

УДК 69.022.32

ВИБІР ОПТИМАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВЕНТИЛЬОВАНИХ ФАСАДІВ

О. І. Менеєлюк, І. М. Бабій, І. О. Менеєлюк, А. О. Гладіщук

У статті наведено шляхи вибору оптимальних технологічних рішень влаштування навісних вентиляованих фасадів на основі експериментально-статистичного моделювання. Визначені основні конструкційно-технологічні параметри влаштування екрану навісного вентиляованого фасаду та розмір повітряного прошарку. Показано, що забезпечення експлуатаційної ефективності вентиляованих фасадів на протязі 27 років можливе при використанні щільного утеплювача (>130 кг/м³). При цьому можливо значно скоротити трудомісткість експлуатаційних витрат та вартість влаштування навісних фасадів.

Ключові слова: навісні вентиляовані фасади, експлуатаційна ефективність, мінераловатний утеплювач, експериментально-статистичні моделі, пожежобезпека.

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЕНТИЛИРОВАННЫХ ФАСАДОВ

А. И. Менеєлюк, И. Н. Бабий, И. А. Менеєлюк, А. А. Гладыщук

В статье приведены пути выбора оптимальных технологических решений устройства навесных вентилируемых фасадов на основе экспериментально-статистического моделирования. Определены основные конструкционно-технологические параметры устройства экрана навесного вентилируемого фасада и размер воздушной прослойки. Показано, что обеспечение эксплуатационной эффективности вентилируемых фасадов на протяжении 27 лет возможно при использовании плотного утеплителя (>130 кг/м³). При этом возможно значительно сократить трудоемкость эксплуатационных расходов и стоимость устройства навесных фасадов.

Ключевые слова: навесные вентилируемые фасады, эксплуатационная эффективность, минераловатный утеплитель, экспериментально-статистические модели, пожаробезопасность.

SELECTION OF THE OPTIMAL TECHNOLOGICAL SOLUTIONS OPERATIONAL EFFICIENCY VENTILATED FACADES

A. Meneelyuk, I. Babiy, I. Meneelyuk, A. Gladischuk

The article presents the way of choosing the optimal technology solutions unit hinged ventilated facades on the basis of experimental and statistical modeling. The main constructional and technological parameters of the device screen hinged ventilated facade and the size of the air gap. It is shown that the operational efficiency of ventilated facades for 27 years is possible using tight insulation (>130 kg /m³). It is possible to significantly reduce the complexity of operating expenses and cost of the device suspended facades.

Keywords: ventilated facades, operational efficiency, mineral wool insulation, experimental and statistical models, fire safety.

Вступ. В останні десятиліття у будівельній галузі України в якості зовнішньої теплоізоляції огорожувальних конструкцій житлових і громадських будинків застосовують конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією та опорядженням індустріальними елементами з вентиляованим повітряним прошарком (в будівельній практиці частіше застосовують назву навісні вентиляовані фасади (НВФ)). Слід відзначити, що найбільшого поширення для утеплення висотних будинків знайшли два варіанти систем. У першому варіанті конструкція вентиляованого фасаду передбачає суцільну систему з облицювальним шаром у вигляді, здебільшого, композитних панелей з класом горючості Г1, Г2 без отворів між ними, і швидкістю руху повітря в підоблицювальному просторі до 2 м/с [1, 2]. При другому варіанті

частіш застосовують керамогранітні плити. В таких системах конструкція передбачає отвори (русти) між облицювальними панелями. Швидкість руху повітря в підоблицювальному просторі, в залежності від висоти, може сягати до 12 м/с і вище, особливо в прибережній зоні [3].

Основною із вимог до конструкцій фасадної теплоізоляції – є забезпечення експлуатаційної ефективності на протязі всього нормативного терміну 25 років. За експлуатаційну ефективність навісних технологічних систем теплоізоляції в роботі прийнято безремонтний період експлуатації, при якому зберігаються її основні показники обумовлені нормативними документами, що здатні забезпечити функціональне призначення.

Одним із складових конструкції, який визначає термін ефективної експлуатації теплоізоляції системи в цілому є мінераловатний утеплювач. Конструктивно-технологічні особливості влаштування таких систем по другому варіанті можуть зумовлювати зволоження утеплювача внаслідок дії на нього косих дощів через русти між плитами облицювання, а його волокниста структура спричиняє суттєву схильність до аеродинамічної деструкції внаслідок емісії волокон з його поверхні. Одними із шляхів запобіганню цьому процесу є пошук оптимальних конструкційно-технологічних рішень влаштування екрану та закріплення вітропарозахисної мембрани на поверхню утеплювача в повітряному прошарку. Однак застосування цих мембран призводить до підвищеної пожежонебезпеки. Про це свідчать пожежі на фасадах висотних будинків, як в нашій країні так і за її межами, наприклад в містах Одесі, Києві, Москві, Стамбулі та ін.

В той же час слід зазначити, що влаштування НВФ у зв'язку з використанням складових системи підвищеної вартості характеризується значними техніко-економічними витратами як при влаштуванні, так і ремонті при подальшій експлуатації.

Таким чином, вирішення задачі вибору оптимальних технологічних рішень для забезпечення експлуатаційної ефективності навісних вентиляваних фасадів без вітрозахисної мембрани на основі дослідження конструктивних рішень облицювального шару і оптимізації технології їх влаштування є актуальним.

Метою роботи є вибір оптимальних технологічних рішень для забезпечення експлуатаційної ефективності вентиляваних фасадів при одночасному зменшенні трудомісткості і вартості експлуатації системи.

Результати дослідження. Дослідження відбувалися у три етапи. На першому етапі досліджень ставилася задача вибору конструкційно-технологічного рішення для зменшення впливу дії косих дощів на мінераловатний утеплювач, а саме кількості вологи, що потрапила на утеплювач ($Y_{\text{вобл}}$, гр.). Це можливо досягти за рахунок оптимізації розмірів рустів та товщини плит облицювання і розміру повітряного проміжку з допомогою експериментально статистичного моделювання (ЕСМ), яке дало змогу значно скоротити кількість експериментів. Фактори та рівні їх варіювання наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Фактори, рівні та інтервали варіювання змінних

Фактори		Од. вим.	Рівні варіювання		
			-1	0	+1
Кліматичні	x_1 – інтенсивність дощу	мм/хв	2	6	10
	x_2 – кут відхилення дощу	град.	30	60	90
Конструкційно-технологічні	x_3 – товщина вентиляваного простору	мм	40	100	160
	x_4 – розмір зазору між плитами екрану	мм	4	7	10
	x_5 – товщина елемента облицювального екрану	мм	6	9	12
	x_6 – щільність мінераловатного утеплювача	кг/м ³	30	80	130

Математична обробка результатів експерименту, що включає аналіз і оцінку однорідності дисперсії, регресійний аналіз, оцінку значущості коефіцієнтів моделі і перевірку адекватності

отриманої моделі, виконувалася у програмі «Comrex-2009v1.1» [4]. Після виконання зазначених процедур отримана регресійна залежність зміни маси вологи мінераловатного утеплювача, яка адекватно описується моделлю впливу кліматичних і конструкційно-технологічних факторів на кількість вологи, що потрапила на утеплювач через технологічні отвори (1). Помилка експерименту склала $(T_s)e = 0.515$:

$$Y_{вол.} = 8.55 + 3.95x_1 + 5.21x_2 + 0.95x_3 + 3.55x_4 - 1.19x_5 - 0.96x_6 + 0.47x_1x_3 + 0.78x_1x_4 - 0.39x_1x_5 + 0.79x_2x_3 + 0.65x_2x_4 - 0.55x_2x_6 + 0.29x_3x_4 - 0.43x_3x_5 - 0.45x_3x_6 - 0.66x_4x_6 - 0.55x_5x_6 + 1.37x_1^2 + 0.93x_2^2 + 1.01x_6^2 \quad (1)$$

На підставі отриманої математичної моделі побудовані графіки екстремальних значень функції (рис. 1). Графічний аналіз моделі наведено у вигляді однофакторних залежностей. Вони відображають вплив кожного з факторів на кількість вологи, що потрапила на утеплювач в зоні максимальних і мінімальних значень показника.

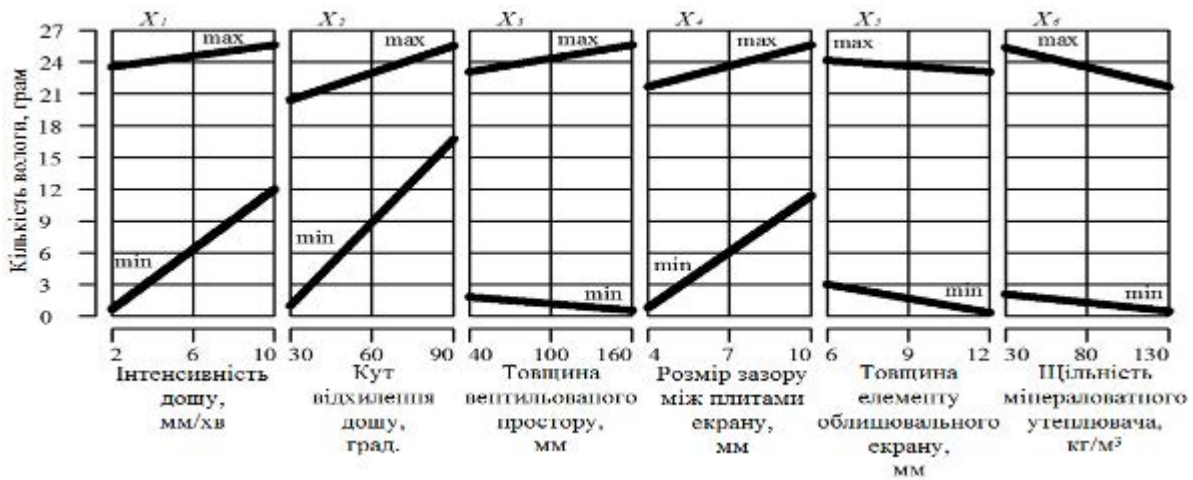


Рисунок 1 – Однофакторні залежності впливу досліджуваних факторів на кількість вологи, що потрапляє на утеплювач

З рис. 1 видно, що характер впливу всіх шести факторів на досліджуваний показник різний. Про це говорить кут нахилу кривої на кожному з графіків. У зоні максимуму (верхні лінії на графіках) інтенсивність дощу, кут відхилення дощу, товщина вентиляваного простору і величина деформаційного зазору надають прямопропорційний вплив на кількість вологи, що потрапила на мінераловатний утеплювач. У свою чергу, товщина елементів оздоблювального екрану і щільність мінераловатного утеплювача мають оберненопропорційний вплив на досліджуваний показник. Інтенсивність впливу факторів на досліджуваний показник незначний в полі максимальних значень зволоження. Кожен з факторів може змінити його значення на 5 – 10 %.

Для вибору оптимальних конструкційно-технологічних рішень, було необхідно проаналізувати кількість вологи, що потрапила на мінераловатний утеплювач в полях мінімальних значень показника (нижні лінії на графіку). В першу чергу аналіз кліматичних факторів x_1 та x_2 показав, що, навіть, при незначних їх показниках можливе потрапляння вологи на утеплювач (1-1,5 гр.). Слід відзначити, що позбутися негативного впливу цих факторів, практично, неможливо. Тому на перше місце виходять конструктивно-технологічні рішення навісних вентиляваних фасадів, а саме фактори x_3, x_4, x_5, x_6 . Аналіз цих факторів показав, щоб досягнути мінімальних значень кількості вологи, що потрапляє на утеплювач необхідно дотримуватися наступних конструкційно-технологічних параметрів. А саме, товщина вентиляваного простору – 80-100 мм (більший проміжок призводить до збільшення маси конструкції); розмір русту між плитами екрану – 4-6 мм (при цьому достатня повітропроникність, під час дощу розмір крапель не перевищує цей показник, і за рахунок поверхневого натягу води не проникає скрізь руст); товщина елемента оздоблювального екрану – 6-8 мм (розміри, що більш частіше застосовуються); щільність мінераловатного утеплювача, практично, не залежить від попередніх параметрів.

На основі оптимальних конструкційно-технологічних параметрів влаштування навісного екрану з повітряним проміжком були проведені дослідження емісії волокон з мінераловатного утеплювача під впливом аеродинамічних навантажень. Дослідження авторів показали [5], навісні

вентильовані фасадні системи з облицюванням керамогранітними плитами характеризуються емісією волокон мінераловатних утеплювачів різної щільності, що використовуються в якості теплоізоляційного шару. Доведено, що найбільшим показником емісії волокон характеризується мінераловатний утеплювач низької щільності (30-40 кг/м³), а найменшим – 130-150 кг/м³.

На другому етапі на основі досліджень з емісії волокон, що викладені в роботі [5], проводилося визначення експлуатаційної ефективності навісних вентильованих фасадів з різними щільностями мінераловатного утеплювача.

У загальному вигляді формула для визначення експлуатаційної ефективності має вигляд:

$$E_e = R_c \times K_{зб.} \times K_{у.е.}; \quad (2)$$

де: R_c – розрахунковий показник опору теплопередачі системи, отриманий через певний проміжок часу експлуатації;

$K_{зб.}$ – коефіцієнт збіжності (відношення даних розрахункових до даних після певного часу експлуатації НВФ в натурних умовах);

$K_{у.е.}$ – коефіцієнт умов експлуатації проектованої системи.

В результаті розрахунку експлуатаційної ефективності фасадних систем з мінераловатним утеплювачем різної щільності згідно з конструктивно-технологічною схемою НВФ без вітрозахисної мембрани були отримані наступні дані для II температурної зони України, (табл.2).

Таблиця 2 – Результати розрахунку експлуатаційної ефективності технологічних систем НВФ для II температурної зони

Щільність утеплювача, кг/м ³	$R_{поч.}$, м ² *К/Вт	E_e , м ² *К/Вт						
		Термін експлуатації, рік						
		1	3	5	7	8	9	27
40	3,395	3,187	2,981	2,528	-	-	-	-
80	3,498	3,321	3,142	3,002	2,900	2,836	2,783	-
150	3,470	3,379	3,248	3,163	3,130	3,047	3,046	2,790

Як видно з таблиці 2 система теплоізоляції, в якій застосовують мінераловатний утеплювач щільністю 40 кг/м³ без використання вітрозахисної мембрани зберігає свої властивості майже 4 роки, при умові застосування її в II кліматичній зоні (м. Одеса). Таким чином використання мінераловатного утеплювача щільністю 40 кг/м³ без вітрозахисної мембрани є недоцільним. Через п'ять років опір теплопередачі стає менше нормативного. Для міста Одеси воно складає 2.8 м²*К/Вт. В той же час дослідження показали, що утеплювач з високою щільністю – 150 кг/м³, не вимагає використання вітрозахисної мембрани.

Для I температурної зони України, при такому ж конструктиві стіни (газобетон товщиною 300мм), визначимо мінімально необхідну товщину утеплювача відповідно до теплотехнічним розрахунком і результатами досліджень по вивітрюванню.

У таблиці 3 наведені результати розрахунку експлуатаційної ефективності фасадних систем з одно- і двошаровою теплоізоляцією різної щільності.

Таблиця 3 – Результати розрахунку експлуатаційної ефективності технологічних систем НВФ для I температурної зони

Щільність утеплювача, кг/м ³ (Товщина)	$R_{поч.}$, м ² *К/Вт	E_e , м ² *К/Вт						
		Умовний термін експлуатації, рік						
		1	3	5	7	8	9	27
80 (70мм)	3,974	3,797	3,618	3,478	3,376	3,312	3,259	-
80(50мм) +150(20мм)	3,946	3,855	3,724	3,639	3,606	3,523	3,502	3,266

Результати розрахункових досліджень показали, що системи теплоізоляції з мінераловатним утеплювачем з високою щільністю, 150 кг/м³, після умовних 25 років експлуатації характеризуються нормативним показником опору теплопередачі. Тому, для підвищення пожежної безпеки фасаду та зменшення ризиків порушення культури виробництва при такій щільності утеплювача вітрозахисна мембрана (в основному, як досить горючий матеріал (клас Г2)) в системі теплоізоляції не потрібна.

У разі використання мінераловатного утеплювача з щільністю 80 кг/м^3 через 25 умовних років експлуатації система теплоізоляції не відповідає нормативним вимогам. Причому для такої системи нормативний показник зберігається у разі експлуатації протягом 8-9 умовних років. Тому для таких систем можна рекомендувати улаштування вітрогідрозахисних мембран, але тільки з негорючих матеріалів (класу НГ) і особливо це стосується НВФ для висотних будинків.

На третьому етапі досліджень, враховуючи результати наведені в таблицях 2 і 3, розрахунок економічних показників проводився тільки для систем з утеплювачами щільністю 80 і 150 кг/м^3 . Аналіз результатів, що отримані при використанні програмного комплексу АВК 5 (3.0.0) показав наступне. Кошторисна вартість влаштування 100 м^2 вентиляованого фасаду з використанням мінеральної вати щільністю 150 кг/м^3 без вітрозахисної мембрани складає 67,241 тис. грн., а щільністю 80 кг/м^3 , з урахуванням обов'язкового використання вітрозахисної мембрани – 64,952 тис. грн. Витрати на ремонт, пов'язані з частковою або повною заміною утеплювача, практично однакові, і складають 38,837 тис. грн. і 36,548 тис. грн., або 57,8 % і 56,3 % від вартості влаштування нової системи, відповідно.

При, практично, однаковій вартості влаштування вентиляованого фасаду, з щільністю мінераловатного утеплювача 80 кг/м^3 з вітрозахисною мембраною і 150 кг/м^3 без неї, економія трудовитрат по другому варіанту становить 22 л-годин/100 м^2 . При цьому повністю виключається пожежонебезпека системи в наслідок відсутності здебільшого горючої вітрозахисної мембрани.

Згідно з результатами досліджень, наведеними в таблиці 2 та 3, ремонт фасадної системи з застосуванням утеплювача щільністю 80 кг/м^3 необхідно проводити кожні 9 років, а при щільності утеплювача 150 кг/м^3 – через 27 років.

За умови визначеного терміну ефективної експлуатації навісних вентиляованих фасадів в 25 років, вартість влаштування і експлуатації системи з середньою щільністю мінераловатного утеплювача 80 кг/м^3 складатиме умовно 138,048 тис. грн, а при 150 кг/м^3 – 67,241 тис. грн. Тобто загальна вартість улаштування і експлуатації навісної вентиляованої фасадної системи при застосуванні утеплювача щільністю 150 кг/м^3 більш ніж в 2 рази економніше аналогічного фасаду, але з щільністю утеплювача 80 кг/м^3 .

На основі досліджень показана недоцільність використання мінераловатних плит низької 30-50 кг/м^3 щільності. Наведено обґрунтування того, що при використанні мінераловатного утеплювача від 80 до 120 кг/м^3 для подовження періоду безремонтної експлуатації необхідне використання вітрозахисних мембран зі ступенем горючості (НГ), що підтверджується і дослідженнями інших вчених. У свою чергу використання мінераловатного утеплювача більшої щільності 150 кг/м^3 і вище, забезпечує експлуатаційну ефективність навісних вентиляованих фасадів у більш ніж 25 років без влаштування вітрозахисної мембрани.

Висновки

- Встановлено, що мінімальне потрапляння вологи на мінераловатний утеплювач при використанні облицювального екрану у вигляді керамограніту досягається при величині деформаційного зазору 4-6 мм, максимальній товщині оздоблювального екрану 6-8 мм і вентиляованого прошарку 80-100 мм.
- Для підвищення пожежної безпеки навісних вентиляованих фасадів їх можна влаштовувати без вітрозахисних мембран. При цьому експлуатаційна ефективність фасадів з щільністю 150 кг/м^3 становить 27 років, щільністю 80 кг/м^3 – 9 років, а щільністю 40 кг/м^3 – 4 роки.
- Улаштування навісних вентиляованих фасадів без вітрозахисної мембрани дозволяє зменшити їх трудомісткість в порівнянні з традиційною технологією з вітрозахисною мембраною на 22,0 люд.-год/100 м^2 фасаду. При використанні мінераловатного утеплювача щільністю 150 кг/м^3 трудомісткість експлуатаційних витрат за умовних 25 років скорочується на 486 люд.-год/100 м^2 . Загальна вартість влаштування та ремонту за нормативний період експлуатації, при щільності 150 кг/м^3 економніше, в середньому, в 2 рази.

Використана література

1. Тимофеев Н. В. Применение вентилируемых фасадных систем при реконструкции жилых зданий / Н. В. Тимофеев, Г.М. Васильченко // Градостроительство, архитектура, искусство и дизайн: тез. докл. международ. науч.-практ. конф. / Ин-т архит. и иск.-в, 6-9 октября 2009. – Ростов н/Д.: ИАрхИЮФУ, 2009. – С. 326-329.
2. Гагарин В. Г. Теплофизические проблемы современных стеновых ограждающих конструкций

- многоэтажных зданий / В. Г. Гагарин // Актуальные вопросы строительной физики.- М : НИИСФ, 2009. – С.297-305.
3. Бабий И. Н. Исследования влияния аэродинамических воздействий на технологические системы навесных вентилируемых фасадов / И. Н. Бабий, И. А. Менейлюк, Д. М. Сафонова, И. Ю. Лаври // зб. наук. праць «Вісник ОДАБА». – Вип. 58. – Одеса: ОДАБА, 2015. – С. 54-59.
 4. Вознесенский В. А. Численные методы решения строительно-технологических задач на ЭВМ / В. А. Вознесенский, Т. В. Ляшенко, Б. Л. Огарков - К.: Вища школа, 1989. – 328 с.
 5. Бабій І. М. Визначення емісії волокон мінераловатного утеплювача в вентильованих фасадах / І. М. Бабій, І. О. Менейлюк // Науково-технічний збірник “Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві”, Вінниця.УНІВЕРСУМ. –№. 2(17), 2014. – С. 26-31.

Менейлюк Олександр Іванович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технології будівельного виробництва Одеської державної академії будівництва та архітектури.

Бабій Ігор Миколайович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри технології будівельного виробництва Одеської державної академії будівництва та архітектури.

Менейлюк Іван Олександрович – інженер технічного нагляду.

Гладьшук Артем Олександрович – асистент кафедри технології будівельного виробництва Одеської державної академії будівництва та архітектури.

Менейлюк Александр Иванович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии строительного производства Одесской государственной академии строительства и архитектуры;

Бабий Игорь Николаевич – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры технологии строительного производства Одесской государственной академии строительства и архитектуры

Менейлюк Иван Александрович – инженер технического надзора.

Гладьшук Артем Александрович – асистент кафедры технологии строительного производства Одесской государственной академии строительства и архитектуры.

Alexander Menelylyuk – Professor, Head of Department of Technology of building production, Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odessa.

Igor Babij – Associate professor, assistant professor of Department of Technology of building production, Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture.

Ivan Menelylyuk – Engineer Technical Supervision.

Artem Gladischuk – assistant, of Department of Technology of building production, Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture.