный); 2 - утеплитель; 3 - кирпичная кладка; 4 - известково-песчаный раствор; **г - вариант** с конструктивным слоем из кирпича толщиной 0,51 м ( $\lambda_a = 0,7 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}$ ); утепление внутри конструкции стены, снаружи – отделочный слой из керамического кирпича толщиной 120 мм с  $\lambda_a = 0,47 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}$  (слои аналогично варианту «в»); **д - вариант** с конструктивным слоем из кирпича толщиной 0,51 м ( $\lambda_a = 0,7 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}$ ), утепление «снаружи»: 1 - известково-песчаный раствор; 2 - утеплитель; 3 - кирпичная кладка; 4 - известково-песчаный раствор

Таблица 1

## Результаты расчёта конструкций стен на сопротивление теплопередаче

Вариант стены	Материалы слоёв	Толщина слоя $\delta$ , м	Плотность $\gamma$ , кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности $\lambda$	$\frac{R_0}{R_{req}}$ /k	Выполнение условия $R_0 \geq R_{req}$
1	1. Alucobond	0,004	-	-	3,47	+
	2. Воздушная прослойка	0,06	-	-	—	
	3. Утеплитель	0,11	130	0,04	3,192	
	4. Кирпичная кладка	0,25	1800	0,7	/0,313	
	5. Известково-песчаный раствор	0,015	1600	0,7		
2	1. Кирпич кладка	0,51	1800	0,7	3,465	Требуется пароизоляционный слой
	2. Утеплит.	0,1	130	0,04	—	
	3. Картон облицовочный	0,001	1000	0,21	3,19 /0,313	
3	1. Керамический кирпич (облицов)	0,12	1200	0,47	3,484	Требуется пароизоляционный слой
	2. Утеплитель	0,1	130	0,04	—	
	3. Кирпич. кладка	0,38	1800	0,7	3,2	
	4. Известково-песчаный раствор	0,015	1600	0,7	/0,312	
4	1. Керамический кирпич	0,12	1200	0,47	3,92	Увеличить толщину утеплителя до 0,14 м
	2. Утеплитель	0,11			—	
	3. Кирпичная кладка	0,51	130	0,04	3,606	
	4. Известково-песчаный раствор	0,015	1800	0,7	/0,277	
5	1. Изв.-песч. раствор	0,015	1600	0,47	3,686	+
	2. Утеплитель	0,11	130	0,04	—	
	3. Кирпичная кладка	0,51	1800	0,7	3,39	
	4. Известково-песчаный раствор	0,015	1600	0,7	/0,295	

$$X_i = \frac{\sum R_x}{R_0}; Y_i = \frac{\sum_{i=1}^m R_{vri}}{R_{vr0}}, \quad (4)$$

где  $X_i$  - безразмерное термическое сопротивление строительной конструкции до рассматриваемого сечения;

$Y_i$  - безразмерное сопротивление паропроницанию строительной конструкции до рассматриваемого сечения;

$$\sum R_x = \frac{1}{\alpha_{int}} + \sum_{i=1}^m Ri - \text{сопротивление тепло-}$$

передаче до рассматриваемого сечения  $X$ , м<sup>2</sup>·°C/Вт.

По результатам расчета влажностного режима наружной стены были построены графики зависимости безразмерного сопротивления паропроницанию ( $Y$ ) от безразмерного термического сопротивления ( $X$ ) и произведено сравнение с кривой  $Y_{nr}$  характеризующей значения безразмерного сопротивления паропроницанию для состояния полного насыщения влажного воздуха водяным паром, для вариантов стен 2 и 5 (рис. 3 и 4).

Пересечение линий  $Y$  и  $Y_{nr}$  на рис. 3 определило область возможной конденсации водяного пара в толще наружной стены, утепленной «изнутри», (вариант 2). Плоскость возможной конденсации соответствует максимальному значению разности величин  $Y - Y_{nr}$  внутри этой области. На рис. 4 пересечения графиков  $Y$  и  $Y_{nr}$  не происходит, это указывает на отсутствие конденсации влаги в конструкции стены, утепленной «снаружи» (вариант 5). Кривая  $Y_{nr}$  построена для значений: температуры внутреннего воздуха  $t_{int} = 20^\circ\text{C}$  и относительной влажности  $\phi = 55\%$ . Параметры наружного воздуха приняты средними для наиболее холодного месяца ( $t_{ext}^1 = -12,2^\circ\text{C}$ ;  $\phi = 83\%$ ). В варианте 1 конструкции стены наличие влаги ликвидируется воздушной прослойкой.

Расчёт на влажностный режим конструкции стены по варианту 2 с утеплением «изнутри» методом безразмерных характеристик представлен дополнительно в табл. 2.

Пересечение кривых на рис. 3 подтверждают теоретические исследования, что при утеплении «изнутри» требуется пароизоляционный слой, а

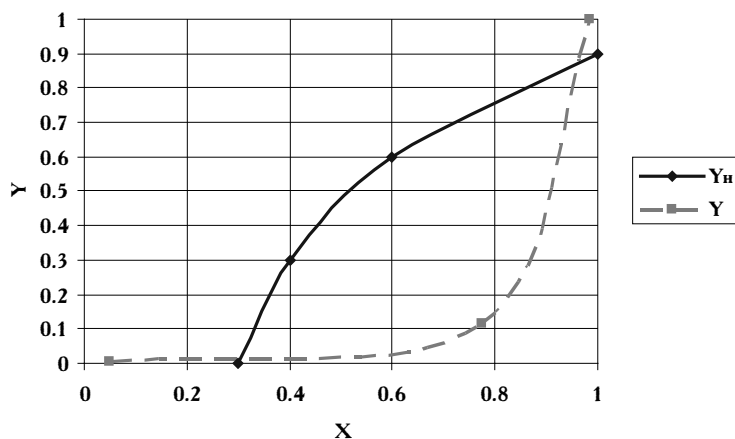


Рис. 3. График зависимости безразмерного сопротивления паропроницанию (Y) от безразмерного термического сопротивления (X) для стены варианта 2

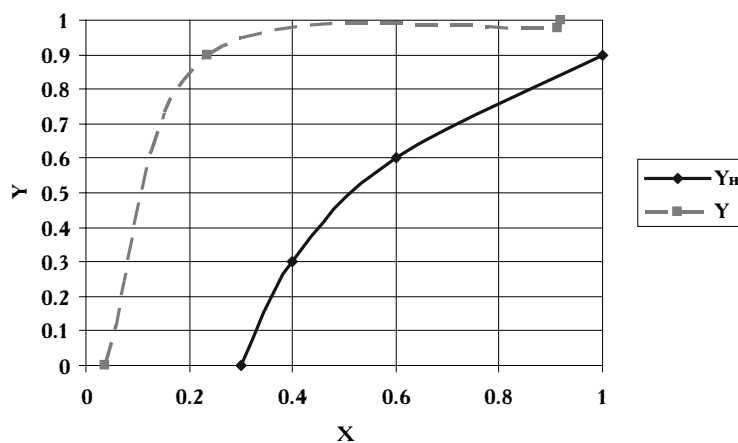


Рис. 4. График зависимости безразмерного сопротивления паропроницанию (Y) от безразмерного термического сопротивления (X) для стены варианта 5

Таблица 2

Результаты расчёта влажностного режима стены варианта 2 по методу безразмерных характеристик

№ слоя, начиная от наружной поверхности	Материал слоя	Толщина слоя, м	Термическое сопротивление $R_0^{с\text{лоя}}, \text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$	Сопротивление паропроницанию $R_{\mu}^{с\text{лоя}}, \text{м}^2 \cdot \text{чПа} / \text{мг}$	Координата X	Координата Y
1	Кирпичная кладка	0,51	0,729	4,64	0,985	0,999
2	Утеплитель	0,1	2,52	0,24	0,775	0,053
3	Изв.-песч. раствор	0,015	0,05	0,017	0,048	0,035

проектирование утепления «снаружи» – лучший конструктивный вариант.

Анализ расчёта на воздухопроницаемость конструкций стен по вариантам 2 и 3 показал, что запроектированная пароизоляция из полиэтиленовой плёнки, согласно расчётам на паропроницаемость, значительно перекрывает требуемые значения.

В стенах, запроектированных по варианту 5, слои штукатурки имеют высокие значения сопро-

тивления воздухопроницанию, поэтому такие стены отвечают предъявленным требованиям.

При рассмотрении конструкции стен по варианту 4 исследования и анализ результатов показали, что предлагаемые теплоизоляционные материалы по воздухопроницаемости могут использоваться в зданиях до 19 этажей с утеплителем из минеральной ваты на бентоколлоидном связующем, до 20 этажей – с утеплителем из минеральной ваты на шламокол-

лоидном связующем, до 21 этажа – с утеплителем из минеральной ваты на микродисперсном связующем. Для сравнения: в качестве утеплителя минераловатные жёсткие плиты, имеющие сопротивление воздухопроницанию  $2 \text{ м}^2 \cdot \text{Па} / \text{кг}$ , можно использовать в зданиях до 19 этажей.

Карбонатный шлам модифицирует и наполняет структуру ТИМ, способствуя понижению паропроницаемости и воздухопроницаемости, практически не изменяя теплопроводности. Теоретически обосновано, что алюмокальциевый шлам как типичный минеральный клей (шламоколлоидное связующее) способен создавать более плотный контакт в местах переплетения волокон и тем самым повышать водо- и коррозионную стойкость по сравнению с бентонитовой глиной (бентоколлоидное связующее) и карбонатным шламом (микродисперсный модификатор).

Введение шламоколлоидного связующего позволяет снизить теплопроводность практически без увеличения плотности и получить ТИМ с показателями паропроницаемости не ниже  $0,35-0,45 \text{ мг} / (\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})$  и воздухопроницаемости –  $0,2-0,25 \text{ кг} / (\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})$ .

Теплотехническими расчётами обоснована возможность применения экспериментальных утеплителей в каркасной системе с утеплением «снаружи» с тонкослойной штукатуркой (на шламоколлоидном связующем), в бескаркасной конструктивной системе с утеплением изнутри с облицовкой из кирпича (с микродисперсным модификатором) в соответствии с нормативными показателями по теплозащите и санитарно-гигиеническими требованиями. При проектировании системы с наружным утеплением и тонким штукатурным слоем достигается вы-

сокая теплотехническая однородность утеплённых наружных стен.

Расчетный экономический эффект от применения в конструкциях наружных стен 16-этажного здания минераловатных изделий на шламоколлоидном связующем в качестве утеплителя снаружи фасадной системы с тонкослойной штукатуркой (до 5 749 040 рублей) позволяет рекомендовать их в качестве наиболее выгодного и эффективного.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пат. 2298533 Российская Федерация, МПК С04В14/46. Состав для изготовления гидрофобных теплоизоляционных минераловатных материалов / С.Ф. Коренькова, А.А. Павлов; заявитель и патентообладатель ГОУВПО СГАСУ. – №2005121073/03; заявл. 05.07.2005; опубл. 10.05.2007, Бюл. №13.

2. Павлов А.А. Статистическая обработка химических составов шламовых отходов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. М.: Изд-во ООО ЦНТИ «Композит». 2007. №6. С. 67.

3. Павлов А.А. К вопросу об использовании защитных коллоидных покрытий для теплоизоляционных материалов на основе минеральных волокон // Кровельные и изоляционные материалы. М.: Изд-во ООО ЦНТИ «Композит». 2006. №5(11). С. 26.

4. Вытчиков Ю.С., Беляков И.Г. Исследование влажностного режима строительных ограждающих конструкций с помощью метода безразмерных характеристик // Известия вузов. Сер. Строительство. Новосибирск, 1998. №8 (476). С. 28.

© Павлов А.А., 2014

Об авторе:

**ПАВЛОВ Алексей Александрович**

кандидат технических наук,  
руководитель архитектурно-строительного бюро  
ООО «Сервисная компания»  
443082, Россия, г. Самара, просп. Карла Маркса, д. 17, кв. 1

**PAVLOV Alexey**

PhD in Engineering Science, Head of the Department  
of Architecture and Building  
ООО «Servisnaya Kompania»  
443082, Russia, Samara, av. Karla Marksa, 17-1

Для цитирования: Павлов А.А. Проектирование энергоэффективных стеновых ограждений с использованием изделий из модифицированного волокна // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2014. Вып. №2(15). С. 99-105.