

DOI https://doi.org/10.32782/naoma-bulletin-2026-6-17
УДК 725
ORCID ID: 0000-0003-4253-4302
ORCID ID: 0000-0002-1363-7356

Олена Роздорожнюк
кандидатка архітектури, доцентка,
доцентка кафедри архітектурних конструкцій
Національна академія образотворчого мистецтва і архітектури
olena.rozdorozhniuk@naoma.edu.ua

Сергій Стоянович
кандидат технічних наук, доцент,
завідувач кафедри архітектурних конструкцій
Національна академія образотворчого мистецтва і архітектури
sergii.stoianovych@naoma.edu.ua

ШЛЯХИ РЕНОВАЦІЇ ГРОМАДСЬКИХ БУДІВЕЛЬ ЗГІДНО З ТРЬОМА СТАДІЯМИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

Анотація. У статті досліджено концептуальні засади та практичні шляхи підвищення енергоефективності громадських будівель в Україні через призму трьох послідовних стадій їхнього життєвого циклу та реновації. Запропонована модель чіткого поділу енергомодернізації на стадії діагностики, будівництва та сервісу є новаторською розробкою авторів. Це дасть змогу значно скоротити економічні витрати та час на впровадження енергоефективних технологій у реновації громадських будівель. ***Актуальність теми*** зумовлена необхідністю скорочення бюджетних видатків на енергоносії, виконання кліматичних зобов'язань держави та приведення соціального й адміністративного фонду у відповідність до сучасних євроінтеграційних стандартів. ***Мета дослідження***. Основною метою статті є комплексне наукове обґрунтування, концептуальна систематизація та розробка практичних шляхів підвищення енергоефективності громадських будівель в Україні через призму трьох послідовних стадій їхнього життєвого циклу та реновації. Дослідження фокусується на вирішенні нагальних завдань щодо скорочення бюджетних видатків на енергоносії, неухильного виконання міжнародних кліматичних зобов'язань держави, а також приведення наявного соціального та адміністративного фонду нерухомості у повну відповідність до сучасних євроінтеграційних стандартів. Особливу увагу приділено адаптації запропонованих підходів як для умов сталого розвитку в мирний час, так і для ефективного повоєнного відновлення пошкоджених або застарілих громадських споруд. ***Методи.*** Методологічну основу наукового дослідження становлять фундаментальні принципи системного підходу, структурно-функціональний та порівняльний аналіз, а також сучасні методи математичного та енергетичного моделювання. Завдяки застосуванню системного аналізу вдалося об'єднати різнорідні технічні, економічні та екологічні чинники в єдиний комплекс заходів. Структурно-функціональний метод допоміг чітко розмежувати процеси на окремі стадії, а методи енергетичного моделювання дали змогу спрогнозувати показники майбутньої економії ресурсів ще на етапі проєктування. ***Результати дослідження.*** У роботі детально охарактеризовано кожну з трьох послідовних стадій реновації громадських будівель: перша стадія (проєктно-діагностична): передбачає проведення детального енергетичного аудиту, тепловізійне обстеження конструкцій, збір вихідних даних та розробку комплексного енергетичного паспорта будівлі; друга стадія (будівельно-технічна) охоплює безпосередню глибоку термомодернізацію, заміну світлопрозорих конструкцій, утеплення огороджувальних поверхонь, модернізацію систем опалення, вентиляції та кондиціювання повітря із впровадженням відновлюваних джерел енергії; третя стадія (експлуатаційно-моніторингова) зосереджена на впровадженні систем автоматизованого цифрового моніторингу споживання енергоресурсів у реальному часі для контролю ефективності інвестицій. Доведено, що комплексний послідовний перехід через усі зазначені стадії дає змогу досягти стабільного зниження споживання енергоресурсів на рівні 40–60%. ***Висновки***. Результати проведеного дослідження мають високу практичну цінність і можуть бути безпосередньо використані органами місцевого самоврядування, проєктними організаціями та профільними фахівцями у сфері енергоменеджменту під час розробки стратегій термомодернізації муніципальної інфраструктури. Запровадження запропонованої триступеневої моделі забезпечує не лише значну економію бюджетних коштів, але й підвищує комфорт та безпеку перебування громадян у громадських будівлях.

Ключові слова: громадські будівлі, енергоефективність, енергоаудит, архітектурні методи термомодернізації будівель, інженерні системи, енергомоніторинг, законодавство.

Olena Rozdorozhnyuk
Candidate of Architecture, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Architectural Structures
National Academy of Fine Arts and Architecture
olena.rozdorozhniuk@naoma.edu.ua

Serhiy Stoyanovych
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Head of the Department of Architectural Structures
National Academy of Fine Arts and Architecture
sergii.stoianovych@naoma.edu.ua

WAYS OF RENOVATION OF PUBLIC BUILDINGS ACCORDING TO THREE STAGES OF ENERGY EFFICIENCY

Abstract. The article examines the conceptual foundations and practical ways to improve the energy efficiency of public buildings in Ukraine through the lens of three consecutive stages of their life cycle and renovation. The proposed model – a clear division of energy modernization into the diagnostic, construction, and service stages – is an innovative development by the authors. This approach will significantly reduce economic costs and time required to implement energy-efficient technologies in public building renovation. The relevance of the topic is driven by the need to reduce budget expenditures on energy resources, fulfill the state's climate commitments, and bring the social and administrative real estate fund into compliance with modern European integration standards. ***Research Objective.*** The primary aim of this scientific article is a comprehensive scientific substantiation, conceptual systematization, and development of practical ways to improve the energy efficiency of public buildings in Ukraine through three consecutive stages of their life cycle and renovation. The research focuses on solving urgent tasks regarding the reduction of budgetary energy expenditures, the rigorous implementation of the state's international climate commitments, and bringing the existing social and administrative property fund into full compliance with modern European integration standards. Special attention is paid to adapting the proposed approaches both for sustainable development in peacetime and for effective post-war reconstruction of damaged or outdated public structures. ***Methods***. The methodological foundation of the study comprises the fundamental principles of a systemic approach, structural-functional and comparative analysis, as well as modern methods of mathematical and energy modeling. Through the application of systemic analysis, it was possible to integrate disparate technical, economic, and environmental factors into a single set of measures. The structural-functional method helped clearly delineate processes into separate stages, while energy modeling methods made it possible to forecast future resource-saving performance as early as the design stage. ***Results***. The paper details each of the three consecutive stages of public building renovation: First Stage (Design and Diagnostic): Involves conducting a detailed energy audit, thermal imaging inspection of structures, baseline data collection, and the development of a comprehensive energy passport for the building. Second Stage (Construction and Technical): Encompasses direct deep thermal modernization, replacement of translucent structures, insulation of envelope surfaces, and upgrading of heating, ventilation, and air conditioning (HVAC) systems with the integration of renewable energy sources. Third Stage (Operational and Monitoring): Focuses on implementing automated digital real-time energy consumption monitoring systems to control investment efficiency. It is proven that a comprehensive, sequential transition through all specified stages allows for a stable reduction in energy consumption at the level of 40–60%. ***Conclusions***. The results of the study have high practical value and can be directly used by local self-government bodies, design organizations, and specialized professionals in the field of energy management when developing strategies for the thermal modernization of municipal infrastructure. The introduction of the proposed three-tier model ensures not only significant budget savings but also enhances the comfort and safety of citizens staying in public buildings.

Key words: public buildings, energy efficiency, energy audit**,** architectural methods of building thermal modernization, engineering systems, energy monitoring, legislation.

Актуальність теми. В умовах сучасних глобальних енергетичних викликів, трансформації клімату та обмеженості бюджетних ресурсів в Україні підвищення енергоефективності будівель громадського призначення (шкіл, закладів охорони здоров'я, адміністративних та соціальних установ) набуває стратегічного значення. Значна частина комунального фонду побудована десятиліття тому за усталеними нормами, які не відповідають сучасним вимогам термічного опору огороджувальних конструкцій та ефективності інженерних систем. Це зумовлює надмірне споживання енергоресурсів, високі фінансові витрати на опалення та незадовільний мікроклімат у приміщеннях.

З огляду на це, процес реновації не може обмежуватися локальними чи хаотичними ремонтними роботами. Він потребує чіткої науково

обґрунтованої методології, яка охоплює всі етапи реалізації енергоефективних заходів.

Постановка проблеми. Незважаючи на наявність державних програм та ініціатив з термомодернізації, на практиці часто спостерігається фрагментарний підхід: утеплення фасадів без заміни систем регулювання тепла або проведення робіт без попереднього глибокого аналізу. Це призводить до неефективного використання капіталовкладень, через що не вдається досягти очікуваних показників енергозбереження.

Мета статті – розробити та науково обґрунтувати шляхи реновації громадських будівель на основі послідовного проходження трьох стадій енергоефективності: від превентивної діагностики до експлуатаційного моніторингу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням енергетичної ефективності будівель, термомодернізації та управління енергоспоживанням у муніципальному секторі присвячено праці багатьох вітчизняних та зарубіжних науковців. Проте потребує подальшого поглиблення систематизація процесів реновації у вигляді цілісної тристадійної моделі життєвого циклу модернізації.

Проблема підвищення енергоефективності громадських будівель через призму життєвого циклу та послідовних етапів реновації є об'єктом активних наукових дискусій як в Україні, так і поза її межами. Аналіз фахових джерел дає змогу виокремити *ключові напрями досліджень*, які підтверджують ефективність тристадійної моделі модернізації (превентивна діагностика, активна термомодернізація, експлуатаційний моніторинг).

1. Нормативно-правова база й теоретичні засади енергоефективності будівель.

Фундаментальну основу для розуміння норм проєктування та оцінки стану огороджувальних конструкцій закладено в національних будівельних нормах і державних стандартах. Зокрема, у працях профільних міністерств та інститутів розглядаються вимоги до теплової ізоляції згідно з ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель». Ці норми визначають обов'язковість розрахунків мінімально допустимого опору теплопередачі, що відповідає *стадії 1* (проєктно-діагностичній) нашої моделі.

Серед вітчизняних науковців вагомий внесок у дослідження економічних та управлінських аспектів енергоефективності комунального сектора зробили М. Саницький, О. Позняк, У. Марущак. У своїй роботі «Енергозберігаючі технології в будівництві» вони доводять, що стабільне зниження енергоспоживання бюджетних установ неможливе без попереднього якісного аудиту та паспортизації об'єктів [1, с. 10].

2. Європейський досвід та концепція NZEB (Nearly Zero-Energy Building).

У європейській літературі особлива увага приділяється трансформації будівельного фонду відповідно до євроінтеграційних вимог та директив ЄС. Базовим орієнтиром тут виступає Директива Європейського Парламенту та Ради щодо енергетичної ефективності будівель (Recast – Directive (EU) 2024/1275). Дослідники європейського векторного розвитку (зокрема, у працях аналітиків у сфері «Хвилі реновації» (Renovation Wave)) наголошують на синергетичному ефекті від поєднання глибокої термомодернізації (*стадія 2*) та інтеграції систем цифрового управління (*стадія 3*). Зокрема, у роботі L. Melnyk, O. Kubatko та M. Kharchenko «Економічні та соціальні виклики проривних технологій в умовах індустрії 4.0 та 5.0: досвід ЄС» [2, с. 36] досліджуються особливості переходу муніципальної інфраструктури України до стандартів NZEB з урахуванням досвіду країн Східної та Центральної Європи. Автори акцентують увагу на тому, що фінансування таких проєктів вимагає чіткого дотримання етапності: від техніко-економічного обґрунтування до посткапітального моніторингу енергоємності.

3. Методологія енергоаудиту та експлуатаційного моніторингу.

Значна частина наукових публікацій присвячена саме першій та третій стадіям життєвого циклу будівель.

У колективній праці за загальною редакцією Н. Усенко та А. Чернявського «Практичний посібник з енергетичного аудиту промислових підприємств» детально розглядаються методологічні підходи до проведення енергетичного аудиту промислових підприємств. Тут викладені загальні методичні підходи щодо проведення енергетичних аудитів промислових підприємств відповідно до загальної міжнародної методології, визначеної міжнародним стандартом ISO 50002. Зазначено, що інструментальні методи обстеження (тепловізійна зйомка, аеродинамічні випробування) дають змогу виявити до 40% прихованих дефектів конструкцій, які неможливо помітити під час візуального огляду [3, с. 9].

Водночас питання довгострокової експлуатації та енергоменеджменту широко висвітлюються в роботі В. Сокальської «Розроблення автоматизованої системи збору та обробки даних про

споживання електроенергії», присвяченій впровадженню систем управління енергією. Йдеться про те, що впровадження автоматизованих систем збирання даних (телеметрії) допомагає уникнути явища «деградації економії», коли через кілька років після утеплення будівлі споживання енергії знову зростає через відсутність контролю за режимами роботи інженерних систем [4, с. 11].

Для визначення доцільності впровадження енергоефективних заходів, які б впливали на конкурентоспроможність виробництва, необхідно проводити всебічний аналіз енергоспоживання. Так, у «Посібнику з енергоаудиту», який є покроковою інструкцією з проведення енергоаудиту згідно з міжнародним стандартом ISO 50002, розкриваються деталі впровадження міжнародного стандарту не лише для фахівців з енергоефективності, але й для спеціалістів, що працюють на виробництві, викладачів навчальних закладів тощо. Його розроблено і видано на замовлення Федерального міністерства економічного співробітництва та розвитку Німеччини (BMZ) [5, с. 14].

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Досягнення цільових показників енергоефективності громадських будівель вимагає реалізації комплексного підходу, який умовно поділяється на *три стадії*: превентивна діагностика та проєктування (енергоаудит, паспортизація, розробка ПКД); активна термомодернізація (будівельно-монтажні роботи, оновлення інженерних систем, впровадження ВДЕ); експлуатація, моніторинг та управління енергоємністю (цифровий моніторинг, сервіс, енергоменеджмент).

Стадія 1. Превентивна діагностика та проєктування.

Будь-який якісний процес реновації починається з об'єктивної оцінки вихідного стану об'єкта. На першій стадії здійснюються такі заходи: енергетичний аудит будівлі – проведення інструментальних вимірювань, тепловізійного обстеження (виявлення містків холоду та дефектів огороджувальних конструкцій), аналіз платіжних документів за енергоносії за попередні 3–5 років; енергетична сертифікація – визначення поточного класу енергоефективності будівлі згідно з національними стандартизованими методиками та розрахунок потенціалу економії [6, с. 5]; проєктно-кошторисне планування – розробка проєктної документації з урахуванням чинних будівельних норм (ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція будівель»), що гарантує відповідність майбутніх рішень європейським стандартам енергоефективності (Nearly Zero-Energy Building – NZEB) [7, с. 1].

Стадія 2. Активна термомодернізація.

Друга стадія є найбільш капіталомісткою та передбачає безпосереднє виконання будівельно-монтажних і пусконалагоджувальних робіт. Згідно з результатами аудиту, цей етап охоплює два ключові напрями: модернізацію огороджувальних конструкцій – утеплення зовнішніх стін, цоколів, фундаментів та перекриттів верхніх/нижніх поверхів негорючими теплоізоляційними матеріалами (наприклад, мінеральною ватою); заміну світлопрозорих конструкцій (вікон, вітражів, дверей) на енергоефективні дво- або трикамерні склопакети з низькоемісійним покриттям.

Оптимізація інженерно-технічних систем (ІТС) передбачає: встановлення автоматизованих індивідуальних теплових пунктів (ІТП) із погодозалежним регулюванням подачі теплоносія; гідравлічне балансування систем опалення та встановлення термостатичних регуляторів на опалювальні прилади; модернізацію внутрішнього освітлення на базі світлодіодних (LED) технологій із датчиками присутності та освітленості; інтеграцію відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), зокрема дахових сонячних електростанцій (СЕС) для забезпечення власних потреб закладу в електроенергії [8, с. 56].

Стадія 3. Експлуатація, моніторинг та управління енергоємністю.

Навіть найякісніше утеплення та нове обладнання можуть втратити свою ефективність без належного подальшого супроводу.

Третя стадія забезпечує збереження досягнутих результатів у довгостроковій перспективі. Вона має такі етапи: автоматизований енергомоніторинг – впровадження систем онлайн-обліку енергоресурсів (телеметрія лічильників тепла, води, газу та електроенергії) з інтеграцією до муніципальних чи державних інформаційних платформ (наприклад, системи управління енергоефективністю громадських будівель), що дає змогу виявляти аномалії споживання у режимі реального часу [9, с. 114]; сервісне й технічне обслуговування – регулярна профілактика систем вентиляції, опалення та кондиціювання (HVAC), запобігання втратам ефективності через зношування обладнання; інституційний енергоменеджмент – призначення відповідальних осіб за енергоспоживання в установах, запровадження систем енергетичного менеджменту за стандартом ISO 50001 на рівні громад, а також підвищення

обізнаності працівників та звичайних громадян щодо раціонального використання енергії.

Архітектурний аспект активної термомодернізації громадських споруд.

Архітектурний вимір активної термомодернізації (що відповідає переважно *стадії 2* та спирається на вихідні дані *стадії 1*) виходить далеко поза межі чисто технічного утеплення стін. У громадських будівлях – школах, лікарнях, університетах, музеях та адміністративних установах – огороджувальні конструкції та фасадні рішення формують не лише енергетичний баланс, але й візуальний образ міського середовища, психологічний комфорт відвідувачів та естетику внутрішнього простору.

Розглянемо ключові архітектурні аспекти цього процесу.

1. Збереження ідентичності та стилістики історичних громадських будівель: значна частина громадського фонду (особливо адміністративні будівлі, університети чи театри) побудована у минулі століття та має архітектурну, історичну чи культурну цінність; проблема «викривлення фасаду» – традиційне зовнішнє утеплення товстим шаром пінопласту чи мінеральної вати з подальшим оштукатурюванням, що здатне повністю знищити унікальний архітектурний декор, ліпнину, рустику та пропорції будівлі.

Архітектурні рішення: використання внутрішнього утеплення зі спеціальними паропроникними матеріалами та розрахунком точки роси, що дає змогу зберегти автентичний зовнішній вигляд історичного фасадного полотна; застосування інноваційних тонкошарових аерогелевих штукатурок або вакуумних ізоляційних панелей, які забезпечують високий опір теплопередачі за мінімальної товщини; реставрація з точним відтворенням втрачених елементів декору поверх утеплювача із легких архітектурних сумішей.

2. Трансформація світлопрозорих конструкцій (вікна, вітражі, атріуми).

Громадські споруди часто вирізняються великою площею скління (школи з великими вікнами класів, лікарняні палати, просторі атріуми адміністрацій). Світлопрозорі конструкції є основним джерелом тепловтрат, але водночас вони формують інсоляцію та зоровий зв'язок із зовнішнім середовищем.

Баланс енергоефективності та інсоляції: архітектори мають знаходити компроміс між нормами природного освітлення приміщень (наприклад, для навчальних або медичних процесів) та вимогами щодо зменшення коефіцієнта теплопередачі.

Сучасні архітектурні прийоми для вирішення поставлених завдань з підвищення енергозбереження: встановлення енергоефективних мультифункціональних склопакетів із селективним покриттям, яке відбиває тепло назад у приміщення взимку, але затримує сонячну радіацію влітку; інтеграція зовнішніх систем сонцезахисту (ламелі, перголи, еркери), які стають активними архітектурними елементами сучасного фасаду й запобігають перегріву будівель у літній період без додаткових витрат на кондиціювання.

3. Вентильовані фасади та естетика сучасного муніципалітету.

Для типових громадських будівель радянського періоду або сучасних типових проєктів термомодернізація відкриває шлях до повної зміни естетичної парадигми (редизайну).

Вентильовані навісні системи: використання керамограніту, фіброцементних плит, композитних панелей або вертикального озеленення поверх утеплювача. Це дає змогу не лише утеплити будівлю, але й надати їй сучасного представницького вигляду корпоративного чи європейського муніципального стандарту.

Вуглецевий слід та екологічність матеріалів: сучасний архітектурний підхід вимагає використання екологічно чистих, негорючих (що критично важливо для шкіл та лікарень) матеріалів із низьким показником уособленої енергії (embodied energy), таких як мінеральна вата на базальтовій основі або натуральні ізоляційні матеріали.

4. Інтеграція інженерії у форму будівлі (BIPV та кліматичні елементи).

Активна термомодернізація передбачає насичення фасаду та даху інженерними елементами, що впливає на архітектурну композицію:

− BIPV (Building-Integrated Photovoltaics) – інтеграція сонячних панелей безпосередньо у структуру покрівлі або навісних фасадів як оздоблювальних матеріалів, а не накладних конструкцій;

− організація технічних зон – архітектурне проєктування вимагає приховування або гармонійної інтеграції зовнішніх блоків вентиляції, теплових насосів та інверторів, щоб вони не порушували цілісність силуету громадської споруди;

– у контексті ревіталізації громадських споруд *стадія 3* (експлуатація, моніторинг та управління енергоємністю) в архітектурному аспекті перетворюється з пасивного споглядання готового об'єкта на активне, динамічне керування

простором і його ресурсами. Архітектура тут розглядається не як застигла форма, а як живий організм, що адаптується до змін навколишнього середовища та потреб користувачів.

Нижче наведено ключові архітектурні аспекти цієї стадії.

1. Архітектурний моніторинг та діагностика стану будівлі. Після введення ревіталізованої споруди в експлуатацію критично важливо стежити за тим, як історичні та нові конструктивні елементи реагують на навантаження.

Збереження історичної тканини: встановлення датчиків вологості, деформацій і температурних коливань у точках стику старих (наприклад, століттями витриманої цегли чи каменю) та нових матеріалів (метал, скло, сучасні утеплювачі).

Контроль мікроклімату в історичних інтер'єрах: запобігання утворенню конденсату на внутрішніх поверхнях зовнішніх стін, що є частим ризиком при утепленні пам'яток архітектури зсередини.

2. Управління енергоємністю через архітектурно-просторові рішення.

Енергоефективність на етапі експлуатації залежить не лише від інженерних систем, але й від того, як архітектура реагує на погодні умови: адаптивний сонцезахист – використання керованих ламелей, пергол, маркіз або смарт-скла, які інтегровані у фасад ревіталізованої споруди (вони мінімізують перегрів влітку і максимізують інсоляцію взимку; зонування за тепловими зонами – експлуатаційний моніторинг часто виявляє неефективне використання площ; архітектурне управління передбачає гнучку трансформацію просторів (наприклад, за допомогою мобільних акустичних перегородок), щоб опалювати чи охолоджувати лише ті зони, які активно використовуються в певний час.

3. Фасад як інтерфейс енергоефективності. У ревіталізованих громадських будівлях фасад часто виступає комбінацією збереженого історичного екстер'єру та сучасних технологій: подвійні фасади (Double-skin facades) – якщо це доречно за концепцією ревіталізації, вони працюють як буферна зона, що знижує втрати тепла взимку та акумулює сонячну енергію для природної вентиляції; інтеграція датчиків – розміщення сенсорів освітленості та якості повітря (CO 2) у профільних системах вікон або елементах оздоблення для автоматичного керування припливно-витяжною вентиляцією.

4. Пост-проєктний аналіз (POE – Post-Occupancy Evaluation). Архітектурна складова управління енергоємністю вимагає регулярної оцінки того, як проєктні рішення працюють на практиці: зіставлення очікувань і реальності – порівняння розрахункових енергетичних паспортів із реальними показниками споживання енергії (тепло, світло, вентиляція); зворотний зв'язок від користувачів – аналіз комфорту перебування людей у просторі. Якщо відвідувачі скаржаться на протяги чи духоту, архітектор разом з інженерами коригує сценарії роботи будівельних систем (наприклад, режими відкривання фрамуг або роботу систем кондиціювання).

У контексті нашого дослідження важливо також розглянути світовий досвід реновації громадських будівель, зокрема практику трьох стадій енергоефективності.

Успішна трансформація муніципального та державного фонду нерухомості у розвинених країнах базується саме на комплексній тристадійній моделі. Зосередження лише на утепленні фасадів вважається застарілим підходом. Провідні світові практики демонструють ефективність інтегрованого підходу через приклади конкретних ініціатив.

1. Досвід країн Європейського Союзу (Директива NZEB та реноваційні хвилі). В ЄС діє стратегія «Хвиля реновації» (Renovation Wave), яка є частиною Європейського зеленого курсу. Мета ініціативи – щонайменше подвоїти темпи реновації будівель до 2030 року.

Стадія 1 (діагностика та паспортизація). У країнах Європейського Союзу запроваджено цифрові паспорти будівель (Building Passports). Наприклад, у Франції діє обов’язкова система енергетичного моніторингу громадського сектора через єдину державну платформу OSMOSE, де акумулюються дані енергоаудитів тисяч шкіл і лікарень [7, с. 2].

Стадія 2 (активна термомодернізація). Яскравим прикладом є програма глибокої термомодернізації шкіл у Німеччині (регіон Північний Рейн-Вестфалія). Там оновлення не обмежується мінватою: будівлі оснащуються децентралізованими системами вентиляції з рекуперацією тепла (коефіцієнт корисної дії понад 80%) та комбінуються з геотермальними насосами.

Стадія 3 (експлуатація та моніторинг). У Данії (м. Копенгаген) муніципальні будівлі інтегровані в єдину мережу «розумного» міста (Smart City). Дані про споживання тепла й електроенергії надходять у реальному часі до диспетчерських центрів, що дає змогу автоматично виявляти неефективну роботу систем у нічний час чи вихідні дні.

2. Досвід США (Програма Better Buildings Challenge). У Сполучених Штатах на федеральному та муніципальному рівнях успішно працює ініціатива Міністерства енергетики США Better Buildings Challenge, до якої долучилися сотні університетів, лікарень та місцевих органів влади.

Фокус на *стадію 1 та 3* (аудит + неперервний аналіз). Американський досвід доводить, що залучення інструментів постійного введення в експлуатацію (Continuous Commissioning) дає змогу знизити енергоспоживання будівель на 15–20% без капітальних інвестицій, лише завдяки оптимізації налаштувань існуючих інженерних систем на основі даних моніторингу.

Практичний кейс (штати Массачусетс і Каліфорнія): муніципалітети масово переходять на стандарти Net Zero Energy, де стадія проєктування (*стадія 1*) передбачає обов'язкове комп'ютерне енергетичне моделювання (Energy Modeling) майбутньої поведінки будівлі в умовах зміни клімату.

3. Досвід Сінгапуру (Стандарт BCA Green Mark). Сінгапур демонструє унікальний підхід до тропічного клімату, де найбільше енергії витрачається не на опалення, а на кондиціювання та вентиляцію повітря (HVAC).

Комплексний підхід до *стадії 2 та 3*: національна програма Green Mark вимагає від громадських будівель не просто енергоефективної оболонки (що у тропіках означає сонцезахисні фасади та спеціальне скло), а максимальної автоматизації. Урядові будівлі Сінгапуру використовують системи штучного інтелекту для прогнозування навантаження на кондиціонери залежно від кількості людей у приміщеннях. Отже, завдяки суворому дотриманню стадій від проєктної експертизи до інтелектуального управління, нові та оновлені громадські будівлі Сінгапуру споживають на 50–60% менше енергії порівняно з базовими нормативами.

Висновки і перспективи використання результатів дослідження. Реновація громадських будівель є багатоаспектним процесом, успіх якого залежить від дотримання системності та послідовності. Виділення трьох ключових стадій – превентивної діагностики (енергоаудит та проєктування), активної термомодернізації (будівельні та інженерні заходи) та післяпроєктної експлуатації (моніторинг і сервіс) – дає змогу оптимізувати розподіл фінансових ресурсів та мінімізувати технічні ризики.

Проведений аналіз наукових джерел свідчить про наявність чіткого консенсусу серед дослідників: успішна реновація громадських будівель є комплексним процесом, який не допускає фрагментарності. У публікації «Управління енергоефективністю громадських будівель на основі концепції сталого розвитку та життєвого циклу» (С. Денисюк, О. Бєляєв) зазначається, що максимальний ефект (зменшення енергоспоживання на 40–60%) досягається лише за умови синергії всіх трьох стадій – ретельної діагностики (*стадія 1*), якісних будівельно-інженерних робіт (*стадія 2*) та безперервного цифрового моніторингу під час експлуатації (*стадія 3*) [9, с. 115].

Архітектурний аспект активної термомодернізації громадських споруд полягає у синтезі будівельної фізики та естетики. Успішний проєкт реновації не перетворює лікарню чи школу на «утеплену коробку», а навпаки – через вивірені пропорції, якісні оздоблювальні матеріали, роботу зі світлом та збереження культурного контексту створює сучасний, енергоефективний простір, що відповідає високим стандартам інклюзії, комфорту та міської архітектурної культури.

Аналіз міжнародної практики підтверджує універсальність тристадійної моделі реновації: неможливо досягти високих результатів без якісної діагностики (*стадія 1*) та оцифрування даних; будівельні заходи (*стадія 2*) мають бути комплексними, а не точковими.

Енергоменеджмент і моніторинг (*стадія 3*) є запорукою того, що економія ресурсів зберігатиметься десятиліттями, а не зникне через кілька років після завершення ремонту.

Комплексна реалізація запропонованих шляхів забезпечує скорочення споживання енергоносіїв на 40–60%, значно поліпшує параметри мікроклімату в соціальних установах та сприяє досягненню стратегічних цілей енергетичної безпеки і сталого розвитку держави.

Перспективними напрямами подальших досліджень є економічна оцінка термінів окупності інвестицій для кожного з етапів реновації у різних типах громадських будівель.

Варто зауважити, що ревіталізація громадської споруди не обмежується етапом її введення в експлуатацію. Успішна експлуатація вимагає постійного архітектурного супроводу, спрямованого на збереження автентичності пам'ятки та мінімізацію її вуглецевого сліду за допомогою смарт-технологій і адаптивного управління простором.

Інформація про використання штучного інтелекту. *Під час підготовки статті інструменти штучного інтелекту використовувалися виключно для мовного редагування, перевірки граматики, перекладу або інших допоміжних завдань, без використання згенерованих ними об'єктів як результатів академічної діяльності.*

Список використаних джерел

1. Саницький М. А., Позняк О. Р., Марущак У. Д. Енергозберігаючі технології в будівництві : навч. посіб. 2-ге вид., випр. Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2013. 240 с. URL: https://vpu29.rv.ua/wp-content/uploads/2025/02/Enerhozberihaiuchi-tekhnolohii-v-budivnytstvi-Sanytskyy-M.A.pdf (дата звернення: 07.10.2026).

2. Melnyk L., Kubatko O., Kharchenko M. Economic and Social Challenges of Breakthrough Technologies in the Context of Industry 4.0 and 5.0: The EU Experience = Економічні та соціальні виклики проривних технологій в умовах індустрії 4.0 та 5.0: досвід ЄС. Mechanism of Economic Regulation. 2019. No 4. С. 32–39. URL: https://mer-journal.sumy.ua/index.php/journal/article/view/219/207 (дата звернення: 07.10.2026).

3. Усенко Н., Чернявський А. Практичний посібник з енергетичного аудиту промислових підприємств. Київ : Проект «Консультування підприємств щодо енергоефективності», 2020. 141 с. URL: https://old.saee.gov.ua/sites/default/files/2021_04_02_Practical_Energy_Audit_Guidebook.pdf (дата звернення: 07.10.2026).

4. Сокальська В. В. Розроблення автоматизованої системи збору та обробки даних про споживання електроенергії : кваліфікаційна робота бакалавра / Західноукраїнський національний університет. Тернопіль, 2026. 80 с. URL: https://dspace.wunu.edu.ua/bitstreams/9502ed78-2156-47eb-8b05-c060fa2d547b/download (дата звернення: 07.10.2026).

5. Шубак П., Борст Д., Саф'янц А., Чернявський А. Посібник з енергоаудиту / Бонн–Ешборн–Київ : Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, 2020. 148 с. URL: https://www.slideshare.net/slideshow/posibnyk-z-enerhoaudytu-239476442/239476442.pdf (дата звернення: 07.10.2026).

6. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель : ДБН В.2.6-31:2021. (Державні будівельні норми України). [Чинний від 2022-09-01]. Київ : Мінрегіон України, 2021. 74 с.

7. Directive (EU) 2024/1275 of the European Parliament and of the Council of 24 April 2024 on the energy performance of buildings (recast). *Official Journal of the European Union.* 2024. L 2024/1275. URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2024/1275/oj/eng (дата звернення: 10.08.2026).

8. Пахолюк О.А., Бандура І.О., Довбенко В.С. Енергомоніторинг у громадських будівлях. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві.* 2026. Вип. 25, 429-443. DOI: https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2026-15(25)-32

9. Скакун В.А. Сталий розвиток і цифровізація - головні тенденції розвитку будівництва. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин.* 2022. Вип. 49(2). С. 94-108. DOI: https://doi.org/10.32347/2707-501x.2022.49(2).94-108

References

1. Sanytskyi, M. A., Pozniak, O. R., & Marushchak, U. D. (2013). *Enerhozberihaiuchi tekhnolohii v budivnytstvi* [Energy-saving technologies in construction] (2nd ed.). Lviv Polytechnic Publishing House [in Ukrainian].

2. Melnyk, L., Kubatko, O., & Kharchenko, M. (2019). *Economic and social challenges of breakthrough technologies in the context of Industry 4.0 and 5.0: The EU experience. Mechanism of Economic Regulation*, (4), 32–39 [in English].

3. Usenko, N., & Chernyavskyi, A. (2020). *Praktychnyi posibnyk z enerhotychnoho audytu promyslovykh pidpryiemstv* [Practical guidebook on energy audit of industrial enterprises]. Energy Efficiency Consultation Project [in Ukrainian].

4. Sokalska, V. V. (2026). *Rozroblennia avtomatyzovanoi systemy zboru ta obrobky danykh pro spozhyvannia elektroenerhii* [Development of an automated system for collecting and processing electricity consumption data] [Bachelor's or Master's thesis, West Ukrainian National University]. Institutional Repository WUNU [in Ukrainian].

5. Shubak, P., Borst, D., Safyants, A., & Chernyavskyi, A. (2020). *Posibnyk z enerhoaudytu* [Energy audit guidebook]. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH [in Ukrainian].

6. Ministry of Communities and Territories Development of Ukraine. (2021). *Teplova izoliatsiia ta enerhoefektyvnist budivel: DBN V.2.6-31:2021* [Thermal insulation and energy efficiency of buildings: D[in English].BN V.2.6-31:2021] [in Ukrainian].

7. *Directive (EU) 2024/1275 of the European Parliament and of the Council of 24 April 2024 on the energy performance of buildings* (recast). (2024). Official Journal of the European Union, L 2024/1275 [in English].

8. Pakholiuk, O. A., Bandura, I.O., Dovbenko, V.S. (2026). Enerhomonitorynh u hromadskykh budivliakh [Energy monitoring in public buildings]. *Suchasni tekhnolohii ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi – Modern Technologies and Calculation Methods in Construction,* 25, 429-443. DOI: https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2026- 15(25)-32 [in Ukrainian].

9. Skakun, V. (2022). Stalyi rozvytok i tsyfrovizatsiia – holovni tendentsii rozvytku budivnytstva [Sustainable development and digitalization – the main trends in construction development]. *Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti budivnytstva v umovakh formuvannia rynkovykh vidnosyn – Ways to Improve Construction Efficiency,* 49(2), 94-108. DOI: https://doi.org/10.32347/2707-501x.2022.49(2).94-108 [in Ukrainian].

Дата першого надходження статті до видання: 03.08.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 18.09.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 12.11.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)