

*В.В. Чернявський, к.т.н., доцент,  
А.М. Пащенко, к.т.н., доцент,  
О.Б. Борисенко, аспірант, Р.В. Лопаткін, магістр  
Полтавський національний технічний  
університет імені Юрія Кондратюка*

## **АНАЛІЗ РОЗКРИТТЯ ТРІЩИН ДЕКОРАТИВНО - ШТУКАТУРНОГО ШАРУ ФАСАДНОЇ СИСТЕМИ ЗАЛЕЖНО ВІД ТЕМПЕРАТУРИ ТА ВОЛОГОСТІ ЗОВНІШНЬОГО ПОВІТРЯ**

*У статті наведені результати експериментальних досліджень та оцінка розкриття тріщин декоративно-штукатурного шару фасадної системи залежно від температури та вологості зовнішнього повітря.*

**Ключові слова:** *декоративно-штукатурний шар, фасадна система, тріщини.*

*В статье приведены результаты экспериментальных исследований и оценка раскрытия трещин декоративно-штукатурного слоя фасадной системы в зависимости от температуры и влажности внешнего воздуха.*

**Ключевые слова:** *декоративно-штукатурный слой, фасадная система, трещины.*

*The article present the result of experimental researches and estimation of opening of cracks in decoratively clout layer of the facade system depending of the temperature and moisture of external air.*

**Key words:** *decoratively clout layer, facade system, cracks.*

**Постановка проблеми.** Температура й вологість зовнішнього повітря суттєво впливають на експлуатаційну надійність та довговічність огорожувальних конструкцій будівлі. Теплоізоляційні фасадні системи, опоряджені штукатурним шаром порівняно невеликої ваги, особливо зазнають таких впливів [1]. Для цих конструкцій гострою проблемою є забезпечення сумісної роботи для сприйняття температурно-вологісних деформацій теплоізоляційним і декоративно-штукатурним захисними шарами.

Досвід експлуатації будівель із фасадною теплоізоляцією показав, що найбільш уразливим компонентом, який визначає експлуатаційну надійність системи та її довговічність, є декоративно-штукатурний шар фасадної системи.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Протягом останніх сорока років системи теплоізоляційних фасадів із тонким штукатурним шаром використовуються як зовнішня фасадна теплоізоляція в різних країнах, зокрема Німеччині, Фінляндії, Австрії та Швейцарії. Їх упровадження й розповсюдження вже на початку 70-х років ХХ століття ставили предметом наукових досліджень.

Для клімату України фасадна теплоізоляція з тонким штукатурним шаром є новою конструктивною системою, що потребує детального вивчення та аналізу.

Вплив температури й вологості зовнішнього повітря на зовнішні огорожувальні конструкції розглядали такі науковці, як В. Богословський, Л. Гандін, В. Ильїнський, К. Кондратьев, М. Педько, К. Фокін та інші. Результати цих досліджень викладені у роботах [2 – 6], але сучасні конструктивні вирішення огорожувальних конструкцій потребують нових досліджень й інженерно-технічних підходів для опису їх роботи.

**Виділення не розв'язаних раніше проблем.** Перші об'єкти з фасадною теплоізоляцією з'явилися в Україні в середині 90-х років минулого сторіччя. За цей час побудовані вже мільйони квадратних метрів зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією. Але відсутність достатньою мірою аналізу експлуатаційних характеристик цього конструктивного рішення сучасних будинків і можливості прогнозування їх роботи часто призводить до виникнення теплових відмов при їх експлуатації.

**Формулювання мети та завдань досліджень.** Метою даної роботи є отримання функції ширини розкриття тріщин декоративно-штукатурного шару фасадної системи залежно від температури й вологості зовнішнього повітря, у зв'язку із чим ставились такі завдання:

- провести натурні дослідження залежності ширини розкриття тріщин від температур та вологості зовнішнього повітря на реальних об'єктах житлових будівель у місті Полтава;
- отримати математично-функціональні залежності для прогнозування поведінки утворених тріщин нових конструктивних рішень;
- визначити тенденціальний вплив температур зовнішнього повітря й атмосферних опадів на експлуатаційні властивості декоративно-штукатурного шару фасадних систем.

**Виклад основного матеріалу.** При значному коливанні температур зовнішнього повітря елементи фасадної конструкції будівлі піддаються термічному розтягуванню та стисненню. Застосування в конструкції фасаду матеріалів із різними коефіцієнтами термічного розширення може порушити їх сумісну роботу при зміні температури й вологості повітря.

Більшість будівельних матеріалів мають схильність до поглинання надмірної вологи, тому на них характерно проявляється додаткова дія при зміні температур відносно абсолютного нуля. Чергування циклів заморожування та відтаювання призводить до накопичення залишкових деформацій у конструкціях огорожувальних систем, що спричиняє зниження їх структурної міцності й, зрештою, руйнування декоративно-штукатурного захисного шару. Процес руйнування матеріалу починається з виникнення у ньому мікротріщин, які за дії зусиль, обумовлених напружено-деформованим станом огорожувальних конструкцій, розвиваються до критичного значення ширини розкриття, що є причиною руйнування матеріалу штукатурного шару.

Для прогнозування розкриття тріщин були використані результати експериментальних досліджень поведінки «волосянистої» тріщини на декоративно-штукатурному шарі фасадної системи за фотометричним методом. Дослідження проводились на 2-х фасадах за низкою вибраних для цього тріщин, які поділяли на вертикальні та горизонтальні. Досліджуваний фасад будинку був спрямований на південь. Спостереження за станом оздоблювального шару свідчить про те, що початок розвитку тріщин відбувається зазвичай на перетині волокон склосітки оздоблювального матеріалу. Спостереження за ходом розкриття тріщини велося протягом чотирьох місяців. За цей період було зроблено сім замірів ширини розкриття тріщини за різних температур зовнішнього повітря (від  $-17$  до  $+20^{\circ}\text{C}$ ) та відповідних їм значень вологості (від 32 до 81%). Заміри здійснювалися шляхом фотографування тріщини цифровим фотоапаратом у режимі «макро». Надалі отримані електронні фото оброблялися за допомогою програмного комплексу «AutoCAD» для визначення ширини розкриття тріщини. Слід зауважити, що для проведення подібних досліджень існує спеціальний прилад. У Росії, до прикладу, таким приладом є мікроскоп типу МПБ-2.

На основі отриманих результатів були побудовані емпіричні формули, котрі відображають функціональний зв'язок між шириною розкриття тріщин і такими факторами впливу, як температура та вологість. На рисунках 1 і 2 наведені графіки функцій ширини розкриття трьох експериментальних тріщин у діапазоні зміни температур та різних значень вологості. При виборі типу емпіричної формули основним критерієм була близькість точок експериментальних даних до відповідних значень за теоретичною кривою. За візуальним аналізом графіків функцій, побудованих на основі експериментальних даних, була запропонована емпірична функція у вигляді алгебраїчного полінома. Визначення коефіцієнтів полінома емпіричних функцій здійснювалось за методом найменших квадратів, при цьому як критерій близькості емпіричної функції до експериментальних даних використовувався принцип мінімізації суми квадратів відповідних відхилень за всіма точками експеримента.

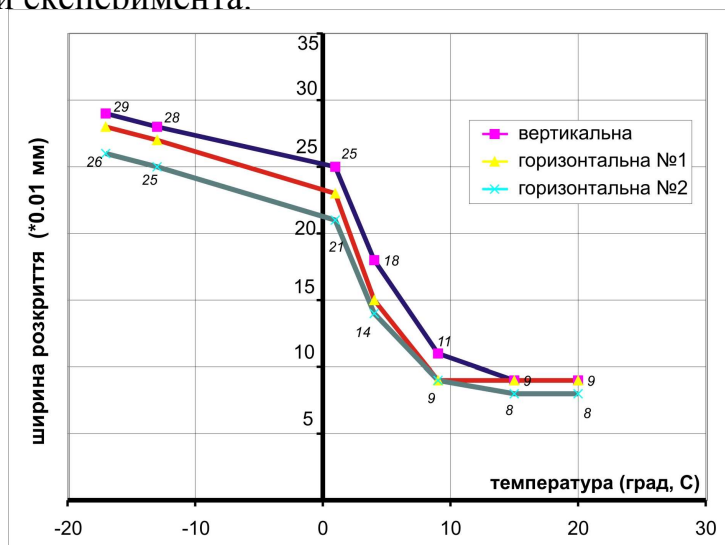


Рисунок 1 – Графіки функцій ширини розкриття трьох експериментальних тріщин у діапазоні температур від -17 до +20°C

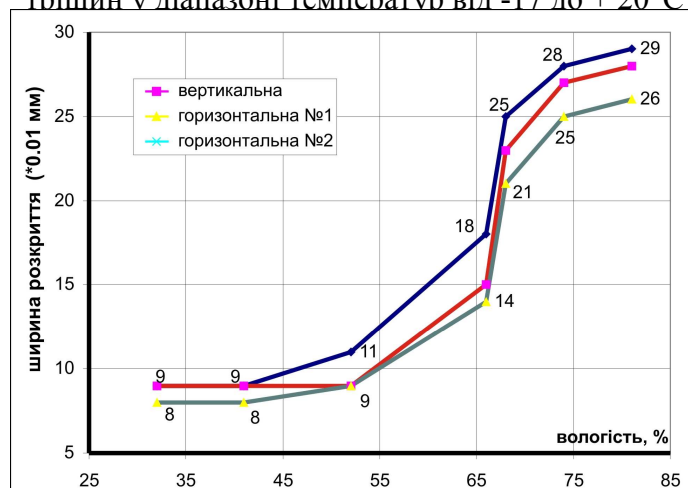


Рисунок 2 – Графіки функцій ширини розкриття трьох експериментальних тріщин у діапазоні різних значень вологості (від 32 до 81%)

За візуальним аналізом отриманих експериментальних даних видно, що процес розкриття тріщин не є однозначним у діапазоні дослідних температур. Для більш точного опису ширини розкриття тріщин у процесі прогнозування ми запропонували використовувати різні формули для різних діапазонів температур. Так, наприклад, видно, що в інтервалі від'ємних температур спостерігається залежність, близька до лінійної, а в інтервалі додатних температур така залежність характеризується нелінійністю. Спроба побудови однієї функції на всьому інтервалі температур призводить до значного

погіршення опису функціонального зв'язку. Подібний висновок можна зробити і про залежність ширини розкриття від вологості, де також пропонуються дві різні емпіричні формули для відповідно двох інтервалів вологості. Як приклад для опису ширини розкриття тріщин від температури в інтервалі від'ємних температур пропонується алгебраїчний поліном другого степеня відповідно для вертикальних та горизонтальних тріщин:

$$a = 0,002 \cdot t^2 - 0,195 \cdot t + 25 \text{ (вертикальна тріщина);}$$

$$a = -0,002 \cdot t^2 - 0,309 \cdot t + 21 \text{ (горизонтальна тріщина).}$$

Для опису цієї функції у діапазоні температур вище абсолютного нуля пропонуються інші залежності у вигляді полінома третього степеня:

$$a = -0,0014 \cdot t^3 + 0,1364 \cdot t^2 - 2,9856 \cdot t + 28 \text{ (вертикальна тріщина);}$$

$$a = -0,0065 \cdot t^3 + 0,257 \cdot t^2 - 3,485 \cdot t + 24 \text{ (горизонтальна тріщина),}$$

у цих формулах  $a$  – ширина розкриття тріщини (мм);  $t$  – значення температури ( $^{\circ}\text{C}$ ). Збільшення степеня апроксимуючого полінома призводить до флуктуацій на інтервалі апроксимації, що у свою чергу погіршує загальний опис відповідної залежності та функціональний зв'язок у цілому. Аналогічно були отримані коефіцієнти полінома емпіричних формул для опису залежності ширини розкриття тріщин від вологості повітря.

**Висновок.** На основі результатів експериментальних досліджень одержані математично-функціональні залежності у вигляді емпіричних формул, котрі відображають основний функціональний зв'язок між шириною розкриття тріщин декоративно-штукатурного шару фасадної системи та факторами впливу, такими як температура і вологість. Залежність ширини розкриття тріщин від температури та вологості досить добре описується алгебраїчними поліномами не вище третього степеня, що є зручним для подальшого проведення різного роду теоретичних досліджень у зазначеному напрямі.

За отриманими порівняно простими виразами емпіричних формул можна здійснювати прогнозування ширини розкриття тріщин декоративно-штукатурних шарів фасадів будинків і споруд різноманітного призначення.

#### Література

1. ДБН В.2.6-33:2008. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією. Вимоги до проектування, улаштування та експлуатації. – К.: Мінбудархітектури України, 2009. – 24 с.
2. Богословский В. Н. Строительная теплофизика / В. Н. Богословский. – М.: Высш. шк., 1982. – 415 с.
3. Гандин Л. С. Влияние метеорологических факторов на тепловой режим зданий / Л.С. Гандин, Л. Е. Анапольска. – Л.: Гидрометеорологическое изд-во, 1969. – 165 с.
4. Ильинский В. М. Проектирование ограждающих конструкций зданий (с учетом физико-климатических воздействий) / В. М. Ильинский. – М.: Стройиздат, 1964. – 295 с.
5. Педько Н. М. Метод теплотехнической оценки помещений и конструкций / Н.М. Педько. – К.: Вища шк., 1980. – 152 с.
6. Фокин К. Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий / К.Ф. Фокин. – М.: Госиздат, 1953. – 320 с.
7. Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров. Определения, теоремы, формулы / Г. Корн, Т. Корн / пер. со 2-го амер. перераб. изд. И.Г. Армановича, А.Г. Березмана и др.; под общ. ред. И.Г. Армановича. – М.: Наука, 1973. – 831с.

Надійшла до редакції 26.05. 2010

© В.В. Чернявський, А.М. Пащенко,  
О.Б. Борисенко, Р.В. Лопаткін