

DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-59-96>

УДК 330.3 332.8

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ БУДІВЛЬ ЯК СКЛАДОВА СТАЛОГО РОЗВИТКУ «РОЗУМНИХ» МІСТ: СВІТОВИЙ ДОСВІД ТА ПРАКТИКА ВПРОВАДЖЕННЯ

ENERGY EFFICIENCY OF BUILDINGS AS A COMPONENT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT IN SMART CITIES: GLOBAL EXPERIENCE AND IMPLEMENTATION PRACTICE

Халіна Вероніка Юріївна

кандидат економічних наук, доцент,
Харківський національний університет міського господарства
імені О.М. Бекетова

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6753-6414>

Khalina Veronika

O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv

У статті розглянуто місце та значення впровадження енергоефективних технологій в реалізації стратегій «розумних» міст. Визначено, що поряд із активними програмами цифрової трансформації міст забезпечення енергоефективності будівель і споруд є невід'ємною складовою сталого міського розвитку. Будівництво є сферою міського розвитку, яка формує матеріальну основу міста, створюючи його архітектурно-планувальний образ та забезпечуючи не тільки створення нових та утримання існуючих будівель та споруд, але і впровадження програми модернізації систем життєзабезпечення міста. Визначено, що впровадження проєктів енергоефективності будівель та споруд при реалізації стратегій «розумних» міст дозволяє вирішувати комплекс завдань, серед яких основними є скорочення витрат на забезпечення енергоресурсами, інноваційне оновлення матеріальної бази міського розвитку, зниження шкідливих викидів та декарбонізацію міст, забезпечення стійкості енергосистеми міст.

Ключові слова: енергоефективність, розвиток, сталий розвиток, розумні міста, стратегії розумних міст, фінансування, відтворювальна енергетика, будівництво.

The article discusses global experiences in implementing projects to improve energy efficiency in buildings as part of smart city strategies. The focus of the study is on the practical aspects of energy efficiency projects and the financing mechanisms for their implementation. The study employed several research methods, including generalization to examine the practices of implementing energy efficiency projects and the tools for their financing, analysis and synthesis to outline the global experience of implementing energy efficiency projects and study the recommendations of international organizations to justify energy efficiency programs, and morphological analysis to select programs and projects that are publicly available by key characteristics. The study aimed to identify effective practices for implementing energy efficiency programs in smart cities and the most effective mechanisms for financing them. It is well established that the implementation of energy efficiency projects can effectively address two primary objectives: the improvement of energy efficiency and the reduction of harmful carbon dioxide emissions. The expected effects of the implementation should be considered from the perspective of citizens, city authorities, municipal enterprises, and businesses. The article discusses projects aimed at improving the energy efficiency of buildings in Toronto (Canada), Calgary (Canada), London (UK), and Houston (USA). It also highlights the economic benefits that have been gained from their implementation. The article analyses the practical aspects of financing energy efficiency projects in smart cities and describes the existing mechanisms for attracting investment in energy efficiency programs. After analysing international experience, the basic mechanisms for financing energy efficiency projects include creating a specialized municipal financing fund, issuing municipal green bonds, providing dedicated credit lines, operating energy efficiency revolving funds, implementing energy-saving contracts, and entering into energy service agreements. The financing mechanisms proposed in this article have been shown to be effective and can be considered as options for financing energy efficiency projects in Ukrainian cities.

Keywords: energy efficiency, development, sustainable development, smart cities, smart city strategies, financing, renewable energy, construction.



Постановка проблеми. В умовах цифрової економіки концепція сталого розвитку на засадах реалізації стратегій «розумних» міст стає визначальною для функціонування та забезпечення економічного та соціального зростання міст. При визначенні дефініції «розумного» міста при усьому різноманіттю підходів найчастіше спирається на використання та впровадження інформаційно-комунікаційних та цифрових технологій. Однак, «розумність» міст передбачає такі кроки, які спрямовуються на максимальне технологічне та інноваційне оновлення з використанням можливостей, які надає цифрова економіка. Інноваційні тренди цифрової економіки, серед яких виділяють відтворювальну «зелену» енергетику, створення виробництва та забезпечення функціонування усіх сфер життєдіяльності міста на засадах циркулярності, декарбонізації та збереження природного середовища, формування новітніх типів поселень, впровадження новітніх підходів до забезпечення енергоефективності, знайшли свою реалізацію в стратегіях «розумних» міст в світі. Основними проблемами реалізації програм енергоефективності в рамках стратегій «розумних» міст є включення їх в комплекс заходів сталого розвитку з визначенням очікуваних ефектів, включення їх в єдину систему цифрових платформ міста, а також впровадження ефективних механізмів фінансування. Вирішенню даних проблемних питань в містах України в повоєнному відновленні сприяє дослідження та подальша імплементація успішних практик.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання енергоефективності є невід'ємною складовою досліджень концепції «розумних» міст. Визначаючи обов'язкові складові успішних стратегій «розумних» міст, програмам впровадження відновлювальної енергії, енергоефективності систем життєзабезпечення міста, формування мережі «розумних» будівель відводиться визначальне місце в досягненні показників ефективності реалізації. О. І. Васильєва, Н. В. Васильєва, розглядаючи сталий розвиток територіальних громад на засадах сталого розвитку, зазначають, що становлення «розумного» міста поряд із комплексними соціальними та технологічними трансформаціями передбачають розроблення нових стандартів енергоефективності [1, с. 89]. О. В. Захарова, Д. М. Козирев визначаючи підходи до відновлення інфраструктури в повоєнний період акцентують увагу на використанні екологічних техноло-

гій будівництва та забезпечення надійності будівель усіх видів призначень, побудові безпечної та надійної енергетичної інфраструктури міста на основі створення «розумних» мереж та використання альтернативних видів енергії [2, с. 7; с. 11]. О. С. Бондаренко, О. М. Паливода, О. В. Божко, розглядаючи концепцію «розумних» міст, зазначають, що сучасні «розумні» міста трансформуються в зелені «розумні» міста, функціонування яких включає підвищення енергоефективності на основі використання відновлювальних джерел енергії [3]. Р. Севастьянов окреслює енергоефективні та енергоощадні технології як обов'язковий компонент «розумного» міста, зокрема електронні сервіси розумного міста, які передбачають ряд рішень, що застосовуються в областях енергопостачання та енергозбереження (програми управління попитом, енергоефективності та інтеграції відновлюваних джерел енергії) [4, с. 171–172]. Закордонні автори, розглядаючи стратегії «розумних» міст, пов'язують енергозбереження із скорочення викидів, що стає основою задоволення прагнення людей до кращого життя. Саме підвищення енергоефективності є практичним способом скоротити викиди та заощадити енергію, що передбачає вдосконаленого планування енергоефективності в розумних містах [5; 6]. Значна кількість досліджень розглядає питання енергоефективності в розрізі такої складової «розумного» міста як «розумний» будинок [7; 8]. Актуальними залишаються питання дослідження забезпечення енергоефективності в «розумних» містах з використанням цифрових технологій: машинного навчання, великих даних, Інтернету речей [9–11].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Однак, незважаючи на значну кількість досліджень, які розглядають питання реалізації заходів та комплексних програм енергоефективності в розрізі стратегій «розумних» міст, питання визначення очікуваних результатів від їх впровадження в містах, їх економічної ефективності, можливості імплементації світового досвіду заходів з енергозбереження в програми повоєнного відновлення міст України залишають недостатньо вивченими.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Метою статті є визначення ефективних практик реалізації програм енергоефективності в «розумних» міста та варіантів імплементації їх в стратегії «розумних» міст України.

Виклад основного матеріалу дослідження. Концепція «розумних» міст, передбачаючи збалансований розвиток охоплює шість основних сфер: «розумна» економіка, «розумна» мобільність, «розумні» мешканці, «розумний» спосіб життя, «розумний» міський простір, «розумне» врядування. Світовий досвід продемонстрував, що реалізація проєктів розвитку «розумних» в будь-якій сфері міст передбачає створення комплексних синергетичних ефектів, що потребує врахування впливу результатів окремих проєктів на досягнення довгострокових результатів розвитку. Проєкти, які пов'язані з енергоефективності є тим наглядним прикладом, як вирішення конкретного питання функціонування міста позитивно впливає на довгострокові цілі. Вирішення питань енергоефективності в міста сприяє отриманню низки позитивних ефектів:

- з позиції громадян: підвищення якості послуг з енергопостачання, скорочення витрат домогосподарств на енергоресурси, керованість власним споживанням;

- з позицій підприємств міського господарства: підвищення якості обслуговування, скорочення витрат на відшкодування екологічних наслідків за рахунок відмови від твердих видів палива, скорочення заборгованостей споживачів за рахунок ощадливого споживання, використання більш дешевих видів відновлювальної енергії;

- з позицій міської влади: поліпшення якості екологічної ситуації в місті за рахунок скорочення шкідливих викидів, формування надійної системи енергопостачання; скорочення витрат на утримання муніципальної взаємодії та зростання надходжень до місцевого бюджету;

- з позицій підприємств: створення власної автономної системи енергопостачання на основі відновлювальних джерел енергії; скорочення витрат в середньо – та довгостроковій перспективі на енергоресурси, скорочення додаткових витрат на компенсації шкоди, яка наноситься у разі зростання шкідливих викидів, можливість реалізації надлишків енергоресурсів.

Впровадження енергоефективних рішень в будівництво та експлуатацію будівель і споруд спрямоване на вирішення двох основних завдань: підвищення ефективності споживання енергоресурсів та скорочення шкідливих викидів вуглецевих газів.

Як визначають експерти Всесвітнього економічного форуму, на будівлі припадає

близько 39 % глобальних викидів вуглецю, пов'язаних з енергетикою, 11% – від використання матеріалів і конструкцій і 28% – від експлуатації будівель і споруд [12]. Звіти щодо стану будівель та конструкцій, які надані Глобальним альянсом будівель і будівництва ООН, зазначають, що будівництво та експлуатація будівель становить 36% світового споживання енергії [13].

Розуміння майбутнього енергоефективних будівель призводить до зростання інвестицій в проєкти, які вирішують дану проблему. За оцінками Глобального альянсу будівель і будівництва ООН, в умовах пандемії COVID-19 глобальні інвестиції в енергоефективність у будівельному секторі зросли на 11,4 відсотка у 2020 році, що становила приблизно 184 мільярдів доларів США порівняно зі 165 мільярдами доларів США у 2019 році. Лідером даних інвестиційних процесів виступили країни Європи, які запровадили цільову державну підтримку. Вперше з 2015 року річний приріст інвестицій в енергоефективність у секторі перевищив 3 відсотки [14, с. 21]. У 2020 році на будівництво та експлуатацію будівель у всьому світі припадало 36 відсотків світового споживання енергії в 149 кДж, причому приблизно 127 кДж енергії було спожито під час будівельних робіт, а 22 кДж було спожито для виробництва будівельних конструкційних матеріалів. Однак загалом глобальний попит на енергію та викиди будівельного фонду впали на 1 відсоток у 2020 році після пікових рівнів у 2019 році. Зниження відбулося насамперед через зменшення попиту на опалення приміщень і уповільнення попиту на охолодження приміщень [14, с. 39].

Світовий досвід містить ряд прикладів успішної реалізації проєктів ефективності та розробки ефективних механізмів інвестування, що може стати основою розробки програм підвищення енергоефективності будівель при розробці стратегій «розумних» міст України.

У грудні 2020 року уряд Канади представив посилений кліматичний план Канади «Здорове довкілля та здорова економіка». Інвестиції в будівельний сектор включають 1,5 мільярда доларів США на екологічні та інклюзивні громадські будівлі, з яких 10 відсотків виділено на проєкти, що обслуговують громади корінного населення. План також передбачає 2,6 мільярда доларів США на гранти на енергомодернізацію будинків, оцінку та підтримку для найму та навчання енергоаудиторів, а також 10 мільярдів доларів США для

фінансування масштабної модернізації приватних і державних енергоефективних будівель [14, с. 51]. У Європейському Союзі, відповідно до багаторічної фінансової програми ЄС на 2021–2027 роки та NextGenerationEU, три основні потоки фінансування спрямовані на відновлення COVID-19 і пом'якшення клімату в будівлях: Фонд відновлення та стійкості в рамках NextGenerationEU, EU Multiannual Financial Framework та InvestEU. Ці три інструменти спрямовані на житлові та нежитлові будівлі. Перші два інструменти спрямовані на ефективне будівництво, а всі три підтримують енергетичну модернізацію.

У розрізі впровадження в стратегії «розумних» міст України важливим аспектом є можливість застосування розроблених механізмів фінансування переоснащення існуючих

будівель на засадах енергоефективності (табл. 1).

Наявність низки технічних та технологічних рішень надає можливість варіанти вирішення питання енергоефективності будівель на основі реалізованих проєктів, але основою реалізації таких проєктів стає наявність дієвих механізмів фінансування. Світова практика має напрацьовані механізми фінансування програм енергоефективності будівель, які вже продемонстрували свою високу дієвість та ефективність (табл. 2).

Зазначені механізми фінансування енергоефективності будівель продемонстрували свою дієвість та визначені тими практиками, які рекомендовані містам, які впроваджують стратегії «розумних» міст, зокрема Глобальної мережею міст C40. В повоєнному відновленні

Таблиця 1

Світовий досвід впровадження програм енергоефективності будівель

№ З/П	Місто та / або країна	Основні характеристики проєкту	Отримані ефекти та результати	Джерело
1	Торонто (Канада)	Модернізація офісною будівлі 1950 року будівництва за рахунок впровадження відтворюваних технологій (грунтові теплові насоси, рекуперації тепла та сонячних фотоелектричних панелей на даху)	Скорочення споживання енергії на 69%, скорочення викидів парникових газів більш ніж на 80%	[15]
2	Калгарі (Канада)	Модернізація навчального комплексу Університету Калгарі, яка передбачала стратегію модернізації повторного використання 8500 тон поглиненого вуглецю в самій бетонній конструкції	Зменшення споживання енергії на 80 %, окупність інвестицій 25 років лише за рахунок зниження поточних витрат на оплату комунальних послуг	[12]
3	Лондон (Великобританія)	Впровадження новітніх технологій використання залишкового тепла підземної системи. Енергетичний центр Vinhill 2 забезпечує живлення 1350 будинків, школи та два центри дозвілля залишковим теплом	Можливість забезпечення до 38% потреб міста в опаленні за рахунок залишкового тепла підземної системи міста	[16]
4	Х'юстон (США)	Модернізації 271 громадської будівлі із залучення енергоефективної компанії – із загальною метою зменшення попиту на енергію на 25% – за єдиним контрактом, розділеним на різні транші відповідно до типологія будівлі.	Модернізація перших 87 міських будівель призвела до економії енергії та експлуатації в середньому на 5,2 мільйона доларів США на рік, що перевищило початкові оцінки та дало очікуваний період окупності лише десять років.	[17]

Джерело: узагальнено автором на основі [12; 15–17]

Таблиця 2

Світовий досвід впровадження механізмів фінансування проєктів енергоефективності

№ з/п	Інструмент інвестування	Характеристика
1	Створення спеціалізованого міського фонду	Виділення субсидій та недорогого фінансування, серед іншого, для проєктів централізованої енергетики і відновлювальної енергетики
2	Муніципальні зелені облигації	Фінансовий інструмент із фіксованим доходом, який міська влада використовує для залучення коштів через ринок боргового капіталу.
3	Виділені кредитні лінії	Тип кредитної угоди, за якою фінансова установа погоджується позичити гроші до визначеного ліміту та на певну мету, передбачають створення відповідних фондів, з яких місцеві установи-одержувачі позичають кошти своїм клієнтам, у тому числі муніципальним органам влади, при цьому місцевий фінансист зазвичай бере на себе кредитний ризик за цими позиками.
4	Оборотні фонди енергоефективності	Виділені кредитні лінії у вигляді поновлюваних кредитних фондів. Коли кошти повертаються, виплати дозволяють спонсору фінансувати нові проєкти.
5	Енергозберігаючі ефективні контракти (ESPC)	Механізм «оплати за ефективність», який дозволяє окупити інвестиції в енергоефективність за рахунок економії енергії з часом.
6	Енергосервісні угоди (ESA)	Угода, за якою постачальник фінансує, встановлює, володіє та експлуатує енергоефективне обладнання в будівлі та оплачує рахунки за комунальні послуги. Власник/керуючий будівлі з часом повертає постачальнику плату за послуги за фактичну економію. Платежі встановлюються на рівні або трохи нижче поточних рахунків клієнта за комунальні послуги та відображаються як операційні витрати (комунальні платежі) на балансі будівлі.

Джерело: узагальнено автором на основі [13; 14; 17–19]

використання світового досвіду вирішення питань переходу до енергоефективних будівель в містах стає основою розробки власних програм з урахуванням особливостей розвитку міст ефективності і може стати тим дієвим інструментом, який забезпечить сталий розвиток на засадах «розумності».

Висновки. Отже, світовий досвід реалізації стратегій «розумних» міст свідчить, що програми енергоефективності є не тільки їх невід'ємною частиною, але і зумовлюють низку рішень, які забезпечують сталий розвиток усіх сфер життєдіяльності міста, формуючи комплексні ефекти від їх впровадження. Наявність значної кількості різноманітних технологічних рішень надає можливість врахувати при особливості функціонування та розвитку

міст України та обрати ті практики, які відповідають їх стратегіям. Поряд із технічними та технологічними рішеннями, реалізація проєктів енергоефективності містами-лідерами із впровадження стратегій «розумних» міст сформувала низку дієвих механізмів фінансування їх впровадження (спеціалізовані міські фонди енергоефективності, муніципальні зелені облигації, виділені кредитні лінії, оборотні фонди енергоефективності, енергозберігаючі ефективні контракти, енергосервісні угоди). Наявність апробованих дієвих інструментів залучення інвестицій в проєкти енергоефективності дозволяє визначити саме ті, які відповідають практиці функціонування міст України та забезпечити залучення коштів в міські програми.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Васильєва О. І., Васильєва Н. В. Концептуальні засади впровадження Smart-технологій сталого розвитку територіальних громад. *Інвестиції: практика та досвід*. 2018. № 7. С. 86–89.
2. Захарова О. В., Козирєв Д. М. Концепція розумного міста як альтернативний підхід до відновлення міської інфраструктури України в повоєнний період. *Збірник наукових праць ЧДТУ*. 2022. Вип. 67. С. 5–14.

3. Бондаренко О. С., Паливода О. М., Божко О. В. Маркетинг та логістика: європейський досвід розвитку елених розумних міст. *Проблеми сучасних трансформацій*. 2024. № 11. DOI: <https://doi.org/10.54929/2786-5738-2024-11-03-01> (дата звернення: 06.02.2024).
4. Севастьянов Р. В. Актуальні проблеми розвитку «розумних міст» (Smart-city). *Вісник Хмельницького національного університету*. 2021. № 2. С. 170–175.
5. Cui H.-y., Cao Y.-q. (2024) Do smart cities improve energy efficiency? A test of spatial effects and mechanisms. *Sustainable Cities and Society*, vol. 100. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.105124> (дата звернення: 06.02.2024).
6. Chao Wang, Jie Gu, Oscar Sanjuán Martínez, Rubén González Crespo (2021) Economic and environmental impacts of energy efficiency over smart cities and regulatory measures using a smart technological solution. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 100. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101422> (дата звернення: 06.02.2024).
7. Грицаєнко М. І., Грицаєнко Г. І. Інвестиції в енергоефективність «розумного будинку». *Збірник наукових праць ТДАТУ імені Дмитра Моторного*. 2021. № 1(43). С. 22–29.
8. Oskouei M. Z., Mohammadi-Ivatloo B., Abarpour M., Ahmadian A., Piran J. Md. (2020) A novel economic structure to improve the energy label in smart residential buildings under energy efficiency programs. *Journal of Cleaner Production*, vol. 260. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121059> (дата звернення: 06.02.2024).
9. Чукут С. А., Шумська Л. О. Запровадження розумних енергосистем як складової розумного міста з використанням великих даних: сучасні виклики та тенденції. *Інвестиції: практика та досвід*. 2022. № 3. С. 88–95.
10. Vadrucchio R., Siragusa Ch., Tumino A. (2023) Increasing energy efficiency in Smart Building through Internet of Things retrofitting intervention. *Procedia Computer Science*, vol. 219, pp. 263–270. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.01.289> (дата звернення: 06.02.2024).
11. Zekić-Sušac M., Mitrović S., Has A. (2021) Machine learning based system for managing energy efficiency of public sector as an approach towards smart cities. *International Journal of Information Management*, vol. 58. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2020.102074> (дата звернення: 06.02.2024).
12. Deep Retrofit: How Repurposing Old Buildings Can Mitigate Climate Change: World Economic Forum (2024). URL: <https://www.weforum.org/agenda/2024/02/deep-retrofit-buildings-carbon-emissions-climate-change/> (дата звернення: 10.02.2024).
13. 2018 Global Status Report: Towards an efficient and sustainable zero-emissions construction sector: Global Alliance for Buildings and Construction (2018). URL: <https://www.unep.org/resources/report/global-status-report-2018> (дата звернення: 10.02.2024).
14. 2021 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a zero-emissions, efficient and resilient buildings and construction sector: Global Alliance for Buildings and Construction (2021). URL: <https://www.unep.org/resources/report/2021-global-status-report-buildings-and-construction> (дата звернення: 10.02.2024).
15. 25 Art. Tslair Avenue Esti Rehabilitation Project: Public Services and Procurement Canada. URL: <https://www.tpsgc-pwgsc.gc.ca/biens-property/construction/25stclair-eng.html> (дата звернення: 10.02.2024).
16. Lizzie Crook London Underground's waste heat to warm hundreds of homes (2019). URL: <https://www.dezeen.com/2019/08/28/london-underground-district-heating-bunhill-2-islington/> ((дата звернення: 10.02.2024).
17. How to finance the retrofit of municipal buildings: Global Network C40 (2019). URL: https://www.c40knowledgehub.org/s/article/How-to-finance-the-retrofit-of-municipal-buildings?language=en_US (дата звернення: 10.02.2024).
18. Financing Municipal Energy Efficiency Projects: Global Network C40 (2014). URL: https://www.c40knowledgehub.org/s/article/Financing-MunicipalEnergy-Efficiency-Projects?language=en_US (дата звернення: 10.02.2024).
19. What are municipal green bonds and how are global cities using them to finance green projects? World Economic Forum (2023). URL: <https://www.weforum.org/agenda/2023/11/heres-how-3-cities-are-using-municipal-green-bonds-to-finance-climate-infrastructure/> (дата звернення: 10.02.2024).

REFERENCES:

1. Vasylieva O. I., Vasylieva N. V. (2018) Kontseptualni zasady vprovadzhennia Smart-tekhnologii staloho rozvytku terytorialnykh hromad [Conceptual principles of implementation smart-technologies for sustainable development of territorial communities]. *Investytsii: praktyka ta dosvid*, vol. 7, pp. 86–89.
2. Zakharova O. V., Kozyriev D. M. (2022) Kontsepsiia rozumnoho mista yak alternatyvnyi pidkhid do vidnovlennia miskoi infrastruktury Ukrainy v povoiennyi period [The concept of the smart city as an alternative approach

to restore the urban infrastructure of Ukraine during the post-war period]. *Zbirnyk naukovykh prats ChDTU*, vol. 67, pp. 5–14.

3. Bondarenko O. S., Palyvoda O. M., Bozhko O. V. (2024) Marketynh ta lohistyka: yevropeyskyi dosvid rozvytku zelenykh rozumnykh mist [Marketing and logistics: European experience in the development of green smart cities]. *Problemy suchasnykh transformatsii*, vol. 11. DOI: <https://doi.org/10.54929/2786-5738-2024-11-03-01> (accessed February 06, 2024).

4. Sevastianov R. V. (2021) Aktualni problemy rozvytku «rozumnykh mist» (Smart-city) [Actual problems of the development of "smart cities"]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu*, vol. 2, pp. 170175.

5. Cui H.-y., Cao Y.-q. (2024) Do smart cities improve energy efficiency? A test of spatial effects and mechanisms. *Sustainable Cities and Society*, vol. 100. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.105124> (accessed February 06, 2024).

6. Chao Wang, Jie Gu, Oscar Sanjuán Martínez, Rubén González Crespo (2021) Economic and environmental impacts of energy efficiency over smart cities and regulatory measures using a smart technological solution. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 100. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101422> (accessed February 06, 2024).

7. Hrytsaienko M. I., Hrytsaienko H. I. (2021) Investytsii v enerhoefektyvnist «rozumnoho budynku» [Investments in the energy efficiency of the "smart house"]. *Zbirnyk naukovykh prats TDATU imeni Dmytra Motornoho*, vol. 1(43), pp. 22–29.

8. Oskouei M. Z., Mohammadi-Ivatloo B., Abapour M., Ahmadian A., Piran J. Md. (2020) A novel economic structure to improve the energy label in smart residential buildings under energy efficiency programs. *Journal of Cleaner Production*, vol. 260. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121059> (accessed February 06, 2024).

9. Chukut S. A., Shumska L. O. (2022) Zaprovdzhennia rozumnykh enerhosystem yak skladovoi rozumnoho mista z vykorystanniam velykykh danykh: suchasni vyklyky ta tendentsii [Implementation of smart energy systems as a component of a smart city using big data: modern challenges and trends]. *Investytsii: praktyka ta dosvid*, vol. 3, pp. 88–95.

10. Vadruccio R., Siragusa Ch., Tumino A. (2023) Increasing energy efficiency in Smart Building through Internet of Things retrofitting intervention. *Procedia Computer Science*, vol. 219, pp. 263–270. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.01.289> (accessed February 06, 2024).

11. Zekić-Sušac M., Mitrović S., Has A. (2021) Machine learning based system for managing energy efficiency of public sector as an approach towards smart cities. *International Journal of Information Management*, vol. 58. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2020.102074> (accessed February 06, 2024).

12. Deep Retrofit: How Repurposing Old Buildings Can Mitigate Climate Change: World Economic Forum (2024). DOI: <https://www.weforum.org/agenda/2024/02/deep-retrofit-buildings-carbon-emissions-climate-change/> (accessed February 10, 2024).

13. 2018 Global Status Report: Towards an efficient and sustainable zero-emissions construction sector: Global Alliance for Buildings and Construction (2018). Available at: <https://www.unep.org/resources/report/global-status-report-2018> (accessed February 10, 2024).

14. 2021 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a zero-emissions, efficient and resilient buildings and construction sector: Global Alliance for Buildings and Construction (2021). Available at: <https://www.unep.org/resources/report/2021-global-status-report-buildings-and-construction> (accessed February 10, 2024).

15. 25 Art. Tslair Avenue Esti Rehabilitation Project: Public Services and Procurement Canada. Available at: <https://www.tpsgc-pwgsc.gc.ca/biens-property/construction/25stclair-eng.html> (accessed February 10, 2024).

16. Lizzie Crook London Underground's waste heat to warm hundreds of homes (2019). Available at: <https://www.dezeen.com/2019/08/28/london-underground-district-heating-bunhill-2-islington> (accessed February 10, 2024).

17. How to finance the retrofit of municipal buildings: Global Network C40 (2019). Available at: https://www.c40knowledgehub.org/s/article/How-to-finance-the-retrofit-of-municipal-buildings?language=en_US (accessed February 10, 2024).

18. Financing Municipal Energy Efficiency Projects: Global Network C40 (2014). Available at: https://www.c40knowledgehub.org/s/article/Financing-Municipal-Energy-Efficiency-Projects?language=en_US (accessed February 10, 2024).

19. What are municipal green bonds and how are global cities using them to finance green projects? World Economic Forum (2023). Available at: <https://www.weforum.org/agenda/2023/11/heres-how-3-cities-are-using-municipal-green-bonds-to-finance-climate-infrastructure/> (accessed February 10, 2024).