

Врахування вартості життєвого циклу при проектуванні суміщених покриттів будівель

Галина Гетун¹, Ігор Лесько²

Київський національний університет будівництва і архітектури
31, просп. Повітрофлотський, Київ, Україна, 03037,
¹galinagetun@ukr.net, orcid.org/0000-0002-3317-3456,
²lesko.ua@gmail.com, orcid.org/0000-0003-2515-5220

DOI: 10.32347/2310-0516.2018.11.95-102

Анотація. Метою даного дослідження є висвітлення ролі критерію вартості життєвого циклу при прийнятті рішень щодо вибору огорожувальних конструкцій покриттів житлових і нежитлових будівель.

У сучасній будівельній практиці України визначним фактором погодження замовником/інвестором проектного рішення суміщених покриттів будівель є мінімізація витрат на будівництво. Хоча для досягнення максимальної ефективності використання матеріальних ресурсів необхідним є оцінка витрат на період усього життєвого циклу об'єкта.

Оптимізація вартості життєвого циклу будівлі повинна зайняти ключову роль в процесі прийняття рішень, оскільки вона включає економічний аналіз витрат, пов'язаних з будівництвом, експлуатацією та обслуговуванням будівельного об'єкта. Найбільший ефект від використання вартості життєвого циклу можна отримати на стадії проектування будівель.

Сучасні покрівельні системи, в яких використовуються ефективні матеріали і технології дозволяють створювати герметичні, енергоефективні та надійні конструктивні рішення суміщених покриттів, які доцільно використовувати не лише в нежитлових будівлях, а й в багатоповерхових житлових будинках.

Задача вибору оптимального рішення огорожувальної конструкції суміщеного покриття на стадії проектування будівлі визначається як багатокритеріальна кардинального вибору альтернатив з різними важливими критеріями зі скінченної множини допустимих рішень при вирішенні слабко структурованої проблеми з чітко заданими розподіленими параметрами.

В даній статті наведені пропозиції щодо вибору типів складових шарів суміщених



Галина Гетун
професор кафедри
архітектурних конструкцій
к.т.н., проф.



Ігор Лесько
аспірант кафедри
архітектурних конструкцій

покриттів будівель. Представлені параметри, що дозволяють проектувати енергоефективні технічно, економічно та екологічно раціональні системні рішення суміщених покриттів будівель.

Ключові слова. Енергоефективність, вартість життєвого циклу, суміщені покриття, ізоляційні шари, вибір оптимального рішення.

ВСТУП

Покриття – це будівельна система (гідро- і термоізолююча оболонка), основним функціональним призначенням якої є захист приміщень та конструкцій будівлі від проникнення несприятливих атмосферних впливів, збереження тепла і підтримання комфортних умов в приміщеннях.

Покриття формують силуети мегаполісів, відіграють важливу роль в архітектурній панорамі міст і, найголовніше, – впли-

вають на довговічність будівель. Передумовою для виконання цих функцій є знаходження оптимальних параметрів для проектування конструктивних рішень, що гарантують забезпечення необхідного температуро-вологісного режиму експлуатації внутрішніх приміщень.

На даний момент проектування покриттів будівель в Україні необхідно виконувати згідно з вимогами ДБН В.2.6-220:2017 «Покриття будівель і споруд». Основними положеннями даного нормативу є: раціональний вибір конструкції покриття з урахуванням *архітектурно-будівельних і економічних показників*, забезпечення надійного відведення води з покрівлі, забезпечення урахування експлуатаційних та кліматичних навантажень на покриття.

Разом з цим, відповідно до ДБН В.2.6-31:2016 «Теплова ізоляція будівель», *енергетична ефективність будівель* – це властивість будівлі, її конструктивних елементів та інженерного обладнання забезпечувати протягом очікуваного *життєвого циклу* будівлі побутові потреби людини та оптимальні мікрокліматичні умови для її перебування та/або проживання у приміщеннях при нормативно допустимому (оптимальному) рівні витрат енергетичних ресурсів на опалення, освітлення, вентиляцію, кондиціонування повітря, гаряче водопостачання з урахуванням місцевих кліматичних умов.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

В будівельній галузі капітальні витрати на будівництво майже завжди відокремлюються від вартості технічного обслуговування. Витрати на життєвий цикл і його завершення рідко розглядаються під час проектування. Практика полягає в тому, щоб погодити найнижчі капітальні витрати на будівництво, і відокремити витрати на технічну експлуатацію будівлі.

У зв'язку з наявністю широкої номенклатури ізоляційних матеріалів, що мають різні техніко-економічні показники, виникає необхідність уточнення нормативних вимог, які не регламентують вибір конкре-

тних типів шарів, з яких може складатись оптимальна покрівельна система та урахування витрат на її повний життєвий цикл при забезпеченні енергетичної ефективності огорожувальних елементів.

Досвід провідних будівельних компаній показує, що незначне підвищення капітальних витрат на будівництво може значно покращити техніко-економічні параметри будівельного елемента у часовому періоді експлуатації від 5 років. Так, наприклад, застосування надійних пароізоляційних матеріалів підвищує початкові затрати на систему в середньому на 6,5%, при цьому забезпечує сталість вологісного режиму утеплювача більше, ніж на 15 років. Важливо відмітити, що надлишкове зволоження мінераловатного утеплювача при негерметичній пароізоляції зменшує опір теплопередачі конструкції через 10 років експлуатації на 20...40% і призводить до процесів конденсації вологи в товщі покрівельної конструкції. Подібні залежності можна виявити і при дослідженні параметрів міцності та довговічності термо- і гідроізолюючих шарів плоских покриттів.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Покриття будівель класифікують: за об'ємно-планувальними рішеннями – горищні (з горищним простором) або безгорищні; за геометричною формою та умовами водовідведення – похилі або плоскі; за системою ізоляції – холодні, теплі або суміщені. В будівлях, висотою понад 18 м, за вимогами ДБН В.2.6-220:2017 «Покриття будівель і споруд» передбачається внутрішнє водовідведення води з проектуванням плоских покриттів. В умовах щільної забудови міст та висотних обмежень для багатопверхових нежитлових будівель найчастіше використовуються плоскі суміщені покриття. Для багатопверхових житлових будинків за вимогами ДБН В.2.2-15-2005 «Житлові будинки. Основні положення» рекомендується проектувати горищними плоскими. Безгорищні суміщені та експлуатовані покриття проектують в багатопверхових житлових будинках, які споруджу-

ють за індивідуальними проектами. Сучасні покрівельні системи, в яких використовуються ефективні матеріали і технології, дозволяють створювати герметичні, енергоефективні та надійні конструктивні рішення суміщених покриттів.

Типи системного складу суміщених покриттів повинні бути енергоефективними і враховувати технологічні, економічні, експлуатаційні й екологічні вимоги до будівель в залежності від:

- виду функціонального призначення будівлі;
- експлуатаційного навантаження на покрівельний килим;
- ваги 1 м² покриття;
- типу несучої конструкції покриття;
- порядку розміщення основних елементів покриття;
- вартості матеріалів, монтажу, експлуатації та їх утилізації (життєвого циклу).

Досвід кращих світових практик засвідчує, що врахування вартості життєвого циклу при проектуванні покриттів будівель підвищує їх інвестиційну привабливість, дозволяє прогнозувати і точно оцінювати ефективність витрат на споруду. Розрахунок вартості життєвого циклу – одна з головних форм аналізу ефективності прийнятих рішень за ISO 15686-5:2017 «Buildings and constructed assets – Service life planning – Part 5: Lifecycle costing» (Рис. 1, 2).

Вимоги до енергоефективності будівлі та її життєвого циклу також використовуються в системі добровільної сертифікації LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), що розроблена Радою по «зеленому» будівництву США. Проектувальники, інженери, будівельники, власники будівель, керуючі компаніями шляхом застосування сучасних підходів до проектування, врахування природних та інфраструктурних особливостей будівельних майданчиків і потреб кінцевих користувачів створюють якісні, довговічні, енергоефективні та привабливі об'єкти.

Проте, задача вибору оптимального рішення конструкцій покриття будівлі в практиці українського проектування з урахуванням наведених критеріїв життєвого

циклу зазвичай не розглядається, а погодження варіантів здійснюється на основі ординального вибору (конкретного технічного завдання, що ґрунтується на попередньому досвіді замовника; досвіду в предметній галузі проектувальника, його ставлення до проблеми, зацікавленості у результаті, особистісних якостей; зовнішньої мотивації, впливу думок інших експертів, впливу відповідальності за використання результату експертизи тощо).

Загальну схему прийняття рішень при проектуванні суміщеного покриття будівлі можна описати в такому вигляді (Рис. 3). Кожен блок 1–5 наведеної схеми потребує конкретизації та певної формалізації. Задача із заданою множиною альтернатив і принципом оптимальності є загальною задачею оптимізації, зміст якої полягає у виділенні множини кращих альтернатив. При умові, що принцип оптимальності задається множиною критеріальних функцій, необхідно розв'язувати задачу багатокритеріальної оптимізації [19].

Отже, аналіз варіантів при виборі оптимального конструктивного рішення покриття будівлі зводиться до задачі багатокритеріальної оцінки альтернатив. Згідно класифікації системного аналізу [0], усі проблеми вибору поділяють на три класи:

- добре структуровані (*well-structured*), або кількісно сформульовані проблеми, у яких суттєві залежності виявлені дуже добре;
- не структуровані (*unstructured*) або якісно виражені проблеми, що містять лише опис найважливіших ресурсів, ознак та характеристик, кількісні залежності між якими абсолютно невідомі;
- слабо структуровані (*ill-structured*), або змішані проблеми, які містять як кількісні елементи, так і якісні, не до кінця з'ясовані показники.

Враховуючи, що проектування огорожувальних конструкцій будівель різного типу є складним процесом, містить якісні та кількісні складові, задачу вибору оптимальних конструктивних рішень суміщених покриттів можна віднести до слабо структурованих задач вибору.

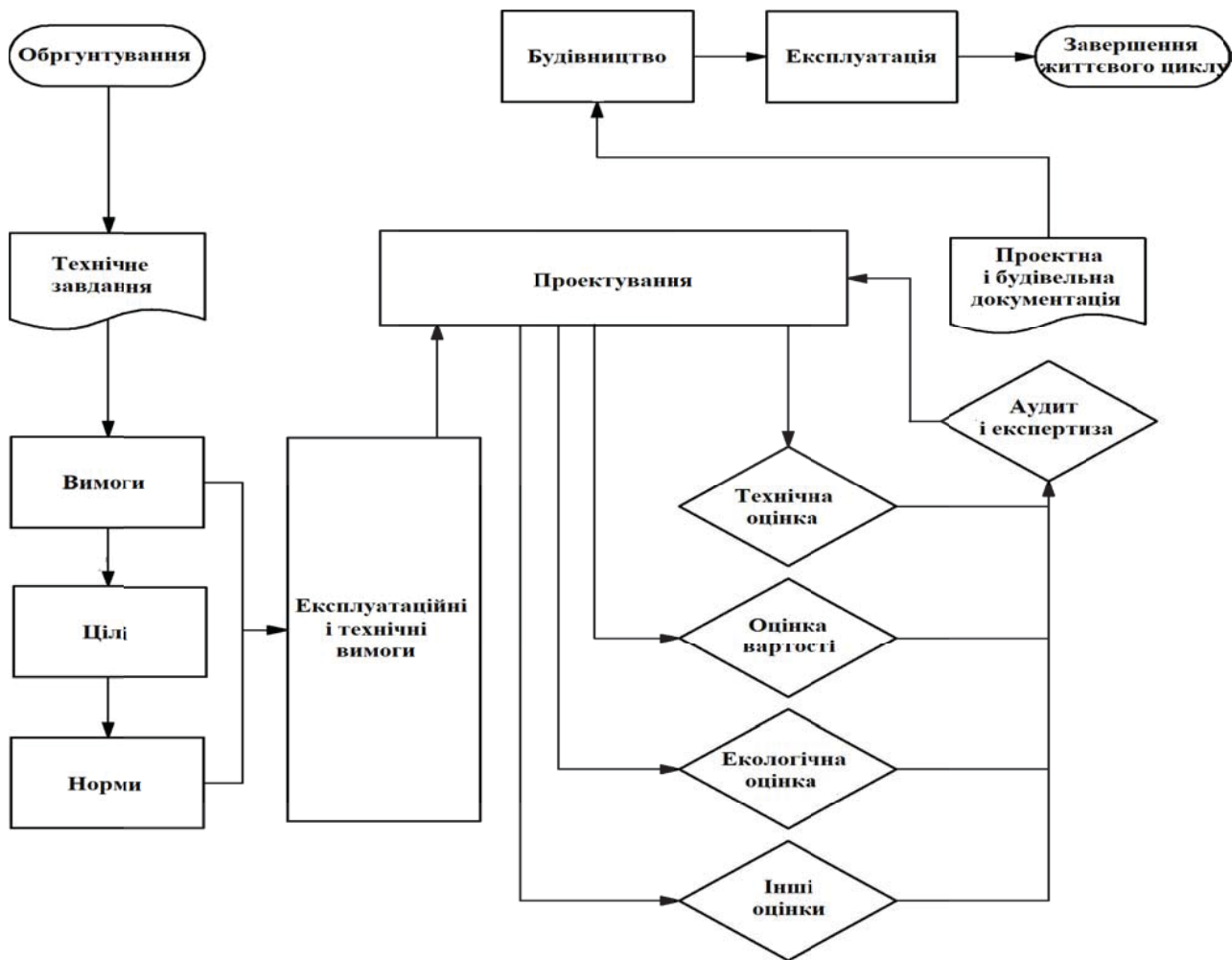


Рис.1. Експлуатаційні та технічні вимоги в контексті життєвого циклу проекту.

Fig.1. Performance requirements in the context of the project life cycle.

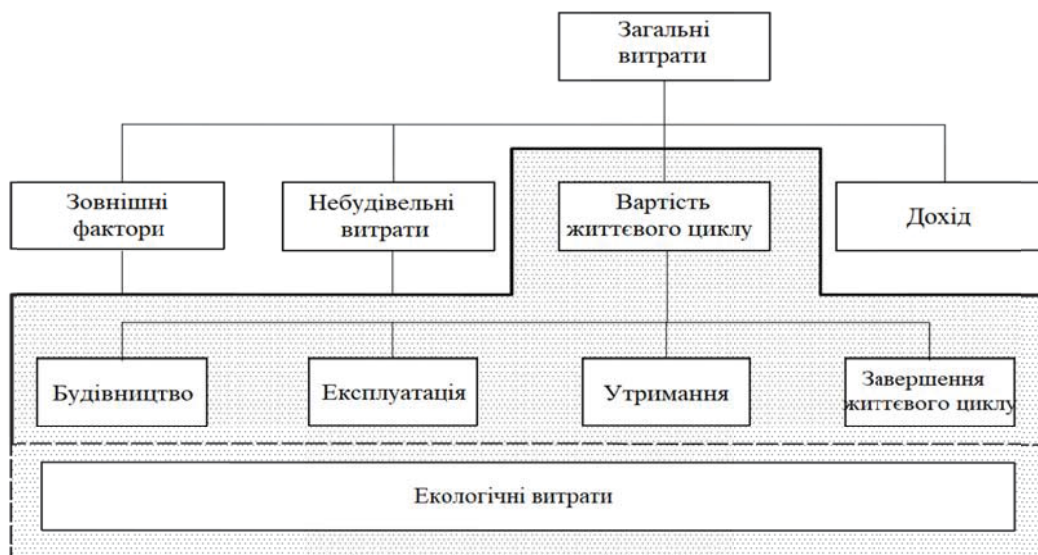


Рис. 2. Елементи вартості загального і життєвого циклів.

Fig. 2. Whole-life cost and life cycle cost elements.



Рис. 3. Загальна схема прийняття рішень при проектуванні конструкцій
Fig. 3. General scheme of decision-making for designing constructions

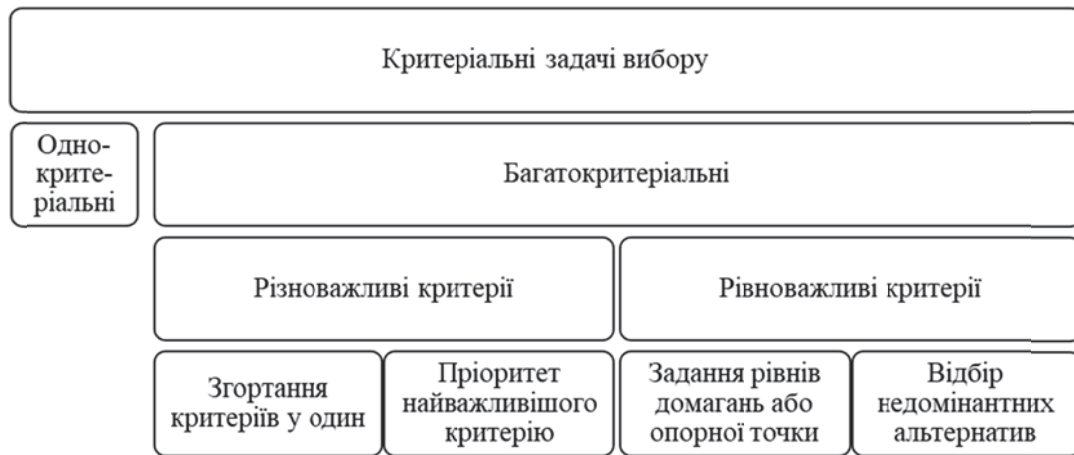


Рис. 4. Класифікація критеріальних задач вибору
Fig. 4. Criterion problems of choice classification

Найбільш поширеними є дві групи методів вибору раціональних рішень: ординального і кардинального.

Група методів ординального вибору виконує упорядкування n -варіантів, яке здійснюється групою експертів. З їх індивідуальних оцінок знаходиться групова оцінка [0]. Для отримання експертних оцінок з прийнятним рівнем точності застосовується зазвичай метод Дельфі – процедура отримання експертних оцінок шляхом неодноразового опитування групи спеціалістів [0Error! Reference source not found.]. Метод експертних оцінок по суті є універсальним по відношенню до вирішення задач багатокритеріального вибору, проте, насправді, працює лише із зовнішніми аспек-

тами прийняття рішення, не торкаючись процедурної частини проблеми.

Друга група методів кардинального вибору заснована на критеріальній оцінці альтернатив. Класифікація критеріальних задач вибору наведена на Рис. 4 [0].

ВИСНОВКИ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Таким чином, задача вибору оптимального рішення огорожувальної конструкції суміщеного покриття на стадії проектування будівлі може бути визначена як задача багатокритеріального кардинального вибору альтернатив з різноважливими критеріями зі скінченої множини допустимих рі-

шень при вирішенні слабо структурованої проблеми з чітко заданими розподіленими параметрами. Суміщені покриття із сучасним покрівельними системами доцільно використовувати не лише в нежитлових будинках, а й в багатоповерхових житлових будинках. Серед ключових параметрів і обмежень для суміщених покриттів будівель виділяємо:

- тип несучої основи: профлісти по прогонах, дерев'яний настил, монолітна залізобетонна плита, збірні залізобетонні плити (багатопустотні, ребристі, суцільні), комбінований;

- тип фінішного покриття: експлуатоване чи неексплуатоване, озеленене (в т. ч. з визначенням індексу відбиття сонячного випромінювання SRI), традиційне або інверсійне;

- інтенсивність обслуговування покриття (обмежений доступ до покрівлі, обслуговування покрівлі, наявність та розміщення обладнання);

- вимоги протипожежної безпеки: вогнестійкість REI, межа поширення полум'я M; група горючості матеріалів G; технології монтажу матеріалів із/без застосування відкритого полум'я;

- тип приміщень, розташованих безпосередньо під суміщеним покриттям (з нормальною/підвищеною вологістю, температурний режим);

- технологічні вимоги: місце розташування об'єкту (врахування регіональності використовуваних матеріалів і їх складових), сезонність виконання робіт;

- управління будівельними відходами: використання матеріалів, що придатні до переробки;

- вартість життєвого циклу.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Alexandri E., Jones P.** Developing a one-dimensional heat and mass transfer algorithm for describing the effect of green roofs on the built environment: Comparison with experimental results. *Building and Environment*. 2007. 42(8). P. 2835–2849. doi:10.1016/j.buildenv.2006.07.004
2. **Carter T., Keeler A.** Life-cycle cost-benefit analysis of extensive vegetated roof systems. *Journal of Environmental Management*. 2008 87(3), P. 350–363. doi:10.1016/j.jenvman.2007.01.024
3. **Dhillon B. S.** Life cycle costing for engineers. *Taylor and Francis Group*. 2010. 204 p.
4. **Mbachu J., Seadon J.** Productivity Improvement in Building Life Cycle: Development process, role-players and efficiency improvement. 2013. 140 p.
5. **Mumovic D., Santamouris M.** A Handbook of Sustainable Building Design and Engineering. An integrated approach to energy, health and operational performance. 2009. 435 p.
6. **Niachou A., Papakonstantinou K., Santamouris M., Tsangrassoulis A., Mihalakakou G.** Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance. *Energy and Buildings*. 2001. 33(7). P. 719–729. doi:10.1016/S0378-7788(01)00062-7
7. **Renata Schneiderova Heralova** Life Cycle Cost optimization within decision making on alternative designs of public buildings. *Procedia Engineering*. 2014. (85). P. 454–463. doi:10.1016/j.proeng.2014.10.572
8. **Santamouris M.** Energy, Carbon and Cost Performance of Building Stocks: Upgrade Analysis, Energy Labelling and National Policy Development. *Advances in building energy research/2009*. 3. 322 p. doi:10.3763/aber.2009.0303
9. **Sarja A.** Integrated Life Cycle Design of Structures, 2002. 130 p.
10. **Sartori I. and Hestnes A. G.** Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: A review article. *Energy and Buildings*. 2007. 39(3). P. 249–257. doi:10.1016/j.enbuild.2006.07.001
11. **Schroeder, H.** Sustainable Building with Earth. 2016. 560 p. doi:10.1007/978-3-319-19491-2
12. **W. Bull, J.** Life Cycle Costing for Construction. *Taylor and Francis Group*. 2003. 159 p.
13. **Wilkinson S. J., Remoy H., Langston, C.** Sustainable building adaptation: innovations in decision-making. *John Wiley and Sons*, 2014. 278 p.
14. **Yates J. K., Castro-Lacouture D.** Sustainability in Engineering Design and Construction. 2016. 426 p.
15. **Білик А. С.** Вибір оптимальних конструктивних рішень сталевих ферм покриттів: автореферат дис. канд. техн. наук: 05.23.01. К.: КНУБА, 2009. 26 с.
16. **Гегун Г. В.** Архітектура будівель та споруд. Книга 1. Основи проектування: Підручник. К.: КОНДОР, 2011. 378 с.

17. **Микони С. В., Козченко Р. В., Созоновский П. Г.** Выбор наилучших вариантов из баз данных. *Сборник докладов конф. по мягким вычислениям и измерениям. SCM99*. СПб. : СПГЭТУ, 1999. С. 3–14.
18. Многокритериальный выбор при решении слабоструктуризованных проблем [Отв. ред. **С. В. Емельянов**]. М. : ВНИСИ, 1978. 109 с.
19. **Волошин О. Ф., Машенко С. О.** Моделі та методи прийняття рішень: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2010. 336 с.
20. **Брукинг А., Джонс П., Кокс Ф.** и др. Экспертные системы. Принципы работы и примеры. М. : Радио и связь, 1987. 224 с.
8. **Santamouris M. (2009).** Energy, Carbon and Cost Performance of Building Stocks: Upgrade Analysis, Energy Labelling and National Policy Development. *Advances in building energy research*, 3, 322 p. doi:10.3763/aber.2009.0303
9. **Sarja A. (2002).** Integrated Life Cycle Design of Structures, 130.
10. **Sartori I., Hestnes A. G. (2007).** Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: A review article. *Energy and Buildings*, 39(3), 249-257. doi:10.1016/j.enbuild.2006.07.001
11. **Schroeder H. (2016).** Sustainable Building with Earth, 560. doi:10.1007/978-3-319-19491-2
12. **W. Bull J. (2003).** Life Cycle Costing for Construction. *Taylor and Francis Group*, 159.
13. **Wilkinson S. J., Remoy H., Langston C. (2014).** Sustainable building adaptation: innovations in decision-making. *John Wiley and Sons*, 278.
14. **Yates J. K., Castro-Lacouture D. (2016).** Sustainability in Engineering Design and Construction, 426.
15. **Bilyk A. (2009)** Vybir optymalnykh konstruktivnykh rishen stalevykh ferm pokryttiv [Selection of optimal design solutions for steel coatings]. Kyiv National University of Construction and Architecture, 26 (in Ukrainian).

REFERENCES

1. **Alexandri E., Jones P. (2007).** Developing a one-dimensional heat and mass transfer algorithm for describing the effect of green roofs on the built environment: Comparison with experimental results, *Building and Environment*, 42 (8), 2835–2849. doi:10.1016/j.buildenv.2006.07.004
2. **Carter T., Keeler A. (2008).** Life-cycle cost-benefit analysis of extensive vegetated roof systems. *Journal of Environmental Management*, 87(3), 350–363. doi:10.1016/j.jenvman.2007.01.024
3. **Dhillon B. S. (2010).** Life cycle costing for engineers. Taylor and Francis Group, 204 p.
4. **Mbachu J., Seadon J. (2013).** Productivity Improvement in Building Life Cycle: Development process, role-players and efficiency improvement, 140.
5. **Mumovic D., Santamouris M. (2009).** A Handbook of Sustainable Building Design and Engineering. An integrated approach to energy, health and operational performance, 435.
6. **Niachou A., Papakonstantinou K., Santamouris M., Tsangrassoulis A., Mihalakakou G. (2001).** Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance. *Energy and Buildings*, 33(7), 719–729. doi : 10.1016/S0378-7788(01)00062-7
7. **Renata Schneiderova Heralova (2014).** Life Cycle Cost optimization within decision making on alternative designs of public buildings. *Procedia Engineering*, (85), 454–463. doi :10.1016/j.proeng.2014.10.572
16. **Getun G. (2011).** Arkhitektura budivel ta sporud [Architecture of buildings and structures]. Book 1st. Fundamentals of designing, 378 (in Ukrainian).
17. **Mikoni S. (1999).** Vybor nailuchshikh variantov iz baz dannykh [Choosing the best options from databases], 3-14 (in Russian).
18. **Emelyanov S. (1978).** Mnogokriterialnyy vybor pri reshenii slabostukturizirovannykh proble [Multicriteria choice for solving weakly structured problems], 109 (in Russian).
19. **Voloshin O., Mashchenko S. (2010).** Modeli ta metody pryiniattia rishen [Models and methods of decision-making], 336 (in Ukrainian).
20. **Brooking A., Jones P., Cox F. (1987).** Ekspertnyye sistemy. Printsipy raboty i primery [Expert systems. Principles and case studies], 224 (in Russian).

**Design flat-roof coatings
considering their life-cycle cost**

*Galyna Getun,
Ihor Lesko*

Summary. The purpose of this article is to highlight the role of life cycle cost criterion in deciding on the choice of flat-roof coatings. The main factor that investors commonly use is construction cost minimization. In order to achieve maximum efficiency of resource use, it is necessary to estimate the cost of the entire life cycle.

The optimization of the life-cycle cost should play a key role in the decision-making process, as the life cycle assessment includes an economic analysis of the costs associated with the construction, operation, and maintenance. The greatest effect in the life cycle cost can be obtained at the design stage of residential and non-residential buildings.

Modern roofing systems that use efficient materials and technologies allow us to create an airtight, energy-efficient and safe constructive solutions combined coatings that are useful not only in non-residential but also in high-rise residential buildings.

The task of selecting the optimal solution of the enclosing structure combined coverage at the design stage of a building is defined as a multi-objective resource selection alternatives of various important criteria from a finite set of possible solutions when addressing poorly structured problems with clearly specified distributed parameters.

This article contains suggestions for the actualization of regulatory requirements for flat roof layer types selection. Given parameters allow designing energy-efficient technically, economically and environmentally effective system solutions for combined flat roofs.

Keywords. Energy efficiency, life cycle costing, combined coating, insulating layers, optimal solutions.