

ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В БУДІВНИЦТВІ

УДК 624.01:692.232

ВПЛИВ ІНФІЛЬТРАЦІЇ ПОВІТРЯ НА ТЕПЛОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМ УТЕПЛЕННЯ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ З ВЕНТИЛЬОВАНИМ ПОВІТРЯНИМ ПРОШАРКОМ

Г. Г. Фаренюк, Г. С. Венжего, Є. С. Колесник

Визначено теплові показники конструкції в залежності від типу теплоізоляційного шару та режиму руху повітря у прошарку. Визначено вплив швидкості руху повітря на теплофізичні показники конструкцій зовнішніх стін з фасадною теплоізоляцією, які мають у своїй структурі вентиляований повітряний прошарок.

Определены тепловые показатели конструкции в зависимости от типа теплоизоляционного слоя и режима движения воздуха в слое. Определено влияние скорости движения воздуха на теплофизические показатели конструкций наружных стен с фасадной теплоизоляцией, имеющих в своей структуре вентилируемую воздушную прослойку.

Defined thermal performance design in relation to type of thermal insulation layer and mode of motion of air in the layer. The effect of air velocity on thermal performance construct exterior walls with insulated facade, is home to the ventilated air layer.

Конструкції фасадного утеплення з вентиляованим повітряним прошарком набули широкого використання у будівельній галузі за їх широкі можливості використання як у новому будівництві, так і при реконструкції, за привабливий сучасний архітектурний вигляд, високі характеристики теплоізоляційних та звукоізоляційних властивостей.

Основними складовими системи утеплення з вентиляованим повітряним прошарком є шар теплової ізоляції, опоряджувальний шар та повітряний прошарок між ними. Системи утеплення класифікують за режимом руху повітря на невентильовані, слабо вентиляовані, сильно вентиляовані [1]. наявність вентиляованого прошарку дає можливість вільному видаленню вологи із товщі конструкції при правильній організації режиму руху повітря у прошарку. Рух повітря у прошарку у свою чергу залежить від ряду факторів: геометричних – товщини та висоти прошарку, розмірів отворів у личкувальному шарі; параметрів навколишнього середовища – гравітаційного та вітрового тисків.

Вимога до конструкції – вентиляція повітряного прошарку обумовлює необхідність захисту конструкції від наслідку цієї вентиляції. Наслідком руху повітря у прошарку є фільтрація через огороджувальну конструкцію, яка впливає на розподіл температурного поля та теплові характеристики конструкції, а саме зменшують їх.

Методологія проведення досліджень

Для визначення впливу швидкості руху повітря на теплофізичні показники конструкцій зовнішніх стін з фасадною теплоізоляцією, які мають у своїй структурі вентиляований повітряний прошарок, були проведені випробування конструкцій з теплоізоляційним шаром різної густини на основі скляного штапельного волокна.

Випробування дослідних фрагментів для визначення теплотехнічних показників проводились у кліматичній камері (рис. 1) за методикою ДСТУ Б В.2.6-101:2009 [2] з створенням примусового руху повітря у вентиляованому повітряному прошарку, який імітував вплив вітрового потоку зовнішнього повітря та гравітаційного потоку для багатоповерхового будинку, за рахунок роботи відцентрового вентилятора. Рух повітря у прошарку систем утеплення від робочих експлуатаційних значень до максимально можливих значень організовувався шляхом вмикання відцентрового вентилятора на $\frac{1}{2}$ потужності та на максимальну потужність. У верхній частині кожного фрагмента були встановлені витяжні короби, які приєднувались до відцентрового вентилятора, і таким чином організовувався рух повітря по висоті прошарку знизу вверх. Необхідні витрати повітря розраховувались за формулою [3]:

$$Q = 3600 \cdot F \cdot v_{пр} \quad (1)$$

де F – площа вентиляційного каналу (повітряного прошарку) у горизонтальному перетині;
 $v_{пр}$ – швидкість руху у повітряному прошарку.

Контроль швидкості руху повітря здійснювався на вході у повітряний прошарок конструкції.

Для оцінки можливих значень швидкості руху у повітряних прошарках конструкцій використовувалися такі розрахункові формули:

$$v_{пр} = \sqrt{\frac{0,08 h (t_{спр} - t_3)}{\Sigma \xi}} \quad (2)$$

та

$$v_{пр} = \sqrt{\frac{2g h (\gamma_3 - \gamma_{пр})}{\gamma_{пр} \Sigma \xi}} \quad (3)$$

де h – різниця висот від входу до повітряного прошарку та виходу з нього;
 $t_{спр}, t_3$ – середня температура повітря у прошарку та температура зовнішнього повітря;
 $\Sigma \xi$ – сума коефіцієнтів місцевих опорів;
 g – прискорення вільного падіння;
 $\gamma_3, \gamma_{пр}$ – густина зовнішнього повітря та у прошарку, відповідно.

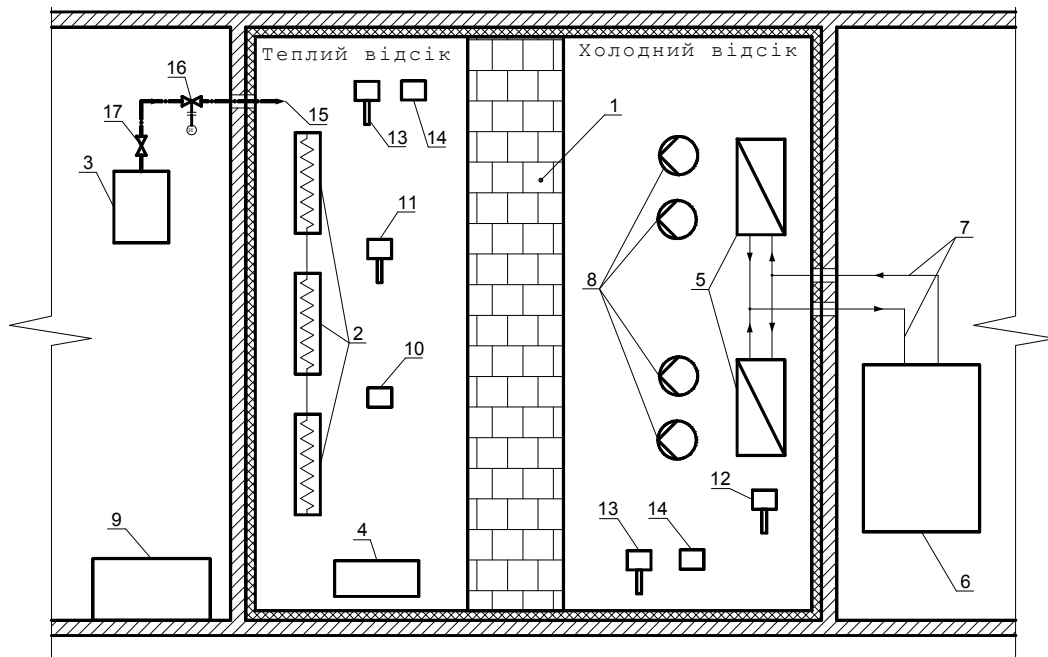


Рис. 1. Кліматична камера для випробувань теплотехнічних показників конструкцій
 1 – досліджувана огорожувальна конструкція; 2 – нагрівники; 3 – парозволожувач; 4 – кондиціонер; 5 – охолоджуючі батареї; 6 – холодильне обладнання; 7 – трубопроводи холодоагенту; 8 – вентилятори; 9 – система автоматичного збору даних; 10 – датчик регулювання вологості повітря теплого відсіку; 11 – датчик регулювання температури повітря теплого відсіку; 12 – датчик регулювання температури повітря холодного відсіку; 13 – датчики контролю температури; 14 – датчики контролю вологості; 15 – паропровід; 16 – регулююча заслінка; 17 – запірний кран

За даними розрахунків за формулами (1)-(2) швидкість руху повітря у повітряних прошарках систем фасадного утеплення зовнішніх стін будинків може складати від 0,3 м/с до 1,6 м/с, що збігається з наведеними у літературі [4] результатами досліджень подібних конструкцій.

Метою випробувань було визначення теплових показників конструкції в залежності від типу теплоізоляційного шару та режиму руху повітря у прошарку.

Оскільки у літературі бракує достатньої кількості результатів досліджень повітропроникності теплоізоляційних матеріалів. Для встановлення впливу опору повітропроникності теплоізоляційного шару на теплові характеристики конструкції проведені випробування з визначення показників повітропроникності теплоізоляційних матеріалів на основі скляного штапельного волокна. Випробування проводились згідно з ДСТУ Б В.2.6-37:2008 [5].

Результати експериментальних досліджень

Випробування повітропроникності проводились на різних марках теплоізоляційних матеріалів зі скляного штапельного волокна. Результати випробувань наведені у таблиці 1.

Таблиця 1

Результати експериментальних досліджень теплофізичних характеристик теплоізоляційних матеріалів зі скляного штапельного волокна

Фірма-виробник	Марка та тип матеріалу	Товщина, мм	густина ρ_0 , кг/м ³	Коефіцієнт повітропроникності	Опір повітропроникності	Примітки
				i , кг/(м·год·Па)	R_g , м ² ·год·Па/кг	
URSA	Плити FDP1/Vs	50	18	0,48	0,105	Каширована поверхня
	Плити FDP2/Vs	50	20	0,45	0,11	
	Плити АКР3/Vs	50	31	0,38	0,13	
	Плити TSP	20	65	0,08	0,25	
KNAUF Insulation	Плити Venti Slab 032	50	35	0,24	0,21	
	Плити Venti Slab 034	50	22	0,42	0,12	
	Плити Slab 037	50	14	0,56	0,09	
	Мати Roll 040	50	10,5	1,25	0,04	
ISOVER	Плити RKL	30	70	0,054	0,55	Каширована поверхня
	Плити SKL-M	50	35	0,17	0,3	
	Плити KL-34	50	18	0,50	0,1	
	Плити KL-37	50	15	0,56	0,09	
	Мати КТ-40	50	11,5	0,63	0,08	

За даними таблиці 1 побудована залежність коефіцієнта повітропроникності від густини, яка наведена на рисунку 2. У літературі [6, 7] наведені результати подібних досліджень деяких марок утеплювачів з мінеральної вати різної густини і товщини, які використовують у сучасному будівництві. Співвідносячи отримані результати, можна зробити висновок, що повітропроникність залежить від густини утеплювача. Тому для розгляду впливу повітропроникності на теплові характеристики конструкцій були вибрані конструкції з шаром утеплювача зі скляного штапельного волокна однієї товщини 150 мм та різної густини. Дослідні зразки складались з фрагмента непрозорої стінової огорожувальної конструкції з цегляної кладки товщиною в одну цеглу із зовнішнім утепленням плитами зі скляного штапельного волокна загальною товщиною 150 мм, повітряним вентиляваним прошарком товщиною 80 мм, товщина якого відповідає вимогам ДБН В.2.6-31:2006 [8], та опоряджувальним шаром з композитних панелей. Шар утеплення зразків:

- 1 – плити зі скляного штапельного волокна URSA з кашированою зовнішньою поверхнею марки FDP1/Vs густиною $\rho = 18$ кг/м³;
- 2 – плити зі скляного штапельного волокна URSA з кашированою зовнішньою поверхнею марки FDP2/Vs густиною $\rho = 20$ кг/м³;
- 3 – плити зі скляного штапельного волокна “КНАУФ Інсулейшн” марки TS 032 Aquastatik щільністю $\rho = 33$ кг/м³;
- 4 – плити зі скляного штапельного волокна “КНАУФ Інсулейшн” марки Venti Thermo Slab 032 густиною $\rho = 35$ кг/м³.

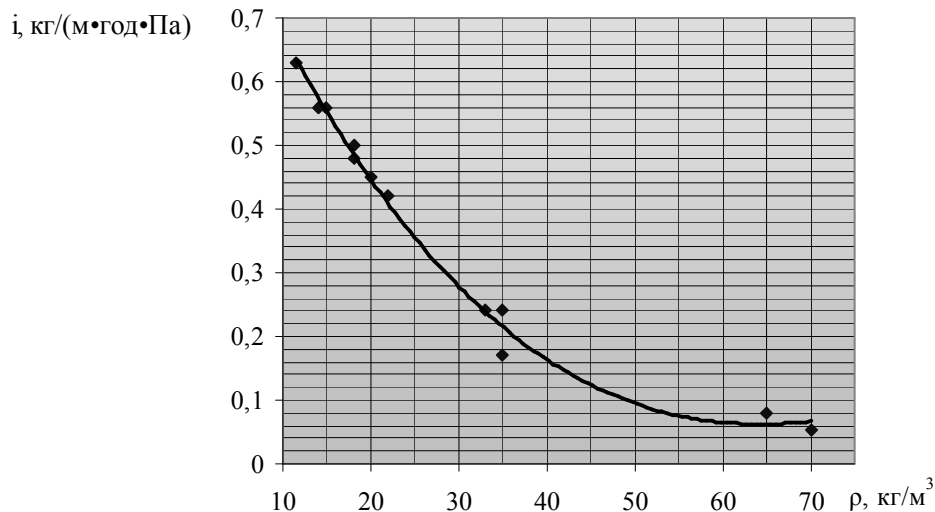


Рис. 2. Залежність коефіцієнта повітропроникності від густини $i=f(\rho)$

Визначення теплотехнічних характеристик систем фасадного утеплення, що досліджувались, проводилось у таких трьох аеродинамічних режимах руху повітря у прошарку:

- 1 – швидкість руху повітря у прошарку $0,1 \div 0,5$ м/с;
- 2 – швидкість руху повітря в прошарку $0,4 \div 1$ м/с;
- 3 – $0,9 \div 1,4$ м/с.

Контроль швидкості руху повітря здійснювався на вході у повітряний прошарок конструкції, по його центру та на виході.

Оскільки при імітації реальних умов роботи огорожувальної конструкції з вентиляваним повітряним проміжком, на теплоізоляційний шар впливає рух повітря, за рахунок якого зменшуються його теплоізоляційні характеристики, було введено поняття ефективної теплопровідності матеріалу. Ефективна теплопровідність враховує інфільтрацію повітря через шар матеріалу. Величина ефективної теплопровідності утеплювача під час випробувань, що визначається за фактичним значенням опору теплопередачі в характерних зонах по основному полю, розраховується за формулою:

$$\lambda_{\phi} = \frac{\delta}{R_{\Gamma}} = \frac{\delta \cdot q}{(t_{вш} - t_{нш})} \quad (4)$$

де δ – товщина теплоізоляційного шару, м;

R_{Γ} – термічний опір теплоізоляційного шару, $\text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$;

q – щільність теплового потоку через характерну зону огорожувальної конструкції досліджуваного фрагменту, $\text{Вт} / \text{м}^2$;

$t_{вш}, t_{нш}$ – температура на внутрішній та зовнішній поверхні теплоізоляційного шару, $^{\circ}\text{C}$, в характерній зоні огорожувальної конструкції досліджуваного фрагмента, відповідно.

Результати випробувань з визначення теплофізичних характеристик дослідних зразків наведено у таблиці 2. У таблиці 2 позначення λ_p – розрахункова теплопровідність матеріалу утеплювача в умовах експлуатації Б; λ_{ϕ} – ефективна теплопровідність матеріалу утеплювача, при першому аеродинамічному режимі у повітряному проміжку досліджуваних зразків, коли швидкість руху повітря в проміжку складала $0,1 \div 0,5$ м/с; $\Delta\lambda$ – різниця між ефективною та розрахунковою теплопровідністю, у відсотках; λ_2, λ_3 – розрахункова теплопровідність матеріалу утеплювача при другому та третьому аеродинамічних режимах у повітряному проміжку досліджуваних зразків, коли швидкість руху повітря в проміжку складала відповідно $0,4 \div 1$ м/с та $0,9 \div 1,4$ м/с.

Результати визначення теплофізичних характеристик матеріалу утеплювача під час випробувань

№ Зразка	Марка утеплювача	Густина утеплювача, ρ , кг/м ³	Товщина, мм	Теплопровідність матеріалу, Вт/м·К					Показники повітропроникності	
				λ_p	λ_ϕ	$\Delta\lambda$, %	λ_2	λ_3	i , кг/(м·год·Па)	R_g , м ² ·год·Па/кг
№1 Зразок	FDP1/Vs	18	150	0,047	0,074	57	0,082	0,084	0,48	0,31
№2 Зразок	FDP2/Vs	20	150	0,046	0,075	63	0,079	0,089	0,45	0,33
№3 Зразок	TS 032	33	150	0,044	0,064	39	0,081	0,085	0,24	0,63
№4 Зразок	Thermo Slab 032	35	150	0,044	0,063	37	0,066	0,068	0,24	0,63

За результатами випробувань були побудовані графіки залежності ефективної та розрахункової теплопровідності шару утеплювача від густини (рис. 3). Коефіцієнт повітропроникності суттєво зменшується з 0,63 до 0,24 кг/(м·год·Па) (рис. 2), при зростанні густини матеріалу з 11 до 35 кг/м³. Відповідно й із збільшенням густини суттєво зменшується різниця між розрахунковою та ефективною теплопровідністю теплоізолюючого матеріалу конструкції. На рис. 4 подана залежність коефіцієнта повітропроникності, який є фізичною властивістю матеріалу пропускати повітря під впливом різниці тисків, на теплоізоляційну характеристику матеріалу – теплопровідність. Тобто, вплив інфільтрації під дією руху повітря зі швидкістю 0,1÷0,5 м/с та температурного перепаду 45 °С (параметри проведення випробувань) збільшує теплопровідність шару утеплювача на 37-63 % в залежності від густини матеріалу.

Метою подальших випробувань буде встановлення впливу інфільтрації на теплові характеристики матеріалів зі скляного штапельного волокна густиною більше 35 кг/м³, двохшаровим виконанням утеплення конструкції, виконання утеплювального шару з вітрозахисною плівкою.

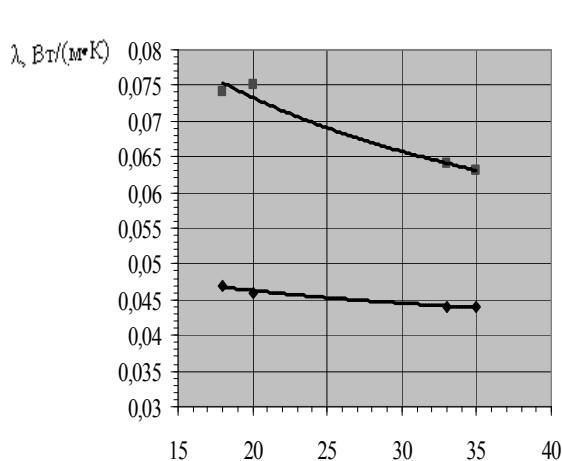


Рис. 3. Залежність фактичної та розрахункової теплопровідності шару утеплювача від густини $\lambda_\phi = f(\rho)$, $\lambda_p = f(\rho)$

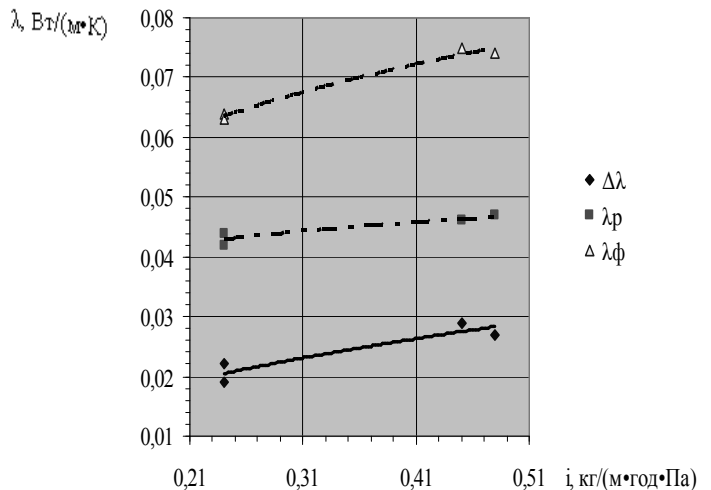


Рис. 4. Залежність теплопровідності шару утеплювача від коефіцієнта повітропроникності шару утеплювача, при густині матеріалу утеплювача 18-35 кг/м³

Висновки

- Для забезпечення необхідних теплоізоляційних властивостей стінової конструкції, при застосуванні волокнистих теплоізоляційних матеріалів, що мають високі характеристики повітропроникності, необхідно вводити конструктивні елементи, які обмежують можливість проникнення холодного повітря в товщу теплоізоляції і, відповідно, до поверхні несучого шару стінової конструкції. На стадії проекту, при визначенні необхідної товщини теплоізоляційного шару конструкцій зовнішніх стін з фасадною теплоізоляцією, які мають у своїй структурі вентиляований повітряний прошарок, для забезпечення нормативних вимог з опору теплопередачі, крім теплотехнічної однорідності необхідно також враховувати вплив інфільтрації повітря. Експериментально встановлено, що збільшення розрахункового значення коефіцієнта теплопередачі під впливом інфільтрації повітря може складати до 63%.
- Матеріали з вітронепроникними властивостями повинні мати низьку повітропроникність, але при цьому не перешкоджати виділенню пароподібної вологи із утеплювача у повітряний прошарок, тобто мати достатню паропроникність, при якій вологісний режим конструкції не погіршується і повітряний вентиляований прошарок виконує свої функції.

Список літератури

1. Рекомендации “Проектирование и строительство стен с воздушными промежутками”. Вильнюс: 2002. Министерство окружающей среды Литовской республики.
2. ДСТУ Б В.2.6-101:2009 Конструкції будинків і споруд. Метод визначення опору теплопередачі огорожувальних конструкцій. Будівельні матеріали.
3. Щекин Р. В. Справочник по теплоснабжению и вентиляции (издание 4-е, переработанное и дополненное). Книга 1-я / Р. В. Щекин, С. М. Корневский, и др. – 1968.
4. Гагарин В. Г. Продольная фильтрация воздуха в современных ограждающих конструкциях // В. Г. Гагарин, В. В. Козлов, И. А. Мехнецов / АВОК. – 2005. – № 8. – С. 60-69.
5. ДСТУ Б В.2.6-37:2008 Будинки та споруди. Метод визначення показників повітропроникності огорожувальних конструкцій у лабораторних умовах.
6. Протасович А. М. Фильтрация воздуха в стенах зданий с вентилируемым фасадом // А. М. Протасович, Д. Д. Якимович, А. Б. Крутили / Строительные материалы. – 2006. – №11. – С. 44-46.
7. Садчиков О. В. Влияние продольной фильтрации воздуха на теплозащитные свойства стен с вентилируемым навесным фасадом: Дис. канд. тех. наук: 05.23.03. – М., 2007. – 248 с.
8. ДБН В.2.6-31:2006 Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель.

Фаренюк Геннадій Григорович – доктор технічних наук, завідувач відділу будівельної фізики та ресурсозбереження Державного підприємства «Науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» (ДП НДІБК).

Венжего Галина Сергіївна – інженер 1 категорії відділу будівельної фізики та ресурсозбереження Державного підприємства «Науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» (ДП НДІБК).

Колесник Євген Сергійович – молодший науковий співробітник відділу будівельної фізики та ресурсозбереження Державного підприємства «Науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» (ДП НДІБК).