Doi: <https://doi.org/10.33644/scienceandconstruction.v24i2.1>

УДК 624.04:692.232:697.11:699.86

ФАРЕНЮК Г. Г.

Д-р технічних наук, професор, директор Державного підприємства «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», Україна, м. Київ,
e-mail: farenjuk@ndibk.gov.ua
тел.: + 38 (044) 249-72-34
ORCID: 0000-0002-5703-3976

ОЛЕКСІЄНКО О. Б.

Канд. технічних наук, виконуюча обов'язки завідувача відділу будівельної фізики та енергоефективності, Державного підприємства "Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій", м. Київ, Україна
e-mail: mb-elena@ukr.net
тел.: +38(066)93-84-096
ORCIDID: 0000-0002-5329-2217

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ АТМОСФЕРОСТІЙКОСТІ ТА ДОВГОВІЧНОСТІ ЗАХИСНОГО МАТЕРІАЛУ ПОКРИТТЯ

АНОТАЦІЯ

Широке застосування в практиці сучасного будівництва нових ізоляційних матеріалів без необхідної їх перевірки призводить до виникнення теплових відмов огорожувальних конструкцій у процесі експлуатації будівель. Теплова надійність ізоляційних матеріалів – теплоізоляційних, покрівельних, які застосовуються у складі огорожувальних конструкцій із строго визначеним функціональним призначенням, має певні особливості у порівнянні з надійністю несучих елементів будівель. Відмова ізоляційних елементів огорожувальних конструкцій призводить до втрати можливості виконання огорожувальною конструкцією своїх ізоляційних функцій, суттєво погіршує експлуатаційні властивості будівлі в цілому, не призводячи при цьому до виникнення аварійного стану конструкцій будівлі у загально визначеному представленні.

Мета роботи. Проведення досліджень атмосферостійкості та довговічності ізоляційного матеріалу покриття. Сучасні покрівельні ізоляційні матеріали виготовляються на основі синтетичних матеріалів, властивості яких можуть суттєво змінюватися під дією кліматичних факторів. Задача досліджень полягає в визначенні критеріїв довговічності покрівельних ізоляційних матеріалів, при експлуатації їх як захисно-

го шару огорожувальних конструкцій покриття та оцінюванні зміни експлуатаційних характеристик матеріалу покрівлі – розривного навантаження, зовнішнього вигляду зразків і геометричних параметрів під дією циклічних кліматичних впливів. В статті наводиться розроблена у ДП НДІБК методика з визначення довговічності покрівельного матеріалу на основі якої здійснюється прогнозування терміну ефективної експлуатації покрівельних матеріалів. В статті наведені результати досліджень атмосферостійкості та терміну ефективної експлуатації захисного матеріалу покриття. Подальші наукові роботи, що здійснює ДП НДІБК, спрямовуються на проведення випробувань щодо повторюваності або відтворюваності лабораторних досліджень.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: атмосферостійкість, довговічність, критерій надійності, покриття.

APPROACH TO RESEARCH OF ATMOSPHERIC RESISTANCE AND DURABILITY OF PROTECTIVE ROOFING MATERIALS

ABSTRACT

New insulation materials being widely applied in up-to-date construction and not being tested appropriately may bring to thermal failure of

building envelope when in operation.

Thermal reliability of insulation materials such as thermal insulation and roof insulation which are used as part of building envelope and have a defined purpose of use provides some features in comparison to reliability of load bearing elements. Failure of insulation elements of building envelope leads to the loss of insulation characteristics of envelope and significantly reduces performance characteristics of the whole building while it doesn't result in emergency state of structures of a building in a general way. The purpose of the study is to determine the durability criteria of roof insulation materials when using them as a protective layer of envelope. Current roof insulation materials are made on the basis of synthetic materials whose properties can widely vary under the influence of climatic factors. The task of research is to assess changes in performance characteristics of the roofing materials, such as maximum strength, appearance of samples and geometric parameters in the action of cyclic climate-relevant impact. This paper represents an approach developed by State Enterprise "The State Research Institute of Building Constructions" for determination of durability of roofing materials and estimation of period of efficient service for roofing materials on the basis of that approach. This article covers the results of studies of weather resistance and period of efficient service of the protective roofing material. Further research by State Enterprise "The State Research Institute of Building Constructions" is aimed at running trials for recurrence or reproducibility of laboratory tests.

KEY WORDS: weather resistance, durability criteria, thermal reliability, roof insulation materials, period of efficient service

ВСТУП

Сучасні огорожувальні конструкції створюють із різних за показниками довговічності матеріалів. Широке застосування в практиці сучасного будівництва нових ізоляційних матеріалів без необхідної їх перевірки призводить до виникнення теплових відмов огорожувальних конструкцій у процесі експлуатації будівель. Для характеристики ізоляційних матеріалів і визначення можливості їх застосування в сучасних конструктивних рішеннях покрівель в нормативній базі ДБН В.2.6-31 [1] введено поняття терміну ефективної експлуатації виробів, який за своїм фізичним змістом є критерієм теплової надійності ізоляційних матеріалів [2]. ДБН В.2.6-220 [3] регламентує, що довговічність мембранних покрівель з полімерних матеріалів має становити 30 – 40 років. Але методики визначення довговічності покрівельних матеріалів, в умовних роках експлуатації, не встановлені в нормативних документах.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Термін ефективної експлуатації (розрахункова довговічність) ізоляційних виробів – це розрахунковий експлуатаційний період, протягом якого виріб зберігає свої експлуатаційні властивості на рівні проектних показників, що підтверджується результатами лабораторних випробувань і визначений в умовних роках експлуатації (терміну служби).

Характеристика терміну ефективної експлуатації базується на понятті ресурсу матеріалу – показника, який характеризує зміну експлуатаційних характеристик матеріалу в умовах експлуатації, які імітують під час випробувань.

В основу методу визначення експлуатаційного ресурсу покладена гіпотеза існування області лінійного накопичення пошкоджень структури матеріалу під одиничними кліматичними впливами чи їх сумарним впливом [3-9]. Прийнята концепція дозволяє визначити показники ресурсу шляхом фіксації і аналізу характеру зміни основних фізичних параметрів, які визначають експлуатаційні показники огорожувальних конструкцій у межах області лінійного накопичення пошкоджень при атмосферних впливах. Саме такий підхід прийнятий і в стандартах на методи випробувань покрівельних матеріалів за ДСТУ Б EN 1296 [10], ДСТУ Б EN 1297 [11], ДСТУ Б.В.2.7-83 [12] та ізоляційних матеріалів по ISO 11561 [13]. Але в даних нормах не визначено поняття показника ресурсу та терміну ефективної експлуатації покрівельного матеріалу.

Для покрівельних мембран за критерієм експлуатаційної надійності приймається зміна розривної сили та відносного подовження при розтягуванні після випробування на атмосферостійкість (циклічність впливів УФ-випромінювання, підвищеної температури та води).

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Метою випробувань є визначення критеріїв довговічності покрівельних ізоляційних матеріалів, при експлуатації їх як захисного шару огорожувальних конструкцій покриття. Задача випробувань полягала в оцінюванні зміни експлуатаційних характеристик матеріалу – розривного навантаження, зовнішнього вигляду зразків і геометричних параметрів під дією циклічних кліматичних впливів (нагрівання – опромінення – дощування), які імітують вплив зовнішніх факторів на стан ізоляції елементів огорожувальних конструкцій покриття під час експлуатації будівельних об'єктів.

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ

Випробування проводять для виробів, які виконують ізоляційну функцію в конструкції покрівлі.

Відповідно при проведенні випробувань фіксують зміну показника на розривне навантаження. Метод випробувань полягає в тому, що матеріал, який випробовується, піддають циклічним кліматичним впливам, які імітують умови експлуатації матеріалу в огорожувальній конструкції покриття і визначають зміну експлуатаційних характеристик матеріалу.

У методичну основу випробувань покладено імітацію дії кліматичних факторів в умовах нормальної експлуатації ізоляційних виробів, коли за результатами замірів розривних характеристик оцінюють термін ефективної експлуатації матеріалу в умовах ймовірних пошкоджень матеріалів під дією впливів кліматичних факторів.

Для покрівельних матеріалів термін ефективної експлуатації оцінюється за зміною характеристик міцності, розривного навантаження в стандартних умовах експлуатації, а також за зміною лінійних розмірів та зовнішнього вигляду. Методика випробувань включає підготовку зразків, проведення випробувань, обробку результатів, оцінку показників надійності (довговічності, ресурсу) матеріалів.

Задача встановлення значення масштабного коефіцієнта являється однією із ключових при оцінюванні показників довговічності матеріалу в конструкції покрівлі. Визначення терміну ефективної експлуатації проводиться у відповідності з методичними положеннями [10-16].

Зміну розривної сили при розтягуванні ΔP_{am} розраховують за формулою:

$$\Delta P_{am} = \frac{100 \cdot (P - P_{am})}{P} \quad (1)$$

де: ΔP_{am} – зміна розривної сили для зразків після випробування на атмосферостійкість, %; P – розривна сила для зразків до випробування на атмосферостійкість, Н; P_{am} – розривна сила для зразків після випробування на атмосферостійкість, Н.

Для кожного з експлуатаційних розривних параметрів встановлюється чисельне значення показника ресурсу для рівня забезпеченості 0,95; що визначається за формулою:

$$r = bx * \pm \varepsilon \quad (2)$$

де: x^* – найбільше значення кількості циклів, що відповідає лінійній ділянці зміни експлуатаційного розривного параметра; b – тангенс кута нахилу залежності $P(z)$; ε – довірча межа випадкової похибки результатів вимірювань.

Для визначення атмосферостійкості при тривалому спільному впливі УФ-випромінювання, підвищеної температури та дії води, на покрівельний матеріал, використовують обладнання та методику згідно з ДСТУ Б EN 1297 [11]. Суть методики – випробувальні зразки, вирізані із зразків продукції, піддають дії

характерних кліматичних впливів в установці з люмінесцентними лампами УФ-випромінювання за фіксованим значенням чорного стандартного термометру (BST), відносної вологості і циклічного розпилення води. Стійкість до цього впливу визначають під час подальших випробувань, які встановлюють в стандартах на даний матеріал для покрівельної гідроізоляції.

Цикл кліматичних впливів має тривалість 360 хв і складається з 300 хв сухого періоду та наступних 60 хв розпилення води (вологого періоду) відповідно до EN ISO 4892-3 [9]. Опромінення впродовж вологого періоду відсутнє. Показання чорного стандартного термометра має бути $(60 \pm 3)^\circ\text{C}$ впродовж сухого періоду. У період розпилення камера нагрівання вимкнена. Загальну потужність УФ-енергетичної експозиції встановлюється згідно стандартів ДСТУ EN 13707 [10] і EN 13956 [11].

Призначення матеріалу що випробувався – влаштування протипожежного захисного шару покрівлі житлових, громадських та промислових будівель, які експлуатуються в I-II температурних зонах України згідно з ДБН В.2.6-31 [1]. Протипожежний захисний матеріал виготовляється на основі негорючої скляної тканини TG 420. Нижня сторона має спеціальне просочення для забезпечення приварювання до ПВХ мембрани. Захисний матеріал застосовується для влаштування протипожежних розсічок навколо люків димовидалення і зенітних ліхтарів, на покрівлях з гідроізоляційним шаром з ПВХ мембран.

Загальний вигляд дослідних фрагментів та випробувальної установки зображено на рис. 1 – 3.

Під час випробувань при УФ-енергетичної експозиції у 160 МДж/м^2 візуально визначали ефект впливу щодо утворення тріщин або інших змін зразків: зміни кольору, меління, зміни форм і розмірів (рис. 4 – 5).

Поверхневі тріщини оцінені відповідно до таблиці В.1 ДСТУ Б EN 1297 [4].

Після проведення випробувань з визначення атмосферостійкості захисного покрівельного матеріалу при тривалому спільному впливі УФ-випромінювання, підвищеної температури та води поверхневі тріщини оцінені відповідно до таблиці 4 ДСТУ Б EN 1297 [4] - клас 0 – відсутні тріщини та пошкодження.

Середнє деклароване значення за результатами вимірювань експлуатаційного параметра визначалось за формулою:

$$y_0 = \bar{y} \pm \varepsilon \quad (3)$$

де: $\bar{y}$ – середньоарифметичне значення параметра за результатами випробувань; ε – довірча межа випадкової похибки результатів вимірювань, що визначається за формулою:

Рисунок 1 – Дослідні фрагменти випробувань (впоперек та вздовж волокон)

Рисунок 2 – Визначення атмосферостійкості протипожежного захисного матеріалу. Спектральне випромінювання люмінесцентної УФ-лампи типу I (340 nm)

Рисунок 3 – Машина випробувальна УМ-5 для визначення розривного навантаження

$$\varepsilon = t \cdot S(\bar{y}) \quad (4)$$

де: t – коефіцієнт Стюдента, який залежно від довірчої ймовірності та числа результатів спостережень; $S(\bar{y})$ – оцінка середньоквадратичного відхилення результату вимірювання, що розраховується за формулою:

$$S(\bar{y}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n(n-1)}} \quad (5)$$

де: y_i – i -й результат спостереження; n – число результатів спостережень.

Рисунок 4 – Фото зразків До та Після випробування (впоперек волокон)

Рисунок 5 – Вид зразків до та після випробування (вздовж волокон)

Обробку масиву експериментальних даних при визначенні терміну ефективної експлуатації ізолюючих матеріалів проводять методами регресійного аналізу та математичної статистики для області лінійної зміни кожного експлуатаційного параметру, на підставі чого одержують залежність у вигляді:

$$y = \bar{y} \pm b \cdot x \pm \varepsilon \quad (6)$$

де: y – чисельне значення параметра; x – кількість циклів випробувань; ε – довірча межа випадкової похибки результатів вимірювань для рівня забезпеченості 95%; b – коефіцієнт регресії.

При визначенні терміну умовної експлуатації зміни розривного навантаження покрівельних матеріалів коефіцієнт b згідно з формулою (6) має знак «плюс» або «мінус», що визначається результатами випробувань.

ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИПРОБУВАНЬ

Для кожного з експлуатаційних розривних параметрів встановлюється чисельне значення показника ресурсу для рівня забезпеченості 0,95, що визначається за формулою (2).

При визначенні показника ресурсу x^* може бути прийнята $x^*=200$, якщо після 200 циклів випробувань не зафіксовано нелінійної ділянки зміни розривних параметрів.

Термін ефективної експлуатації для покрівельного матеріалу приймається не менше 30 років, якщо після 200 циклів випробувань, які включали 1000 годин опромінення, виконується умова:

$$\frac{r}{P_0} \cdot k_z \leq 0,1 \quad (7)$$

де, k_z – масштабний коефіцієнт, що враховує відповідність експериментальних циклів

кліматичним умовам експлуатації матеріалу в конструкції. Приймаємо $k_z = 5$ (рекомендована кількість опромінення 5 000 год); P – розривна сила для зразків, Н.

При виникненні нелінійної ділянки зміни експлуатаційного розривного параметра, після кількості циклів $x < 200$ масштабний коефіцієнт збільшується на значення $200/x$.

Коефіцієнт урахування впливу кліматичної деструкції матеріалів в процесі експлуатації на їх розривну силу, визначається за формулою:

$$k_k = 1 + \frac{r}{P} \cdot k_z \quad (8)$$

Графік залежності розривної сили від кількості циклів $P(z)$ наведено на рисунку 6.

Залежність розривної сили фрагментів покрівельного матеріалу від кількості циклів (нагрівання – опромінення – дощування) визначається за формулою:

$$P(z) = 2728,2 - 185,15 \cdot z \quad (9)$$

Коефіцієнт урахування впливу кліматичної деструкції матеріалів в процесі експлуатації на їх розривну силу, визначається за формулою (9):

$$k_k = 1 + \frac{185,15}{2728,2} \cdot 5 = 1,34 \quad (10)$$

Отже, згідно випробувань на атмосферостійкість покрівельного матеріалу визначено зміну розривної сили від $P_{0cp} = 5\,166,14$ Н, у початковому стані до $P_{зcp} = 4\,542,44$ Н (впоперек волокон) після циклічних впливів, на заміну розривної сили вздовж волокон від $P_{0cp} = 2\,573,26$ Н, у початковому стані до $P_{зcp} = 2\,051,55$ Н після циклічних впливів, що свідчить про значний ресурсний запас експлуатаційної надійності матеріалу, який може бути оціненим у 30 умовних років експлуатації.

Рисунок 6 – Залежність розривної сили, в Н (в поперек та вздовж волокон) покрівельного матеріалу від атмосферних впливів

ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗРОБЛЕНЬ

Термін служби покриття залежить від довговічності двох складових: покрівлі та несучої конструкції. Всі конструктивні елементи покриття нерозривно пов'язані один з одним і втрата властивостей одним з них обов'язково відіб'ється на довговічності покриття в цілому. Розроблено методику з визначення довговічності покрівельного матеріалу та проведено дослідження атмосферостійкості протипожежного захисного матеріалу за тривалого спільного впливу УФ-випромінювання, підвищеної температури та води для кліматичних умов України.

Подальші дослідження планується спрямувати на визначення повторюваності або відтворюваності лабораторних випробувань, що дозволить оцінити їх точність та достовірність прогнозних розрахунків ресурсу покрівельних матеріалів.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. ДБН В.2.6-31:2016. Теплова ізоляція будівель.
2. Фаренюк Г.Г. Основи забезпечення енергоефективності будинків та теплової надійності огорожувальних конструкцій. К.: Гама-Принт, 2009. 216 с.
3. ДБН В.2.6-220:2017. Покриття будівель і споруд.
4. Фаренюк Г.Г. Стани теплових відмов ізоляційної оболонки будинків та експериментальні методи їх визначення. Реконструкція житла. 2007. №9, С.99-106.
5. Чернявський В. В., Борисенко О. Б. Деструктивні фактори впливу на фасадну теплоізоляцію з штукатурним шаром. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: збірник наукових праць. 2011. Вип. 21. С. 552 – 560.
6. Пашинський В. А., Пушкар Н. В., Карюк А. М. Температурні впливи на огорожувальні конструкції будівель. Одеса: ОДАБА, 2012. 180 с.
7. Авраменко Ю. О., Лещенко М. В., Магас Н. М. [та ін.]. Утеплення, ремонт та реконструкція плоских покрівель цивільних будівель. / за ред. О. В. Семка. Полтава: Астроя, 2017. 238 с.
8. Semko O., Yurin O., Avramenko Yu., Skliarenko S. Thermophysical aspects of reconstruction of cold roof spaces. MATEC Web of Conferences. Transbud – 2017 : Structure, Materials and Infrastructure. Vol. 116. 2017. P. 02030. Doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201711602030>

9. Фаренюк Г. Г., Філоненко О. І. Теплові впливи на огорожувальні конструкції за нестаціонарних умов. Збірник наукових праць. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво. 2015. Вип. 2 (44). С. 234 – 238.
10. ДСТУ Б EN 1296:2011 (EN 1296:2000, IDT). Матеріали покрівельні та гідроізоляційні рулонні, листові та у вигляді плит. Метод штучного старіння за довготривалої дії підвищеної температури.
11. ДСТУ Б EN 1297:2013. Листи гнучкі для гідроізоляції. Листи бітумні, пластмасові та гумові для гідроізоляції покрівлі. Метод штучного старіння за тривалого спільного впливу УФ-випромінювання, підвищеної температури та води (EN 1297:2004, IDT).
12. ДСТУ Б.В.2.7-83-2014. Матеріали рулонні покрівельні та гідроізоляційні. Методи випробувань.
13. ISO 11561:1999. Ageing of thermal insulation materials — Determination of the long-term change in thermal resistance of closed-cell plastics (accelerated laboratory test methods).
14. EN ISO 4892-3:2016. Plastics – Methods of exposure to laboratory light sources – Part 3: Fluorescent UV lamps.
15. ДСТУ EN 13707:2019. Материалы кровельные гидроизоляционные мягкие. Пропитанные битумом листы для гидроизоляции кровли. Определение и характеристики (EN 13707:2004 + A2:2009, IDT).
16. ДСТУ EN 13956:2017. Гибкие листы для гидроизоляции. Резиновые и пластмассовые листы для гидроизоляции кровли. Определения и характеристики (EN 13956:2012, IDT).

REFERENCES

1. DBN B.2.6-31: 2016. Thermal insulation of buildings. (2016).
2. Farenjuk, G. (2009). Basics of assurance of energy efficiency of buildings and thermal reliability of envelope. Kyiv: Gama-Print.
3. DBN B.2.6-220: 2017. Coverages of buildings and structures. (2017).
4. Farenjuk, G. (2007). Conditions of thermal failure of insulation envelope of buildings and experimental assessment methods. Reconstruction of housing, 9, 99-106.
5. Chernyavsky, V., Borisenko, O. (2011). Destructive factors influencing the facade insulation with plaster layer. Resource-saving materials, structures, buildings and structures: a collection of scientific papers, 21, 552 – 560.
6. Pashinsky, V., Pushkar, N., Karyuk, A. (2012). Temperature effects on the enclosing structures of buildings. Odessa: ODABA.

7. Avramenko, Yu., Leshchenko, M., Magas, N., Semka, O.V. (Ed.). (2017). Warming, repair and reconstruction of flat roofs of civil buildings. Poltava: Astraya.
8. Semko, O., Yurin, O., Avramenko, Yu., Skliarenko, S. (2017). Thermophysical aspects of reconstruction of cold roof spaces. MATEC Web of Conferences. Transbud – 2017: Structure, Materials and Infrastructure. Vol. 116. Doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201711602030>
9. Farenjuk, G., Filonenko, O. (2015). Thermal influences on enclosing structures under non-stationary conditions. Collection of scientific works. Series: Industrial engineering, construction, 2 (44), 234 – 238.
10. DSTU B EN 1296: 2011 (EN 1296: 2000, IDT). Flexible sheets for waterproofing - Bitumen, plastic and rubber sheets for roofing. Method of artificial ageing by long term exposure to elevated temperature. (2011).
11. DSTU B EN 1297: 2013. Flexible sheets for waterproofing. Bitumen plastic and rubber sheets for roof waterproofing - Method of artificial ageing by long term exposure to the combination of UV radiation, elevated temperature and water (EN 1297: 2004, IDT). (2013).
12. DSTU B V.2.7-83-2014. Rolled proofing and waterproof materials. Methods of testing. (2014).
13. ISO 11561: 1999. Aging of thermal insulation materials – Determination of long-term change in thermal resistance of closed-cell plastics (accelerated laboratory test methods). (1999).
14. EN ISO 4892-3: 2016. Plastics - Methods of exposure to laboratory light sources - Part 3: Fluorescent UV lamps. (2016).
15. DSTU EN 13707: 2019. Soft roofing waterproofing materials. Bitumen-impregnated sheets for roof waterproofing. Definition and characteristics (EN 13707: 2004 + A2: 2009, IDT). (2019).
16. DSTU EN 13956: 2017. Flexible sheets for waterproofing. Rubber and plastic sheets for roof waterproofing. Definitions and characteristics (EN 13956: 2012, IDT). (2017).

Стаття надійшла до редакції 22.05.2020 року