

# Метод посередньої оцінки показників теплової надійності огорожувальних конструкцій

Фаренюк Г.Г.

Державне підприємство «Науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м.Київ

---

*Наведено метод визначення довговічності огорожувальних конструкцій за характеристиками їх теплоізоляційних властивостей. Метод є складовою частиною загальної методології оцінки теплової надійності огорожувальних конструкцій на основі сучасних теплоізоляційних матеріалів.*

## Постановка проблеми

Одним з показників надійності виробів є їх довговічність. Довговічність огорожувальних конструкцій визначається як об'єктивними характеристиками – впливом оточуючого середовища, фізичними властивостями матеріалів, тощо, так і суб'єктивними параметрами – вибором конструктивних елементів в залежності від їх початкової вартості, кількості проведених ремонтів, періодом часу між ремонтними роботами. Тому економічні параметри можуть бути покладені в основу оцінки фізичного показника, який в кінцевому підсумку визначає теплову надійність огорожувальних конструкцій.

**Метою статі** є оприлюднення результатів розроблення методу для оцінювання таких показників надійності огорожувальних конструкцій як довговічність, наробіток до відмови, визначення стратегії забезпечення показників надійності у заданий термін експлуатації будинку.

### Аналіз проблеми

Для будівельних конструкцій питання довговічності в залежності від кліматичної деструкції матеріалів вивчалися в роботах О.Є.Власова та його учнів [1-2], що здійснювалися у 60-70-х роках минулого сторіччя. Значний імпульс вирішення цієї проблеми отримало у 80-х роках минулого сторіччя в роботах С.В.Александровського [3-6], який на підставі оцінки напруженого стану в матеріалі в результаті температурних та вологісних деформацій запропонував формулу оцінювання довговічності зовнішніх огорожувальних конструкцій. Для сучасних огорожувальних конструкцій, в яких застосовуються теплоізоляційні волокнисті або спінені матеріали, питання оцінювання довговічності залишаються відкритими.

### Викладання основного матеріалу

Принцип посередньої оцінки показників теплової надійності базується на визначенні поточної вартості конструкції  $CK(z)$  з теплоізоляційним матеріалом, що зазнає кліматичної деструкції в часі, як функції двох величин: параметра  $\tilde{Z}$  – імовірної тривалості доремонтного періоду (для неремонтопридатних стінових огорожень - їх фактичної довговічності), та змінної  $\tilde{z}$ , поточної до  $\tilde{Z}$ , тривалості експлуатації:

$$CK(\tilde{Z}, \tilde{z}) = \varphi(\tilde{Z})\psi(\tilde{z}), \tag{1}$$

де  $\varphi(\tilde{Z})$  – початкова вартість конструкції, що визначається з урахуванням кліматичної деструкції матеріалу на проміжку часу  $\tilde{Z}$ ;

$\psi(\tilde{z})$  – монотонно затухаюча функція амортизації конструкції, яка характеризує зниження в часі початкової вартості та задовольняє умовам:

$$\lim_{\tilde{z} \rightarrow 0} \psi(\tilde{z}) = 1; \lim_{\tilde{z} \rightarrow \infty} \psi(\tilde{z}) = 0. \tag{2}$$

Вартість огорожувальної конструкції  $\varphi(\tilde{Z})$  можна вважати, як показано в [7], величиною прямо пропорційною термічному опору шару теплоізоляційного матеріалу  $R$  і обернено пропорційною цьому показнику, зменшеному на величину  $b_\lambda(R) \cdot z$ , де  $b_\lambda(R)$  – швидкість кліматичної деструкції матеріалу в реальних умовах, тобто:

$$\varphi(\tilde{Z}) = \frac{c_R R^2}{R - b_\lambda(R) \cdot \tilde{Z}}, \tag{3}$$

де  $c_R = \frac{\text{грн}}{\text{м}^2 \text{К} / \text{Вт}}$  [7].

В якості  $\psi(\tilde{z})$  приймається дробоволінійна функція:

$$\psi(\tilde{z}) = \frac{1}{1 + K_1 \tilde{z}}, \quad (4)$$

яка задовольняє граничним умовам (1), де  $K_1$  – стала, що характеризує швидкість зниження в часі початкової вартості  $\varphi(\tilde{Z})$  за рахунок амортизації конструкції. Значення  $\varphi(\tilde{Z})$  залежить від терміну окупності теплоізоляції огорожувальної конструкції [8]. Цей показник є характеристикою і енергетичної ефективності, бо його значення встановлює наскільки конструкція в кінці визначеного терміну експлуатації виконує теплоізоляційні функції при їх оцінці в економічних (грошових) визначеннях. Значення цієї характеристики для сучасних стінових конструкцій з фасадною теплоізоляцією [9-11] слід приймати на рівні 0,75, тобто допустиме зниження енергетичної вартості теплоізоляції допускається за період до початку експлуатації і першого капітального ремонту не більш ніж 25 %. Значення  $K_1$  при  $\tilde{Z} = \tilde{z} = z_1$  визначається із рівняння

$$\psi(z_1) = \frac{C(z_1, z_1)}{\varphi(z_1)} = 0,75 \text{ або } \frac{1}{1 + K_1 \cdot 15} = 0,75. \quad (5)$$

Для теплоізоляційних матеріалів конструкцій тришарових панелей або колодязної кладки, де міжремонтний період дорівнює фізичному періоду експлуатації конструкції, права частина (4) може прийматися 0,6.

Інтенсивність деструкції теплоізоляційного матеріалу огороження в умовах експлуатації  $b_\lambda(R)$  оцінюється експериментально [12]:

$$b_{\lambda_e}(R) = \frac{\Delta R(n)}{n}, \quad (6)$$

де  $\Delta R(n)$  – загальне зниження термічного опору конструкції за рахунок кліматичної деструкції теплоізоляційного матеріалу за  $n$  циклів випробувань,

та знаходиться значення  $b_\lambda(R)$  за формулою:

$$b_\lambda(R) = b_{\lambda_e}(R) \cdot k_z \cdot k_\delta, \quad (7)$$

де  $k_z$  – масштабний коефіцієнт цикли випробувань  $\leftrightarrow$  середньостатистична кількість переходів через  $0^0$  в товщі теплоізоляційного шару конструкції,

$k_\delta$  – коефіцієнт урахування товщини шару матеріалу, в якому здійснюються фазові криогенні переходи вологи в його порах.

З урахуванням викладеного (1) має вигляд:

$$CK(\tilde{Z}, \tilde{z}) = \frac{c_R R^2}{[R - b_{\lambda_e}(R) \cdot k_z \cdot \tilde{Z}] \cdot (1 + K_1 \tilde{z})}. \quad (8)$$

При  $\tilde{Z} = \tilde{z} = 0$  за (8)  $CK(0) = c_R R$ , що є початковою вартістю матеріалу, який ще не піддавався деструкції, пропорційною необхідному значенню термічного опору  $R$  [8].

При  $\tilde{z} \neq \tilde{Z}$  формула (8) визначає вартість конструкції з матеріалом, що піддається деструкції, в будь-який поточний момент часу  $\tilde{z} < \tilde{Z}$  з урахуванням заданої припустимої тривалості експлуатації конструкції  $\tilde{Z}$ .

При  $\tilde{z} = \tilde{Z}$  формула (8) встановлює вартість огороджувальної конструкції в кінці строку її безремонтної служби  $\tilde{Z}$ , і функція  $CK(\tilde{Z}, \tilde{z})$  є при цьому монотонно спадаючою з екстремумом при

$$\tilde{Z}_1 = \frac{K_1 R - b_{\lambda_e}(R) \cdot k_z}{2b_{\lambda_e}(R) \cdot k_z \cdot K_1}, \quad (9)$$

який являється мінімумом цієї функції, оскільки  $CK''(\tilde{Z}, \tilde{z})|_{\tilde{z}=\tilde{z}} > 0$ .

Зниження вартості теплоізоляції огороджувальної конструкції  $CK(\tilde{Z}, \tilde{z})$  із збільшенням  $\tilde{z}$  по залежності (8) можливо допускати до виникнення стану теплової відмови. Тоді використовується властивість ремонтпридатності конструкції, що значно підвищує її вартість. Таким чином, в загальному випадку для ремонтпридатної конструкції функція  $CK(\tilde{Z}, \tilde{z})$  має декілька екстремумів. Період часу до першої відмови відповідає терміну ефективної експлуатації теплоізоляційного матеріалу конструкції. Оскільки екстремум функції  $C(\tilde{Z}, \tilde{z})$  співпадає з моментом настання першої відмови, визначити його не важко. Він буде дорівнювати  $\tilde{Z}_1$ , знайденому за формулою (9).

Таким чином, за цим методом можливо здійснювати прогнозування тривалості першого доремонтного періоду ремонтпридатної огороджувальної конструкції або терміну ефективної експлуатації її теплоізоляційного шару. Довговічність конструкції, що експлуатується з проведенням певної кількості ремонтів оцінка здійснюється за рекурентними формулами:

$$\begin{aligned} \tilde{Z}_1 &= \frac{K_1 R_1 - b_{\lambda_e}(R_1) \cdot N}{2b_{\lambda_e}(R_1) \cdot N \cdot K_1}, \\ \tilde{Z}_2 &= \tilde{Z}_1 + \frac{K_1 R_2 - b_{\lambda_e}(R_2) \cdot N}{2b_{\lambda_e}(R_2) \cdot N \cdot K_1}, \\ &\dots\dots\dots \\ \tilde{Z}_{m+1} &= \tilde{Z}_m + \frac{K_1 R_{m+1} - b_{\lambda_e}(R_{m+1}) \cdot N}{2b_{\lambda_e}(R_{m+1}) \cdot N \cdot K_1}, \end{aligned} \quad (10)$$

де  $K_1$  визначають із умови  $\frac{1}{1+K_1 \cdot \tilde{Z}_H} = \frac{CK_H}{CK_0}$ , в якій  $\tilde{Z}_H$  – нормативний строк служби конструкції, що може дорівнювати довговічності будинку,  $CK_0$  та  $CK_H$  – відповідно її початкова та кінцева (після терміну  $\tilde{Z}_H$ ) вартості, а  $b_{\lambda_e}(R_{m+1})$  та  $R_{m+1}$  знаходять за даними випробувань [14].

Внаслідок процесу накопичення пошкоджень в матеріалі  $R_{m+1} < R_m$  і  $b_{\lambda_e}(R_{m+1}) > b_{\lambda_e}(R_m)$ , тому доданок  $\frac{K_1 R_{m+1} - b_{\lambda_e}(R_{m+1}) \cdot k_z}{2b_{\lambda_e}(R_{m+1}) \cdot k_z \cdot K_1}$  із збільшенням  $m$  спадає і довговічність  $\tilde{Z}_{m+1}$  не рівна, а менша за  $(m+1) \cdot \tilde{Z}_1$ .

Викладений метод дозволяє вирішувати зворотню задачу – визначення максимально допустимого збільшення теплопровідності теплоізоляційного шару для забезпечення необхідної теплової надійності конструкції. В залежності від призначення конструкції встановлюється допустимий приріст теплопровідності теплоізоляційного матеріалу в результаті кліматичної деструкції. Для конструкцій фасадної теплоізоляції цей показник не повинен перевищувати  $b(\lambda) \leq 0,0014$  Вт/(м·К)/рік. Для тришарових бетонних стін приріст теплопровідності в результаті кліматичної деструкції не повинен перевищувати  $b(\lambda) \leq 0,00029$  Вт/(м·К)/рік.

### Висновки

Розроблений метод дозволяє проводити оцінку таких показників надійності огорожувальних конструкцій, як довговічність, період до ремонтної експлуатації, кількість необхідних ремонтів теплоізоляції огорожувальних конструкцій у заданий термін експлуатації будинку.

### Перелік посилань

1. **Власов, О.Е.** Физические основы теории морозостойкости / Власов О.Е. // Успехи строительной физики в СССР. – М.: НИИСФ, 1967. - Вып.3. – С.163-176.
2. **Власов, О.Е.** Напряжения от действия объемных сил и долговечность строительных конструкций / О.Е.Власов, Г.Г.Еремеев // Тепловой режим жилых и общественных зданий из крупноразмерных элементов. – 1964. - Вып.10 - М. : Стройиздат, 1964. – С.7-9.
3. **Александровский, С.В.** Расчетные воздействия для прогнозирования долговечности ограждающих конструкций из ячеистого бетона / С.В.Александровский// Долговечность конструкций из автоклавных бетонов. - Таллин, 1981. - С.134-138.

4. **Александровский, С.В.** Метод прогнозирования долговечности наружных ограждающих конструкций / С.В.Александровский// Исследования по строительной физике. - М. : НИИСФ, 1984. – С.81-94.
5. **Александровский, С.В.** Долговечность трехслойных панелей/ С.В.Александровский // Исследования теплоизоляции зданий. – М.: НИИСФ, 1985. - С.98-106.
6. **Александровский, С.В.** Исследования поведения ячеистого бетона при криогенных фазовых превращениях влаги/ С.В.Александровский, Ю.Д.Ясин, А.Л.Сильверстов // Исследования теплоизоляции зданий. – М.: НИИСФ, 1985. - С.115-121.
7. **Фаренюк, Г.Г.** Енергетична ефективність підвищення теплотехнічних показників основних елементів теплоізоляційної оболонки будинків/ Г.Г.Фаренюк // Будівництво України. – 2008. - № 8. – С. 12-14.
8. **Фаренюк, Г.Г.** Экономические аспекты повышения уровня теплоизоляции стеновых ограждающих конструкций при реконструкции зданий// Г.Г.Фаренюк, А.Б.Тимошенко // Реконструкція житла: наук.-вироб. вид. – К.: Поліграф-Єкспрес, 2007. - Вип.8. - С.377-385.
9. **Фаренюк, Г.Г.** Класифікація систем утеплення за експлуатаційними та конструктивними ознаками та порівняльний аналіз їх теплотехнічних властивостей / Фаренюк Г.Г.// Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка. – 2008. - №1(28). – С.45-53.
10. **Чернявський, В.В.** Теплоізоляційно-опоряджувальні фасадні системи як засіб термомодернізації житлового фонду України / В.В.Чернявський, О.І.Юрін, Г.Г.Фаренюк// Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. - 2008. - Вип.17. - С.365-372.
11. **Фаренюк, Г.Г.** Нормативне забезпечення при застосуванні конструкцій фасадної теплоізоляції житлових та громадських будинків/ Г.Г.Фаренюк// Будівництво України. – 2009. - № 1-2. – С.12-16.
12. **Фаренюк, Г.Г.** Экспериментальные исследования долговечности фенольного пенопласта резопен/В кн. «Исследования теплозащиты зданий». - М.: НИИСФ, 1983.
13. **ДБН В.2.6-31:2006** Теплова ізоляція будівель. – На заміну СНиП II-3-79. – Чинні від 2007-04-01. – К.: Мінбуд України, 2006. – 65 с.
14. **Фаренюк, Г.Г.** Стани теплових відмов ізоляційної оболонки будинків та експериментальні методи їх визначення / Г.Г.Фаренюк// Реконструкція житла: наук.-вироб. вид. – К.: Логос, 2008. - Вип.9. – С.99-106.

Отримано 15.05.09