

DOI: <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2025.73.438-452>

УДК 711.1

**Голик Йолана Миколаївна,**

*кандидат технічних наук,*

*доцент кафедри міського будівництва та господарства*

*Ужгородського національного університету*

[g.jolana@ukr.net](mailto:g.jolana@ukr.net)

<https://orcid.org/0000-0001-5135-0711>

**Кайнц Діана Іванівна,**

*кандидат фізико-математичних наук,*

*доцент кафедри міського будівництва та господарства*

*Ужгородського національного університету*

[diana.kaynts@uzhnu.edu.ua](mailto:diana.kaynts@uzhnu.edu.ua)

<https://orcid.org/0000-0002-7242-027X>

**Стецько Іван Іванович,**

*асистент кафедри міського будівництва та господарства*

*Ужгородського національного університету*

[ivan.stetsko@uzhnu.edu.ua](mailto:ivan.stetsko@uzhnu.edu.ua)

<https://orcid.org/0009-0006-8027-490X>

## **ЕНЕРГОЕФЕКТИВНА ТРАНСФОРМАЦІЯ ГРОМАДСЬКИХ БУДІВЕЛЬ: ВИКЛИКИ ТА МОЖЛИВОСТІ**

Анотація: у статті висвітлені питання щодо важливості удосконалення енергетичних характеристик існуючих громадських будівель в умовах сучасних економічних та екологічних викликів. Насамперед розглянуті основні методи та технології, що можуть бути застосовані для зменшення споживання енергії при термомодернізації будівель. Окрему увагу приділено інструментам оцінки енергоефективності та економічним вигодам від реалізації таких заходів.

Ключові слова: громадські будівлі; енергоефективність; термомодернізація; енергоменеджмент; енергоспоживання.

**Актуальність теми і постановка проблеми.** Громадські будівлі складають значну частку у загальній структурі споживання енергії в сучасних містах. Згідно статистичних даних громадські будівлі можуть споживати 20-40% від загальної кількості енергії, яка необхідна для функціонування міста. У великих містах ця частка зазвичай є вищою, оскільки в них зосереджено більше адміністративних та громадських об'єктів. Громадські будівлі, як правило, мають високі показники енергоспоживання на одиницю площі через специфіку їх функціонування та високу енергоемність, оскільки вони потребують значних обсягів енергії для

функціонування всіх необхідних інженерних комунікацій та мереж (системи опалення, вентиляції, кондиціонування, освітлення, гарячого водопостачання, роботи технологічного обладнання та ін.). Також дуже важливим фактором, який впливає на високі показники енергоспоживання громадських будівель, є старий будівельний фонд, адже більшість діючих громадських будівель в Україні були збудовані на початку і у середині ХХ ст. та мають низькі показники енергоефективності через застарілі будівельні конструкції та матеріали, інженерні комунікації та відсутність сучасної ефективної термоізоляції.

Підвищення енергоефективності громадських будівель є важливим кроком для забезпечення сталого розвитку та зменшення шкідливого впливу на довкілля. Зниження показників споживання теплової та електричної енергії у будівлях сприяє суттєвому скороченню викидів CO<sub>2</sub> та має ряд економічних переваг. Національним планом дій з енергоефективності на період до 2030 року передбачено досягти суттєвого скорочення споживання енергії та викидів парникових газів внаслідок реалізації енергоефективних заходів - дій технічного, організаційного, економічного, інформаційного характеру або їх сукупності, результатом яких є підвищення енергетичної ефективності (зниження питомих витрат), яке можна виміряти або розрахувати [1]. Зокрема, у секторі будівель очікується економія первинної енергії – 3 855 тис. т. н. е., економія кінцевої енергії – 2 758 тис. т. н. е., скорочення викидів парникових газів – 3 501 тис. т CO<sub>2</sub>-екв. на рік [3].

Повномасштабна війна, і атаки на об'єкти енергетичної інфраструктури звичайно вносять зміни щодо кількісних показників планів та стратегій, які були розроблені до 2022 року, однак разом із тим, ще більше загострюють актуальність проблеми скорочення споживання енергетичних ресурсів. Починаючи із 2022-го року проблема високої енергоємності сектору громадських будівель розглядається у контексті загроз енергетичній безпеці України загалом.

На сьогоднішній день вже ведеться активна робота щодо плану післявоєнного відновлення України. Він включає комплекс заходів щодо будівництва нових будівель та споруд різного функціонального призначення із близьким до нульового рівня споживання енергії та термомодернізації існуючих будівель та споруд як основні шляхи підвищення енергоефективності у секторі будівництва. Питання термомодернізації житлових та громадських будівель усіх форм власності затверджені в Законі України «Про енергетичну ефективність будівель» [2] та сформовані у довгострокову стратегію.

Для підвищення енергоефективності існуючих громадських будівель потрібно застосовувати комплексний підхід та системний аналіз кожної окремо взятої будівлі задля визначення оптимального плану реалізації

енергоефективних заходів щодо термомодернізації в межах наявного бюджету та економічної доцільності. З огляду на кількість громадських будівель, що потребують термомодернізації для органів державної влади та місцевого самоврядування, як власників значного фонду громадських будівель, питання пріоритезації енергоефективних заходів та пошуку оптимальних рішень щодо інвестування є одними із ключових.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Основні підходи та досвід проєктування енергоефективних будівель державної власності в Україні досліджували вітчизняні вчені Уреньов В.П., Дудка О.М., Кошель В.А., Бахтін Д.С., Цигичко С.П. Шулдан Л.О. у своїй роботі досліджувала особливості впровадження енергоефективних технологій на приклад навчальних будівель та комплексів [4]. Окремі принципи формування громадської енергоефективної архітектури виділені в дослідженнях вчених Данько К. С. [5], Діб М. З. [6], Сергійчук О. В. [7], результати яких були враховані під час розробки ЗУ «Про енергетичну ефективність» [1], ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція будівель» [8] та низку інших нормативно-правових документів і норм. Питання розробки новітніх енергоефективних матеріалів для огорожувальних конструкцій та застосування енергоефективних технологій в різних типах будівель досліджували вчені Холдаєва М.І., Кошева В.О., Чорноморденко Є.І., Щербина О.С., Міхалевська Т. Р.

**Мета статті** полягає в аналізі існуючого стану громадських будівель з точки зору енергоефективності та дослідженні сучасних технологій що дозволять знизити енергоспоживання існуючих будівель громадського призначення.

**Виклад основного матеріалу.** Згідно Закону України «Про енергетичну ефективність будівель» енергетична ефективність будівель визначається як властивість будівлі, що характеризується кількістю енергії, необхідної для створення належних умов проживання та/або життєдіяльності людей у такій будівлі [2]. Для оцінки енергоефективності будівель часто використовують європейську класифікацію будівель згідно їх енергоспоживання, яка є важливою для визначення заходів щодо зниження рівня витрат енергії. Згідно цієї класифікації будівлі поділяють на старі будівлі (вимагають для свого опалення та охолодження близько 300 кВт-год/м<sup>2</sup>), нові будівлі (150 кВт-год/м<sup>2</sup>), будівлі низького споживання енергії (60 кВт-год/м<sup>2</sup>), пасивні будівлі (15 кВт-год/м<sup>2</sup>), будівлі нульової енергії (архітектурно має ті ж стандарти, що й пасивні будівлі, але інженерно оснащені так, щоб споживати виключно тільки ту енергію, яку самі й виробляють - 0 кВт-год/м<sup>2</sup>), активні будівлі, які за допомогою встановленого на них інженерного обладнання - сонячних панелей, колекторів, теплових насосів, рекуператорів та інших - виробляють більше енергії, ніж самі споживають.

Також згідно з ДБН В.2.6-31:2021 [8] визначається показник питомого енергоспоживання на опалення та охолодження, на основі якого будівлі класифікуються на 6 класів енергоефективності, передбачених Європейськими стандартами. Класи позначаються латинськими літерами: А, В, С, D, E, F, де F – найгірший клас енергетичної ефективності, А – найкращий. У будинках, що мають клас енергоефективності А, відсоток різниці питомого енергоспоживання від максимально допустимого значення ( $E_{\max}$ ) становить мінус 50 і менше, у класу В – від мінус 49 до мінус 10, у класу С – від мінус 9 до 0, у класу D – від 1 до 25, у класу E – від 26 до 75 і у класу F – 76 і більше.

На сьогоднішній день в Європейському Союзі діють вимоги щодо будівництва з майже нульовим енергоспоживанням (NZEB), які спрямовані на перехід до будівництва з нульовим рівнем викидів. Для підвищення енергоефективності будівель різного функціонального призначення в ЄС створена законодавча база, яка включає в себе Директиву про енергетичну ефективність будівель EU/2010/31 та Директиву про енергоефективність EU/2023/1791, які були оновлені в 2023 році. Головною метою даних директив є досягнення високоенергоефективного та декарбонізованого будівельного фонду до 2050 року [9].

Основні заходи, які передбачені в переглянутому EPBD включають:

- національні траєкторії зменшення споживання первинної енергії будівлями;
- поступове запровадження мінімальних стандартів енергоефективності для нежитлових будівель;
- покращений стандарт для новобудов, включаючи орієнтацію на будівлі з нульовим рівнем викидів;
- розширені довгострокові стратегії реконструкції будівель;
- підвищення якості сертифікатів енергоефективності;
- забезпечення готовності новобудов до встановлення сонячних панелей, де це технічно та економічно можливо;
- запровадження паспортів реконструкції будівель та визначення глибокого ремонту;
- модернізація будівель та інтеграція енергетичних систем (для опалення, охолодження, вентиляції, електропостачання та відновлюваної енергії);
- «єдине вікно» для енергетичної реновації існуючих будівель.

Будівля з майже нульовим енергоспоживанням (NZEB) означає будівлю, яка має дуже високу енергетичну ефективність, тоді як майже нульова або дуже низька необхідна кількість енергії повинна покриватися в дуже значній мірі за рахунок енергії з відновлюваних джерел, включаючи енергію з відновлюваних джерел, вироблену на місці або поблизу [9]. Згідно директиви про енергетичну

ефективність будівель всі громадські будівлі, які будувалися після 31 грудня 2018 року в країнах Європейського Союзу, мали мати майже нульове споживання енергії (ZEB). Також в ЄС є пропозиції до 2030 року перейти від будівель з майже нульовим енергоспоживанням до будівель з нульовим рівнем викидів. Будівля з нульовим рівнем викидів визначається як будівля з дуже високою енергетичною ефективністю, де необхідна дуже низька кількість енергії повністю покривається енергією з відновлюваних джерел і без викидів вуглецю на місці від викопного палива [9]. Вимога ZEB повинна застосовуватися з 1 січня 2030 року до всіх нових будівель, а з 1 січня 2027 року до всіх нових будівель, які займають або володіють державні органи влади.

Основні вимоги вище згаданих директив можна узагальнити наступним чином:

- висока енергетична ефективність будівель (виражається і більш жорстких вимогах до енергоефективності будівель або у вищих класах будівель в сертифікаті енергоефективності);
- майже нульова кількість спожитої енергії будівлею (полягає в обмеженні для майже нульової або дуже низької кількості необхідної первинної енергії та викидів CO<sub>2</sub>);
- велика частка відновлювальної енергетики для покриття різниці споживання енергії (визначається як обов'язкова мінімальна частка (відсоток) від спожитої енергії).

На сьогоднішній день в Україні сформована національна політика щодо імплементації EPBD. У Законі України «Про енергетичну ефективність будівель» [2], визначені основні засади державної політики у сфері забезпечення енергетичної ефективності будівель та розроблений національний план збільшення кількості будівель з близьким до нульового рівня споживання енергії. Однак в Україні поки що існує ряд проблем, які потребують комплексного вирішення задля поступового підвищення енергетичної ефективності будівель. Також варто відзначити, що в Україні на сьогодні відсутнє детальне визначення енергонезалежних будівель та вимог до них, зокрема пов'язане з недостатніми темпами наближення будівельних норм та національних стандартів України до європейських вимог щодо енергетичної ефективності будівель, які постійно підвищуються.

Аналізуючи нормативну базу щодо енергоефективності будівель як в Європейському Союзі так і Україні, варто наголосити на тому, що підходи щодо забезпечення енергоефективності будуть залежати в першу чергу від того, чи йдеться про нове будівництво, чи про модернізацію існуючих будівель. Ці підходи можуть кардинально відрізнятися, оскільки при новому будівництві майже немає додаткових обмежень на використання різних методів та прийомів

задля забезпечення високих показників енергоефективності, а при термомодернізації існуючих будівель при розробці рішень щодо підвищення рівня енергоефективності потрібно брати до уваги існуючі архітектурні особливості об'єкту, містобудівні аспекти сформованої забудови, наявний поточний стан будівельних конструкцій та інженерних мереж і багато інших чинників, які часто є індивідуальними для кожної окремо взятої будівлі.

Для забезпечення високих показників енергоефективності при новому будівництві необхідно дотримуватися принципу комплексності, а самі всі прийняті рішення повинні бути взаємоузгодженими і забезпечувати оптимальні показники щодо витрат енергії, яка необхідна для функціонування та експлуатації об'єкту. До основних факторів, які впливають на загальні показники енергоефективності при новому будівництві можна віднести:

- архітектурні рішення - оптимальне розташування будівлі відносно сторін світу для максимального використання природного та нормативного освітлення та пасивного сонячного обігріву, використання компактних архітектурних форм, що дозволяє зменшити площу зовнішніх огорожувальних конструкцій та знизити тепловтрати;

- будівельні матеріали - використання високоефективних теплоізоляційних матеріалів для утеплення зовнішньої огорожувальної оболонки будівлі, влаштування світлопрозорих конструкцій з низьким коефіцієнтом теплопередачі та високим показником герметичності;

- інженерні комунікації - використання інноваційних систем для опалення та охолодження будівлі з високим коефіцієнтом корисної дії, таких як теплові насоси, влаштування системи вентиляції з принципом рекуперації тепла задля забезпечення припливу свіжого повітря з мінімальними енергетичними втратами;

- відновлювані джерела енергії - використання сонячних панелей для генерації електроенергії та геліоколекторів для підігріву води, застосування геотермальних систем, що дозволяють використовувати енергію землі для опалення та охолодження;

- дотримання нормативних вимог при будівництві та сертифікація - на всіх етапах проектування та будівництва необхідно чітко дотримуватися нормативних вимог щодо виконання робіт, всі матеріали та технології, які використовуються повинні бути сертифікованими та відповідати стандартам якості.

В свою чергу при термомодернізації існуючих будівель в першу чергу потрібно брати до уваги існуючий стан окремо взятих будівельних конструкцій, інженерних комунікацій та будівлі в цілому. Головним завданням енергоаудиту є визначення основних джерел тепловтрат, оцінка окремо взятих елементів

будівлі щодо енергоефективності та визначення потенціалу щодо термомодернізації. Теплова модернізація в залежності від окремо взятого об'єкту, може включати в себе утеплення зовнішніх огорожувальних конструкцій будівлі, заміну світлопрозорих конструкцій, які межують із навколишнім середовищем, модернізацію або повну заміну існуючих інженерних мереж, автоматизацію систем управління інженерними комунікаціями та багато іншого.

Розвиток та впровадження технології енергоефективності, в першу чергу впроваджувалися в секторі житлового будівництва та модернізації житлового фонду, однак на сьогоднішній день все активніше ведеться пошук засобів підвищення енергоефективності громадських будівель. Реконструкція та термомодернізація будівель громадського призначення однозначно є набагато складнішою в порівнянні з житловими будинками, з огляду на значну різноманітність типів громадських об'єктів, їхніх функцій, технічних характеристик та архітектурних особливостей. Аналізуючи великий міжнародний та двадцятирічний вітчизняний досвід енергетичного вдосконалення житлових будинків, можна зробити висновок, що методи підвищення енергоефективності в житловому секторі не можуть бути без змін пристосовані до впровадження для громадських будівель [10].

Головною класифікаційною ознакою громадських будівель є їх функціональне призначення. За цією ознакою вони (згідно ДБН В.2.2-9:2018) поділяються на 12 основних груп, а саме:

- будівлі, споруди та приміщення дошкільних навчальних закладів;
- будівлі, споруди та приміщення навчальних закладів;
- будівлі, споруди та приміщення для охорони здоров'я та відпочинку;
- будівлі, споруди та приміщення фізкультурно-спортивні й оздоровчі;
- будівлі, споруди та приміщення закладів соціального захисту населення;
- будівлі, споруди та приміщення культурно-видовищних, дозвіллевих та культурних закладів;
- будівлі, споруди та приміщення для підприємств торгівлі та громадського харчування;
- будівлі, споруди та приміщення підприємств побутового обслуговування;
- будівлі, споруди та приміщення для комунального господарства (окрім виробничих, складських та транспортних будинків і споруд);
- будівлі, споруди та приміщення для транспорту, призначені для безпосереднього обслуговування населення;
- будівлі, споруди та приміщення для науково-дослідних установ, проєктних і громадських організацій та управління;

- багатофункціональні будівлі та комплекси, що включають приміщення різного призначення.

Кожен тип будівель має свої вимоги до температурно-вологісного режиму, об'єму вентиляованого повітря, кондиціонування, рівня освітлення, тому розробляючи рішення щодо підвищення енергоефективності громадських будівель потрібно чітко визначити та проаналізувати всі ці фактори перед тим як вибирати той або інший метод термомодернізації.

Дуже важливим фактором при модернізації існуючих будівель є конструктивні характеристики основних несучих конструкцій. Вік будівлі впливає на несучу здатність будівельних конструкцій, тому перед початком термомодернізації необхідно провести комплекс робіт щодо визначення технічного стану конструкцій будівлі і можливості їх додаткового навантаження за рахунок утеплення. Матеріал стін, стель, покрівлі, конструкції підлог, віконних та дверних конструкцій визначають технології, які можуть бути застосовані. Також при термомодернізації громадських будівель потрібно належну увагу приділяти соціальним аспектам, оскільки даний тип будівель має забезпечувати комфорт і безпеку для великої кількості людей та враховувати специфіку потреб користувачів.

У зв'язку з цим в останні роки були розроблені та впроваджені в життя програми та проєкти з підвищення енергоефективності окремих типів громадських будівель бюджетного сектору. Вкладання коштів в енергоефективність громадських будівель державної форми власності має на меті підвищити рівень комфортності для людей, які працюють в цих установах, знизити їх енергозалежність, зменшити негативний вплив на навколишнє середовище та зберегти значні кошти державного бюджету у найближчому майбутньому. Чим у більш широкому обсязі будуть впроваджені технології енергоефективності, тим ефективнішим буде результат економії.

Енергоефективність громадських будівель залежить від двох основних показників, рівня тепловтрат та рівня енергоспоживання. Метою будь якого проєкту щодо термомодернізації будівлі є зменшення до мінімальних показників тепловтрати будівлі та підвищення ефективності енергоспоживання. Високий рівень енергоефективності може бути досягнутий тільки при комплексному та оптимальному вирішенні проблем втрати теплової енергії та споживання енергетичних ресурсів для підтримання оптимальних мікрокліматичних показників в середині будівлі. Однак питання зменшення тепловтрат є першочерговим, оскільки без його вирішення досягнути високих показників енергоефективності неможливо.

Для зменшення тепловтрат існуючих будівель необхідно забезпечити високий рівень теплової ізоляції зовнішньої теплоізоляційної оболонки будівлі,

яка складається з огорожувальних конструкцій опалюваного об'єму будівлі, що забезпечує збереження енергії для опалення та охолодження, а саме: зовнішніх стін, світлопрозорих віконних та дверних конструкцій (тільки зовнішні двері), конструкцій покриттів (суміщене покриття, горищні перекриття, перекриття мансардного типу) та конструкцій перекриттів (перекриття над опалюваним підвалом, перекриття над неопалюваним підвалом, перекриття над техпідпіллям, конструкція підлоги по ґрунту).

На сьогоднішній час існує багато підходів щодо забезпечення високого рівня теплової ізоляції будівель і тим самим мінімізації теплових втрат, однак можна виділити такі основні:

- використання ефективних теплоізоляційних матеріалів. На сьогоднішній час на ринку будівельних матеріалів є дуже велике різноманіття теплоізоляційних матеріалів серед яких можна виділити такі: мінеральна вата, пінополістирол, пінополіуретан, целюлозні утеплювачі («ековата»), ніздрюваті бетони та багато інших. Однак, незважаючи на велике різноманіття вже існуючих теплоізоляційних матеріалів, активно ведуться роботи щодо дослідження та синтезу новітніх матеріалів, які б мали значно кращі показники теплопровідності і мали менший негативний вплив на навколишнє середовище при їх виготовленні, експлуатації та майбутній утилізації. До таких матеріалів можна віднести арболітобетон на основі костриці коноплі, теплоізоляційні матеріали на основі базальтового волокна, композиційні матеріали на основі рідинноскляного грануляту, композиційні матеріали на основі зернистих пористих заповнювачів, теплоізоляційні легкі нанобетони з органічними заповнювачами, будівельні аерогелі та інші. Одним із найперспективніших напрямків розвитку теплоізоляційних матеріалів є використання нанотехнологій та наночастинок для виготовлення інноваційних матеріалів з унікальними енергозбережними властивостями;

- використання інноваційних технологій для теплоізоляції будівель. Технології щодо виконання робіт для теплоізоляції різних конструктивних елементів будівель постійно розвиваються та удосконалюються, активно ведеться робота щодо удосконалення методів виконання різного виду теплоізоляційних робіт з уникненням або мінімізацією виникнення «містків холоду», активно розробляються та впроваджуються нанотехнології для підвищення якості виконання робіт;

- використання енергоефективних вікон та дверей. Для зменшення тепловтрат через світлопрозорі конструкції використовують вікна з низькоемісійним склом, різноманітні теплоізоляційні плівки для скління, що здатні підвищити теплоізоляцію, напівпрозорі нанопокриття, які здатні частину

сонячного випромінювання пропускати, а частину акумулювати по принципу сонячних панелей.

Другою складовою забезпечення високих показників енергоефективності будівель є зниження енергоспоживання, яке можна досягнути за рахунок наступних заходів:

- модернізація або повна заміна системи опалення. Високі показники ефективності системи опалення можна досягнути за рахунок використання сучасних котлів, теплових насосів, ефективних нагрівальних приладів із термостатичним регулюванням, теплоізоляції системи розподілу теплової енергії, встановлення автоматизованого вузла управління з погодозалежним регулюванням та ін. Значну перспективу в питанні ефективності функціонування системи опалення мають теплові насоси. На сьогоднішній день номенклатура теплових насосів постійно розширюється так як і зростає відсоток їх використання для системи опалення при новому будівництві, реконструкції та термомодернізації;

- ефективна система вентиляції. За рахунок використання системи вентиляції з рекуперацією тепла, яка повертає частину тепла з повітря, що видаляється, можна значно скоротити тепловтрати і зменшити енергоспоживання для системи опалення будівлі. Ефективна система вентиляції є особливо важливою для громадських будівель де зазвичай спостерігається великий потік людей;

- ефективна система освітлення та електропостачання. Використання сучасних LED-світильників дозволяє значно скоротити споживання електроенергії на освітлення. Також для громадських будівель суттєво додають ефективності сучасні системи автоматичного керування освітленням, такі як датчики руху;

- ефективна система гарячого водопостачання. Сучасні технології, такі як використання бойлерів з високим ККД, системи циркуляції гарячої води з мінімальними втратами тепла та інтеграція сонячних водонагрівачів, забезпечують значну економію енергії та зниження витрат;

- інтелектуальні системи управління. "Розумні" системи моніторингу та управління енергоспоживанням дозволяють оптимізувати використання ресурсів, автоматизувати контроль температури, освітлення та вентиляції;

- використання відновлюваних джерел енергії. Інтеграція сонячних панелей, вітрових генераторів, геотермальних систем та біомаси дозволяє громадським будівлям отримувати енергію з екологічно чистих джерел. Це не лише зменшує викиди парникових газів, але й забезпечує довгострокову енергетичну незалежність.

Ще однією важливою складовою забезпечення високих показників енергетичної ефективності будівель є якісний енергетичний менеджмент. Енергетичний менеджмент - це комплекс заходів з моніторингу, аналізу та оптимізації постачання й використання енергії [11].

Працююча система енергоменеджменту має забезпечувати доступ до інформації про споживання енергетичних ресурсів за необхідний період та за допомогою вдалого використання таких ресурсів як персонал, обладнання, навчання та інформація. До основних завдань енергетичного менеджменту можна віднести побудову організаційної структури, моніторинг, аудит, впровадження енергоефективних заходів, контроль та звітність.

Головним завданням є розробка довгострокової стратегії термомодернізації об'єкту. Загальний план здійснення заходів з енергоефективності у будівлях включає в себе щорічні плани та заходи, в тому числі і з експлуатації будівлі. Питання підвищення енергоефективності мають бути вписані у загальну систему планування діяльності організації. У довгостроковій стратегії повинна бути визначена пріоритетність реалізації енергоефективних заходів, яка визначається на основі наступних ключових факторів:

- потенціал скорочення споживання енергії;
- окупність проєкту;
- внутрішня норма рентабельності заходів (IRR, Internal Rate of Return);
- стан будівлі та період, який пройшов з моменту проведення останнього капітального ремонту або реконструкції;
- кількість людей у будівлі (або інших користувачів, зокрема, відвідувачів).

Не менш важливим ніж скорочення споживання енергії є вартість заходів, які планується впроваджувати, тобто окупність. Окупність проєкту - це період повернення інвестицій у часі. У разі, коли передбачається співпраця з інвестором, важливим є також врахування внутрішньої норми рентабельності заходів (IRR).

Внутрішня норма рентабельності (IRR) характеризує максимально припустимий відносний рівень витрат, які можуть бути зроблені при реалізації проєкту. Чим цей показник вищий, тим проєкт є привабливішим для інвестування.

**Висновки.** Підвищення енергоефективності існуючих громадських будівель - це багатогранний та складний процес, який включає технічні, економічні та екологічні аспекти. Реалізація заходів з енергоефективності дозволяє зменшити споживання ресурсів, скоротити витрати на обслуговування будівель і знизити негативний вплив на довкілля. Крім того, це сприяє створенню комфортних умов для користувачів, підвищенню конкурентоспроможності будівель та формуванню екологічної культури серед населення.

Використання відновлюваних джерел енергії, інноваційних технологій та інтелектуальних систем управління енергоспоживанням забезпечує стійкий розвиток громадської інфраструктури. Успішна реалізація таких заходів потребує не лише фінансових вкладень, але й активної підтримки з боку держави, місцевих громад та бізнесу. Підвищення енергоефективності громадських будівель є важливим кроком на шляху до енергетичної незалежності, сталого розвитку та збереження екологічного балансу для майбутніх поколінь.

#### Список літератури:

1. Закон України «Про енергетичну ефективність»: №1818-IX від 21.10.2021 р. (ред. від 15.11.2024 р.). Відомості Верховної Ради України, 2024, № 2, ст.8. База даних «Законодавство України». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1818-20#Text>
2. Закон України «Про енергетичну ефективність будівель»: №2118-VIII від 22.06.2017 р. (у редакції від 15.11.2024 р.). Відомості Верховної Ради України, 2017, № 33, ст.359. База даних «Законодавство України». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19/ed20241115#Text>
3. Про Національний план дій з енергоефективності на період до 2030 року: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 29 грудня 2021 р. № 1803-р. URL: <https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-nacionalnij-plan-dij-z-energoefektivnosti-na-period-do-2030-t291221>
4. Шулдан Л. О., Гладишев Д.Г., Штендера А.Ю. Навчальні будівлі і комплекси. Вимоги освіти та енергоефективність. Будівельні конструкції. 2013. Вип. 77. С. 95-102. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/buko\\_2013\\_77\\_19](http://nbuv.gov.ua/UJRN/buko_2013_77_19)
5. Данько К. С. Методичні основи архітектурно-планувальної організації енергоефективних багатоквартирних житлових будинків: дис. ... канд. архітектури: 18.00.02 / Київ. Нац. ун-т буд-ва і архітектури. Київ, 2019.
6. Діб М. З. Типологічні основи проектування пасивних житлових будинків на території України: дис. ... канд. архітектури: 18.00.02 / Київ. Нац. ун-т буд-ва і архітектури. Київ, 2019.
7. Сергейчук О.В., Кожедуб С.А. Розробка критеріальної оцінки енергоефективності та екологічності будівельних об'єктів. Енергоефективність в будівництві та архітектурі. 2018. Вип. 11. С. 61-68. DOI: <https://doi.org/10.32347/2310-0516.2018.11.61-68>
8. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель: чинна редакція від 20.04.2023 / М-во розвитку громад та територій України. Київ, 2021. База даних «Єдина державна електронна система у сфері будівництва». URL: [https://e-construction.gov.ua/laws\\_detail/3075196638495507996](https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3075196638495507996) (дата звернення: 20.04.2025).

9. Шамілов П.О. Огляд вимог nZEB в Європі: аналітичний звіт. Київ, 2024. 59 с. URL: [https://rehouse.org.ua/sites/default/files/1.zvit\\_nzeb.pdf](https://rehouse.org.ua/sites/default/files/1.zvit_nzeb.pdf)
10. Уреньов В.П., Бахтін Д.С. Досвід проєктування енергоефективних громадських будівель державної власності в Україні. Сучасні проблеми архітектури та містобудування. 2020. Вип. 57. С.322-339. DOI: <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2020.57.322-339>
11. Литвин В.І., Гончарук О.О., Гаращук С.М. Як скоротити енергоспоживання в будівлях державних органів: посібник енергоменеджера. Київ: ТОВ «АК-ГРУП», 2019. 61 с. URL: <https://saee.gov.ua/static-objects/saee/sites/1/Files/Energoefektyvnist/posibnyk-enerhomenedzhera.pdf>

#### References

1. Verkhovna Rada of Ukraine. (2021). Law of Ukraine “On energy efficiency” (No.1818-IX, October 21, 2021, as amended November 15, 2024). Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy, 2024(2), Article 8. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1818-20#Text> (in Ukrainian).
2. Verkhovna Rada of Ukraine. (2017). Law of Ukraine on energy performance of buildings (No. 2118-VIII, June 22, 2017, as amended November 15, 2024). Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy, 2017(33), 359. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19/ed20241115#Text> (in Ukrainian).
3. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2021). On the National Action Plan on energy efficiency for the period up to 2030 (Resolution No. 1803-r, December 29, 2021). <https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-nacionalnij-plan-dij-z-energoefektivnosti-na-period-do-2030-t291221> (in Ukrainian).
4. Shuldan, L. O., Hladyshev, D. H., & Shtendera, A. Yu. (2013). Educational buildings and complexes: Educational requirements and energy efficiency. Budivelni konstruktsii, (77), 95–102. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/buko\\_2013\\_77\\_19](http://nbuv.gov.ua/UJRN/buko_2013_77_19) (in Ukrainian).
5. Danko, K. S. (2019). Methodical bases of architectural and planning organisation of energy-efficient apartment buildings: (Candidate’s thesis, specialty 18.00.02). Kyiv National University of Construction and Architecture. Kyiv. (in Ukrainian).
6. Dib, M. Z. (2019). Typological bases of designing passive residential buildings on the territory of Ukraine: (Candidate’s thesis, specialty 18.00.02). Kyiv National University of Construction and Architecture. Kyiv. (in Ukrainian).
7. Serheichuk, O. V., & Kozhedub, S. A. (2018). Development of criteria-based assessment of energy efficiency and environmental performance of building objects. Energy Efficiency in Construction and Architecture, (11), 61–68. <https://doi.org/10.32347/2310-0516.2018.11.61-68> (in Ukrainian).

8. Ministry for Communities and Territories Development of Ukraine. (2023). DBN B.2.6-31:2021. Thermal insulation and energy efficiency of buildings (revised April 20, 2023). Unified State Electronic System in the Field of Construction. [https://e-construction.gov.ua/laws\\_detail/3075196638495507996](https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3075196638495507996) (in Ukrainian).
9. Shamilov, P. O. (2024). Review of nZEB requirements in Europe: Analytical report. Kyiv. [https://rehouse.org.ua/sites/default/files/1.zvit\\_nzeb.pdf](https://rehouse.org.ua/sites/default/files/1.zvit_nzeb.pdf) (in Ukrainian).
10. Urenev, V., & Bakhtin, D. (2020). Experience in designing energy-efficient public buildings of state ownership in Ukraine. Current Problems of Architecture and Urban Planning, (57), 322–339. <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2020.57.322-339> (in Ukrainian).
11. Lytvyn, V. I., Honcharuk, O. O., & Harashchuk, S. M. (2019). How to reduce energy consumption in public administration buildings: An energy manager's handbook. AK-HRUP LLC. <https://saee.gov.ua/static-objects/saee/sites/1/Files/Energoeffektyvnist/posibnyk-enerhomenedzhera.pdf> (in Ukrainian).

#### Abstract

**Jolana Holyk**, PhD, associate professor of Department of urban construction and municipal economy, Uzhhorod National University.

**Diana Kaynts**, PhD, associate professor of Department of urban construction and municipal economy, Uzhhorod National University.

**Ivan Stetsko**, PhD, assistant of Department of urban construction and municipal economy, Uzhhorod National University.

#### **Energy-efficient transformation of public buildings: challenges and opportunities**

In modern conditions, improving the energy efficiency of public buildings is becoming increasingly important. It is directly related to urban sustainable development strategies, the reduction of greenhouse gas emissions, ensuring a comfortable indoor microclimate, and strengthening the country's energy independence. Most public buildings in Ukraine were constructed during the 1960s–1990s based on outdated designs that did not account for modern energy-saving requirements. These facilities are characterized by significant heat losses, obsolete engineering systems, and inefficient heat supply schemes, which lead to excessive energy consumption and high operating costs.

This article examines the key challenges and problems associated with the high energy use of public buildings, as well as potential ways to address them. The current legal and regulatory framework on energy efficiency in Ukraine and the European Union is analyzed. Existing national and international methodologies for classifying buildings by energy consumption levels are reviewed. The article identifies essential

technical, architectural, and structural solutions that contribute to reducing heat loss, lowering heating system loads, and improving the overall efficiency of electricity and water use. Special attention is given to a comprehensive approach to building thermal modernization, including energy audits, identification of priority efficiency measures, the use of modern thermal insulation materials, installation of ventilation systems with heat recovery, implementation of renewable energy sources (such as solar panels and heat pumps), and smart control systems. The role of energy management is emphasized as a key tool for continuous monitoring and optimization of energy use at the level of individual buildings or entire institutions.

The aim of this study is to conduct a thorough analysis of the current state of public buildings in terms of energy efficiency, evaluate modernization opportunities, and develop practical recommendations for implementing effective engineering solutions under today's technical, economic, and environmental challenges.

Keywords: public buildings; energy efficiency; thermal modernization; energy management; energy consumption; sustainable development; energy audit; engineering solutions.