

УДК 69.059:697.1:69.003.121:624.042.4
DOI: 10.30838/UJCEA.2312.241225.89.1212

АНАЛІЗ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЇ ТЕРМОМОДЕРНІЗАЦІЇ ТИПОВИХ БАГАТОПОВЕРХОВИХ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ

ЗАЙЦЕВ В. І., *асп.*

Кафедра організації і управління будівництвом, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-33-66, e-mail: zaytsewiktorg@gmail.com, ORCID ID: 0009-0008-1040-6545

Анотація. Постановка проблеми. Багатоквартирні багатоповерхові будинки типової забудови характеризуються високим рівнем енергоспоживання та не відповідають чинним державним нормам з енергоефективності, а застаріла інфраструктура майже вичерпала свій ресурс і потребує значної модернізації. **Мета статті.** У цій статті шляхом аналізу нормативно-правових документів і наукових публікацій щодо стану житлового фонду та інженерних систем розглядаються шляхи вдосконалення організаційно-технологічних рішень під час реконструкції житлових будівель типових серій з метою підвищення їх енергоефективності. **Висновок.** Досліджено потенціал модернізації теплового контуру та інженерних систем шляхом впровадження сучасних технологій, враховуючи обмеження існуючих архітектурно-конструктивних рішень. Запропоновано інноваційні підходи до підвищення енергоефективності, зокрема інтеграцію сонячних електричних систем з рідинним охолодженням у фасадні системи, створення комбінованих децентралізованих систем опалення та застосування уніфікованих BIM-моделей для типових серій. Водночас, впровадження комплексної енергомодернізації залежить від державної підтримки та зацікавленості кінцевих споживачів і стикається з низкою значних викликів, серед яких високі початкові капіталовкладення, складність інтеграції різнорідних систем, а також організаційні та соціальні бар'єри. Для подолання цих перешкод і активізації процесів модернізації пропонується розробити стандартизовані проектні рішення, уніфіковану методику економічної оцінки та забезпечити адаптацію інноваційних рішень до умов масового впровадження.

Ключові слова: багатоквартирні будинки; енергоефективність; реконструкція; термомодернізація; інженерні системи; опалення та вентиляція; відновлювані джерела енергії; BIM; економічна оцінка

ANALYSIS OF ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL SOLUTIONS FOR THE COMPREHENSIVE THERMAL MODERNIZATION OF TYPICAL MULTI-STORY RESIDENTIAL BUILDINGS

ZAITSEV V.I., *PhD Stud.*

Department of Organisation and Management in Construction, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (056) 756-33-66, e-mail: zaytsewiktorg@gmail.com, ORCID ID: 0009-0008-1040-6545

Abstract. Raising of problem. Multifamily high-rise buildings of typical construction are characterized by high energy consumption and do not comply with current state energy efficiency standards. Their outdated infrastructure has almost exhausted its resource and requires significant modernization. **Purpose of the article.** This article analyzes regulatory documents and scientific publications concerning the state of the housing stock and engineering systems to explore ways of improving organizational and technological solutions during the reconstruction of typical series residential buildings, aiming to enhance their energy efficiency. **Conclusion.** The potential for modernizing the thermal envelope and engineering systems through the implementation of modern technologies is investigated, taking into account the limitations of existing architectural and structural solutions. Innovative approaches to improving energy efficiency are proposed, including the integration of liquid-cooled solar electric systems into facade systems, the creation of combined decentralized heating systems, and the application of unified BIM models for typical series. However, the implementation of comprehensive energy modernization depends on state support and the interest of end-users, and faces a number of significant challenges, including high initial capital investments, the complexity of integrating heterogeneous systems, as well as organizational and social barriers. To overcome these obstacles and activate modernization processes, it is proposed to develop standardized design solutions, a unified economic evaluation methodology, and ensure the adaptation of innovative solutions to conditions of mass implementation.

Keywords: *multi-story buildings; energy efficiency; reconstruction; thermal modernization; engineering systems; heating and ventilation; renewable energy sources; BIM; economic evaluation*

Постановка проблеми. Згідно з Паризькою кліматичною угодою, прийнятою у 2015 році, країни-учасниці взяли на себе зобов'язання «Національно Визначені Внески» (Nationally Determined Contributions, NDC), які визначають їх власні цілі та заходи у боротьбі зі зміною клімату.

Відповідно до NDC 2.0 від 31 липня 2021 р., Україна взяла на себе зобов'язання досягти цільового показника скорочення викидів парникових газів на 65 % до 2030 року порівняно з 1990 роком (включаючи землекористування, зміни землекористування та лісового господарства), досягнувши вуглецевої нейтральності до 2060 року, як це передбачено Національною економічною стратегією до 2030 року, схваленою постановою Кабінету Міністрів України від 3 березня 2021 року № 179 [1].

Програма ООН з навколишнього середовища в своєму «Звіті про глобальний стан будівель та будівництва 2024-2025: ключові повідомлення» [2] наголошує, що при експлуатації будівель споживається 32 % глобальної енергії і створюється 34 % глобальних викидів CO₂. Також цей звіт визначає шість ключових викликів для скорочення викидів у будівельному секторі:

1. Впровадження обов'язкових енергетичних норм з нульовим рівнем вуглецевих викидів для будівель.
2. Модернізація будівель для підвищення енергоефективності.
3. Впровадження використання відновлюваних джерел енергії в будівлях.
4. Інтеграція NDC 3.0 у будівельні норми.
5. Обмеження викидів втіленого вуглецю в будівельних нормах.
6. Вирішення критичного виклику щодо фінансування в енергоефективність з метою подвоєння глобальних інвестицій.

В Україні значна частка міського населення проживає в багатоквартирних багатоповерхових будинках типової забудови, зведених у період 1955–1992

років. Ці об'єкти характеризуються високим рівнем енергоспоживання та не відповідають чинним вимогам енергетичної ефективності, передбаченими державними будівельними нормами.

Крім того, застаріла інфраструктура, яка майже вичерпала свій ресурс, була значною мірою пошкоджена або знищена під час військових дій і потребує значної перебудови.

Централізована система теплопостачання (ТП), яка домінує в структурі теплового забезпечення житлового фонду, є технічно вразливою: вона має значну протяжність, високі експлуатаційні втрати тепла та низьку гнучкість у задоволенні індивідуальних потреб споживачів. Крім того, тривала зупинка циркуляції теплоносія може призвести до його замерзання, що загрожує виведенням із ладу всієї системи.

В м. Дніпро при проектуванні та будівництві багатоквартирних будинків, було організоване централізоване гаряче водопостачання (ГВП). Починаючи з 2000-х років, спостерігається тенденція до зниження кількості абонентів централізованого ГВП. Отже, забезпечення ГВП у багатоквартирних житлових будинках здійснюється децентралізовано – нагрів води відбувається безпосередньо на місці споживання. Для цього мешканці використовують побутові водонагрівальні прилади, зокрема електричні бойлери, газові водонагрівачі (колонки), а також двоконтурні котли індивідуального опалення.

Оскільки питання термомодернізації із зниженням питомого енергоспоживання, і як наслідок, скорочення викидів парникових газів, стосується мільйонів українських домогосподарств, які нині мешкають у житлових будинках типових серій, розв'язання зазначених питань є надзвичайно актуальною науково-прикладною задачею, що потребує комплексного підходу до реконструкції житлового фонду, модернізації інженерної

інфраструктури та впровадження сучасних енергозберігаючих технологій.

Метою статті є пошук шляхів вдосконалення організаційно-технологічних рішень реконструкції житлових будівель типових серій та інженерних мереж із урахуванням підвищення рівня їх енергоефективності.

Аналіз публікацій. Основне функціональне призначення житлової будівлі полягає у забезпеченні безпечного та комфортного приватного простору, що задовольняє базові потреби людей для відпочинку та повсякденного побуту.

Огороджувальні конструкції будівлі формують тепловий контур будівлі, мінімізуючи впливи навколишнього середовища, включаючи атмосферні опади, вітрові навантаження, термічні коливання, інсоляцію та акустичний вплив.

Інженерні системи, такі як системи опалення, вентиляції, кондиціонування та освітлення, регулюють параметри внутрішнього повітряного середовища (температури, вологості, швидкості руху повітря, газового складу) та рівня освітленості, створюючи необхідні мікрокліматичні умови для життєдіяльності людини.

Відповідно до ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 «Будівельна кліматологія» [3], зовнішня температура повітря в Україні залежить від кліматичної зони і протягом року коливається в межах від -42°C взимку до $+41^{\circ}\text{C}$ влітку.

Інтенсивність сонячної радіації залежить від регіону, пори року і хмарності. За умови ясного неба, загальна середньомісячна сонячна радіація на 1 м^2 для:

- вертикальної поверхні, орієнтованої на південь, становить до 612 МДж/м^2 (м. Київ у березні);

- горизонтальної поверхні до 870 МДж/м^2 (м. Херсон у червні);

За умови середньої хмарності, загальна середньомісячна сонячна радіація на 1 м^2 для:

- вертикальної поверхні, орієнтованої на південний-схід або південний-захід,

становить до 344 МДж/м^2 (м. Одеса у серпні);

- горизонтальної поверхні до 690 МДж/м^2 , (м. Одеса у липні).

Загальний річний обсяг сонячної радіації, який припадає на 1 м^2 поверхні за умови середньої хмарності, для:

- вертикальної поверхні, орієнтованої на південь, становить до 2827 МДж/м^2 (м. Миколаїв), що еквівалентно $785,28\text{ кВт-год/м}^2$ в тепловій енергії;

- горизонтальної поверхні до 4376 МДж/м^2 (м. Миколаїв), що еквівалентно $1215,56\text{ кВт-год/м}^2$ в тепловій енергії.

В нормативних документах зазначено декілька значень внутрішньої нормативної температури для житлових будинків:

- 18°C для житлових будинків, проєктну документацію на нове будівництво або реконструкцію яких затверджено до 1 жовтня 2005 р. [4];

- $20,0^{\circ}\text{C}$ – розрахункове значення температури для житлових будівель [5].

Найбільш детально регламентує вимоги до внутрішньої температури в житлових будівлях ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування» [6], визначаючи діапазони результуючої температури для різних типів приміщень з метою забезпечення оптимальних умов мікроклімату:

- а) спальня, вітальня, кабінет:

- у холодний період $22,0 \pm 2,0$;

- у теплий період $24,5 \pm 1,5$;

- б) кухня, гардеробна:

- у холодний період $19,5 \pm 3,0$;

- в) ванна кімната:

- у холодний період $25,0 \pm 1,5$;

- для б) і в) теплий період не зазначено.

Формування та підтримання внутрішнього мікроклімату, що відповідає санітарно-гігієнічним нормам, досягається шляхом інтегрованої дії огороджувальних конструкцій та інженерних систем. З огляду на це, детальний аналіз сучасних наукових публікацій дозволяє виявити ключові виклики та проблемні аспекти у сфері організаційно-технологічних рішень реконструкції житлових будівель типових

серій та інженерних мереж із урахуванням підвищення рівня їх енергоефективності.

Кривошеєв, Грищенко, Іващенко та Самійленко [7] провели порівняльний аналіз методів розрахунку теплових втрат і теплонадходжень у будівлях, прийнятих у вітчизняній та закордонних нормативних базах. Встановлено, що національні стандарти (ДСТУ) значно відстають від практик ISO, CEN, ASHRAE та CIBSE, зокрема через використання спрощених квазі-стаціонарних методів, які дають суттєву похибку для сучасних енергоефективних будівель. Рекомендовано перехід до динамічних методів (ASHRAE Heat Balance, RTS, CIBSE Admittance, EN ISO 52000) та гармонізацію нормативної бази без національних спрощень. Це сприятиме підвищенню точності розрахунків, ефективнішому використанню енергоресурсів і капіталу, а також конкурентоспроможності вітчизняних проєктів у міжнародному середовищі.

У статті [8] дослідники доходять висновку, що в Україні необхідно оптимізувати систему ТП і наводять основні недоліки систем централізованого ТП:

- необхідність спорудження та експлуатації теплових мереж, яка зумовлює збільшення вартості систем ТП (великі капітальні та експлуатаційні витрати);

- теплові втрати під час транспортування теплоти;

- складність регулювання через велику розгалуженість та протяжність теплових мереж [8].

та переваги децентралізованих систем ТП:

- зниження експлуатаційних витрат (як правило, немає необхідності в обслузі, таким чином, експлуатаційні витрати складають тільки витрати на паливо);

- зниження тепловтрат унаслідок скорочення шляху транспортування теплової енергії;

- можливість більш гнучкого застосування автоматики для контролю і регулювання параметрів роботи системи, що дає ефект енергозбереження;

- мобільність (джерело теплопостачання або всю систему можна переміщати з місця на місце) [8].

У роботі [9] автори аналізують поточний стан і енергетичні втрати централізованої системи ТП у житлово-комунальній сфері, зокрема середні питомі витрати теплової енергії на опалення житлового фонду в Україні оцінюються у 250–600 кВт·год/(м²·рік), що в 3–5 разів більше ніж аналогічні показники для таких країн Північної Європи як Швеція, Норвегія і Фінляндія. Встановлено, що в магістральних мережах ТП температура теплоносія перевищує 140 °С, загальні втрати теплової енергії сягають 35–60 %, «близько 80 % енергоблоків ТЕС та ТЕЦ перевищило межу фізичного зношення у 200 тис. год» [9], зношеність тепломереж перевищує 50 %, це значно відхиляється від нормативного показника у 13 %.

Зінченко, Новіков, Волощук і Штіфзон [10] описали основні характеристики і принципи роботи конденсаційних котлів, які можуть стати основним теплогенеруючим агрегатом в децентралізованій системі автономного ТП, реалізований на рівні окремого багатоквартирного будинку. «ККД конденсаційного котла може сягати 96 %, але він напряму залежить від споживача теплової енергії, а саме від температури зворотного теплоносія. Ефективна робота конденсаційного котла має місце лише при застосуванні низькотемпературних систем теплозабезпечення будинків» [10] і потребує автоматизованої системи керування.

У дослідженні [11] було комплексно обстежено систему опалення навчального корпусу ПДАБА, включаючи тепловізійний аналіз, який виявив інфільтраційні теплові відмови. Ці відмови, що полягають у порушенні герметичності будівлі та надмірному витоку повітря, призводять до порушення мікроклімату, дискомфорту, ризику появи цвілі та підвищених експлуатаційних витрат, хоча й не впливають на міцність конструкцій. Зазначається, що інфільтраційні дефекти, які важко виявити звичайною тепловізійною

зйомкою, потребують проведення Blower Door Test для точного визначення повітропроникності. Запропоновано заходи із термомодернізації системи опалення, що призвели до скорочення питомого енергоспоживання при опаленні будівлі на 43 %, крім того, проведено оцінювання їх економічної доцільності.

Білоус, Суходуб та Крамаренко [12] здійснили комплексну оцінку та енергетичного моделювання будівлі гуртожитку № 5 Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Моделювання виконано із застосуванням програмного забезпечення DesignBuilder, що дозволило створити динамічну енергетичну модель об'єкта. Результати початкового аналізу свідчать, що поточний рівень енергоефективності будівлі відповідає класу «В».

Було проаналізовано чотири сценарії підвищення енергоефективності, а саме: термомодернізацію, впровадження систем рекуперації тепла, переривчасті режими роботи систем опалення та охолодження, а також їх поєднання. Результати моделювання показали, що впровадження систем рекуперації дозволяє скоротити річне споживання енергії на опалення до 53 %, тоді як застосування комбінованого підходу забезпечує скорочення на понад 40 %. Також оцінено вплив відновлюваних джерел енергії (сонячні колектори, теплові насоси, котли на біомасі) на енергетичний баланс будівлі. Застосування цих джерел забезпечує до 42 % річного енергоспоживання, значно знижуючи залежність від традиційних енергоресурсів. Встановлено, що комплексна реалізація заходів енергозбереження дозволяє будівлі досягти класу енергоефективності «А» та відповідати концепції будівлі з майже нульовим енергоспоживанням (NZEB) [12].

В експериментальному дослідженні [13] аналізувалася продуктивність охолодження фотоелектричних (ФЕ) панелей із застосуванням методів радіатора та радіатора з тепловим акумулюванням. Додатково було оцінено ефективність та

властивості теплоносіїв для чотирьох фотоелектричних теплових (ФЕТ) колекторів з активним охолодженням. Пасивне охолодження дозволяє знизити температуру ФЕ-елемента на 10 °С, порівняно з неохолоджуваною панеллю, температура якої доходила до 70 °С. Оптимальні результати активного охолодження: ФЕТ-колектор на основі теплових труб, занурений у звичайну воду, показав оптимальний розподіл температури та максимальне зниження температури на 53 % порівняно з найкращою конфігурацією пасивного охолодження. Цей метод захищає ФЕ-панель від перегріву та забезпечує кращу рівномірність розсіювання тепла. Напруга зросла на 13 % порівняно з неохолоджуваною панеллю.

Робота [14] присвячена визначенню економічного ефекту від впровадження заходів енергоефективності житлових приміщень і виходить з того, що існуючі переваги таких заходів (зокрема комфорт та якість повітря) часто недостатні для мотивації домовласників до додаткових витрат.

Представлена методологія має на меті спростити економічний аналіз, враховуючи як прямі (відсотки за іпотекою, зростання цін на паливо), так і непрямі (відсотки за ощадними рахунками, гранична ставка податку) економічні параметри. Також вона бере до уваги термін служби заходів, втрату ефективності та оцінює ринкову вартість на основі майбутньої економії енерговитрат. Кінцеві результати надають домовласнику чітке уявлення про річну чисту економію та чисті активи, що демонструє загальну фінансову вигоду від інвестицій в енергоефективність.

Стаття [15] присвячена обґрунтуванню застосування сучасних програмних комплексів на основі будівельного інформаційного моделювання (Building Information Modeling, BIM) для проєктування енергоефективних будівель. В ній визначаються критерії вибору програмного забезпечення, яке дозволяє інтегровано виконувати моделювання, розрахунок показників енергоефективності,

аналіз теплових мостів, візуалізацію та генерацію робочої документації. Особлива увага приділяється демонстрації високодеталізованих тривимірних моделей, збагачених повною інформацією про теплотехнічні характеристики матеріалів та технічні дані обладнання. Що дозволяє оцінити теплофізичні властивості будівлі на етапі проєктування.

У дослідженні [16] аналізується ефективність BIM як інструменту, що перевершує класичні методи проєктування. BIM дозволяє віртуально підбирати, розробляти та узгоджувати компоненти будівлі, заздалегідь перевіряючи їхню функціональність. Дослідження також проводить порівняльний аналіз енерговитрат будівлі до та після її утеплення за допомогою хмарного програмного забезпечення Insight.

«Числовим та дослідницьким шляхами доведено ефективність застосування дворамних вікон, у результаті чого енергоспоживання будинку зменшилося на 9,1 %. Застосування додаткових вікон дозволяє отримати майже термічно однорідну зовнішню утеплювальну оболонку будинку» [16].

Вілінська, Бурлак і Гурська [17] доходять висновку, що суттєве зниження експлуатаційних витрат на енергоресурси (газ, електроенергія) досягається завдяки комплексному застосуванню енергоефективних рішень, таких як енергоефективні вікна, сонячні колектори, конденсаційні котли та вискоелефективна вентиляція. Ключовим аспектом є інтеграція та використання автоматизованої системи управління «Розумний будинок», яка оптимізує функціонування всіх технічних пристроїв.

Таким чином, особливість формування та підтримки оптимального мікроклімату в багатоквартирних будинках в умовах помірного клімату, характерного для України, полягає у необхідності як активного обігріву в зимовий, так і ефективного охолодження в літній період. Значні добові та сезонні коливання температури зовнішнього повітря, а також

мінливість інсоляції (день/ніч, хмарність) унеможливають використання виключно альтернативних джерел енергії.

На відміну від нового будівництва при реконструкції необхідно враховувати незмінні архітектурно-конструктивні обмеження існуючої будівлі, зокрема:

- а) просторову орієнтацію;
- б) архітектурно-планувальні рішення;
- в) матеріал несучих конструкцій.

Крім того необхідно:

а) оцінити технічний стан і рівень фізичного зносу будівлі і визначити фактичну несучу здатність існуючих будівельних конструкцій;

б) проаналізувати можливості інтеграції нового обладнання, зокрема:

- фасадних систем (вентильовані фасади, штукатурні системи утеплення);
- енергетичного обладнання (котли, теплові насоси, тепло-акумулятори, ФЕ панелі);
- електротехнічної інфраструктури (розподільчі щити, акумуляторні системи).

Водночас, існують значні можливості для суттєвого покращення експлуатаційних показників об'єкта шляхом модернізації:

- теплового контуру – енергоефективні огорожувальні конструкції, утеплення, віконні системи;
- систем ТП та ГВП – скорочення зовнішніх мереж ТП, застосування теплових насосів, конденсаційних котлів, сонячних колекторів;
- системи вентиляції – рекуперація тепла, припливно-витяжні установки з автоматикою.

Крім того, пропонуються наступні організаційно-технологічні рішення реконструкції житлових будівель типових серій та інженерних мереж із урахуванням підвищення рівня їх енергоефективності:

– інтеграція сонячних електричних систем (СЕС) з рідинним охолодженням у конструкції фасаду та покрівлі будівлі. Відібране тепло використати для потреб опалення та ГВП;

– створення додаткової суцільної оболонки будівлі «Будинок в теплиці» з можливістю контролюваного повітряного

обміну, яка захистить від впливу зовнішнього середовища, неконтрольованої інфільтрації, сонячної радіації;

- при теплотехнічному розрахунку нових огорожувальних конструкцій розглядати існуючі будівельні конструкції як акумулятор тепла, не враховуючи їхні початкові теплотехнічні характеристики;

- створення комбінованих децентралізованих систем опалення, що використовують різні типи енергоносіїв (наприклад, природний газ, електрична енергія, біопаливо у вигляді пелет, сонячна теплова енергія), суттєво підвищує стійкість системи підтримки мікроклімату в цілому. Такий підхід надає власникам будівлі можливість в режимі реального часу обирати найбільш економічно вигідний вид палива, враховуючи поточні тарифи, наприклад, використовуючи електропідігрів за нічним тарифом;

- при комплексній модернізації пропонується створення уніфікованих ВІМ для типових серій житлових будинків, що включає:

- вдосконалення методики оцінки несучої здатності, міцності та стійкості, що дозволить визначити придатність до енергоефективної реконструкції за інтегрованою шкалою (наприклад, від 5 балів – повна придатність, до 1 балу – аварійний стан);

- розробку типових проєктів термомодернізації, які не потребуватимуть додаткових узгоджень і можуть бути застосовані у всіх регіонах України та періодично оновлюватимуться з урахуванням новітніх науково-технічних розробок.

Такий підхід дозволить спростити впровадження енергоефективних заходів, скоротити терміни проєктування, чіткий кошторис дозволить точніше прогнозувати витрати та залучати фінансування.

Для об'єктивної оцінки економічної доцільності заходів з термомодернізації, необхідно розробити уніфіковану методику, яка має комплексно враховувати капітальні витрати на впровадження, поточну та прогнозовану вартість енергоносіїв,

очікуваний економічний ефект, вартість кредитних ресурсів та рівень інфляції. Хоча у багатьох наукових дослідженнях визнається ключова роль державної підтримки в сфері енергоефективності, проте визначальним фактором успішного впровадження енергоефективних заходів залишається рішення кінцевого споживача.

Важливо також пам'ятати, що тарифна політика для населення часто формується директивно, а не ринковими механізмами. Цей аспект може суттєво спотворити реальний економічний ефект від проведених енергоефективних реконструкцій.

Концепція «сезонно-добового енергетичного банкінгу» пропонує механізм віртуального кредитування та передбачає обмін надлишкової денної генерації електроенергії з відновлюваних джерел, зокрема СЕС, у літній період на збільшений обсяг енергії для споживання у нічні години зимового періоду, переважно для потреб опалення. Фундаментом цієї концепції є економічний дисбаланс: тоді як витрати на придбання денної «зеленої» генерації є високими, собівартість нічної атомної генерації є значно нижчою, і вона часто є надлишковою в періоди мінімального попиту.

Висновки

Оптимізація енергоефективності багатоквартирних житлових будівель у помірного кліматі України являє собою комплексне завдання, що виходить за межі суто технічних рішень і охоплює фінансові, організаційні та соціальні аспекти. Це потребує розробки уніфікованої методики економічної оцінки, яка комплексно враховуватиме капітальні та експлуатаційні витрати, вартість залученого капіталу, рівень інфляції, а також специфіку державного регулювання тарифів на енергоносії для населення.

Стандартизація проєктних рішень є критично важливою для подолання існуючих викликів енергомодернізації. Використання технологій ВІМ для створення уніфікованих моделей типових будівельних серій, доповнених методиками

оцінки їхньої структурної придатності до реконструкції, дозволить розробити типові проєктні рішення, які будуть позбавлені необхідності додаткових узгоджень і значно спростять процес модернізації, підвищать точність кошторисів та полегшать залучення фінансування.

У будівлях масових серій, завдяки типовим проєктним рішенням та стандартизації елементів, відкриваються значні можливості для уніфікованого застосування стандартизованих компонентів у оздобленні фасадів, системах вентиляції та опалення. Такий підхід забезпечує комплексну оптимізацію процесів проєктування, виробництва та монтажу, спрощує логістику, сприяє зниженню трудовитрат та матеріалоємності, підвищує якість виконаних робіт та прогнозованість експлуатаційних характеристик. Крім того, це прискорює реалізацію проєктів та створює умови для тиражування енергоефективних рішень, що є критично важливим для комплексних програм термомодернізації житлового фонду.

Водночас, існує значний потенціал для покращення експлуатаційних показників об'єктів шляхом системної модернізації теплового контуру, інженерних систем (ТП, ГВП, вентиляції з рекуперацією) та впровадження інноваційних рішень, зокрема інтеграції СЕС з ФЕТ-колекторами, створення додаткових захисних оболонок будівель та розробки комбінованих децентралізованих систем опалення з різними енергоносіями.

Перспективним фінансовим інструментом, що здатен активізувати участь споживачів у балансуванні енергосистеми, є концепція «сезонно-добового енергетичного банкінгу». Вона передбачає механізм віртуального кредитування, який базується на обміні надлишкової денної генерації електроенергії з відновлюваних джерел у літній період на збільшений обсяг енергії для споживання у нічні години зимового періоду. Це рішення є економічно обґрунтованим завдяки значному дисбалансу між високою вартістю

придбання денної «зеленої» генерації та низькою собівартістю надлишкової нічної атомної генерації.

Запропоновані комплексні заходи та рішення щодо модернізації житлових будівель матимуть значний і багатогранний позитивний вплив. Вони покращать умови проживання та сприятимуть зниженню залежності від традиційних енергоресурсів, що забезпечить їхню довгострокову економічну ефективність.

Термомодернізація безпосередньо зменшує викиди парникових газів за рахунок скорочення споживання теплової енергії. Це також підсилює енергетичну безпеку, стимулює економіку завдяки скороченню витрат для населення та створенню нових робочих місць.

Без впровадження ефективних заходів у багатоквартирних будинках, виконання Україною зобов'язань за NDC 2.0 в рамках Паризької угоди неможливе.

Впровадження комплексної енергомодернізації житлових будівель, хоч і обіцяє значні переваги, стикається з низкою викликів. Основною перешкодою є високі початкові капіталовкладення та складність інтеграції різнорідних систем, що потребує залучення висококваліфікованих фахівців. Економічний ефект може бути нівельований директивною тарифною політикою держави, а залучення фінансування залежить від доступності кредитів.

Неодноразово в наукових дослідженнях підкреслюється, що державна підтримка є вирішальною в галузі енергоефективності, проте успіх впровадження енергоефективних заходів залежить від кінцевого споживача.

Крім того, організаційні та соціальні бар'єри, такі як необхідність узгодження рішень між багатьма власниками та тимчасові незручності для мешканців, можуть ускладнити реалізацію проєктів. До того ж, деякі інноваційні рішення потребують додаткових досліджень для підтвердження їх надійності та довговічності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Nationally Determined Contributions Registry UNFCCC. URL: <https://unfccc.int/NDCREG> (дата звернення: 14.05.2025).
2. Global Status Report for Buildings and Construction 2024-2025 : Key Messages. 2025. URL: <https://wedocs.unep.org/xmlui/handle/20.500.11822/47261> (дата звернення: 21.05.2025).
3. ДБНУ. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Будівельна кліматологія. URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_1_1_27_2010/5-1-0-929 (дата звернення: 21.05.2025).
4. Кабінет міністрів України, Постанова № 127 від 02/06/2024. Деякі питання здійснення перерахунку вартості комунальних послуг за період їх ненадання, надання не в повному обсязі або невідповідної якості. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/127-2024-%D0%BF> (дата звернення: 21.05.2025).
5. ДБНУ. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. URL: <https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/1-1-0-13> (дата звернення: 21.05.2025).
6. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. URL: <https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/1-1-0-1018> (дата звернення: 21.05.2025).
7. Кривошеєв М. О., Грищенко Р. В., Іващенко Н. В., Самійленко С. М. Методи розрахунку теплових втрат і теплонаходжень в будівлях. Огляд, нормативні вимоги і практичні підходи в Україні та світі. *Refrigeration Engineering and Technology*. 2024. Т. 60, № 1. С. 53–69. DOI: 10.15673/ret.v60i1.2897.
8. Солод Л. В., Березюк Г. Г., Адегов О. В., Ткачова В. В. Системний підхід до вирішення проблем підвищення енергоефективності систем теплопостачання. *Український журнал будівництва та архітектури*. 2022. № 6. С. 99–105. DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.271222.99.916.
9. Сердюк В. Р., Сердюк Т. В., Бауман К. В. Актуальність реновації застарілих внутріквартальних теплових мереж. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*. 2022. Т. 32, № 1. С. 63–72. DOI: 10.31649/2311-1429-2022-1-63-72.
10. Зінченко Д. Д., Новіков П. В., Волошук В. А., Штіфзон О. Й. Розробка моделі конденсаційного котла на основі методів машинного навчання для побудови цифрового двійника. *Таврійський науковий вісник. Серія : Технічні науки*. 2024. № 2. С. 28–45. DOI: 10.32782/tnv-tech.2024.2.3.
11. Косенко Л. В., Коваль О. О., Юрченко Є. Л., Тимошенко О. А. Енергоефективність системи опалення висотного корпусу ПДАБА. *Український журнал будівництва та архітектури*. 2022. № 6. С. 66–72. DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.271222.66.912.
12. Білоус І. Ю., Суходуб І. О., Крамаренко С. О. Оцінювання енергетичної ефективності житлових будівель сучасної забудови при впровадженні комплексу енергозберігаючих заходів по покращенню теплозахисних властивостей огорожень та використанню відновлювальних джерел енергії. *Refrigeration Engineering and Technology*. 2024. Т. 60, № 4. С. 283–296. DOI: 10.15673/ret.v60i4.3053.
13. Al-Amri Fahad, Maatallah Taher S., Al-Amri Omar F., Ali Sajid, Ali Sadaqat, Ateeq Ijlal Shahrukh, Zachariah Richu, Kayed Tarek S. Innovative technique for achieving uniform temperatures across solar panels using heat pipes and liquid immersion cooling in the harsh climate in the Kingdom of Saudi Arabia. *Alexandria Engineering Journal*. 2022. Т. 61, № 2. С. 1413–1424. DOI: 10.1016/j.aej.2021.06.046.
14. Fumo Nelson, Crawford Roy. A Homeowner-Based Methodology for Economic Analysis of Energy-Efficiency Measures in Residences. *Open Journal of Energy Efficiency*. 2013. Т. 2, № 2. С. 97–106. DOI: 10.4236/ojee.2013.22013.
15. Назаренко О., Бейнер Н., Бейнер П. Комплексний підхід до проектування енергоефективних будівель на основі BIM. *Український журнал будівництва та архітектури*. 2023. № 1 (013). С. 66–73. DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.280223.66.920.
16. Сопільняк А. М., Колохов В. В., Ярова Т. П., Серeda С. Ю., Сіренко К. О., Дунда В. В. BIM-енергоаналіз будинку з подвійними вікнами. *Український журнал будівництва та архітектури*. 2021. № 3. С. 107–115. DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.010721.107.773.
17. Вілінська Л. М., Бурлак Г. М., Гурська А. В. Енергоефективність багатоквартирного житлового будинку. *Український журнал будівництва та архітектури*. 2023. № 3 (015). С. 28–33. DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.140723.28.951.

REFERENCES

1. Nationally Determined Contributions Registry UNFCCC. URL: <https://unfccc.int/NDCREG> (data zvernennia: 14.05.2025). (in Ukrainian).
2. Global Status Report for Buildings and Construction 2024–2025: Key Messages. 2025. URL: <https://wedocs.unep.org/xmlui/handle/20.500.11822/47261> (data zvernennia: 21.05.2025).
3. DBNU. DSTU-N B V.1.1-27:2010 Budivelna klimatohiia [DBNU. DSTU-N B V.1.1-27:2010 Building climatology]. URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_1_1_27_2010/5-1-0-929 (data zvernennia: 21.05.2025). (in Ukrainian).

4. *Kabinet Ministriv Ukrainy. Postanova № 127 vid 02.06.2024. Deiaki pytannia zdiisnennia pererakhunku vartosti komunalnykh posluh* [Cabinet of Ministers of Ukraine, Resolution no. 127 of 02/06/2024. Some issues of recalculating the cost of utility services for the period of their non-provision, incomplete provision or inadequate quality]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/127-2024-n> (data zvernennia: 21.05.2025). (in Ukrainian).
5. *DBNU. DBN V.2.6-31:2021. Teplova izoliatsiia ta enerhoefektyvnist budivel* [DBNU. DBN V.2.6-31:2021 Thermal insulation and energy efficiency of buildings]. URL: <https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/1-1-0-13> (data zvernennia: 21.05.2025). (in Ukrainian).
6. *DBNU. DBN V.2.5-67:2013. Opalennia, ventyliatsiia ta kondytsionuvannia* [DBN V.2.5-67:2013. Heating, ventilation and air conditioning]. URL: <https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/1-1-0-1018> (data zvernennia: 21.05.2025). (in Ukrainian).
7. Kryvosheiev M.O., Hryshchenko R.V., Ivashchenko N.V. and Samiilenko S.M. *Metody rozrakhunku teplovykh vtrat i teplonadkhodzhenn v budivliakh. Ohlyad, normatyvni vymohy i praktychni pidkhody v Ukrayini ta sviti* [Methods for calculating heat losses and heat gains in buildings. Overview, regulatory requirements and practical approaches in Ukraine and the world]. *Refrigeration Engineering and Technology*. 2024, vol. 60, no. 1, pp. 53–69. DOI: 10.15673/ret.v60i1.2897. (in Ukrainian).
8. Solod L.V., Bereziuk H.H., Adehov O.V. and Tkachova V.V. *Systemnyi pidkhid do vyrishennia problem pidvyshchennia enerhoefektyvnosti system teplopostachannia* [A systematic approach to solving problems of increasing the energy efficiency of heat supply systems]. *Ukrayins'kyi zhurnal budivnytstva ta arkhitektury* [Ukrainian Journal of Civil Engineering and Architecture]. 2022, no. 6, pp. 99–105. DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.271222.99.916. (in Ukrainian).
9. Serdiuk V.R., Serdiuk T.V. and Bauman K.V. *Aktualnist renovatsii zastarylykh vnutrikvartalnykh teplovykh merezh* [The relevance of renovation of outdated intra-district heating networks]. *Suchasni tekhnologii, materialy i konstruksii v budivnytstvi* [Modern Technologies, Materials and Structures in Construction]. 2022, vol. 32, no. 1, pp. 63–72. DOI: 10.31649/2311-1429-2022-1-63-72. (in Ukrainian).
10. Zinchenko D.D., Novikov P.V., Voloshchuk V.A. and Shtifzon O.I. *Rozrobka modeli kondensatsiinoho kotla na osnovi metodiv mashynnoho navchannia dlia pobudovy tsyfrovoho dviinyka* [Development of a condensing boiler model based on machine learning methods for building a digital twin]. *Tavriiskyi naukovi visnyk. Seriya : Tekhnichni nauky* [Tavria Scientific Bulletin. Series : Technical Sciences]. 2024, no. 2, pp. 28–45. DOI: 10.32782/tnv-tech.2024.2.3. (in Ukrainian).
11. Kosenko L.V., Koval O.O., Yurchenko Ye.L. and Tymoshenko O.A. *Enerhoefektyvnist systemy opalennia vysochnoho korpusu PDABA* [Energy efficiency of the heating system of the high-rise building of the PDABA]. *Ukrayins'kyi zhurnal budivnytstva ta arkhitektury* [Ukrainian Journal of Civil Engineering and Architecture]. 2022, no. 6, pp. 66–72. DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.271222.66.912. (in Ukrainian).
12. Bilous Iu.Yu., Sukhodub I.O. and Kramarenko S.O. *Otsiniuvannia enerhetychnoi efektyvnosti zhytlovykh budivel suchasnoi zabulovy* [Assessment of the energy efficiency of modern residential buildings when implementing a set of energy-saving measures to improve the thermal insulation properties of enclosures and the use of renewable energy sources]. *Refrigeration Engineering and Technology*. 2024, vol. 60, no. 4, pp. 283–296. DOI: 10.15673/ret.v60i4.3053. (in Ukrainian).
13. Al-Amri F., Maatallah T.S., Al-Amri O.F., Ali S., Ali S., Ateeq I.S., Zachariah R. and Kayed T.S. *Innovative technique for achieving uniform temperatures across solar panels using heat pipes and liquid immersion cooling in the harsh climate in the Kingdom of Saudi Arabia*. *Alexandria Engineering Journal*. 2022, vol. 61, no. 2, pp. 1413–1424. DOI: 10.1016/j.aej.2021.06.046.
14. Fumo N. and Crawford R.A. *Homeowner-Based Methodology for Economic Analysis of Energy-Efficiency Measures in Residences*. *Open Journal of Energy Efficiency*. 2013, vol. 2, no. 2, pp. 97–106. DOI: 10.4236/ojee.2013.22013.
15. Nazarenko O., Beiner N. and Beiner P. *Kompleksnyi pidkhid do proektuvannia enerhoefektyvnykh budivel na osnovi BIM* [A comprehensive approach to designing energy-efficient buildings based on BIM]. *Ukrayins'kyi zhurnal budivnytstva ta arkhitektury* [Ukrainian Journal of Civil Engineering and Architecture]. 2023, no. 1 (013), pp. 66–73. DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.280223.66.920. (in Ukrainian).
16. Sopilniak A.M., Kolokhov V.V., Yarova T.P., Sereda S.Yu., Sirenok K.O. and Dunda V.V. *BIM-enerhoanaliz budynku z podviiny my viknamy* [BIM energy analysis of a house with double windows]. *Ukrayins'kyi zhurnal budivnytstva ta arkhitektury* [Ukrainian Journal of Civil Engineering and Architecture]. 2021, no 3, pp. 107–115. DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.010721.107.773. (in Ukrainian).
17. Vilinska L.M., Burlak H.M. and Hurska A.V. *Enerhoefektyvnist bahatokvartyrnoho zhytlovoho budynku* [Energy efficiency of a multi-apartment residential building]. *Ukrayins'kyi zhurnal budivnytstva ta arkhitektury* [Ukrainian Journal of Civil Engineering and Architecture]. 2023, no. 3 (015), pp. 28–33. DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.140723.28.951. (in Ukrainian).

Надійшла до редакції: 20.06.2025.