

DOI: 10.32347/2076-815X.2024.85.82-94

УДК 719:69.059.7:620.9

к.т.н., доцент **Голик Й.М.**,

g.jolana@ukr.net, ORCID: 0000-0001-5135-0711,

Вантюх Д.Е.,

dianavantyukh@gmail.com, ORCID: 0000-0002-6096-7016,

Стецько І.І.,

ivan.stetsko@uzhnu.edu.ua, ORCID: 0009-0006-8027-490X,

Ужгородський національний університет

ДЕЯКІ ОСОБЛИВОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ РЕНОВАЦІЇ ІСТОРИЧНИХ БУДІВЕЛЬ

Висвітлено питання підвищення енергоефективності будівель, зокрема тих, які відносяться до історичної архітектури. Насамперед, розглянуто теоретичні розробки з даної теми. Викладені основні сучасні методи підвищення енергоефективності будівель. Наведені приклади світового досвіду застосування енергоефективних технологій та енергетичної модернізації під час реконструкції будівель, які відносяться до історичної архітектури.

Ключові слова: енергоефективність; енергоефективні технології; історична забудова; реконструкція; енергетична модернізація; енергозберігаючі будівельні матеріали.

Актуальність теми і постановка проблеми. Енергозбереження є одним з важливих напрямків сучасної стратегії в галузі будівництва, адже в Україні на 1 млн м² житлової площі за опалювальний період витрачається вдвічі більше природного палива, ніж у Європі. Зазвичай, це зумовлено низькими теплозахисними властивостями огорожувальних конструкцій будівель, які обмежують їх обсяг і розділяють на окремі приміщення: зовнішні й внутрішні стіни, покриття, підлоги, перегородки, заповнення світлових прорізів тощо. Тому, комплекс заходів щодо енергозбереження повинен, насамперед, включати ефективний теплозахист цих конструкцій, що в подальшому забезпечить також підвищення комфортності таких будівель [3].

Згідно з ДБН В.2.6-31:2016 «Теплова ізоляція будівель», енергетична ефективність визначається як здатність будівлі, її конструктивних елементів та інженерного обладнання забезпечувати протягом очікуваного життєвого циклу будівлі побутові потреби людини та оптимальні мікрокліматичні умови для її перебування та/або проживання при нормативно допустимому рівні витрат

енергетичних ресурсів на опалення, освітлення, вентиляцію, кондиціонування повітря, гаряче водопостачання з урахуванням місцевих кліматичних умов [1].

Оцінити енергоефективність дозволяє нижченаведена європейська класифікація будівель з оцінкою їх енергоспоживання, яка може використовуватися при визначенні подальших заходів щодо зменшення рівнів витрат енергії:

1) старі будівлі, побудовані до 1970-х років (в Україні до 2007 року), які вимагають для свого опалення та охолодження близько 300 кВт-год/м²;

2) нові будівлі, які будувалися в Європі з 1970-х до 2002 року (в Україні до 2016 року), що потребують, відповідно, 150 кВт-год/м²;

3) будівлі низького споживання енергії – 60 кВт-год/м² (з 2002 року в Європі заборонено зведення будівель з великим енергоспоживанням);

4) пасивні будівлі (в Європі прийнятий Закон, за яким з 2019 року не можна зводити будівлі за нижчими стандартами, ніж пасивний будинок) – 15 кВт-год/м²;

5) будівлі нульової енергії (архітектурно мають ті ж стандарти, що й пасивні будівлі, але інженерно оснащені так, щоб споживати виключно тільки ту енергію, яку самі й виробляють) – 0 кВт-год/м²;

6) будівлі з плюс-енергією, які за допомогою встановленого інженерного обладнання (сонячних панелей, колекторів, теплових насосів, рекуператорів та інших), виробляють більше енергії, ніж самі споживають [2].

Загалом, заходи, спрямовані на підвищення енергоефективності різних типів будівель, умовно поділяють на активні і пасивні. Пасивні заходи спрямовані на максимальне заощадження енерговитрат завдяки застосуванню вдалих конструктивних (вибір будівельних матеріалів, ефективна конструкція стін, оптимальний тип віконних рам та склопакетів, запобігання появі містків холоду) та об'ємно-планувальних (компактність будівлі, орієнтація будівлі з урахуванням рози вітрів, раціональне розташування вікон) рішень.

Активні заходи полягають у застосуванні сучасних інженерно-технічних рішень (вентиляція з рекуперацією тепла, ефективна система опалення, яка працює від альтернативних джерел енергії) та технічних установок, які слугують альтернативними джерелами енергії (сонячні батареї, колектори, теплові насоси, вітрогенератори) [5].

Тобто, енергоефективна реконструкція будівель полягає у забезпеченні їх енергозберігаючого функціонування шляхом застосування сучасних активних інженерно-технічних рішень і технічних установок, а також можливих пасивних заходів (утеплення стін, оптимальний тип склопакетів тощо).

Водночас, особливої уваги потребує питання енергоефективної реконструкції під час реновації історичних будівель, адже історична забудова

становить сукупність об'єктів архітектурної та містобудівної спадщини, які підлягають максимальному збереженню як цінні елементи історичного середовища пам'яток архітектури та матеріальні вияви традиційного характеру середовища.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Загалом різноманіття енергоефективних матеріалів для огорожувальних конструкцій будівель та споруд досліджували вітчизняні вчені Керш В.Я., Холдаєва М.І., Фощ А.В., Щербина О.С., Міхалевська Т. Р., Лебедева А.В. Можливостями застосування енергоефективних технологій в різних типах житлових будівель займалися автори Кошева В.О., Чорноморденко Є.І. (2014). Закордонний досвід проаналізований на основі праці Chang, R. і співавторів (2014), які досліджували можливості реновації історичної будівлі *Aspinall Courthouse* (США); Galán González A. зі співавторами вивчали застосування енергоефективних технологій при реновації історичних будівель Брюсселю (2014); Ferrante A., Ciulla G., Galatioto A., Ricciu R. досліджували можливості енергоефективного відновлення історичних будівель Італії (2016); особливостями відновлення вікон займалися Vakonyi D., Dobszay G. (2016). Реновацію історичних будівель Швеції досліджував Gremmelspacher J. M., (2021). Водночас, Rose J. і Thomsen K.E. порівнювали різні енергоефективні технології під час реновації історичних будівель Данії (2021).

Мета статті полягає у виявленні особливостей реновації історичних будівель з використанням сучасних енергозберігаючих технологій на основі аналізу світового досвіду.

Виклад основного матеріалу. На сучасному етапі спільною проблемою для багатьох історичних будівель є тривале недбале їх обслуговування, що призводить до виникнення ряду технічних недоліків, таких як високе споживання енергії та низький тепловий комфорт через погану ізоляцію, незадовільну герметичність і нещільні вікна, неефективні системи опалення та недостатню вентиляцію, а також пошкодження вологою через пористе огороження будівлі та наявність труб, що протікають [14]. Тому, потребу в реновації історичних будівель реалізують шляхом поєднання відновлювальних робіт з заходами забезпечення енергоефективності. Однак, при реконструкції історичних будівель виникають певні обмеження, які стосуються як зовнішньої, так і внутрішньої структури таких об'єктів. Зокрема, підвищення їхньої енергоефективності часто пов'язане з високим рівнем складності, оскільки максимальне врахування цінностей архітектурної спадщини часто може зменшити, а іноді навіть повністю виключити можливість проведення робіт з енергозбереження [15]. Так, зазвичай, для зниження енергопотреб модернізують системи управління, освітлення, вентиляції, зберігання і

рекуперації тепла, покращують теплоізоляцію оболонки будівлі, використовують високоефективні склопакети, встановлюють сучасні компоненти освітлення, оновлюють системи обігріву, вентиляції та кондиціонування, впроваджують функціонування відновлювальних джерел енергії, таких як вітер або сонячна енергія [8, 9]. Водночас, при виконанні подібних робіт на об'єктах історичної забудови категорично неприпустиме порушення їх зовнішнього вигляду у сукупності з усіма архітектурними елементами, що входять до складу фасаду будівель [4].

Насамперед, відновлення огорожувальних конструкцій історичної будівлі потребує підвищеної уваги до їх *непрозорих* та *прозорих елементів*. Ізоляція зовнішніх непрозорих елементів або використання додаткової ізоляції фасадів і даху є одним з найпростіших і найефективніших заходів, які слід враховувати. Правильне розташування ізоляції може збільшити теплову інерцію будівлі, внаслідок чого у будівлях з проблемами конденсації на поверхнях відбувається зменшення або навіть усунення конденсату. Водночас, дії щодо покращення або заміни прозорих компонентів мають за мету посилити проникнення сонячного випромінювання під час опалювального періоду та мінімізувати його в період охолодження, зменшити втрати тепла, покращити денне освітлення та забезпечити більш ефективний повітрообмін протягом літнього сезону [10].

При проведенні реконструктивних робіт історичних будівель також важливо звернути увагу на інфільтрацію внаслідок витoku повітря через корпус будівлі. Точки входу та виходу повітря віддалені одна від одної, що дає повітрю достатньо часу для охолодження нижче точки роси та осадження вологи в корпусі будівлі. Для уникнення подібних проблем потрібно додавати пароізоляцію, облицьовану всередину [10].

Наступним, чого слід дотримуватися при реконструкції огорожувальних конструкцій історичних будівель є використання ізоляційного матеріалу як зсередини, так і ззовні зовнішніх стін або фасаду, або шляхом заповнення порожнин всередині стінової конструкції. Використання додаткової ізоляції зменшує швидкість втрат тепла, покращує герметичність стіни та зменшує утворення конденсату на поверхнях. А встановлення вікон, що відкриваються, дозволяє контролювано подавати повітря, яке задовольнить потреби в перенесенні надлишкового тепла влітку та забезпечить чисте середовище [10].

Необхідно також подбати про збалансованість системи механічної вентиляції. Для цього створюють додатковий повітряний простір біля дверного отвору за допомогою вестибюлів, наявність яких зменшує швидкість проникнення повітря під час відкривання основних дверей. Водночас, встановлення атріуму чи світлового колодязя забезпечує природне освітлення, зберігаючи характерні внутрішні простори, елементи та оздоблення [10].

Загалом, стратегія енергомодернізації розроблена для підвищення теплового комфорту та якості внутрішніх приміщень шляхом мінімізації інфільтрації повітря, збалансованої механічної вентиляції та встановлення адекватного водяного опалення, щоб забезпечити можливість використання історичних будівель протягом усього року [11].

В якості об'єктів інтеграції енергоефективних технологій в реновацію історичних будівель Європи можна навести наступні приклади. Перший – підвищення енергоефективності 150-річного замку Соф'єро, розташованого у Гельсінборзі, Швеція (рис. 1).



Рис. 1. Замок Соф'єро, Гельсінборг, Швеція. Загальний вигляд
Джерело: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X2100387X>

Для цього використали: 1) систему вентиляції сталого повітряного об'єму через її меншу вартість, порівняно із системою змінного повітряного об'єму; 2) спектрально-селективне скління; 3) ізоляційні плити зі спученого перліту товщиною 120 мм. Ці заходи в сукупності забезпечили суттєве зменшення споживання електроенергії до $145 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$, з яких $86 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$ електроенергії споживає освітлювальне обладнання, вентилятори та насоси, а решту $59 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$ – централізоване опалення [11].

Наступним прикладом застосування енергоефективних технологій є реконструкція вікон палацу Угорської академії наук, розташованої в Будапешті, Угорщина (рис. 2) [6]. Будівля відома тим, що має понад 200 вікон 23-х різних розмірів, форм і типів. Однією з необхідних умов для реконструкції цієї історичної будівлі було максимальне збереження історичного фасаду, для чого застосовані сучасні пристрої для затінення вікон «Interpane» і прості автоматизовані системи їх закривання.



Рис. 2. Палац Угорської академії наук
Джерело: <https://images.app.goo.gl/xtEeDg7tM1PW4W9h9>

Реконструкція будівлі суду Аспіналл (США) є прикладом модифікації історичних будівель з метою підвищення енергоефективності зі збереженням історичної цілісності будівельної конструкції (рис. 3) [7].



Рис. 3. Будівля суду Аспіналл, Гранд-Джанкшн, Колорадо (до реконструкції),
Джерело: <https://www.aiatopen.org/node/367>

Загалом проведені заходи з підвищення енергоефективності включали:

- 1) монтаж напиленого пінопластового утеплювача (з термічним опором R-10) на стіни кладки, що знизило загальне енергоспоживання будівлі на 11%;
- 2) встановлення 10-дюймового жорсткого утеплювача на покрівлю (середній термічний опір R-35) для зниження тепловтрат і припливу тепла;

3) додавання покрівельної мембрани білого кольору – створення так званого «холодного даху», що зменшило приплив сонячної енергії та навантаження на систему кондиціонування повітря;

4) заміну застарілих механічних та електричних систем високоефективними технологіями, включаючи систему опалення, вентиляції та кондиціонування холодоагенту зі змінним потоком води;

5) демонтаж неефективних систем освітлення із заміною на світлодіодні системи для зменшення споживання енергії, навантаження на охолодження та обслуговування (освітлювальні прилади оснащені регуляторами яскравості, щоб приглушити електричне освітлення зі збільшенням природного денного світла, запобігаючи надмірному освітленню та заощаджуючи енергію);

6) встановлення передових бездротових систем керування освітленням, опаленням, вентиляцією та кондиціонуванням повітря, включаючи пристрої на сонячних батареях;

7) заміну сантехнічних приладів великого об'єму на прилади з низьким потоком, які зменшують споживання води приблизно на 40%;

8) встановлення на даху сонячного фотоелектричного навісу (385 панелей, що генерують 123 кВт електроенергії) для виробництва приблизно 173 897 кВт·год на рік ;

9) систему геотермального обміну (з 32 ґрунтовими свердловинами на глибині 475 футів).



Рис. 4. Будівля суду Аспінал, Гранд-Джанкшн, Колорадо після реконструкції, 2013 р.)

Джерело: <https://doi.org/10.2172/1163433>

Для збереження історичних вікон з дерев'яними рамами та однокамерним склопакетом, встановлено нові штормові панелі з високоефективною ультрафіолет-захисною плівкою [7].

Цікавим прикладом реновації є будівля Osram (Данія), побудована в 1953 році як офіс і склад для виробництва електроламп A/S Dansk Osram. Модернізація цього об'єкту полягала в енергетичній реконструкції колишньої промислової будівлі, яка на сучасному етапі використовується як культурний центр, шляхом посиленого використання денного світла та природної вентиляції для покращення клімату в приміщенні. Для цього у будівлі Osram було використано інноваційне рішення для утеплення фасаду з комбінацією внутрішньої ізоляції та шару скла від підлоги до стелі (рис. 5, 6).



Рис. 5. Загальний вигляд після реконструкції будівлі Osram
Джерело: <https://doi.org/10.3390/heritage4040155>



Рис. 6. Додатковий шар скла від підлоги до стелі будівлі Osram
Джерело: <https://doi.org/10.3390/heritage4040155>

Застосовані заходи непомітні ззовні, водночас, ізоляція фасаду покращила мікроклімат в приміщенні в будівлі та усунула протяги. Споживання електроенергії при цьому знизилося на 11% за рахунок заміни існуючих систем

освітлення на датчики руху і регуляторів денного світла, а споживання тепла знизилося на 77% в результаті загального утеплення теплової оболонки і встановлення нових вікон. На даху встановлені сонячні колектори як джерело альтернативного електропостачання (2 панелі 1,34м x 1,80 м площею 4,82 м²).

Варто також додати, що сучасні закордонні дослідницькі проекти реновації історичних будівель забезпечуються за допомогою 3D-технологій. При цьому фокус досліджень зосереджений на містобудуванні і здійснюється шляхом віртуальної реконструкції [12].

До перспективних технологій, які використовують для реконструкції старих будівель, відносять також технологію енергетичного моделювання. Остання вивчає вплив коефіцієнта теплопередачі зовнішньої стіни, товщини шару ізоляції, коефіцієнта теплопередачі зовнішнього вікна, коефіцієнта затінення зовнішнього вікна тощо на будівлю, споживання енергії та викидів вуглецю, а також завершує оцінку вуглецевого сліду на етапі планування [13].

Висновки та пропозиції. Реновація історичної забудови здійснюється з метою попередження її занепаду шляхом збереження автентичного фасаду та первісного призначення. Усі відновні заходи повинні відповідати вимогам максимального збереження будівлі разом з покращенням енергоефективності та комфорту проживання, забезпечивши безперервний зв'язок між культурною спадщиною та сучасними потребами.

Проектування та реалізація робіт з реставрації історичних пам'яток, а також застосування відповідних заходів з енергоефективності потребують індивідуального підходу до кожної історичної будівлі після ретельного аналізу світових сучасних теоретичних розробок і практичного досвіду.

Список літератури

1. ДБН В.2.6-31:2016 «Теплова ізоляція будівель». Київ, 2017. <https://gazobeton.org/sites/default/files/sites/all/uploads/DBN-V.2.6-31-2016-Teplova-izolyatsiya-budivel.pdf>
2. Енергоефективність будівель в Україні. URL: <https://dergbud.org.ua/enerhoefektyvnist-budivelua.html>
3. Керш В.Я., Холдаєва М.І., Фоц А.В., Щербина О.С., Міхалевська Т.Р., Лебедева А.В. Енергоефективні матеріали для огорожувальних конструкцій будівель та споруд. *Будівельні матеріали, виробу та санітарна техніка*. 2012. Вип. 43. С. 31-34. URL: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/bmvs_2012_43_7.pdf
4. Кошева В.О., Чорноморденко Є.І. Застосування енергоефективних систем і технологій в різних типах житлових будівель. *Енергоефективність в*

будівництві та архітектурі. 2014. Вип. 6. С. 143-148. URL: <https://repository.knuba.edu.ua/handle/987654321/908>

5. Чорноморденко Є.І. Реконструкція історичної забудови за принципами енергоефективності. *Енергоефективність в будівництві та архітектурі*. 2013. Вип. 5. С. 137-142. URL: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/enef_2013_5_28.pdf

6. Bakonyi D., Dobszay G. Simulation aided optimization of a historic window's refurbishment. *Energy and Buildings*. 2016. Vol. 126. P. 51-69. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.05.005>

7. Chang R., Hayter S., Hotchkiss E., Pless S., Sielcken J., Smith-Larney C. Aspinall Courthouse: GSA's Historic Preservation and Net-Zero Renovation Case Study. United States: N. p., 2014. URL: <https://doi.org/10.2172/1163433>

8. Ciulla G., Galatioto A., Ricciu R. Energy and economic analysis and feasibility of retrofit actions in Italian residential historical buildings. *Energy and Buildings*. 2016. Vol. 128. P. 649-659. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.07.044>

9. Ferrante A. Zero- and low-energy housing for the Mediterranean climate. *Advances in Building Energy Research*. 2012. Vol. 6. P. 81-118. <https://doi.org/10.1080/17512549.2012.672003>

10. Galán González A., Trachte S., Athanassiadis A., Evrard A., Bouillard Ph., Acha C. Old buildings, new cities: Energy renovation strategies for the historic residential stock of Brussels. 2014. <https://doi.org/10.13140/2.1.1249.7608> https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=http://wsb14barcelona.org/programme/pdf_poster/P-159.pdf&ved=2ahUKEwiz6qTNzbyCAxXAPxAIHVaUDPk4ChAWegQICAB&usg=AOvVaw1yjMGKLGX2I15ze4BPLuAX

11. Gremmelspacher J.M., et al. Historical building renovation and PV optimisation towards NetZEB in Sweden. *Solar Energy*. 2021. Vol. 223. P. 248-260. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.02.067>

12. Kepakisan1. et al. Research on Reconstruction of Historical Buildings: Bibliometric Studies in International Journals. *International Journal of Engineering and Emerging Technology*. 2021. Vol. 6. P. 32-39. https://www.researchgate.net/publication/353349621_Research_on_Reconstruction_of_Historical_Buildings_Bibliometric_Studies_in_International_Journals

13. Liao H., Ren R., Li L. Existing Building Renovation: A Review of Barriers to Economic and Environmental Benefits. *Int J Environ Res Public Health*. 2023. Vol. 20. No 5. P. 4058. <https://doi.org/10.3390/ijerph20054058>

14. Mjörnell K., Femenías P., Annadotter K. Renovation Strategies for Multi-Residential Buildings from the Record Years in Sweden—Profit-Driven or

Socioeconomically Responsible? *Sustainability*. 2019. Vol. 11. No 24. P. 6988. <https://doi.org/10.3390/su11246988>

15. Rose J., Thomsen K.E. Comprehensive Energy Renovation of Two Danish Heritage Buildings within IEA SHC Task 59. *Heritage*. 2021. Vol. 4. No 4. P. 2746-2762. <https://doi.org/10.3390/heritage4040155>

PhD, associate Professor **Jolana Holyk**,
PhD student **Diana Vantyukh**, PhD student **Ivan Stetsko**,
Uzhhorod National University

SOME ASPECTS OF ENERGY-EFFICIENT TECHNOLOGIES APPLICATION IN HISTORICAL BUILDINGS' RENOVATION

Energy saving is one of the important directions of modern strategy in the field of construction because in Ukraine, twice as much natural fuel is consumed per 1 million m³ of living space during the heating period as in Europe. Energy-efficient reconstruction of buildings consists of ensuring energy-saving functioning through the use of modern active engineering and technical solutions and technical installations, as well as possible passive measures (wall insulation, optimal type of double-glazed windows, etc.). The issue of energy efficiency during the renovation of historical buildings requires special attention because the building is a collection of architectural and urban heritage objects that are subject to maximum preservation. The purpose of the article is to reveal the peculiarities of the renovation of historical buildings using modern energy-saving technologies based on the analysis of world experience. A common problem with many historic buildings is their careless maintenance, which leads to a number of technical deficiencies, such as high energy consumption and low thermal comfort. Therefore, the need for renovation of historical buildings is met by combining restoration work with measures to ensure energy efficiency. The article highlights the issue of increasing the energy efficiency of buildings related to historical architecture using the examples of the Sofiero Castle located in Helsingborg (Sweden), the Palace of the Hungarian Academy of Sciences, the Aspinall Courthouse (USA), and the Osram building (Denmark). First and foremost, theoretical developments on this topic are considered. The main modern methods of increasing the energy efficiency of buildings are outlined. Examples of world experience in the use of energy-efficient technologies and energy modernization during the reconstruction of buildings related to historical architecture are given. The design and implementation of works on the restoration of historical monuments, as well as the application of appropriate energy efficiency measures,

require an individual approach to each historical building after careful analysis of the world's modern one's theoretical developments and practical experience.

Key words: energy efficiency; energy-efficient technologies; historical buildings; reconstruction; energy modernization; energy-saving building materials.

REFERENCES

1. DBN V.2.6-31:2016 «Теплова ізоляція будівель». Kyiv, 2017. URL: <https://gazobeton.org/sites/default/files/sites/all/uploads/DBN-V.2.6-31-2016-Teplova-izolyatsiya-budivel.pdf> {in Ukrainian}
2. Enerhoefektyvnist budivel v Ukraini. URL: <https://dergbud.org.ua/enerhoefektyvnist-budivelua.html> {in Ukrainian}
3. Kersh V.Ya., Kholdaieva M.I., Foshch A.V., Shcherbyna OS, Mikhalevska TR, Lebedieva AV. Enerhoefektyvni materialy dlia ohorodzhuvalnykh konstruktsii budivel ta sporud. Budivelni materialy, vyroby ta sanitarna tekhnika. 2012. Vyp. 43. S. 31-34. URL: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/bmvs_2012_43_7.pdf {in Ukrainian}
4. Kosheva V.O., Chornomordenko Ye.I. Zastosuvannia enerhoefektyvnykh system i tekhnologii v riznykh typakh zhytlovykh budivel. Enerhoefektyvnist v budivnytstvi ta arkhitekturi. 2014. Vyp. 6. S. 143-148. URL: <https://repository.knuba.edu.ua/handle/987654321/908> {in Ukrainian}
5. Chornomordenko Ye.I. Rekonstruktsiia istorychnoi zabudovy za pryntsypany enerhoefektyvnosti. Enerhoefektyvnist v budivnytstvi ta arkhitekturi. 2013. Vyp. 5. S. 137-142. URL: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/enef_2013_5_28.pdf {in Ukrainian}
6. Bakonyi D., Dobszay G. Simulation aided optimization of a historic window's refurbishment. *Energy and Buildings*. 2016. 126:51-69. DOI: 10.1016/j.enbuild.2016.05.005v {in English}
7. Chang R., Hayter S., Hotchkiss E., Pless S., Sielcken J., Smith-Larney C. *Aspinall Courthouse: GSA's Historic Preservation and Net-Zero Renovation Case Study*. United States: N. p., 2014. DOI: 10.2172/1163433 {in English}
8. Ciulla G., Galatioto A., Ricciu R. Energy and economic analysis and feasibility of retrofit actions in Italian residential historical buildings. *Energy and Buildings*. 2016; 128:649-659. DOI: 10.1016/j.enbuild.2016.07.044 {in English}

9. Ferrante A. Zero- and low-energy housing for the Mediterranean climate. *Advances in Building Energy Research*. 2012; 6:81-118. DOI:10.1080/17512549.2012.672003 {in English}
10. Galán González A., Trachte S., Athanassiadis A., Evrard A., Bouillard Ph., Acha C. Old buildings, new cities: Energy renovation strategies for the historic residential stock of Brussels. 2014. URL: <https://doi.org/10.13140/2.1.1249.7608> https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=http://wsb14barcelona.org/programme/pdf_poster/P-159.pdf&ved=2ahUKEwiz6qTNzbyCAxXAPxAIHVaUDPk4ChAWegQICChAB&usg=AOvVaw1yjMGKLGX2I15ze4BPLuAX {in English}
11. Gremmelspacher J.M., et al. Historical building renovation and PV optimisation towards NetZEB in Sweden. *Solar Energy*. 2021; 223:248-260. DOI: 10.1016/j.solener.2021.02.067 {in English}
12. Kepakisan L. et al. Research on Reconstruction of Historical Buildings: Bibliometric Studies in International Journals. *International Journal of Engineering and Emerging Technology*. 2021; 6:32-39. URL: https://www.researchgate.net/publication/353349621_Research_on_Reconstruction_of_Historical_Buildings_Bibliometric_Studies_in_International_Journals {in English}
13. Liao H., Ren R., Li L. Existing Building Renovation: A Review of Barriers to Economic and Environmental Benefits. *Int J Environ Res Public Health*. 2023; 20(5):4058. DOI: 10.3390/ijerph20054058 {in English}
14. Mjörnell K., Femenías P., Annadotter K. Renovation Strategies for Multi-Residential Buildings from the Record Years in Sweden - Profit-Driven or Socioeconomically Responsible? *Sustainability*. 2019; 11(24):6988. DOI:10.3390/su11246988 {in English}
15. Rose J., Thomsen K.E. Comprehensive Energy Renovation of Two Danish Heritage Buildings within IEA SHC Task 59. *Heritage*. 2021; 4(4):2746-2762. DOI:10.3390/heritage4040155 {in English}