

УДК 69.059:697.1:628.8:620.9

О. Г. Добровольська

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1337-7216>

Кафедра міського будівництва і архітектури

Запорізький національний університет, просп. Соборний, 226, Запоріжжя, Україна, 69006

О. М. Фостащенко*

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4287-2838>

Кафедра міського будівництва і архітектури

Запорізький національний університет, просп. Соборний, 226, Запоріжжя, Україна, 69006

*автор-кореспондент, e-mail: zdia207@gmail.com

Удосконалена методика реконструкції інженерного обладнання індивідуальних будинків, пошкоджених внаслідок воєнних дій

Цитувати як:

Добровольська, О. Г., Фостащенко, О. М. (2026). Удосконалена методика реконструкції інженерного обладнання індивідуальних будинків, пошкоджених внаслідок воєнних дій.

Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві, 25, 238-253.

[https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2026-15\(25\)-18](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2026-15(25)-18)

© 2026, Автори. Публікується згідно рекомендацій ліцензії [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Анотація. У статті розглянуто питання вдосконалення методики реконструкції інженерного обладнання пошкоджених будинків із впровадженням енергоощадних технологій. Актуальність дослідження зумовлена необхідністю модернізації будівельного фонду України в умовах повоєнного відновлення, зниження енергоспоживання та скорочення експлуатаційних витрат. Особливу увагу приділено модернізації систем теплостачання та оцінці доцільності використання сучасного теплогенерувального обладнання. Об'єктом дослідження є методика реконструкції інженерного обладнання індивідуального двоповерхового будинку. Предметом дослідження визначено методи підвищення енергоефективності системи опалення шляхом модернізації обладнання та застосування енергоощадних технологій. У роботі використано комплексний підхід, що включає аналіз технічного стану будівлі, оцінку енергетичних показників і порівняльний аналіз варіантів теплостачання. У результаті дослідження встановлено, що система теплостачання будинку втратила працездатність унаслідок пошкодження котельного обладнання, а природна вентиляція спричиняє значні тепловтрати та підвищене енергоспоживання. Розрахункове теплове навантаження будинку становить близько 14 кВт, а орієнтовне річне споживання теплової енергії – 18 тис. кВт-год. У роботі розглянуто чотири варіанти систем опалення: водяну теплу підлогу з електричним котлом, твердопаливним котлом, тепловим насосом, сонячну станцію та електричну підлогу. Порівняльний аналіз показав, що система з електричним котлом має

найвищі експлуатаційні витрати, а використання твердопаливного котла потребує постійного технічного обслуговування. Найбільш доцільним варіантом визначено систему з тепловим насосом, яка забезпечує зниження витрат на енергоресурси та підвищення енергоефективності тепlopостачання.

Ключові слова: реконструкція будівель, інженерне обладнання, система опалення, тепловий насос, енергоощадність.

Вступ

Реконструкція інженерного обладнання житлових будинків є важливим напрямом сучасного будівництва та експлуатації об'єктів. Особливого значення в умовах воєнних пошкоджень та післявоєнного відновлення будинків набуває технічне обстеження інженерних систем та обладнання, що дозволяє своєчасно виявляти пошкодження, оцінювати технічний стан інженерного обладнання, визначати доцільність подальшої експлуатації, реконструкції або модернізації. Зростання вимог до енергоефективності, надійності та безпеки інженерних систем зумовлює необхідність впровадження сучасних енергоощадних технологій і засобів моніторингу технічного стану обладнання. Комплексний підхід до реконструкції пошкоджених індивідуальних будинків із застосуванням сучасних технологій сприяє підвищенню експлуатаційної надійності об'єктів, подовженню строку служби обладнання та зниженню негативного впливу на навколишнє середовище.

Аналіз літературних джерел та постановка проблеми. В умовах воєнних дій процес відновлення, реконструкції та модернізації будівельного фонду України набуває системного та довготривалого характеру. Особливо актуальною є реконструкція пошкоджених будинків. Реконструкція на відміну від нового будівництва, дозволяє значно скоротити витрати матеріальних ресурсів, зменшити навантаження на довкілля та прискорити відновлення зруйнованих об'єктів [1]. Сучасні підходи до реконструкції інженерного обладнання будинків передбачають не лише відновлення пошкоджених систем, але і їх глибоку модернізацію з впровадженням енергоефективних технологій та відновлювальних джерел енергії [2], що відповідає сучасним нормативним вимогам до енергоспоживання та ефективності будинків, а також модернізації систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря у поєднанні з оновленими вимогами енергоефективності під час реконструкції будинків [3]. Інтеграція цифрових технологій, автоматизованих систем управління та відновлюваних джерел енергії створює передумови для переходу до концепції «розумних будівель» у процесі реконструкції житлового фонду [4]. У світовій та вітчизняній науковій практиці активно досліджуються питання енергоефективної реконструкції будинків та модернізації

інженерних систем. Увага приділяється комплексному підходу до зниження енергоспоживання будинків шляхом поєднання архітектурних, конструктивних та інженерних рішень. Автори [5] вважають, що застосування концепції інтелектуальних енергетичних систем у поєднанні з проектуванням та інтеграцією відновлювальних джерел енергії створює основу для підвищення ефективності функціонування будинків та зниження їх енергоспоживання. Зокрема, у дослідженні [6] обґрунтовано, що модернізація інженерних систем будинків (опалення, вентиляції та кондиціонування) може забезпечити зниження енергоспоживання до близько 30 % і більше за умови впровадження автоматизованих систем управління та енергоощадного обладнання. Автори [7] підкреслюють, що значна частка втрат енергії пов'язана саме з неефективною роботою цих систем. При цьому доведено, що навіть за обмеженої виміральної інфраструктури застосування аналітичних підходів до обробки даних загальнобудинкових лічильників дозволяє виявляти потенціал енергоощадності шляхом оптимізації, режимів роботи та графіків функціонування систем. Важливим напрямом є застосування відновлювальних джерел енергії у реконструкції будинків. У роботі [8] доведено, що використання теплових насосів у будинках дозволяє суттєво зменшити залежність від традиційних енергоресурсів і скоротити викиди парникових газів. Дослідження [9] підтверджує, що поєднання різних типів відновлювальних джерел енергії (сонячної, геотермальної енергії) у складі гібридних систем є одним із найбільш перспективних рішень для реконструкції будинків. Крім того, значна увага приділяється оцінці ефективності заходів з термомодернізації. У роботі [10] встановлено, що комплексна модернізація огорожувальних конструкцій разом з оновленням інженерних систем є найбільш ефективною стратегією з погляду енергоощадності та економічної доцільності. Водночас автори [11] акцентують на необхідності врахування життєвого циклу будинків та впливу реконструкції на довкілля. Окремий напрям досліджень стосується цифровізації процесів експлуатації будинків. Як зазначено у [12], застосування технологій дистанційного моніторингу, сенсорних мереж та автоматизованих систем контролю дозволяє підвищити ефективність управління технічним станом будинків і своєчасно виявляти можливі пошкодження конструкцій та інженерних систем. У роботі [13] підкреслюється, що інтеграція цифрових інформаційних платформ та інтелектуальних систем у процес реконструкції є важливим фактором забезпечення сталого розвитку будівельного сектору, підвищення експлуатаційної надійності та ефективності управління об'єктами. Сучасні нормативні документи у сфері енергоефективності та технічної експлуатації будинків переважно регламентують вимоги до проектування,

модернізації та оцінки енергетичних показників об'єктів, однак недостатньо враховують особливості технічного обстеження інженерних систем пошкоджених будинків. В умовах зростання кількості руйнувань забудови особливої актуальності набуває оперативність оцінки технічного стану інженерного обладнання та мереж для прийняття обґрунтованих рішень щодо можливості їх подальшої експлуатації, реконструкції або повного відновлення. У зв'язку з цим виникає потреба у вдосконаленні методики технічного обстеження інженерних систем і обладнання будинків, яка повинна забезпечувати комплексний аналіз ступеня пошкоджень, визначення пріоритетності відновлювальних заходів та можливість швидкого впровадження технічних рішень в умовах війни.

Мета і завдання дослідження. Мета дослідження – вдосконалення методики реконструкції інженерних систем та обладнання будинків, пошкоджених внаслідок воєнних дій, з урахуванням ступеня пошкодження конструктивних та інженерних елементів, а також розробки науково обґрунтованих підходів до їх подальшого відновлення та модернізації з впровадженням енергоефективних технологій і відновлюваних джерел енергії. Для досягнення мети передбачено обґрунтування основних етапів технічного обстеження об'єктів, аналізу технічного стану інженерних систем та оцінки можливості їх подальшої експлуатації або реконструкції. У процесі дослідження передбачається отримання практично орієнтованих результатів щодо визначення пріоритетних заходів відновлення інженерного обладнання будинків, підвищення рівня енергоефективності систем теплопостачання, водопостачання й енергозабезпечення в умовах війни та післявоєнного відновлення обладнання будівель у прифронтових регіонах України.

Для досягнення поставленої мети сформульовано такі задачі:

- аналіз сучасних підходів до реконструкції обладнання пошкоджених будинків в Україні та за кордоном з акцентом на модернізацію інженерних систем та підвищення енергоефективності;
- обґрунтування доцільності використання відновлюваних джерел енергії (теплових насосів) в процесі реконструкції;
- визначення ефективних технічних рішень з модернізації систем теплопостачання з урахуванням чинних нормативних вимог;
- оцінка потенціалу зниження енергоспоживання та підвищення експлуатаційної ефективності будинків у результаті запропонованих заходів.

Об'єктом дослідження є методика реконструкції інженерного обладнання індивідуального двоповерхового будинку з впровадженням енергоощадних технологій та систем цифрового моніторингу, а предметом дослідження – методи підвищення енергоефективності системи опалення

будинку шляхом модернізації інженерного обладнання та використання відновлюваних джерел енергії.

Матеріали та методи

Дослідження виконано із застосуванням комплексного підходу: аналізом нормативної бази, сучасних наукових публікацій і практичних рішень у сфері реконструкції інженерних систем будинків, методів енергетичного аналізу та техніко-економічного оцінювання ефективності впроваджуваних заходів. Інформаційною основою дослідження є чинні нормативи України у сфері енергоефективності будівель, проектування систем опалення, вентиляції, водопостачання та каналізації, міжнародні наукові дослідження, присвячені модернізації будинків та впровадженню відновлюваних джерел енергії. Удосконалено методикою досліджень передбачено виконання чотирьох етапів, детально розглянутих нижче.

Опис об'єкта після реконструкції, на якому реалізовано удосконалену методику. Об'єкт – двоповерховий пошкоджений будинок прямокутної конфігурації у плані. Конструктивна схема передбачає плоске покриття з рулонною гідроізоляцією, яке не використовується для експлуатаційних потреб. Габаритні розміри першого поверху будинку в координативних осях становлять $11,4 \times 7,2$ м, другого поверху – $10,3 \times 9$ м. Планувальні та конструктивні особливості об'єкта враховано при розробленні рішень стосовно модернізації інженерного обладнання та впровадження енергоефективних технологій.

Результати та обговорення

Розробка удосконаленої методики, що пропонується для відновлення індивідуального житла, пошкодженого внаслідок воєнних дій апробована на пілотному проєкті, який у даному дослідженні виступає прикладом прийнятих рішень – реконструкція пошкодженого внаслідок воєнних дій індивідуального житлового будинку, розташованого в селищі Комишуваха Запорізького району з модернізацією його інженерного обладнання (рис. 1), оскільки наявні пошкодження даного будинку є характерними для прифронтових населених пунктів України.

Удосконалена методика досліджень має чотири послідовні етапи (рис. 2) та передбачає комплексний підхід до реконструкції пошкодженого внаслідок воєнних дій індивідуального житлового будинку з модернізацією його інженерного обладнання.

Прийнятий у методиці комплексний підхід спирається на послідовність та етапність виконання досліджень згідно з нормативними вимогами (їх обсяг залежить від особливостей пошкоджень), що забезпечує чіткість, оперативність, ефективність прийняття проєктних

рішень, а також – управлінських рішень місцевих органів влади (особливо – при потребі одночасного відновлення великої кількості пошкоджених будинків).



Рис. 1. Загальний вигляд пошкодженого будинку, що розглядається як об'єкт реконструкції та модернізації інженерного обладнання



Рис. 2. Етапи методики реконструкції інженерного обладнання індивідуальних будинків, пошкоджених внаслідок воєнних дій

На етапі 1 проводиться обстеження технічного стану будинку і його інженерного обладнання. Оцінка здійснюється на основі аналізу конструктивних характеристик, інженерних мереж, режимів експлуатації і фактичного рівня енергоспоживання. Основну увагу приділяється визначенню технічного стану інженерних систем (наприклад – опалення) і виявленню факторів, що впливають на ефективність їх роботи відповідно до вимог нормативних документів у сфері енергоефективності будівель, опалення та обстеження технічного стану будівель і споруд [1–3, 14].

Етап 2 передбачає розгляд можливих варіантів модернізації інженерного обладнання будинку із застосуванням енергоефективних рішень. Основна увага приділяється аналізу варіантів систем опалення та оцінці можливості використання сучасного обладнання з теплогенерацією, зокрема теплового насоса, для забезпечення теплових потреб будинку.

На етапі 3 виконується аналіз енергетичних показників будинку із застосуванням розрахункових методів визначення тепловтрат, питомого енергоспоживання та ефективності функціонування інженерних систем. Оцінка базового рівня енергоспоживання дозволяє визначити доцільність впровадження енергоощадних заходів у процесі реконструкції будинку.

На етапі 4 виконується порівняльна оцінка розглянутих варіантів модернізації системи опалення за енергетичними та економічними показниками. Аналіз проводиться з урахуванням орієнтовного рівня енергоспоживання, експлуатаційних витрат та вартості обладнання, що дозволяє визначити найбільш доцільний варіант для будинку (рис. 2).

Пропоновані етапи удосконаленої методики передбачають застосування різних нормативів (ДБН та ін.), що стосуються кожної з відновлюваних інженерних мереж. Для оцінки ефективності методики визначаються параметри оптимізації y_i для кожного з етапів технічного обстеження обладнання. Зазначені параметри є функціями від сукупності факторів дослідження x_n , сформовані відповідно до чинних нормативних документів та методик технічного обстеження. Далі визначається узагальнена цільова функція u , яка враховує результати всіх етапів обстеження та відновлення:

$$y_i=f(x_1,x_2,\dots,x_n), \quad (1)$$

$$u=f(y_1,y_2,\dots,y_i). \quad (2)$$

Детальний приклад, як варіант застосування розробленої методики з використанням конкретних нормативів, проілюстровано для ситуації розглядуваної на рис. 1 будинку.

На етапі 1 дослідження виконано обстеження технічного стану пошкодженого будинку та наявного інженерного обладнання (рис. 1). Оцінювання проводилось з урахуванням конструктивних характеристик споруди, стану внутрішніх інженерних мереж, особливостей експлуатації та фактичного рівня енергоспоживання. У ході обстеження встановлено, що будинок був оснащений системами холодного та гарячого водопостачання, а забезпечення тепловою енергією здійснювалося від окремої котельні. Разом з тим, унаслідок пошкодження та втрати працездатності котельного обладнання система тепlopостачання не забезпечує належного функціонування об'єкта та потребує повної

модернізації із впровадженням сучасних енергоефективних рішень. Аналіз систем повітрообміну показав, що вентиляція в будинку організована за природним принципом та здійснюється переважно через відкриття вікон, дверей і кватирок. Такий спосіб повітрообміну не забезпечує стабільних параметрів мікроклімату, призводить до додаткових тепловтрат у холодний період року та негативно впливає на енергоефективність будинку в цілому.

На етапі 2 розроблено та проаналізовано варіанти модернізації системи теплопостачання будинку (рис. 3) із застосуванням енергоефективних технологій.



Рис. 3. Планувальні рішення поверхів будинку після реконструкції

З урахуванням результатів розрахунку теплового навантаження було виконано техніко-економічне порівняння чотирьох варіантів систем опалення: системи водяної теплої підлоги з електричним котлом, системи з

твердопаливним котлом та систему з тепловим насосом, а також системи електричної теплої підлоги у поєднанні із сонячною електростанцією. Результати розрахунків річного енергоспоживання та вартості обладнання графічно представлені на рис. 4. Виконана оцінка ефективності кожного варіанта з позиції енергоощадності, економічної доцільності та перспективності використання в умовах сучасних вимог до інженерного забезпечення будівель. Так використання електричного котла характеризується найвищими експлуатаційними витратами. Річне споживання електроенергії для цього варіанта становить близько 66,4 тис. кВт-год, а орієнтовні витрати на енергоресурси – майже 287 тис. грн на рік. Крім значного енергоспоживання, даний варіант потребує підвищених вимог до електричної мережі та резерву потужності системи електрозабезпечення будівлі. Система з твердопаливним котлом забезпечує найнижчі експлуатаційні витрати серед досліджених варіантів, що обумовлено відносно невисокою вартістю твердого палива.

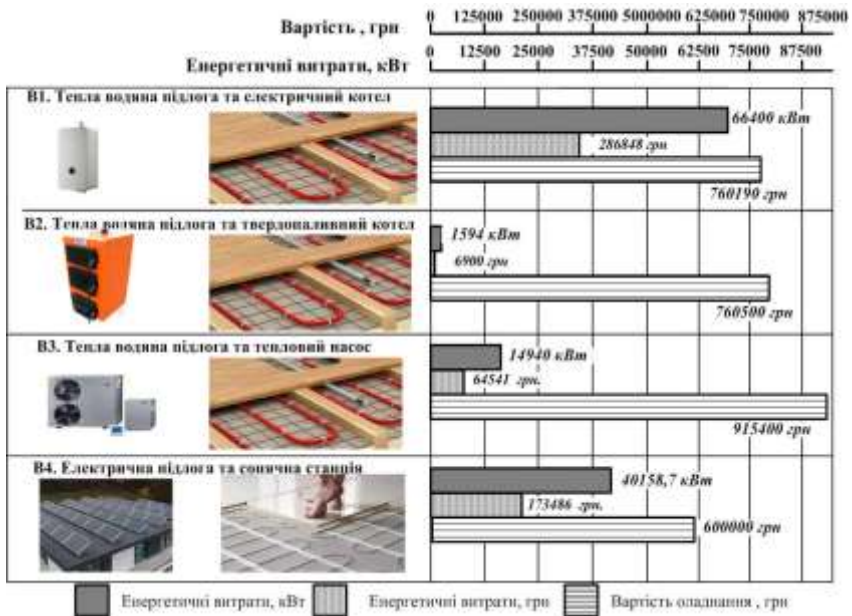


Рис. 4. Порівняння енергетичних та економічних показників систем опалення будинку

Однак її застосування супроводжується потребою у використанні значної кількості твердого палива, необхідністю постійного технічного обслуговування та меншою автоматизацією процесу тепlopостачання. Додатковим фактором є підвищений вплив на навколишнє середовище внаслідок продуктів згоряння палива. Вартість обладнання для цього варіанта є порівнянною з електричним котлом. Найбільш збалансованим рішенням за сукупністю техніко-економічних показників визначено систему з тепловим насосом. Попри вищі початкові витрати порівняно з традиційними системами, застосування теплового насоса дозволяє суттєво скоротити річне енергоспоживання, знизити експлуатаційні витрати до приблизно 64,5 тис. грн на рік. Додатковою перевагою є високий рівень автоматизації, екологічність та можливість інтеграції з відновлюваними джерелами енергії. Використання фотоелектричних панелей дозволяє частково компенсувати витрати електроенергії на опалення та зменшити навантаження на зовнішню електромережу. Річне енергоспоживання системи становить близько 40,2 тис. кВт-год, а орієнтовні експлуатаційні витрати – 173,5 тис. грн на рік. Попри достатньо високі капітальні витрати, перевагами такого рішення є використання відновлюваного джерела енергії, зниження викидів парникових газів, перспективність застосування в умовах підвищення тарифів на традиційні енергоносії. Але ефективність системи суттєво залежить від рівня інсоляції, потреби у резервному джерелі енергопостачання у періоди недостатньої генерації електроенергії.

На етапі 3 виконано аналіз енергетичних показників будинку після його реконструкції. Розрахунки проведено для двоповерхового будинку загальною площею близько 175 м². Оцінювання енергетичних характеристик здійснювалось з урахуванням об'ємно-планувальних параметрів будинку, кліматичних умов експлуатації та особливостей системи повітрообміну. У результаті проведеного аналізу встановлено, що найбільші втрати теплової енергії припадають на зовнішні огорожувальні конструкції та вентиляційний повітрообмін. Розрахункові тепловтрати будинку в опалювальний період становлять близько 12 кВт. При цьому додаткові втрати, пов'язані з інфільтрацією зовнішнього повітря та нестабільною роботою природної вентиляції, збільшують загальне теплове навантаження системи до 14 кВт. Оцінка річного енергоспоживання показала, що орієнтовна потреба будинку в тепловій енергії становить близько 18 тис. кВт-год на рік. На основі порівняння енергетичних витрат визначено доцільність підвищення ефективності інженерних систем шляхом модернізації опалення та вентиляції, що може сприяти зменшенню енергоспоживання будівлі, а також застосування автономного котельного обладнання тепловою потужністю 15 кВт, яке забезпечує покриття розрахункового теплового навантаження будівлі з урахуванням резерву

потужності для стабільної роботи системи в умовах пікових зимових навантажень. Отримані результати стали основою для подальшого аналізу варіантів реконструкції системи теплопостачання та вибору енергоефективного обладнання.

На етапі 4 проведено узагальнення, порівняльна оцінка розглянутих варіантів модернізації системи опалення будинку за енерго- й економічними показниками. Аналіз виконано для систем водяної теплої підлоги з використанням електродкотла, твердопаливного котла, теплового насоса, а також системи електричної теплої підлоги у поєднанні із сонячною електростанцією. Проведене дослідження дозволило оцінити рівень енергоефективності кожного варіанта та перспективність застосування з урахуванням енергоощадності та підвищення автономності інженерних систем. Результати порівняння показали, що варіант з електродкотлом характеризується найбільшим рівнем експлуатаційних витрат. Орієнтовне річне споживання електроенергії для цієї системи становить близько 66,4 тис. кВт-год, а витрати на енергоресурси можуть досягати 287 тис. грн на рік. Крім того, для такого рішення необхідне відповідне підсилення системи електрозабезпечення будівлі, забезпечення резерву електричної потужності. Використання твердопаливного котла дозволяє зменшити витрати на теплопостачання, однак експлуатація системи потребує регулярного обслуговування, організації зберігання палива та постійного контролю режимів роботи обладнання. Також цей варіант є з нижчим рівнем автоматизації порівняно з іншими системами та залежністю від стабільного постачання твердого палива. Система електричної теплої підлоги у поєднанні із сонячною електростанцією забезпечує часткове покриття потреб будівлі в електроенергії шляхом використання відновлюваних джерел енергії. Застосування фотоелектропанелей дозволяє знизити навантаження на зовнішню електромережу та скоротити витрати на енергоспоживання у порівнянні з традиційними електросистемами опалення. Але ефективність системи знижується в холодний період року.

За результатами проведеного аналізу найбільш доцільним варіантом для досліджуваного будинку визначено систему з тепловим насосом. Використання такого обладнання забезпечує зниження річних витрат на енергоресурси до приблизно 64,5 тис. грн та дозволяє підвищити енергоефективність системи теплопостачання. Додатковими перевагами є автоматизований режим роботи, зменшення залежності від традиційних видів палива та можливість інтеграції з іншими енергоощадними технологіями. Зростання кількості частково пошкоджених і зруйнованих будинків у прифронтових громадах, потреба реконструкції житлового фонду та відновлення інженерних систем для забезпечення житлом

внутрішньо переміщених осіб обумовлюють актуальність застосування енергоефективних технологій та відновлюваних джерел енергії в системах теплопостачання. Особливості географічного розташування та кліматичних умов південних прифронтових регіонів України, зокрема Запорізької області, результати порівняльного аналізу різних систем опалення підтверджують ефективність використання теплових насосів типу «вода-вода» та сонячних електростанцій як додаткових джерел енергозабезпечення в періоди достатньої інсоляції.

Висновки

1. Розроблено удосконалену методику технічного обстеження інженерних систем індивідуальних будинків, пошкоджених внаслідок воєнних дій, використання якої сприяє скороченню термінів виконання відновлювальних робіт, підвищенню ефективності технічної допомоги та створенню належних умов для тимчасового або постійного проживання внутрішньо переміщених осіб у відновлених будинках. Дана методика може бути поширена на використання для інших типів житлових будинків (наприклад – більшої поверховості), а у перспективі – також бути адаптована для громадських будівель (шкіл, лікарень, готелів тощо).

2. Апробація вдосконаленої методики технічного обстеження на прикладі пошкодженого будинку дозволила комплексно оцінити стан інженерних систем та визначити основні напрями їх подальшого відновлення і модернізації. Отримані результати підтвердили доцільність застосування комплексного підходу до технічного обстеження інженерних систем, що дозволяє прискорити процес оцінки технічного стану пошкоджених будинків, забезпечити оперативне прийняття рішень щодо їх відновлення та впровадження енергоефективного обладнання.

3. Проведений аналіз енергетичних показників показав, що розрахункове теплове навантаження будинку становить близько 14 кВт, орієнтовне річне споживання теплової енергії – 18 тис. кВт-год. Отримані результати підтвердили доцільність модернізації системи теплопостачання та впровадження енергоощадних рішень.

4. Порівняльний аналіз трьох варіантів систем опалення (водяної теплої підлоги з електрокотлом, твердопаливним котлом, теплонасосом) показав, що система з електрокотлом має найвищі експлуатаційні витрати, а застосування твердопаливного котла потребує постійного технічного обслуговування, організації паливного господарства.

5. За сукупністю енергетичних, економічних та експлуатаційних показників найбільш доцільним для досліджуваного будинку визначено варіант із застосуванням теплового насоса Використання таких систем дозволяє підвищити рівень енергетичної автономності будівель, зменшити

залежність від традиційних енергоносіїв, вартість яких зростає, а також забезпечити більш стабільне функціонування інженерної інфраструктури в умовах можливих перебоїв централізованого енергопостачання. Додатковою перевагою є поступове зниження вартості обладнання для сонячних електростанцій і теплових насосів, що сприяє розширенню можливостей їх практичного впровадження під час відновлення та модернізації забудови, зокрема для забезпечення доступного та енергоефективного житла для соціально вразливих категорій населення.

Конфлікти інтересів

Автори заявляють, що у них немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Доступність даних

Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Використання штучного інтелекту

Автори підтверджують, що при створенні поточної роботи вони не використовували технології штучного інтелекту.

References

1. DBN V.2.6-31:2021. (2021). *Теплова ізоляція та енергоефективність будівел*. Kyiv: Minrehion Ukrainy.
2. DSTU 9190:2022. (2022). *Енергетична ефективність будівел. Метод розрахунку енергоспоживання під час опалення, охолодження, вентиляції, освітлення та hariachoho vodopostachannia*. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy
3. DBN V.2.5-67:2013. (2013). *Опалення, вентиляція та кондиціонування*. Kyiv: Minrehion Ukrainy.
4. Xie, D., & Xie, Q. (2024). Internet of things-based study on online monitoring system of building equipment energy saving optimization control using building information modeling. *Building Services Engineering Research and Technology*, 107(2),1–23. <https://doi.org/10.1177/00368504241228130>
5. Lund, H., Østergaard, P. A., Connolly, D., & Mathiesen Smart energy and smart energy systems. *Energy*, 137, 556-565. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.05.123>
6. Zhang, K., Blum, D., Cheng, H., Paliaga, G., Wetter, M., & Granderson, J. (2022). Estimating ASHRAE Guideline 36 energy savings for multi-zone variable air volume systems using Spawn of EnergyPlus. *Journal of Building Performance Simulation*, 15(2), 215-236. <https://doi.org/10.1080/19401493.2021.2021286>

7. Khalilnejad A. et al. (2020). Data-driven evaluation of HVAC operation and savings in commercial buildings. *Applied Energy*, 278, 115505. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115505>
8. Hepbasli, A., & Kalinci, Y. (2009). A review of heat pump water heating systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(6–7), 1211–1229. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2008.08.002>
9. Selikhov Yu. A., Horbunov K. O., Stasov V. A. (2021). Intehratsiia roboty ponovliuvanykh dzherel enerhii dlia hariachoho vodopostachannia ta opaliuvannia budivel. *Intehrovani tekhnologii ta enerhozberezhennia*, 4, 3–10. <https://doi.org/10.20998/2078-5364.2021.4.01>
10. Zaitsev V. I. (2024). Analiz orhanizatsiino-tekhnolohichnykh rishen dlia kompleksnoi termomodernizatsii tipovykh bahatopoverkhovykh zhytlovykh budivel. *Ukrainskyi zhurnal budivnytstva ta arkhitektury*, 12, 89–101. <https://doi.org/10.30838/UJCEA.2312.241225.89.1212>
11. Syvolap, Yu., Tytok, V. (2023). Metody otsinky zhyttievoho tsylku budivnytstva ta yikh kliuchovi osoblyvosti. *Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti budivnytstva*, 52(1), 101–109. [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2023.52\(1\).101-109](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2023.52(1).101-109)
12. Basko, A. V., Ponomarova, O. A. (2022). Metodolohiia proektuvannia avtomatychnoi systemy strukturnoho monitorynhu tekhnichnoho stanu budivel ta sporud. *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu*, 4, 64–71. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2022-163-4-64-71>
13. Stepaniuk, R. (2022). Systemnyi pidkhid do rekonstruktsii inzhenernykh sporud iz vykorystanniam intelektualnykh informatsiinykh system ta normatyvno-tekhnichnykh rehlamentiv. *Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti budivnytstva*, 2(49), 159–170. [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2022.49\(2\).159-170](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2022.49(2).159-170)
14. DSTU 9273:2024. (2024). Nastanova shchodo obstezhennia budivel i sporud dlia vyznachennia ta otsinky yikh tekhnichnoho stanu. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy.

Література

1. ДБН В.2.6-31:2021. (2021). Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. Київ: Мінрегіон України.
2. ДСТУ 9190:2022. (2022). Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання під час опалення, охолодження, вентиляції, освітлення та гарячого водопостачання. Київ: Мінрегіонбуд України.
3. ДБН В.2.5-67:2013. (2013). *Опалення, вентиляція та кондиціонування*. Київ: Мінрегіон України.
4. Xie, D., & Xie, Q. (2024). Internet of things-based study on online monitoring system of building equipment energy saving optimization control using building information modeling. *Building Services Engineering Research and Technology*, 107(2), 1–23. <https://doi.org/10.1177/00368504241228130>
5. Lund, H., Østergaard, P. A., Connolly, D., & Mathiesen, B. (2017). Smart energy and smart energy systems. *Energy*, 137, 556–565. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.05.123>
6. Zhang, K., Blum, D., Cheng, H., Paliaga, G., Wetter, M., & Granderson, J. (2022). Estimating ASHRAE Guideline 36 energy savings for multi-zone variable air

volume systems using Spawn of EnergyPlus. *Journal of Building Performance Simulation*, 15(2), 215-236. <https://doi.org/10.1080/19401493.2021.2021286>

7. Khalilnejad, A. et al. (2020). Data-driven evaluation of HVAC operation and savings in commercial buildings. *Applied Energy*, 278, 115505. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115505>

8. Hepbasli, A., & Kalinci, Y. (2009). A review of heat pump water heating systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(6-7), 1211-1229. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2008.08.002>

9. Селіхов, Ю. А., Горбунов, К. О., Стасов, В. А. (2021). Інтеграція роботи поновлюваних джерел енергії для гарячого водопостачання та опалювання будівель. *Інтегровані технології та енергозбереження*, 4, 3-10. <https://doi.org/10.20998/2078-5364.2021.4.01>

10. Зайцев, В. І. (2024). Аналіз організаційно-технологічних рішень для комплексної термомодернізації типових багатоповерхових житлових будівель. *Український журнал будівництва та архітектури*, 12, 89-101. <https://doi.org/10.30838/UJCEA.2312.241225.89.1212>

11. Сиволап, Ю., Титок, В. (2023). Методи оцінки життєвого циклу будівництва та їх ключові особливості. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*, 52(1), 101-109. [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2023.52\(1\).101-109](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2023.52(1).101-109)

12. Басько, А. В., Пономарьова, О. А. (2022). Методологія проектування автоматичної системи структурного моніторингу технічного стану будівель та споруд. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, 4, 64-71. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2022-163-4-64-71>

13. Степанюк Р. (2022). Системний підхід до реконструкції інженерних споруд із використанням інтелектуальних інформаційних систем та нормативно-технічних регламентів. Шляхи підвищення ефективності будівництва, 2(49), 159-170. [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2022.49\(2\).159-170](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2022.49(2).159-170)

14. ДСТУ 9273:2024. (2024). Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану. Київ: Мінрегіонбуд України.

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 12.05.2026	Received 12.05.2026
Отримано у доопрацьованому вигляді 19.05.2026	Received in revised form 19.05.2026
Прийнято 27.05.2026	Accepted 27.05.2026
Опубліковано 29.05.2026	Published 29.05.2026

O. H. Dobrovska

PhD in Engineering, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1337-7216>
Department of Urban Construction and Architecture
Zaporizhzhia National University, 226 Sobornyi Avenue, Zaporizhzhia, Ukraine, 69006

O. M. Fostashchenko*

PhD in Engineering, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4287-2838>
Department of Urban Construction and Architecture
Zaporizhzhia National University, 226 Sobornyi Avenue, Zaporizhzhia, Ukraine, 69006

*corresponding author, e-mail: zdia207@gmail.com

Improved methodology for the reconstruction of engineering equipment in individual residential buildings damaged as a result of military actions

How to Cite:

Dobrovolska, O. H., Fostashchenko, O. M. (2026). Improved methodology for the reconstruction of engineering equipment in individual residential buildings damaged as a result of military actions. *Modern technologies and methods of calculations in construction*, 25, 238-253. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2026-15\(25\)-18](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2026-15(25)-18)

Abstract. The article examines the issue of improving the methodology for the reconstruction of engineering equipment in damaged buildings through the implementation of energy-saving technologies. The relevance of the study is determined by the need to modernize Ukraine's building stock in the context of post-war recovery, reduce energy consumption, and decrease operating costs. Particular attention is paid to the modernization of heat supply systems and the assessment of the feasibility of using modern heat-generating equipment. The object of the study is the methodology for the reconstruction of the engineering equipment of an individual two-story residential building. The subject of the research is the methods of improving the energy efficiency of the heating system through equipment modernization and the application of energy-saving technologies. The study applies a comprehensive approach that includes analysis of the technical condition of the building, assessment of energy performance indicators, and comparative analysis of heat supply options. The study found that the building's heat supply system had lost its operational capacity due to damage to the boiler equipment, while natural ventilation caused significant heat losses and increased energy consumption. The calculated heating load of the building is approximately 14 kW, and the estimated annual thermal energy consumption is about 18 thousand kWh. The paper considers four heating system options: underfloor water heating with an electric boiler, a solid-fuel boiler, a heat pump, a solar power station, and electric floor heating. Comparative analysis showed that the system with an electric boiler has the highest operating costs, while the use of a solid-fuel boiler requires constant technical maintenance. The most appropriate option was determined to be the heat pump system, which ensures reduced energy resource costs and improved energy efficiency of the heat supply system.

Keywords: building reconstruction, engineering equipment, heating system, heat pump, energy saving.