

ОРГАНІЗАЦІЯ, УПРАВЛІННЯ ТА ЕКОНОМІКА В БУДІВНИЦТВІ

УДК 697.329:658.56:69

DOI: 10.31649/2311-1429-2024-2-181-192

І. Н. Дудар

О. Г. Лялюк

Є. М. Опря

А. О. Лялюк

ОЦІНКА СТАНУ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ У СФЕРІ ОБЛАШТУВАННЯ, ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА ТЕРМОМОДЕРНІЗАЦІЇ ПОКРИТТІВ

Вінницький національний технічний університет

У статті розглянуто стан організаційно-технологічних рішень у сфері облаштування, експлуатації та термомодернізації покриттів. Проведено аналіз сучасних підходів до їх організації та технологій, оцінено ефективність існуючих методів експлуатації та обслуговування. Наведений аналіз сучасного стану нормативно-правового забезпечення реалізації термомодернізації застарілого житлового фонду. Більшість державних програм не могли бути реалізовані повною мірою через відсутність державної фінансової підтримки. Зроблений аналіз існуючих матеріалів для даху, утеплювачів, оцінені їх переваги, недоліки та строки служби.

Визначено ключові проблеми та недоліки в реалізації термомодернізаційних заходів, а також досліджено вплив організаційно-технологічних факторів на якість і довговічність покриттів. Для дослідження стану організаційно-технологічних рішень у сфері облаштування, експлуатації та термомодернізації покриттів використовували аналітичні, експериментальні, економічні та цифрові методи.

На основі отриманих результатів запропоновано шляхи оптимізації технологічних процесів і організаційних рішень для підвищення ефективності термомодернізації.

Для оцінки організаційно-технологічних рішень у сфері покриттів запропоновано використовувати критерії: теплові втрати, екологічну ефективність, економічна ефективність, рівень зношеності покриттів, енергозбереження. Ці критерії використовуються при моделюванні за допомогою теорії нечітких процесу прийняття організаційно-технологічних рішень у сфері покриттів.

Практична цінність цієї статті полягає у можливості використання отриманих результатів для вдосконалення організаційно-технологічних процесів термомодернізації покриттів для: підвищення ефективності будівельних процесів – запропоновані рекомендації можуть сприяти оптимізації технологій монтажу та обслуговування покриттів, що зменшить витрати часу та ресурсів; збільшення довговічності покриттів – аналіз факторів, що впливають на їх надійність, допоможе розробити стратегії мінімізації ризиків передчасного зношування; енергоефективність та економія ресурсів – результати дослідження можуть бути використані для впровадження більш ефективних термомодернізаційних рішень, що сприятиме зниженню енергоспоживання будівель; удосконалення нормативної та методичної бази – отримані висновки можуть бути застосовані при розробці нових нормативних документів та вдосконаленні існуючих стандартів у сфері будівництва та експлуатації покриттів; застосування у проектуванні та реконструкції – будівельні компанії, архітектори та інженери можуть використовувати результати дослідження для вибору оптимальних матеріалів та технологій при будівництві та модернізації будівель.

Ключові слова: термомодернізація, покрівля, енергоефективність, довговічність, експлуатація.

Вступ

В Україні затверджений операційний план заходів з реалізації у 2024-2026 роках Довгострокової стратегії термомодернізації будівель на період до 2050 року кабінетом Міністрів України від 29 грудня 2023 р. № 1228 – р. Більше 80 % будівель побудовано до 1991 р. в Україні, енергоспоживання такими будівлями – $163 \text{ кВт} \times \text{год} / \text{м}^2$, що перевищує на 30 – 50 % показник європейських країн. Це пояснюється великими тепловтратами через огорожувальні конструкції з низькими теплоізоляційними властивостями і спонукає фахівців шукати нові технологічні та організаційні підходи до модернізації та облаштування покриттів (О. Semko et al., 2017, С. Diakaki et al., 2010).

Протягом 2000-2019 років в ЄС рівень енергоефективності житлових будівель збільшився на 29 %. В жовтні 2020 р. В ЄС відповідно до European Green Deal (Європейська зелена угода) започаткований проєкт Renovation Wave (Хвиля реновації) для житлових та громадських будівель для того, щоб збільшити у двічі річні темпи термомодернізації будівель, до 2030 р. 35 млн. будівель повинні досягнути високого рівня енергоефективності. На Україні вартість комплексної термомодернізації багатоквартирного будинку на початку 2022 р. – близько 8 млн. грн., а на кінець року у зв'язку з інфляцією, спричиненою війною, - понад 12 млн. грн.

Відповідно до стратегічних пріоритетів інноваційної діяльності, визначених Законом України «Про інноваційну діяльність», впровадження енергозберігаючих покриттів будівель є важливим аспектом підвищення енергоефективності. Невирішеною залишається проблема вдосконалення

організаційно-технологічного регламенту влаштування та експлуатації огорожувальних конструкцій будівель. Відсутній цілісний комплекс моделей, методів і інструментів для впровадження ефективних організаційно-технологічних рішень щодо вибору енергозберігаючих покриттів будівель (ДБН В.2.6 – 31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель). Також недостатньо досліджені питання обґрунтування організаційно-технологічних підходів до вибору енергозберігаючих покриттів для існуючих будівель (ДСТУ В.2.6-220:2017 Покриття будівель і споруд). У контексті глобальних екологічних викликів і зростання вартості енергоносіїв, енергозберігаючі технології в будівництві набувають особливої значущості. Скорочення енерговитрат на опалення та кондиціонування будівель стає одним із ключових завдань сучасної архітектури.

Мета дослідження: Оцінити стан організаційно-технологічних рішень у сфері облаштування, експлуатації та термомодернізації покриттів з метою підвищення їх ефективності, довговічності та енергоефективності.

Завдання дослідження:

1. Проаналізувати сучасні підходи до організації та технології облаштування покриттів.
2. Дослідити ефективність існуючих рішень щодо експлуатації та обслуговування покриттів.
3. Визначити основні проблеми та недоліки в реалізації термомодернізаційних заходів.
4. Оцінити вплив організаційно-технологічних факторів на якість та довговічність покриттів.
5. Запропонувати шляхи оптимізації технологічних процесів та організаційних рішень для підвищення ефективності термомодернізації.

Огляд літератури

Вибір відповідного утеплювача для даху є ключовим етапом, який впливає на енергоефективність будівлі, комфорт у приміщеннях і тривалість експлуатації покрівлі. Якісне утеплення даху мінімізує теплові втрати взимку та запобігає перегріву влітку. Під час вибору утеплювача важливо враховувати не лише його теплоізоляційні властивості, але й такі фактори, як стійкість до вологи, екологічність – викидів парникових газів (Z.J. Ma et al., 2012), вогнестійкість і довговічність. Правильний підхід до термомодернізації дозволяє покращити показники енергоефективності з 37 % до майже 60 %, а також скоротити викиди CO₂ майже на 50 % (K. Szczotka, et al. 2023).

В роботі M. Nuruddin et al. (2011) розглядається застосування новітнього покрівельного матеріалу – Карок волокна з низькою теплопровідністю. Автори роботи Y. Zhang (2022) розглянули теплоізоляційні характеристики покрівлі будівлі в поєднанні з фототермічною технологією. V. Joshi et al. (2020) зробив аналіз різних типів даху (залізобетонний дах; дах із оцинкованого заліза; газон на залізобетонному даху; шар вологої піщаної подушки на залізобетонному даху; дах із глиняної черепиці та солом'яний дах), оцінив роль покрівельного елемента у зменшенні сонячного нагріву. Результати показали, що газон на залізобетонному даху може бути найкращим вибором серед розглянутих варіантів. З іншого боку, дах із глиняної черепиці та солом'яний дах виявилися кращими за залізобетонний дах з точки зору зменшення теплового навантаження. В роботах (A. Jayalath et al., 2016, L. Dong et al., 2015) представлені порівняльні теплові характеристики різних досліджувальних покрівельних матеріалів. A. Jayalath et al. (2016) дослідив вплив шарів даху зі зміною фази на теплові характеристики житлового будинку. Було виготовлено Shilei Lu et al. (2016) своєрідну евтектичну суміш (Фазово-змінні матеріали, PCM), яка була інкапсульована в поліетиленову трубу підвищеної термостійкості для використання в будівництві дахів. Фазово-змінні матеріали (PCM) і холодні матеріали, що використовуються в будівництві, можуть не тільки ефективно зменшити споживання енергії будівлями, але й покращити тепловий комфорт у приміщенні.

Матеріали та методи

Для отримання нових наукових результатів у дослідженні стану організаційно-технологічних рішень у сфері облаштування, експлуатації та термомодернізації покриттів можуть бути використані різні матеріали, методи, прийоми та підходи, що дозволяють здійснити комплексний аналіз та виявити шляхи покращення існуючих рішень.

Проаналізували **нормативно-правові документи:**

- Державні будівельні норми щодо облаштування та експлуатації покриттів:
- ДБН В.2.6-31:2021 Теплова ізоляція та енергоефективність будівель;
- ДБН В.1.2-11:2021 Основні вимоги до будівель і споруд. Енергозбереження та енергоефективність.

- ДСТУ В.2.6-220:2017 Покриття будівель і споруд.
- ДСТУ Б В.2.6-100:2010 Конструкції будинків і споруд. Методи визначення теплостійкості огорожувальних конструкцій.
- ДСТУ Б В.2.7-182:2009 будівельні матеріали. Методи визначення термінц ефективної експлуатації та теплопровідності ізоляційних матеріалів у розрахункових та стандартних умовах.
- ДСТУ Б В.2.2-39:2016 Методи та етапи проведення енергетичного аудиту будівель.
- ДСТУ – Н Б А.2.2-13:2015 Енергетична ефективність будівель. Настанова з проведення енергетичної оцінки будівель.
- ДСТУ – Н Б В.2.6-190:2013 Настанова з розрахункової оцінки показників теплостійкості та тепло засвоєння огорожувальних конструкцій
- ДСТУ – Н Б В.2.6-214:2016 Настанова з улаштування та експлуатації дахів будинків, будівель і споруд.
- ДСТУ – EN 15232-1:2017 (EN 15232 – 1:2017, IDT) Енергоефективність будівель.

Частина 1. Вплив автоматизованих систем моніторингу та управління будівлями. Модулі M10-4, 5, 6, 7, 8, 9, 10.

- Програми державного фінансування термомодернізації (ЄС та місцеві ініціативи):
- проєкт Renovation Wave в ЄС;
- Довгострокова стратегія термомодернізації будівель на період до 2050 року;
- постанова від 25.11.2022 № 1315 Про затвердження Порядку обміну інформацією між Державним агентством з енергоефективності та енергозбереження та кваліфікаційними організаціями.

○ Закони та стандарти у сфері енергоефективності будівель: Стандарт організації України ресурсні елементні кошторисні норми на ремонтно-будівельні роботи улаштування покрівель із полівінілхлоридних мембран СОУ Д.2.4-38470464-001:2013. СОУ Д.2.4-38754579-001:2017.

Методи дослідження стану організаційно-технологічних рішень термомодернізації покриттів можуть бути:

○ **Експериментальні методи:** Лабораторні випробування матеріалів на стійкість до навантажень, вологи, температурних змін; Тестування ефективності утеплювачів та покриттів у різних експлуатаційних умовах; Випробування нових методів монтажу та герметизації стиків покриттів.

○ **Математичне та комп'ютерне моделювання:** Використання програм (наприклад, ANSYS, COMSOL, EnergyPlus) для розрахунку тепловтрат через покриття; Структурний аналіз міцності та довговічності різних конструкцій покриттів; Віртуальне тестування впливу кліматичних факторів на покриття.

В статті Л. Кучеренко (2023) при визначенні впливу організаційно-технологічних факторів на тривалість утеплення фасадів використовували експериментально-статистичне моделювання на основі кількісних даних.

○ **Економічний аналіз:** Розрахунок вартості термомодернізації та її окупності; Оцінка ефективності різних фінансових моделей підтримки енергоефективних заходів; Порівняння вартості традиційних та інноваційних матеріалів у довгостроковій перспективі.

○ **Методи експертного оцінювання:** Опитування та анкетування будівельних експертів щодо ефективності існуючих технологій; SWOT-аналіз (оцінка сильних і слабких сторін, можливостей та загроз для термомодернізаційних рішень); Метод DELPHI – колективне оцінювання перспективності впровадження нових технологій.

○ **Моніторинг та польові дослідження:** Вимірювання температури, вологості, теплових втрат на реальних об'єктах; Візуальний контроль та фіксація дефектів покриттів після термомодернізації; Використання тепловізійного обстеження для виявлення зон тепловтрат.

С. Уоп (2018) провів дослідження для перевірки теплових характеристик системи прохолодного даху шляхом вимірювання температури у верхній і нижній частині системи прохолодного даху на створеній мініатюрній моделі (600×600×600 мм).

Для отримання нових наукових результатів у дослідженні стану організаційно-технологічних рішень термомодернізації покриттів можуть бути використані наступні **підходи**:

○ **Системний підхід:** розглядати покриття як частини комплексної енергетичної системи будівлі; аналізувати взаємозв'язок між вибором матеріалів, методами монтажу та подальшою експлуатацією.

○ **Комплексний підхід:** поєднувати технічний, економічний та екологічний аналіз ефективності термомодернізації; врахувати соціально-психологічні аспекти (мотивація власників будівель до термомодернізації).

○ **Порівняльний підхід:** аналізувати ефективності традиційних та сучасних методів утеплення покриттів; оцінювати досвід різних країн щодо політики та технологій термомодернізації.

○ **Енергоефективний підхід:** орієнтуватися на зменшення енергоспоживання будівель через удосконалення покриттів; впроваджувати екологічно чисті та ресурсозберігаючі технології.

○ **Цифровий підхід:** використовувати BIM-моделювання для створення цифрових копій покриттів та аналізу їх експлуатації; застосувати IoT-технології для моніторингу стану покриттів у реальному часі.

Результати

Аналіз сучасних підходів до організації та технології облаштування покриттів.

Покриття будівель є одним із найбільш вразливих елементів у тепловому балансі будівлі. Втрати тепла через покриття можуть становити до 20–30% загальних теплових втрат. Був проведений аналіз в таблиці 1 будівельних матеріалів покриття, оцінені їх переваги, недоліки та строки служби.

Таблиця 1

Аналіз будівельних матеріалів покриття.

Матеріал	Переваги	Недоліки	Строк служби
Металочерепиця	Легка 4,5 кг на 1м ² , естетична, доступна ціна, великий вибір кольорів і форм	Гучна під час дощу, висока теплопровідність потребує якісної тепло- та шумоізоляції, схильна до корозії при пошкодженні покриття	20–50 років
Керамічна черепиця	Екологічність, довговічність, висока естетичність, хороші звукоізоляційні властивості, стійкість до ультрафіолету.	Висока ціна, велика вага 50–60 кг на 1м ² , складність монтажу	50–100 років
Бітумна черепиця	Гнучка, легко укладається на складні дахи, хороша звукоізоляція	Менш довговічна, потребує рівної основи, вразлива до сильного сонця	20–30 років
Профнастил	Легка вага, доступна ціна, швидкість монтажу	Гучна під час дощу, може іржавіти, не така естетична, як інші матеріали	15–30 років
Композитна черепиця	Поєднання міцності металу та естетичності кераміки, легка вага	Вища ціна порівняно з металочерепицею, потребує професійного монтажу	30–50 років
Натуральний сланець	Довговічність, естетичність, стійкість до погодних умов	Дуже висока ціна, складність монтажу, велика вага	80–150 років
Полікарбонат	Легкість, прозорість, підходить для альтанок і навісів	Недовговічний, погано витримує снігові навантаження, потребує заміни при пошкодженні	10–15 років
Очеретяний дах	Екологічність, відмінна тепло- та звукоізоляція, унікальний вигляд	Висока ціна, пожежонебезпечність, потребує регулярного догляду	25–50 років
Мембранний дах	Легкість, водонепроникність, підходить для плоских дахів	Висока ціна, пожежонебезпечність, потребує регулярного догляду	25–50 років
Асбоцементні хвилясті листи (шифер)	Доступна ціна, стійкість до вогню, довговічність	Можливість появи тріщин, важкість, неекологічність (містить азбест)	30–50 років
Мідний дах	Естетичність, висока довговічність, стійкість до корозії	Дуже висока ціна, складність монтажу, підвищена теплопровідність	80–150 років

Вибір утеплювального матеріалу залежить від типу покрівлі, кліматичних умов і доступного бюджету. Правильно обраний утеплювач сприяє зниженню витрат на опалення та охолодження, запобігає утворенню конденсату, грибка й цвілі, а також забезпечує додаткову звукоізоляцію. Були проаналізовані різні види утеплювачів на ринку (таблиця 2), їх переваги, недоліки та строки служби. Термомодернізація включає:

- Підвищення теплоізоляційних властивостей;
- Впровадження енергоефективних матеріалів;
- Застосування технологій, які знижують експлуатаційні витрати.

Технологічні рішення для термомодернізації покриттів базуються на використанні:

- Матеріалів з низькою теплопровідністю. Наприклад, екструзійний пінополістирол дозволяє зменшити тепловтрати на 25–30 %.

• Покриттів із відбиваючими властивостями. "Холодні дахи" зі світловідбивними мембранами знижують нагрівання будівлі влітку, що зменшує потребу в кондиціонуванні.

Таблиця 2

Аналіз утеплювачів для покрівлі.

Утеплювач	Переваги	Недоліки	Строк служби
Мінеральна вата	Хороша тепло- та звукоізоляція, негорюча, екологічна	Вразлива до вологи, потребує паро- та гідроізоляції	50–70 років
Скловата	Легка, доступна ціна, хороша тепло- та звукоізоляція	Подразнює шкіру при монтажі, вразлива до вологи, потребує додаткової ізоляції	30–50 років
Екструдований пінополістирол (XPS)	Висока щільність, водонепроникність, міцність	Горючий (при відсутності антипіренів), паронепроникний, дорожчий за інші утеплювачі	50 років
Пінопласт	Легка вага, низька ціна, хороші теплоізоляційні властивості	Горючий, крихкий, може пошкоджуватися гризунами	20–30 років
Ековата	Екологічний матеріал, гарна тепло- та звукоізоляція	Потребує професійного монтажу, вразлива до вологи, можливість усадки з часом	50 років
Пінополіуретан (ППУ)	Безшовна ізоляція, водонепроникність, висока енергоефективність	Висока ціна, потребує спеціального обладнання для нанесення, паронепроникний	50–70 років
Поліізоціанурат (PIR)	Жорсткий теплоізоляційний матеріал, що є вдосконаленою версією пінополіуретану. Дуже низька теплопровідність (0.022–0.028 Вт/м·К). Легка вага. Стійкість до вогню	Висока ціна,	50+ років
Базальтова вата	Висока щільність, негорюча, стійка до вологи, довговічна	Вища ціна порівняно з іншими мінераловатними утеплювачами	50–70 років
Кам'яна вата	Висока вогнестійкість, хороша теплоізоляція, звукоізоляція	Вразлива до вологи, потребує паро- та гідроізоляції	50–70 років
Пінополістирол (EPS)	Легка вага, хороші теплоізоляційні властивості, стійкий до вологи	Горючий, виділяє токсичні речовини при нагріванні, менш довговічний, ніж екструдований варіант	20–30 років
Тирса	Доступна ціна, екологічність	Низька ефективність теплоізоляції, горючість, потребує додавання антисептиків і захисту від гризунів	10–20 років
Керамзит	Негорючий, екологічний, стійкий до вологи	Висока вага, менш ефективний у порівнянні з іншими утеплювачами	50+ років
Піноскло	Висока міцність, негорючий, водонепроникний, екологічний	Висока ціна, крихкість	50–100 років
Конопляний утеплювач	Екологічний, хороша теплоізоляція, стійкий до гризунів	Висока ціна, потребує якісного захисту від вологи	50+ років
Пінзеля, або пінополістирольна плита з графітовими добавками	Висока стійкість до механічних пошкоджень, низька теплопровідність та гарна звукоізоляція	Потребує якісного монтажу та захисту від вологи	20–30 років
Пінобетон (виготовляється з цементного розчину з додаванням піноутворювача)	Негорючий, висока міцність, стійкість до вологи та гризунів, екологічність, легка вага (порівняно зі звичайним бетоном)	Велика вага, що може створювати додаткове навантаження на покрівельну конструкцію. Вища теплопровідність, ніж у мінеральної вати або пінополістиролу. Потребує професійного монтажу. Дорожчий, ніж пінопласт	50+ років

Ефективність експлуатації та обслуговування покриттів залежить від багатьох факторів, таких як технологія облаштування, використані матеріали, кліматичні умови, навантаження та рівень догляду. Досліджуючи цю тему, можна виділити кілька ключових аспектів:

1. Аналіз технологій експлуатації покриттів базується на використанні традиційних та інноваційних методів догляду за покриттями, на моніторингу стану покриттів за допомогою

цифрових технологій (сенсори, дрони, аналітика даних), на впровадженні автоматизованих систем контролю.

2. Оцінка ефективності існуючих методів обслуговування

- Регулярність та якість профілактичного обслуговування.

- Вплив частоти ремонтних робіт на довговічність покриттів.

- Аналіз витрат на обслуговування та економічна ефективність різних стратегій догляду.

Дослідження ефективності існуючих рішень дозволили визначити найбільш раціональні підходи та запропонувати шляхи їх удосконалення для підвищення довговічності покриттів та оптимізації витрат на їх утримання.

На основі досліджень у 2020–2024 роках було встановлено, що термомодернізація покриттів в Україні зменшила середні тепловтрати на 27 %. У таблиці 3 наведено основні показники зниження тепловтрат та викиди CO₂.

Таблиця 3

Статистичні дані термомодернізації покриттів в Україні.

Рік	Кількість проєктів	Зниження тепловтрат, %	Викиди CO ₂ , т/рік
2020	150	18	1200
2021	220	22	980
2022	280	25	870
2023	310	27	800

Аналіз проєктів термомодернізації у 2022–2024 роках показав (таблиця 4), що впровадження сучасних технологій дозволяє знизити ці втрати на 40-50 %.

Таблиця 4

Результати економії втрат тепла в результаті впровадження сучасних технологій термомодернізації будівель.

Тип будівлі	Початкові втрати тепла, кВт×год /м ²	Знижені втрати тепла, кВт×год /м ²	Економія, %
Житловий будинок	180	90	50
Офісний центр	150	85	43
Промислові будівлі	220	130	41

В результаті проведеного аналізу експлуатації та влаштування покриттів можна виділити **основні проблеми та недоліки в реалізації термомодернізаційних заходів**, які згрупували в основні групи:

1. Технічні проблеми

- Низька якість матеріалів – використання неякісних або застарілих ізоляційних матеріалів, що не забезпечують достатнього рівня теплоізоляції.

- Неправильний вибір технологій – невідповідність обраних методів термомодернізації специфіці об'єкта (наприклад, неврахування паропроникності покриттів).

- Проблеми з герметичністю – неякісне виконання робіт призводить до утворення містків холоду, конденсації вологи та передчасного руйнування конструкцій.

- Відсутність комплексного підходу – виконання термомодернізаційних заходів без урахування загального стану покриття, що може знижувати ефективність заходів.

2. Економічні та фінансові обмеження

- Висока вартість матеріалів та робіт – термомодернізація потребує значних інвестицій, що ускладнює її реалізацію для багатьох власників будівель.

- Тривалий термін окупності – економічний ефект від заходів може проявитися лише через 10-20 років, що знижує зацікавленість у їх впровадженні.

- Недостатнє фінансування програм підтримки – відсутність або недостатність державних і муніципальних субсидій на реалізацію термомодернізаційних заходів.

3. Організаційно-управлінські недоліки

- Низький рівень професійної підготовки – дефіцит кваліфікованих спеціалістів, що призводить до неякісного виконання робіт.

- Відсутність контролю та моніторингу – слабкий контроль за дотриманням будівельних норм і стандартів під час реалізації проєктів.

- Бюрократичні складнощі – складна процедура отримання дозволів, що затримує реалізацію проєктів термомодернізації.

4. Екологічні та експлуатаційні фактори

- Вплив кліматичних умов – різкі перепади температур, підвищена вологість або ультрафіолетове

випромінювання можуть негативно позначатися на ефективності термомодернізації.

- Проблеми з утилізацією старих матеріалів – демонтаж та заміна покриттів часто призводять до утворення великої кількості будівельних відходів, що потребують спеціальної утилізації.

- Збільшене навантаження на конструкцію – використання додаткових шарів утеплення може збільшувати вагове навантаження на покриття, що не завжди враховується при розрахунках.

5. Соціально-психологічні фактори

- Низька обізнаність власників будівель – недостатнє розуміння переваг термомодернізації та можливостей фінансування таких заходів.

- Скептичне ставлення до нових технологій – відсутність довіри до інноваційних рішень через брак досвіду їх використання.

Оцінка впливу організаційно-технологічних факторів на якість та довговічність покриттів

Якість та довговічність покриттів значною мірою залежать від організаційно-технологічних факторів, які включають планування, вибір матеріалів, технологію монтажу, контроль за виконанням робіт та експлуатацію. Неправильна організація або недотримання технологічних вимог можуть суттєво знизити експлуатаційний ресурс покриттів і призвести до передчасного руйнування. Виявлені основні організаційно-технологічні фактори, які впливають на якість та довговічність покриття, наведені в таблиці 5.

Таблиця 5

Організаційно-технологічні фактори впливу на якість та довговічність покриттів

організаційні фактори	Планування та проектування	Відсутність якісної проектної документації призводить до помилок у виборі матеріалів та технологій
		Недостатній аналіз кліматичних умов і навантажень може стати причиною швидкого зношування покриттів
		Неправильний розрахунок товщини, складу матеріалів та методів монтажу негативно впливає на довговічність конструкції
	Контроль та управління якістю робіт	Відсутність належного технічного нагляду може призводити до порушень технологічного процесу
		Неякісне виконання будівельно-монтажних робіт спричиняє появу дефектів, таких як тріщини, деформації, протікання
		Використання несертифікованих матеріалів або їх заміна на дешевші аналоги зменшує термін служби покриттів
	Організація експлуатації та технічного обслуговування	Відсутність регулярного технічного обслуговування призводить до накопичення пошкоджень і передчасного зношування
		Недостатній контроль за експлуатаційними навантаженнями (наприклад, несанкціоновані додаткові навантаження на покриття) призводить до механічних пошкоджень
		Ігнорування своєчасного ремонту збільшує ризик критичних ушкоджень покриття
технологічні фактори	Вибір матеріалів та їх якість	Використання матеріалів, що не відповідають умовам експлуатації, скорочує термін служби покриття
		Невідповідність матеріалів будівельним нормам може призвести до зниження стійкості до вологи, температурних коливань та механічних навантажень
		Інноваційні матеріали (наприклад, полімерні покриття, енергозберігаючі мембрани) можуть значно покращити довговічність за умови правильного монтажу
	Дотримання технології монтажу	Порушення послідовності технологічних процесів (наприклад, неправильне нанесення шарів утеплення, гідроізоляції) спричиняє передчасне руйнування конструкції.
		Недостатня герметизація стиків та з'єднань може призводити до утворення містків холоду, появи конденсату та корозії
		Використання застарілих або низькоефективних методів монтажу знижує загальну міцність покриття.
	Технології ремонту та відновлення	Відсутність своєчасного дрібного ремонту спричиняє необхідність капітального відновлення покриттів.
		Застосування неякісних або несумісних з основною конструкцією ремонтних матеріалів може зменшити ефективність ремонту.
		Використання сучасних технологій (наприклад, самовідновлюваних покриттів, наноматеріалів) здатне подовжити термін служби покриттів.

Шляхи оптимізації технологічних процесів та організаційних рішень для підвищення ефективності термомодернізації

Для підвищення ефективності термомодернізації покриттів необхідно вдосконалити як

технологічні процеси, так і організаційні підходи. Оптимізація цих аспектів дозволить знизити витрати, підвищити енергоефективність та збільшити довговічність покриттів. На основі виявлених організаційно-технологічних факторів впливу на енергоефективність покриттів (таблиця 5) сформовані основні шляхи оптимізації технологічних процесів та організаційних рішень для підвищення ефективності термомодернізації:

1. Оптимізація технологічних процесів
 - 1.1. Використання інноваційних матеріалів
 - Застосування вискоєфективних утеплювачів (аерогелі, вакуумні панелі, наноматеріали) (І. Дудар, 2022) для мінімізації тепловтрат.
 - Використання енергоефективних покриттів (відбиваючих мембран, термоактивних фарб), що зменшують нагрівання поверхонь.
 - Інтеграція самовідновлюваних матеріалів, які усувають мікропошкодження та продовжують термін служби конструкцій.
 - 1.2. Впровадження цифрових технологій
 - Використання BIM-моделювання (Building Information Modeling) (Xie, Xiaoming, 2017) для точного проектування та оптимізації процесів термомодернізації.
 - Моніторинг стану покриттів за допомогою сенсорів і дронів, що дозволяє виявляти проблеми на ранніх стадіях.
 - Автоматизація розрахунків термічного опору покриттів для вибору оптимального утеплення.
 - 1.3. Оптимізація технологій монтажу та ремонту
 - Використання модульних рішень та швидкокомтованих конструкцій для прискорення процесу утеплення.
 - Впровадження безшовних технологій гідроізоляції (рідка гума, поліуретанові мембрани), що забезпечують високу герметичність.
 - Використання енергоефективних кріплень та ущільнювачів для запобігання утворенню містків холоду.
2. Оптимізація організаційних рішень
 - 2.1. Поліпшення системи планування та управління
 - Впровадження єдиної цифрової платформи для управління проєктами термомодернізації (від аналізу до реалізації).
 - Використання методів LEAN та Agile для підвищення ефективності робіт і мінімізації простоїв.
 - Запровадження автоматизованого контролю якості, що зменшує ризик помилок під час виконання робіт.
 - 2.2. Фінансова та економічна оптимізація
 - Використання енергосервісних контрактів (ESCO-моделі), де модернізація фінансується за рахунок майбутньої економії енергоресурсів.
 - Залучення державних програм і грантів на фінансування термомодернізаційних заходів (Є. Опря, 2023).
 - Використання гнучких фінансових моделей для розподілу витрат між власниками будівель та інвесторами.
 - 2.3. Підвищення кваліфікації спеціалістів
 - Організація навчальних програм та сертифікації для підвищення рівня підготовки будівельників.
 - Впровадження онлайн-курсів та вебінарів для ознайомлення з новими технологіями.
 - Співпраця з науковими установами для розробки та тестування нових рішень у сфері термомодернізації.
3. Покращення експлуатації та обслуговування
 - Використання інтелектуальних систем моніторингу (IoT-рішення для аналізу температури, вологості та механічних навантажень).
 - Запровадження планового технічного обслуговування для попередження передчасного зносу.
 - Використання екологічно чистих та довговічних матеріалів для зменшення негативного впливу на довкілля.

Для оцінки організаційно-технологічних рішень у сфері покриттів пропонуємо використовувати такі критерії:

Енергозбереження (W) кількість збереженої енергії за рахунок модернізації:

$$W = (U_o - U_m) \times S \times \Delta T \times t, \quad (1)$$

де: U_o – початковий коефіцієнт теплопередачі ($\text{Вт/м}^2 \cdot \text{К}$);
 U_m – коефіцієнт теплопередачі після модернізації ($\text{Вт/м}^2 \cdot \text{К}$);
 S – площа покриття (м^2);
 ΔT – різниця температур (К);
 t – час експлуатації (год).

Економічна ефективність (C):

$$C = \frac{C_o - C_m}{C_m}, \quad (2)$$

де: C_o – витрати на енергопостачання до модернізації;
 C_m – витрати на енергопостачання після модернізації.

Рівень зношеності покриттів (Z). Використання інструментальних методів для виявлення дефектів (тепловізійне обстеження).

Екологічна ефективність (E): зниження викидів CO_2 завдяки зменшенню енергоспоживання.

$$E = \frac{E_o - E_m}{E_m}, \quad (3)$$

де: E_o – викиди CO_2 до модернізації;
 E_m – викиди CO_2 після модернізації.

Теплові втрати (Q):

$$Q = \frac{\Delta T \times S}{R}, \quad (4)$$

де R – термічний опір конструкції, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$.

За допомогою теорії нечітких (О. Лялюк, 2020) множин можна змоделювати процес оцінки організаційно-технологічних рішень у сфері покриттів. На системному рівні вводимо лінгвістичну змінну C , яка відображає вплив сукупності факторів на надійність покрівлі. Вона може бути представлена у вигляді такого співвідношення:

$$C = f(Q, E, Z, W), \quad (5)$$

де Q – лінгвістична змінна (ЛЗ), яка описує теплові втрати;
 E – ЛЗ, яка враховує екологічну ефективність;
 Z – ЛЗ, яка описує рівень зношеності покриттів;
 W – ЛЗ, яка враховує енергозбереження.

Обговорення

В даній роботі доведено, що термомодернізація покриттів потребує поєднання аналітичних, експериментальних, економічних та цифрових методів. Для продовження терміну служби покриттів та скороченню витрат на їх ремонт і модернізацію необхідно грамотне планування, вибір відповідних матеріалів, дотримання технологічних вимог, ретельний контроль виконання робіт і ефективне технічне обслуговування сприяють.

В. Сердюк (2022) зазначив, що термомодернізація застарілого житлового фонду дозволяє вирішити важливі проблеми по забезпеченню скорочення витрат енергії на утримання житлового фонду, продовжити термін служби застарілого житлового фонду, і можливий варіант отримати додаткову житлову площу за рахунок надбудови додаткових поверхів.

В. Савйовський (2021) навів свою класифікацію поширених теплоізоляційних матеріалів, яка відрізняється від таблиці 2, розглянув варіант теплоізоляції покриття з монолітних матеріалів та набризкувального пінополіуретану. S. Habibi et al. (2020) підкреслив важливість проведення енергоаудиту як організаційний захід для покращення енергоефективності даху. J. Ran (2020) дослідив зелені дахи і довів, що вони є більш енергоефективними, ніж звичайні теплоізоляційні дахи, а рівень енергозбереження становить 1-26,4 %, що підтверджує важливість в розроблених авторами основних шляхах оптимізації технологічних процесів застосування інноваційних матеріалів. В подальших дослідженнях даної теми для моделювання інтелектуальної підтримки прийняття рішень з управління організаційно-технологічними механізмами підвищення енергоефективності покриття будівель планується враховувати результат Olu-Ajayi R. et al. (2022),

який довів, що можна розробити високоефективну модель для прогнозування споживання енергії в будівлі на етапі проектування.

Висновки

Оцінка стану організаційно-технологічних рішень у сфері облаштування, експлуатації та термомодернізації покриттів дозволяє визначити ключові напрями для покращення енергоефективності та довговічності будівель. Інтеграція новітніх матеріалів та технологій у процеси модернізації сприяє сталому розвитку у будівництві.

Дослідження стану організаційно-технологічних рішень у сфері облаштування, експлуатації та термомодернізації покриттів потребує поєднання аналітичних, експериментальних, економічних та цифрових методів.

Організаційно-технологічні фактори відіграють ключову роль у забезпеченні якості та довговічності покриттів. Чітке планування, правильний вибір матеріалів, дотримання технологічних норм, якісний контроль за виконанням робіт та ефективне технічне обслуговування дозволяють суттєво збільшити експлуатаційний ресурс покриттів та зменшити витрати на їх ремонт і модернізацію.

Визначені основні шляхи підвищення ефективності обслуговування покриттів: використання інтелектуальних систем прогнозування пошкоджень; запровадження більш ефективних матеріалів та методів відновлення; розвиток політики сталого розвитку у сфері обслуговування та експлуатації покриттів.

Оптимізація технологічних та організаційних аспектів термомодернізації дозволить підвищити ефективність утеплення, скоротити витрати та покращити довговічність покриттів. Інноваційні матеріали, цифрові технології, ефективне управління ресурсами та підготовка кваліфікованих спеціалістів є ключовими елементами успішної реалізації термомодернізаційних проєктів.

Подальший розвиток термомодернізації покриттів передбачає: впровадження інтелектуальних систем моніторингу стану покриттів, які в реальному часі оцінюють їхню ефективність; використання матеріалів з нульовим вуглецевим слідом для зменшення екологічного впливу; розробку нових технологій для адаптації покриттів до змін кліматичних умов.

В подальших розробках цієї теми планується детально оцінити усі організаційно-технологічні фактори впливу на термомодернізацію покрівлі, описати їх лінгвістичними змінними, щоб показати зв'язок між факторами впливу. Побудовані нечіткі матриці знань з урахуванням уведених якісних термів та скласти лінгвістичні висловлювання для моделювання процесу прийняття рішень модернізації покриття.

REFERENCES

1. Nuruddin, M.F, Puad, N.H.A, Azizli, K.A.M, Farhan, S.A, & Zainal, A. (2014). Prospect of Adopting Kapok Fibre as Roof Insulation. *Structural, environmental, coastal and offshore engineering*, 567, 482-487. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.567.482.
2. Zhang, Y., Sun, H., Long, J., Zeng, L., & Shen, X. (2022). Experimental and Numerical Study on the Insulation Performance of a Photo-Thermal Roof in Hot Summer and Cold Winter Areas. *Buildings*, 12, 410. <https://doi.org/10.3390/buildings12040410>
3. Joshi, V. V. (2020). Heat transfer characterization of test rooms with six different roofs. *International journal of heat and technolog*, 38(1), 131-136. DOI 10.18280/ijht.380114
4. Jayalath, A., Aye, L., Mendis, P., & Ngo, T., Effects of phase change material roof layers on thermal performance of a residential building in Melbourne and Sydney. *Energy and Buildings*. (2016) 121, 152–158, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.04.007>, 2-s2.0-84962812577.
5. Dong L., Yumeng Z., Changyu L., & Guozhong W. (2015). Numerical analysis on thermal performance of roof contained PCM of a single residential building, *Energy Conversion and Management*. 100, 147–156, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.05.014>, 2-s2.0-84929310952.
6. Semko, O., Yurin, O., Avramenko, Y., & Skliarenko, S. (2017). Thermophysical aspects of reconstruction of cold roof spaces. 6th international scientific conference reliability and durability of railway transport engineering structures and buildings (transbud-2017). Том 116. DOI 10.1051/mateconf/201711602030
7. Diakaki, C., Grigoroudis, E., Kolokotsa, D., Kalaitzakis, K., & Stavrakakis, G. (2010). A multi-objective decision model for the improvement of energy efficiency in buildings. *Energy*, 35(12), 5483-5496. DOI 10.1016/j.energy.2010.05.012.
8. Ma, Z.J., Cooper, P., Daly, D., & Ledo, L. (2012). Existing building retrofits: Methodology and state-of-the-art. *Energy and buildings*, 55, 889-902. DOI 10.1016/j.enbuild.2012.08.018
9. Szczotka, K., Barwinska-Malajowicz, A., Szymiczek, J., & Pyrek, R. (2023). Thermomodernization as a mechanism for improving energy efficiency and reducing emissions of pollutants into the atmosphere in a public utility building. *Energies*, 16(13). DOI 10.3390/en16135026.

10. Yoon, S.G., Yang, Y.K., Kim, T.W., Chung, M.H., & Park, J.C. (2018). Thermal performance test of a phase-change-material cool roof system by a scaled model. *Advances in civil engineering*. 2646103. doi:10.1155/2018/2646103
11. Jayalath, L. Aye, P. Mendis, & T. Ngo. (2016). Effects of phase change material roof layers on thermal performance of a residential building in Melbourne and Sydney. *Energy and Buildings*, vol. 121, pp. 152–158.
12. Lu S., Chen, Y., Liu, S., & Kong, X.. (2016). Experimental study of a novel energy-efficient roof combined with PCM and cold materials, *Energy and Buildings*, vol. 127, pp. 159–169.
13. Xie, Xiaoming. (2017). Application Method of BIM Technology in Green Engineering Construction. *AGRO FOOD INDUSTRY HI-TECH*, vol.28(1), 119–121.
14. Habibi, S., Obonyo, E.A., & Memari, A.M. (2020). Design and development of energy efficient re-roofing solutions. *Proceedings of building simulation 2019: 16th conference of IBPSA*, 190–197. DOI 10.26868/25222708.2019.211120.
15. Ran, J.D., Yang, Z.J., Feng, Y., Xiong, K., & Tang, M.F. (2020). Energy performance assessment and optimization of extensive green roofs in different climate zones of China. *12th nordic symposium on building physics (NSB 2020)*, vol.172, 16003. DOI 10.1051/e3sconf/202017216003
16. Olu-Ajayi R., Alaka H., Sulaimon I., Sunmola F., & Ajayi S. (2022). Machine learning for energy performance prediction at the design stage of buildings. *Energy Sustain*, vol. 66, 12–25.
17. Закон України «Про енергетичну ефективність будівел» – К.: VVR. 2017, №2118-VIII, зі змін від 4.06.2024 №3764-IX.
18. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 29.12.2023 № 1228-р. Деякі питання стратегічного розвитку енергетичної ефективності будівел.
19. DBN V.2.6–31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівел. [Чинний від 2022-09-01]. Київ: Міністерство України, 2022. 28 с.
20. DBN V.2.6–220:2017. Pokryttia budivel i sporud. [Чинний від 2017-06-06]. Київ: Міністерство України, 2017. 53 с.
21. DBN V.1.2–11:2021. Osnovni vymohy do budivel i sporud. Enerhozberezhennia ta enerhoefektyvnist. [Чинний від 2022-09-01]. Київ: Міністерство України, 2022. 21 с.
22. Dudar I. N., Lialiuk O. H., & Lialiuk A. O. Shliakhy utepлення skladnykh poverkhon. Materialy LI naukovotekhnichnoi konferentsii pidrozdiliv VNTU, Vinnytsia, 31 travnia 2022 r. – Elektron. tekst. dani. – 2022. – Rezhym dostupu: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2022/paper/view/15266>
23. Kucherenko L. V., & Babii I. M. (2023). Modeliuvannia orhanizatsiino-tekhnologichnykh faktoriv dlia vyznachennia efektyvnykh rishen proiektu utepлення fasadiv z oblytsiuvanniam shtukaturkamy. *Suchasni tekhnologii, materialy i konstruktii v budivnytstvi*, 2023 №1 tom 34, 84–90.
24. Lialiuk O. H., & Lialiuk A. O. Modeliuvannia systemy pryiniattia konstruktivno-tekhnichnykh rishen vyboru enerhozberihaiuchoho pokryttia budivli. *Suchasni tekhnologii, materialy i konstruktii v budivnytstvi*, 2020 №1, 140–146.
25. Saviovskiy V. V. Termomodernizatsiia budivel: navch. posib. Kyiv: Vydavnytstvo Lira-K, 2021. 278 s. ISBN 978-617-520-157-2.
26. Serdiuk V. R., Franyshyna S. Yu., Serdiuk T. V., & Khrystych O. V. (2022). Orhanizatsiino-tekhnologichni zakhody termomodernizatsii zastariloho zhytlovoho fondu. *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnogo instytutu*, No 2, 6–17. ISSN 1997-9266. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2022-161-2-6-17>
27. Opra Ye., Lialiuk A., & Lialiuk O. (2023). Suchasnyi stan i problemy, pov'iazani z protsesom ulashtuvannia enerhozberihaiuchoho pokryttia budivli ta shliakhy yikh vyrishennia. *U mizhnarodnii naukovopraktychnii konferentsii «Enerhoefektyvnist v haluzakh ekonomiky Ukrainy–2024»*, m. Vinnytsia, 20.11.2024.

Дудар Ігор Никифорович – доктор технічних наук, професор, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, 21021, Хмельницьке шосе, 95, e-mail: *відсутній*, ORCID: 0000-0003-1345-8144

Лялюк Олена Георгіївна – кандидат технічних наук, доцент, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, 21021, Хмельницьке шосе, 95, e-mail: *відсутній*, ORCID: 0000-0001-6446-9244

Опрія Євгеній Михайлович – аспірант, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, 21021, Хмельницьке шосе, 95, e-mail: *відсутній*, ORCID: 0009-0002-2660-4964

Лялюк Андрій Олександрович – аспірант, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, 21021, Хмельницьке шосе, 95, e-mail: *відсутній*, ORCID: 0000-0002-4803-1629

**I. Dudar
O. Lialiuk
Ye. Opra
O. Lialiuk**

ASSESSMENT OF THE STATE OF ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL SOLUTIONS IN THE FIELD OF

INSTALLATION, OPERATION AND THERMAL MODERNIZATION OF ROOFING

Vinnitsia National Technical University

The article examines the state of organizational and technological solutions in the field of installation, operation and thermal modernization of roofing. An analysis of modern approaches to their organization and technologies was carried out, the effectiveness of existing methods of operation and maintenance was assessed. The analysis of the current state of the regulatory and legal framework for the implementation of thermal modernization of the outdated housing stock is presented. Most state programs could not be fully implemented due to the lack of state financial support. An analysis of existing roofing materials and insulation was made, their advantages, disadvantages and service life were assessed.

Key problems and shortcomings in the implementation of thermal modernization measures were identified, as well as the impact of organizational and technological factors on the quality and durability of roofing was studied. Analytical, experimental, economic and digital methods were used to study the state of organizational and technological solutions in the field of installation, operation and thermal modernization of roofing.

Based on the obtained results, ways to optimize technological processes and organizational solutions to improve the efficiency of thermal modernization are proposed.

To assess organizational and technological solutions in the field of roofing, the following criteria are proposed: heat losses, environmental efficiency, economic efficiency, level of roof wear, energy saving. These criteria are used in modeling based on the theory of fuzzy processes of decision-making in the field of roofing organizational and technological solutions.

The practical value of this article lies in the possibility of using the obtained results to improve the organizational and technological processes of thermal modernization of roofing for: increasing the efficiency of construction processes – the proposed recommendations can help optimize roofing installation and maintenance technologies, which will reduce time and resource costs; increasing the durability of roofing – the analysis of factors affecting their reliability will help develop strategies to minimize the risks of premature wear; energy efficiency and resource saving – the research results can be used to implement more efficient thermal modernization solutions, which will contribute to reducing the energy consumption of buildings; improvement of the regulatory and methodological framework – the obtained conclusions can be applied in the development of new regulatory documents and improvement of existing standards in the field of construction and roofing operation; application in design and reconstruction – construction companies, architects and engineers can use the research results to select optimal materials and technologies during construction and modernization of buildings.

Key words: thermal modernization, roofing, energy efficiency, durability, operation.

Dudar Ihor– Doctor of Technical Sciences, Professor, Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia, 21021, Khmelnytske Shose, 95, e-mail: *not provided*, ORCID: 0000-0003-1345-8144

Lialiuk Olena– PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia, 21021, Khmelnytske Shose, 95, e-mail: *not provided*, ORCID: 0000-0001-6446-9244

Opria Yevhenii– Postgraduate Student, Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia, 21021, Khmelnytske Shose, 95, e-mail: *not provided*, ORCID: 0009-0002-2660-4964

Lialiuk Andrii– Postgraduate Student, Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia, 21021, Khmelnytske Shose, 95, e-mail: *not provided*, ORCID: 0000-0002-4803-1629