

Г. С. Ратушняк
Ю. С. Бікс
А. О. Лялюк

МОНІТОРИНГ ТА ЕКСПЕРТНО-АНАЛІТИЧНА ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНОЇ ОБОЛОНКИ БУДІВЕЛЬ

Вінницький національний технічний університет

Проаналізовано сучасний стан досліджень з моніторингу та експертно-аналітичної оцінки надійності теплоізоляційної оболонки будівель. Встановлено, що надійність теплоізоляційної оболонки визначається організаційно-технологічними чинниками, які впливають на ймовірність теплової відмови огорожувальних конструкцій. Запропоновано структурну схему концепції проведення моніторингу з метою розроблення механізмів забезпечення надійності теплоізоляційної оболонки будівель. Структурна схема концепції здійснення моніторингу надійності теплоізоляційної оболонки будівель передбачає, що складовими цільової програми моніторингу є технічне діагностування за результатами експериментального тепловізного обстеження, аналіз ризиків теплової відмови огорожувальних конструкцій та розроблення експертно-аналітичної оцінки надійності теплоізоляційної оболонки будівель.

Ключові слова: моніторинг, надійність, огорожувальні конструкції, теплоізоляційна оболонка.

Вступ

Підвищення енергетичної ефективності будівель потребує впровадження енергозберігаючих заходів, які проектується та реалізуються відповідно до чинного законодавства за результатами моніторингу надійності теплоізоляційної оболонки [1, 2, 3, 4]. Внаслідок теплової відмови огорожувальних конструкцій збільшуються витрати енергоносіїв на забезпечення оптимальних параметрів мікроклімату приміщень будівель та погіршуються санітарно-гігієнічні параметри приміщень (змочування, цвіль та грибок стін) [5, 6]. Вирішенню проблеми з оцінювання надійності теплоізоляційної оболонки будівель присвячено ряд досліджень [7, 8, 9, 10, 11]. Розроблення концепції реалізації інвестиційної фази проекту з підвищення енергетичної ефективності будівель потребує подальшого вдосконалення інструментарію з моніторингу та експертно-аналітичної оцінки надійності теплоізоляційної оболонки для прийняття управлінських організаційно-технологічних рішень щодо зменшення впливу відповідних параметрів на теплову відмову огорожувальних конструкцій.

Актуальність та аналіз результатів досліджень і публікацій

Концепції Енергетичної стратегії України регулюється нормативною базою відповідно чинного законодавства, яке визначає правові та організаційні засади діяльності в будівельній галузі та житлово-комунальному господарстві. Реалізація концепції сприяє зменшенню споживання енергії та збитків навколишньому середовищу, а також використання відновлювальних джерел енергії.

Закон «Про енергетичну ефективність будівель» [1] визначає правові та організаційні засади стосовно зменшення споживання енергетичних ресурсів у будівлях. Основні заходи із підвищення рівня енергетичної ефективності будівель повинні забезпечувати зменшення енергоспоживання будівель. Такі заходи розробляються за результатами здійснення комплексного обстеження та запровадження автоматизованих систем моніторингу і управління.

Екологічне законодавство [2] – система нормативно-правових актів, що містять еколого-правові норми. Вони дозволяють регулювати екологічні правові відносини при використанні природних ресурсів, охорони навколишнього природного середовища і забезпечення екологічної безпеки (видобуток природної будівельної сировини, виробництво будівельних матеріалів, технології влаштування будівель та рециклінгу будівельних матеріалів).

Закон про альтернативні відновлювальні джерела енергії [3], до яких належать енергія сонця, вітрова, геотермальна, гідротермальна, аеротермальна, енергія хвиль та припливів, гідроенергія, енергія біомаси, біогазів, та вторинних енергетичних ресурсів та перетворення складного енергопотенціалу технологічних процесів визначає правові, економічні, екологічні та організаційні засади їх використання у паливно-енергетичному комплексі.

Вирішенню теоретичних та практичних задач визначення ймовірності теплової відмови та експертно-аналітичній оцінці надійності теплоізоляційної оболонки будівель присвячені дослідження зарубіжних та вітчизняних вчених.

За результатами дослідження надійності та довговічності теплоізоляції будинків запропоновано класифікацію теплових відмов теплоізоляційної оболонки [7]. Як вихідні дані для статистичного аналізу причини теплових відмов використано базу знань про проектні, технологічні, експлуатаційні та концептуальні ризики, що впливають на надійність теплоізоляційної оболонки. Розподіл виникнення ймовірності теплових відмов у будинках різних років забудови 10-40 %.

В роботі [8] запропонована методика визначення теплової відмови огорожувальних конструкцій від випадкових факторів, а саме зовнішньої температури, ширини теплопровідного включення та значення лінійного коефіцієнту теплопередачі. Чисельно ймовірність теплової відмови огорожувальної конструкції із лінійними теплопровідними включеннями за критерієм недостатнього значення приведенного опору теплопередачі обчислюється за запропонованими формулами. Методика дозволяє при визначенні теплової відмови теплоізоляційної оболонки будівель враховувати проектно-конструктивні рішення та технологію влаштування огорожувальних конструкцій.

Дисертаційна робота [9] присвячена вирішенню проблеми впливу динамічних теплових характеристик та конструктивних рішень огорожувальних конструкцій на тепловий режим приміщень. Підкреслено, що існуючі методики нормування теплостійкості, тобто оцінки теплового стану огорожувальних конструкцій за змінних кліматичних умов, не дозволяють оцінити проектні пропорції будівель за енергоефективними показниками їх конструктивних рішень. Запропоновано методику оцінювання теплостійкості приміщення в зимовий та літній періоди з врахуванням всіх теплових впливів на будівлю.

В монографії [11] розглянуто сучасні методи і засоби моніторингу теплоенергетичного обладнання на етапах генерування, транспортування та споживання теплової енергії. Охарактеризовано системи теплопостачання та експлуатаційна надійність їх складових. Досліджено методи і засоби моніторингу огорожувальних конструкцій будівель. Підкреслено, що при проектуванні та розробленні системи моніторингу, ядром якої є інформаційно-вимірювальні системи, однією із провідних задач є обґрунтування множини діагностичних ознак, які супроводжують об'єкт дослідження.

В роботі [12] запропоновано інструментарій для оптимізації конструктивно-технологічних рішень з термодернізації огорожувальних конструкцій будівель. Підкреслено необхідність розроблення універсальної критеріальної оцінки конструкції, яка б забезпечувала зважену оцінку за такими напрямками як надійність, екологічність, технологічність, економічність тощо. Акцентовано увагу на подальше вдосконалення методик з оптимізації теплової оболонки будівель.

В роботі [13] розглянуто методи і засоби створення комп'ютеризованих систем автоматичного моніторингу та контролю параметрів теплового комфорту в будівлях за умов неповної інформації про об'єкти керування з метою вдосконалення прийняття рішень щодо суттєвого зменшення енергоємності житлово-комунального сектору міст. Обґрунтовано інноваційний підхід стосовно формування структури та критеріїв ефективного функціонування комп'ютеризованих систем автоматичного контролю теплового комфорту в приміщеннях. Наведено результати чисельного моделювання з використанням сучасних методів багатокритеріального аналізу при обґрунтуванні типу і матеріалів огорожувальних конструкцій.

В монографії [14] запропоновано математичну модель оцінки надійності забезпечення ефективності теплоізоляційних будівельних матеріалів, які використовуються при влаштуванні огорожувальних конструкцій з використанням біосферосумісних матеріалів.

Дослідженнями зарубіжних авторів [15, 16, 17, 18] встановлено, що визначальним чинником впливу на ймовірність теплової відмови огорожувальних конструкцій будівель є різноманітність теплотехнічних характеристик будівельних матеріалів та виробів, що мають кількісні та якісні показники. Також вони підкреслюють необхідність врахування різноманітних технологічних факторів влаштування теплоізоляційної оболонки будівель.

Формування мети та постановка задачі статті

Проведений аналіз відомих досліджень з розвитку науково-методичних засад моніторингу з оцінки надійності теплоізоляційної оболонки будівель з метою розроблення та впровадження заходів з підвищення енергетичної ефективності огорожувальних конструкцій дозволив сформулювати мету та задачі досліджень. Метою роботи є дослідження за результатами аналізу літературних джерел науково-методологічного інструментарію з вирішення проблеми з оцінювання надійності теплоізоляційної оболонки будівель та розроблення концептуальної схеми проведення моніторингу та експертно-аналітичної оцінки ризиків теплової відмови огорожувальних конструкцій. Для цього необхідно вирішити наступні задачі:

- виконати аналіз існуючих досліджень з розвитку науково-методологічних основ вдосконалення методів моніторингу з визначення ризиків теплової відмови огорожувальних конструкцій, що призводить до погіршення їхніх теплозахисних параметрів;
- розробити структурну схему концепції проведення моніторингу та експертно-аналітичної оцінки надійності теплоізоляційної оболонки будівель.

Результати досліджень

Аналіз нормативних та літературних джерел свідчить про відсутність єдиного науково-методологічного інструментарію з оцінки надійності теплоізоляційної оболонки будівель. З метою вирішення цієї проблеми, особливо при відсутності достовірної та необхідної кількості бази даних про теплову відмову, доцільним є розроблення структурної схеми концепції моніторингу та експертно-аналітичної оцінки надійності теплоізоляційної оболонки будівлі.

Визначальними чинниками надійності теплоізоляційної оболонки будівель є особливості параметрів огорожувальних конструкцій, дотримання технології її влаштування та експлуатації, комплексні параметри будівельних виробів та матеріалів. Надійність теплоізоляційних будівельних виробів визначається ймовірністю безвідмовного стану їхніх параметрів із забезпечення нормованих показників мікроклімату в приміщеннях при заданих умовах їх експлуатації [6, 7, 8]

$$R(t) = 1 - F(t) = P(t \leq T), \quad (1)$$

де $R(t)$ – імовірність безвідмовного стану комплексних параметрів теплоізоляційних будівельних виробів;

t – час імовірності втрати нормативних параметрів будівельних виробів;

$F(t)$ – імовірність втрати нормативних параметрів будівельних виробів;

F – імовірність відмови нормативного стану комплексних параметрів теплоізоляційних будівельних виробів;

T – значення критерію, що характеризує безвідмовний стан.

Широкий спектр існуючих теплоізоляційних будівельних матеріалів та виробів із них через відсутність достатньої бази даних про значний термін їхньої експлуатації та значень параметрів про теплову відмову не завжди дозволяє за формулою (1) оцінити імовірність безвідмовного стану комплексних параметрів.

Складовими механізми реалізації концепції проведення моніторингу надійності теплоізоляційної оболонки (рис. 1) є правове регулювання, адміністративне управління, адміністративні та екологічні інструменти та управління інформацією.

Правове регулювання передбачає ратифікацію та врахування в національних законодавчих актах міжнародних угод з енергозбереження та охорони довкілля. Адміністративне управління включає проведення державної експертизи з енергозбереження на засадах державної енергозберігаючої політики, з врахуванням екологічного фактора.

Структурна схема концепції проведення моніторингу надійності теплоізоляційної оболонки (рис. 1) передбачає такі складові цільової програми енергоаудиту як технічна діагностика тепловтрат через зовнішні огорожувальні конструкції за результатами експериментальних тепловізійних обстежень, експертно-аналітичної оцінки з використанням математичного моделювання з врахуванням кількісних та якісних чинників, а також аналіз ризиків теплової відмови огорожувальних конструкцій. Отримана інформація є підґрунтям для оптимізації процесу прийняття управлінських рішень та технологічних заходів щодо підвищення надійності теплоізоляційної оболонки будівель.



Рисунок 1 – Структурна схема концепції проведення моніторингу та експертно-аналітичної оцінки надійності теплоізоляційної оболонки будівель

Висновки

При реалізації методології та механізмів моніторингу з оцінки надійності теплоізоляційної оболонки будівель з метою прийняття організаційно-технологічних рішень стосовно підвищення енергоефективності будівель в цілому доцільно дотримання таких чинників:

- урахування міжнародних енергетичних стандартів і показників при експертно-аналітичній оцінці надійності теплоізоляційної оболонки будівель;
- гармонізація регіональних можливостей та особливостей стосовно використання сучасних енергоефективних технологій влаштування теплоізоляційної оболонки;
- впровадження інноваційних енергозберігаючих заходів та технологій, що зменшують імовірність теплової відмови огорожувальних конструкцій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Про енергетичну ефективність будівель: Закон України від 22.06.2017 № 2118-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/2118-19> (Дата звернення: 23.02.2019).
2. Про охорону навколишнього середовища. Закон України від 25.06.91 р. №1264-XII. URL <https://zakon.rada.gov.ua> (дата звернення 12.01.2023).
3. Про альтернативні джерела енергії. Закон України від 25.09.2008 р. №601-VI. URL <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555> (дата звернення 12.01.2023).
4. Про енергозбереження: Закон України від 01.07.94 р. № 74/94-ВР. Дата оновлення: 23.07.2017. URL: <https://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/74/94-вр> (Дата звернення: 23.02.2019).
5. ДБН В.6 – 31:2016. Теплова ізоляція будівель.[Чинний від 2017-05-01]. Вид. Офіц. Київ: Мінрегіонбуд України, 2017. 33 с. (Державні будівельні норми).
6. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. ДБН В.1.2-14:2018.

7. Фаренюк Г. П. Основи забезпечення енергоефективності будинків та теплової надійності огорожувальних конструкцій: монографія. Київ: Гамма-Принт, 2009. 137 с.
8. Семко В.О. Методика визначення ймовірності теплової відмови огорожувальних конструкцій із сталевих холодноформованих елементів за теплотехнічними показниками. *Строительство, материаловедение, машиностроение*. Вип. 91. 2016. с. 140-146.
9. Філоненко О.І. Динамічні теплові характеристики огорожувальних конструкцій будівель: автореф. дис. докт. техн. наук. Полтава, 2021.
10. Недбайло О.М. Теплофізичні аспекти підвищення ефективності будівлі при використанні низькотемпературних систем її теплозабезпечення та термомодернізації огорожувальних конструкцій: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.14.06 / Київ, 2018. 28 с.
11. Апаратно-програмне забезпечення моніторингу об'єктів генерування, транспортування та споживання теплової енергії: монографія / В.П. Бабак, В.С. Берещук та ін. / К.: Ін-т технічної теплофізики НАН України, 2016. 298 с.
12. Максимов А.О. Організаційні підходи до термомодернізації будівель на підставі оптимізації вибору конструктивно-технологічних рішень: автореф. дис. канд. техн. наук, Одеса, 2021.
13. Перехрест А.Л. Методи та засоби створення високоефективних комп'ютеризованих систем автоматичного контролю параметрів теплового комфорту в будівлях: автореф. дис. д-ра техн. наук. Покровск, 2020.
14. Потенціал енергетичної ефективності огорожувальних конструкцій із біосферосумісних матеріалів: монографія / Ю.С. Бікс, Г.С. Ратушняк, О.Г. Лялюк, О.Г. Ратушняк / Вінниця: ВНТУ, 2022. 132 с.
15. F. Pacheco-Torgal, S. Jalali, "Earth construction: Lessons from the past for future eco-efficient construction", *Construction and Building Materials*, vol. 29, p. 512-519, 2012.
16. Rajesh Kumar Jain, "A study on ecofriendly cost effective earth bag house construction", *Kathmandu University Journal of Science, Engineering and Technology*, vol. 9, no. 1, pp. 200-211, 2013.
17. Carabaño R. *Life Cycle Assessment (LCA) of building materials for the evaluation of building sustainability: the case of thermal insulation materials*. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/316645292_Life_Cycle_Assessment_LCA_of_building_materials_for_the_evaluation_of_building_sustainability_the_case_of_thermal_insulation_materials. Last accessed 03.11.2019.
18. L. Brojan, A. Petric and Peggi L. Clouston, "A comparative study of brick and straw bale wall systems from environmental, economic and energy perspectives", *ARP Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 8, no.11, pp. 920-926, 2013.

REFERENCES

1. Pro enerhetychnu efektyvnist budivel: Zakon Ukrainy vid 22.06.2017 № 2118-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/2118-19> (Data zvernennia: 23.02.2019).
2. Pro okhoronu navkolyshnoho seredovyscha. Zakon Ukrainy vid 25.06.91 r. №1264-KhII. URL <https://zakon.rada.gov.ua> (data zvernennia 12.01.2023).
3. Pro alternatyvni dzhherela enerhii. Zakon Ukrainy vid 25.09.2008 r. №601-VI. URL <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555> (data zvernennia 12.01.2023).
4. Pro enerhozberezhennia: Zakon Ukrainy vid 01.07.94 r. № 74/94-VR. Data onovlennia: 23.07.2017. URL: <https://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/74/94-vr> (Data zvernennia: 23.02.2019).
5. DBN V.6 – 31:2016. Teplova izoliatsiia budivel.[Chynnyi vid 2017-05-01]. Vyd. Ofits. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy, 2017. 33 s. (Derzhavni budivelni normy).
6. Zahalni pryntsyzy zabezpechennia nadiinosti ta konstruktyvnoi bezpeky budivel i sporud. DBN V.1.2-14:2018.
7. Farenjuk H. P. Osnovy zabezpechennia enerhoefektyvnosti budynkiv ta teplovoi nadiinosti ohorodzhualnykh konstruksii: monohrafiia. Kyiv: Hamma-Prynt, 2009. 137 s.
8. Semko V.O. Metodyka vyznachennia ymovirnosti teplovoi vidmovy ohorodzhualnykh konstruksii iz stalevykh kholodnoformovanykh elementiv za teplotekhnichnymy pokaznykamy. *Stroytelstvo, materialovedenye, mashynostroeny*. Vyp. 91. 2016. s. 140-146.
9. Filonenko O.I. Dynamichni teplovi kharakterystyky ohorodzhualnykh konstruksii budivel: avtoref. dys. dokt. tekhn. nauk. Poltava, 2021.
10. Nedbailo O.M. Teplofizychni aspekty pidvyshchennia efektyvnosti budivli pry vykorystanni nyzkotemperaturnykh system yii teplozabezpechennia ta termomodernizatsii ohorodzhualnykh konstruksii: avtoref. dys. ... d-ra tekhn. nauk: 05.14.06 / Kyiv, 2018. 28 s.
11. Aпаратно-програме забезпечення мониторингу об'єктів генерування, транспортування та споживання теплової енергії: монографія / В.П. Бабак, В.С. Берещук та ін. / К.: Ін-т технічної теплофізики НАН України, 2016. 298 с.
12. Maksymov A.O. Orhanizatsiini pidkhody do termomodernizatsii budivel na pidstavi optymizatsii vyboru konstruktyvno-tekhnolohichnykh rishen: avtoref. dys. kand. tekhn. nauk, Odesa, 2021.
13. Perekhrest A.L. Metody ta zasoby stvorennia vysokoeffektyvnykh kompiuteryzovanykh system avtomatychnoho kontroliu parametriv teplovoho komfortu v budivliakh: avtoref. dys. d-ra tekhn. nauk. Pokrovsk, 2020.
14. Potentsial enerhetychnoi efektyvnosti ohorodzhualnykh konstruksii iz biosferosumisnykh materialiv: monohrafiia / Yu.S. Biks, H.S. Ratushniak, O.H. Lialiuk, O.H. Ratushniak / Vinnytsia: VNTU, 2022. 132 s.
15. F. Pacheco-Torgal, S. Jalali, "Earth construction: Lessons from the past for future eco-efficient construction", *Construction and Building Materials*, vol. 29, p. 512-519, 2012.
16. Rajesh Kumar Jain, "A study on ecofriendly cost effective earth bag house construction", *Kathmandu University Journal of Science, Engineering and Technology*, vol. 9, no. 1, pp. 200-211, 2013.
17. Carabaño R. *Life Cycle Assessment (LCA) of building materials for the evaluation of building sustainability: the case of thermal insulation materials*. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/316645292_Life_Cycle_Assessment_LCA_of_building_materials_for_the_evaluation_of_building_sustainability_the_case_of_thermal_insulation_materials. Last accessed 03.11.2019.

18. L. Brojan, A. Petric and Peggi L. Clouston, "A comparative study of brick and straw bale wall systems from environmental, economic and energy perspectives", ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, vol. 8, no.11, pp. 920-926, 2013.

Ратушняк Георгій Сергійович – к.т.н., професор, завідувач кафедри Інженерних систем у будівництві Вінницького національного технічного університету, e-mail: ratusnag@gmail.com, ORCID 0000-0001-9656-5150

Бікс Юрій Семенович – к.т.н., доцент, Вінницький національний технічний університет, e-mail: biksuriy@gmail.com, ORCID-0000-0002-5775-2014

Лялюк Андрій Олександрович – аспірант, Вінницький національний технічний університет.

G. Ratushnyak

Yu. Biks

A. Lyalyuk

MONITORING AND EXPERT-ANALYTICAL ASSESSMENT OF THE RELIABILITY OF THE BUILDING INSULATION SHELL

Vinnitsia National Technical University

The current state of research on monitoring and expert-analytical assessment of the reliability of the thermal insulation envelope of buildings is analyzed. It was established that the reliability of the thermal insulation shell is determined by organizational and technological factors that affect the probability of thermal failure of the enclosing structures. A structural diagram of the concept of monitoring is proposed for the purpose of developing mechanisms for ensuring the reliability of the thermal insulation envelope of buildings. The structural scheme of the concept of monitoring the reliability of the thermal insulation shell of buildings assumes that the components of the target monitoring program are technical diagnostics based on the results of experimental thermal imaging survey, analysis of the risks of thermal failure of enclosing structures and the development of an expert analytical assessment of the reliability of the thermal insulation shell of buildings.

Keywords: monitoring, reliability, enclosing structures, thermal insulation shell.

Ratushnyak Georgy Sergeevich – Ph.D., Professor, Head of the Department of Engineering Systems in Construction of Vinnitsia National Technical University, e-mail: ratusnag@gmail.com

Biks Yuriy Semenovych – Ph.D., Associate Professor, Vinnitsia National Technical University, e-mail: biksuriy@gmail.com

Lyalyuk Andriy Oleksandrovych – post-graduate student, Vinnitsia National Technical University.