

УДК 624.91.04-027.45

*Босов А.А., д.т.н., проф.; Радкевич А.В., д.т.н., проф.; Худенко В.Ф., к.т.н., доц.; Глуценко В.М., аспірант, ДНУЗТ, м. Дніпро*

## РОЗРОБКА МОДЕЛІ РОЗРАХУНКУ ДОВГОВІЧНОСТІ ПОКРІВЕЛЬНОЇ СИСТЕМИ

### АНОТАЦІЯ

Важливою задачею нового будівництва, реконструкції, модернізації будівель та споруд на сьогодні є значне підвищення їх енергоефективності та скорочення коштів при подальшій експлуатації. Визначені задачі, вирішення яких необхідно для створення методології проектування покрівельних систем. Презентовано рішення однієї з визначених задач — модель розрахунку довговічності покрівельної системи, в основі якої лежить теорія розмірності.

Ключові слова: енергоефективність, будівлі та споруди, методологія проектування покрівельних систем, модель розрахунку довговічності покрівельної системи.

**Актуальність.** Важливою задачею нового будівництва, реконструкції, модернізації будівель та споруд на сьогодні є значне підвищення їх енергоефективності та скорочення коштів при подальшій експлуатації.

**Останні дослідження.** Цьому питанню приділено достатньо уваги в роботах багатьох вітчизняних вчених: В.С. Балицького, О.М. Лівінського, В.О. Мазур, О.І. Менейлюка, П.О. Павлюка, А.В. Савйовського, В.В. Савйовського, В.Г. Сохи, Г.Г. Фаренюка та інших.

В будь-якому проекті будівля повинна розглядатися як комплексна система, яка складається з різних елементів, що виконують певні визначені функції [1, с. 222].

Покрівельна система (покриття, дах) є важливим елементом теплоізоляційної оболонки будівлі як єдиної енергетичної системи, тому що через покриття втрачається значна частка тепла (до 40%) і це погіршує енергоефективність будівлі в цілому [2, с. 161].

Однак, на сьогодні відсутній системний підхід в проектуванні покрівельної системи та оптимізації її параметрів: різноманіття сучасних гідроізо-

ляційних, пароізоляційних, теплоізоляційних матеріалів та конструктивно-технологічних рішень призводить до складності вибору проектувальником раціонального варіанту для конкретних умов. Параметри покриття та впливи на нього мають різні розмірності, що ускладнює їх ув'язку в єдину систему для вибору раціонального конструктивно-технологічного рішення.

В наукових роботах багато уваги приділено ремонту та модернізації існуючих покриттів, а проектування нового покриття будівель недостатньо досліджено, тому виконується без належного обґрунтування. Для порівняльної оцінки різних варіантів конструкцій покрівельних систем в проектуванні та будівництві необхідні параметри надійності. На сьогодні ці параметри приймаються орієнтовно на підставі досвіду експлуатації, а для інноваційних технологій, матеріалів та конструкцій в цілому досвід експлуатації взагалі відсутній. Це не сприяє обґрунтуванню конструктивно-технологічного рішення та коректному вибору раціонального рішення покрівельної системи.

**Мета.** Одним із шляхів підвищення енергоефективності будівель є розробка методології проектування покрівельних систем, що дозволить визначити найкращі рішення для заданих умов.

Необхідно створити набір конструктивно-технологічних рішень покрівельних систем (узагальнені графічні моделі — без врахування параметрів матеріалів). Для кожного шару загального рішення необхідно підібрати набір різних матеріалів з близькими за довговічністю параметрами, що забезпечить економічну порівнянність цих варіантів. З одного набору матеріалів можна комплектувати конструктивно-технологічні рішення покриттів з різними техніко-економічними показниками та експлуатаційним ресурсом. Важливе значення має і той факт, що володіючи результатами даного дослідження виникає можливість організувати виробництво матеріалів із заданими властивостями для досягнення певного рівня експлуатаційного ресурсу. Враховуючи функціональне призначення будівлі, площу, архітектурну форму, конструктивне рішення покриття, кліматичні умови району будівництва, вирішити задачу вибору найкращого для заданих умов варіанту можливо за допомогою інформаційних технологій.

**Основний матеріал.** Для створення методології проектування покрівельних систем будівель необхідно вирішити такі задачі:

1. Побудувати базові узагальнені графічні моделі конструктивно-технологічних рішень покрівельних систем.

2. Створити модель розрахунку довговічності покрівельної системи.

3. Підібрати матеріали для покрівельної системи з обґрунтованими параметрами.

4. Створити методологію формування та вибору раціонального рішення покрівельної системи враховуючи експлуатаційну придатність та безпеку.

5. Провести апробацію дослідження на практиці проектування та будівництва.

В даній статті презентовано модель для визначення строку служби покрівельної системи, в основі якої лежить теорія розмірності [3, с. 28].

В приведену нижче таблицю 1 зведено параметри шарів покрівельної системи та впливів на неї, які враховуються в моделі.

Математична сторона застосування методу розмірності зводиться до рішення алгебраїчної системи рівнянь.

Запишемо в неявному вигляді невідому нам формулу, що зв'язує параметри:

Таблиця 1. Параметри шарів покрівельної системи та впливів на неї

Параметри шарів покрівельної системи:	
$X_1$ – паропроникність з розмірністю $\left[ \frac{z}{m^2 \cdot 24zod} \right]$ ;	1-й шар – парозізоляція
$X_2$ – теплопровідність з розмірністю $\left[ \frac{Вт}{m \cdot ^\circ C} \right]$ ;	2-й шар – утеплювач «перший тип»
$X_{13}$ – міцність на стиск з розмірністю $[кПа]$ ;	
$X_3$ – паропроникність з розмірністю $\left[ \frac{мг}{m \cdot год \cdot Па} \right]$ ;	3-й шар – утеплювач «другий тип»
$X_4$ – теплопровідність з розмірністю $\left[ \frac{Вт}{m \cdot ^\circ C} \right]$ ;	
$X_{14}$ – міцність на стиск з розмірністю $[кПа]$ ;	4-й шар – утеплювач «третій тип»
$X_5$ – теплопровідність з розмірністю $\left[ \frac{Вт}{m \cdot ^\circ C} \right]$ ;	
$X_{15}$ – міцність на стиск з розмірністю $[кПа]$ ;	
$X_6$ – паропроникність з розмірністю $\left[ \frac{мг}{m \cdot год \cdot Па} \right]$ ;	5-й шар – гідроізоляція
$X_7$ – водонепроникність абсолютна з розмірністю $[год]$ ;	
$X_8$ – теплостійкість з розмірністю $[^\circ C]$ ;	
Параметри впливів на покрівельну систему:	
$X_9$ – опади з розмірністю $\left[ \frac{мм}{рік} \right]$ ;	
$X_{10}$ – температура в літній період з розмірністю $[^\circ C]$ ;	
$ X_{11} $ – температура в зимовий період з розмірністю $[^\circ C]$ ;	
$X_{12}$ – сонячна радіація з розмірністю $\left[ \frac{Вт}{m^2} \right]$ ;	

$$t = A \cdot \frac{X_{13}^{\alpha_{13}} \cdot X_{14}^{\alpha_{14}} \cdot X_{15}^{\alpha_{15}} \cdot X_7^{\alpha_7} \cdot X_8^{\alpha_8}}{X_1^{\alpha_1} \cdot X_2^{\alpha_2} \cdot X_3^{\alpha_3} \cdot X_4^{\alpha_4} \cdot X_5^{\alpha_5} \cdot X_6^{\alpha_6} \cdot X_9^{\alpha_9} \cdot X_{10}^{\alpha_{10}} \cdot |X_{11}^{\alpha_{11}}| \cdot X_{12}^{\alpha_{12}}}, \quad (1)$$

де  $A$  – безрозмірна постійна величина, яка визначається на основі досвіду експлуатації покрівельних систем;

$X_1^{\alpha_1}, X_2^{\alpha_2}, \dots, X_{15}^{\alpha_{15}}$  – показники з відповідними степенями.

В чисельнику відмічені ті показники, які позитивно впливають на покрівельну систему, а в знаменнику – негативно.

Якщо підставити розмірності з таблиці 1, то приходимо до співвідношення:

$$t = A \cdot \frac{(\kappa \text{Па})^{\alpha_{13}} \cdot (\kappa \text{Па})^{\alpha_{14}} \cdot (\kappa \text{Па})^{\alpha_{15}}}{\left(\frac{\text{г}}{\text{м}^2 \cdot 24 \text{год}}\right)^{\alpha_1} \cdot \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^\circ\text{C}}\right)^{\alpha_2} \cdot \left(\frac{\text{Мг}}{\text{м} \cdot \text{год} \cdot \text{Па}}\right)^{\alpha_3} \cdot \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^\circ\text{C}}\right)^{\alpha_4} \cdot \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^\circ\text{C}}\right)^{\alpha_5} \cdot \left(\frac{\text{г}}{\text{м} \cdot \text{год} \cdot \text{Па}}\right)^{\alpha_6} \cdot \left(\frac{\text{мм}}{\text{рік}}\right)^{\alpha_9} \cdot (^\circ\text{C})^{\alpha_{10}} \cdot (^\circ\text{C})^{\alpha_{11}} \cdot \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}\right)^{\alpha_{12}}}, \quad (2)$$

Після перетворень отримуємо наступне:

$$t = A \cdot \frac{\left(\frac{\text{г}}{\text{м} \cdot \text{т}^2}\right)^{\alpha_{13}} \cdot \left(\frac{\text{г}}{\text{м} \cdot \text{т}^2}\right)^{\alpha_{14}} \cdot \left(\frac{\text{г}}{\text{м} \cdot \text{т}^2}\right)^{\alpha_{15}}}{\left(\frac{\text{г}}{\text{м}^2 \cdot \text{т}}\right)^{\alpha_1} \cdot \left(\frac{\text{М} \cdot \text{г}}{\text{т}^3 \cdot \text{Т}}\right)^{\alpha_2} \cdot (\text{т})^{\alpha_3} \cdot \left(\frac{\text{М} \cdot \text{г}}{\text{т}^3 \cdot \text{Т}}\right)^{\alpha_4} \cdot \left(\frac{\text{М} \cdot \text{г}}{\text{т}^3 \cdot \text{Т}}\right)^{\alpha_5} \cdot (\text{т})^{\alpha_6} \cdot \left(\frac{\text{М}}{\text{т}}\right)^{\alpha_9} \cdot (\text{Т})^{\alpha_{10}} \cdot (\text{Т})^{\alpha_{11}} \cdot \left(\frac{\text{г}}{\text{т}^3}\right)^{\alpha_{12}}}, \quad (3)$$

В нашому випадку, чотири незалежних розмірності. З останнього співвідношення отримуємо:

$$t: -2 \cdot \alpha_{13} - 2 \cdot \alpha_{14} - 2 \cdot \alpha_{15} + \alpha_7 + \alpha_1 + 3 \cdot \alpha_2 - \alpha_3 + 3 \cdot \alpha_4 + 3 \cdot \alpha_5 - \alpha_6 + \alpha_9 + 3 \cdot \alpha_{12} = 1, \quad (4)$$

$$T: \alpha_8 + \alpha_2 + \alpha_4 + \alpha_5 - \alpha_{10} - \alpha_{11} = 0 \quad (5)$$

$$M: -\alpha_{13} - \alpha_{14} - \alpha_{15} + 2 \cdot \alpha_1 - \alpha_2 - \alpha_4 - \alpha_5 - \alpha_9 = 0 \quad (6)$$

$$g: \alpha_{13} + \alpha_{14} + \alpha_{15} - \alpha_1 - \alpha_2 - \alpha_4 - \alpha_5 - \alpha_{12} = 0 \quad (7)$$

Враховуючи властивості деяких матеріалів в різних шарах, а також вплив на покрівельну систему, отримуємо:

$$\alpha_{13} = \alpha_{14} = \alpha_{15}, \quad \alpha_1 = \alpha_3 = \alpha_6, \quad \alpha_2 = \alpha_4 = \alpha_5, \quad \alpha_{10} = \alpha_{11}, \quad (8)$$

Тоді виходимо на наступну систему алгебраїчних рівнянь:

$$t: -6 \cdot \alpha_{13} + \alpha_7 + 9 \cdot \alpha_2 - \alpha_1 + \alpha_9 + 3 \cdot \alpha_{12} = 1, \quad (9)$$

$$T : \alpha_8 + 3 \cdot \alpha_2 - 2 \cdot \alpha_{10} = 0, \quad (10)$$

$$M : -3 \cdot \alpha_{13} + 2 \cdot \alpha_1 - 3 \cdot \alpha_2 - \alpha_9 = 0, \quad (11)$$

$$z : 3 \cdot \alpha_{13} - \alpha_1 - 3 \cdot \alpha_2 - \alpha_{12} = 0, \quad (12)$$

Після елементарних перетворень отримуємо:

$$\alpha_1 = 8, \alpha_2 = 1, \alpha_3 = 8, \alpha_4 = 1, \alpha_5 = 1, \alpha_6 = 8, \alpha_7 = 20, \alpha_8 = 1, \alpha_9 = 1, \\ \alpha_{10} = 2, \alpha_{11} = 2, \alpha_{12} = 1, \alpha_{13} = 4, \alpha_{14} = 4, \alpha_{15} = 4, \quad (13)$$

Запишемо формулу для розрахунку строку служби покрівельної системи:

$$t = A \cdot \frac{\left(\frac{z}{M \cdot t^2}\right)^4 \cdot \left(\frac{z}{M \cdot t^2}\right)^4 \cdot \left(\frac{z}{M \cdot t^2}\right)^4 \cdot \left(\frac{z}{M^2 \cdot t}\right)^8 \cdot \left(\frac{M \cdot z}{t^3 \cdot T}\right)^1 \cdot (t)^8 \cdot \left(\frac{M \cdot z}{t^3 \cdot T}\right)^1 \cdot \left(\frac{M \cdot z}{t^3 \cdot T}\right)^1 \cdot \frac{(t)^{20} \cdot (T)^1}{(t)^8 \cdot \left(\frac{M}{t}\right)^1 \cdot (T)^2 \cdot (T)^2 \cdot \left(\frac{z}{t^3}\right)^1}, \quad (14)$$

Кожний з показників в реальних умовах не визначений, тому будемо вважати, що вони розподілені за рівномірним законом на відповідних відрізках.

Тоді функція розподілення ймовірностей напрацювання є:

$$F = \prod_{i=1}^n \frac{X_i - a_i}{b_i - a_i}, \quad (15)$$

де  $n$  — кількість показників  $X$ ;

$a_i$  — нижня межа  $i$  відрізка;

$b_i$  — верхня межа  $i$  відрізка.

В загальному вигляді строк служби буде:

$$f = A \cdot \prod_{i=1}^n X_i^{\alpha_i}, \quad (16)$$

Тоді, встановивши  $A$ , отримаємо математичне очікування  $f$ , що відповідає потенційному строку служби покрівельної системи у роках та середньоквадратичне відхилення.

Таким чином, знаючи межі змін властивостей матеріалів покриття та впливів на нього, дана модель дозволяє розрахувати потенційний строк служби покрівельної системи.

**Висновки.** 1. Визначені основні задачі, вирішення яких необхідно для створення методології проектування покрівельних систем.

2. Розроблена модель розрахунку потенційного строку служби покрівельної системи, що у відповідності до єврокодів є одним з критеріїв надійності.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Радкевич, А.В. Анализ существующих проблем организационно-технологической надежности кровельных систем [Текст] / А.В. Радкевич, В.Ф. Худенко, В.М. Глуценко // Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна. — Днепропетровск, 2015. — Вып. 56. — С. 222-230.

2. Радкевич, А.В. *Повышение энергоэффективности зданий путем обеспечения организационно-технологической надежности кровельных систем [Текст] / А.В. Радкевич, В.Ф. Худенко, В.М. Глущенко // Строительство, материаловедение, машиностроение: сборник научных трудов. – Днепропетровск, 2015. – Вып. 81 – С. 161 – 167.*

3. Седов, Л.И. *"Методы подобия и размерности в механике" [Текст] / Л.И. Седов. – М.: Наука, 1977. – 440 с.*

#### АННОТАЦИЯ

Важной задачей нового строительства, реконструкции, модернизации зданий и сооружений на сегодня является значительное повышение их энергоэффективности и сокращение средств при последующей эксплуатации. Определены задачи, решение которых необходимо для создания методологии проектирования кровельных систем. Представлено решение одной из определенных задач – модель расчета долговечности кровельной

системы, в основе которой лежит теория размерности.

Ключевые слова: энергоэффективность, здания и сооружения, методология проектирования кровельных систем, модель расчета долговечности кровельной системы.

#### ANNOTATION

A crucial problem of new building, reconstruction and modernization of buildings and constructions today is significant improvement of their energy performance and cutting down expenditures during their further exploitation. There has been determined the tasks, the solution of which is crucial for development of methodology for roofing systems designing. There has been provided a solution of one of above tasks – calculation model for roofing system durability based on dimension theory.

Key words: energy performance, buildings and constructions, methodology for roofing systems designing, calculation model for roofing system durability.



**Науково-дослідний інститут будівельного виробництва (НДІБВ)**

#### Пропонуємо нормативну та методичну літературу:

№	Назва	Мова	Ціна за примірник
1	„Методичні рекомендації визначення вартості робіт з обстеження, оцінки технічного стану і паспортизації будівель і споруд”	Укр.	120,00
2	ДБНУ „Ремонт і підсилення несучих та огорожувальних будівельних конструкцій і основ промислових будинків та споруд”	Укр./рус.	250,00
3	«Методичні рекомендації з виконання геодезичних робіт у будівництві»	Укр.	120,00
4	«Типові норми чисельності працюючих на підприємствах комунальної теплоенергетики»	Укр.	700,00
5	«Посібник з питань здійснення державного архітектурно-будівельного контролю»	Укр.	360,00
6	„Нормативні документи з питань обстежень, паспортизації, безпечної та надійної експлуатації виробничих будівель і споруд”	Укр.	270,00
7	«Гідроізоляція будівель і споруд. Сучасні вимоги»	Укр.	96,00
8	Науково-технічний супровід реконструкції Національного спортивного комплексу «Олімпійський» в Києві	Укр.	300,00

Вартість вказана з урахуванням ПДВ.

Витрати на пересилання одного примірника – 30,00 грн.

Більш докладна інформація на нашому сайті: [www.ndibv.kiev.ua](http://www.ndibv.kiev.ua)

(044) 248-48-68 ф.

E-mail: [vistavca@ukr.net](mailto:vistavca@ukr.net)