

УДК 697.1

П.В. Хвищук

студент, ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-8566-6202>

Кафедра будівництва та цивільної інженерії

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, Україна, 43018

О.В. Дзюбинська*

к.е.н, доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1478-8452>

Кафедра будівництва та цивільної інженерії

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, Україна, 43018

М. В. Смаль

к.т.н, доцент ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3333-0984>

Кафедра будівництва та цивільної інженерії

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, Україна, 43018

А.В. Дзюбинський

к.е.н, доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5156-9852>

Кафедра товарознавства та експертизи в митній справі

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, Україна, 43018

Д.О. Смаль

студент

Кафедра будівництва та цивільної інженерії

Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, Україна, 43018

*автор-кореспондент, e-mail: oksanaklimuk@ukr.net

Сучасні тренди кліматичного обладнання в організації енергоефективності житлових та громадських будівель

Цитувати як:

Хвищук, П.В., Дзюбинська, О.В., Смаль, М.В., Дзюбинський, А.В., Смаль, Д.О. (2025). Сучасні тренди енергоефективного кліматичного обладнання для житлових та громадських будівель. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 24, 610-620. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-52](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-52)

© 2025, Хвищук П.В., Дзюбинська О.В., Смаль М.В., Дзюбинський А.В., Смаль Д.О.

У роботі здійснено комплексний аналіз сучасних тенденцій, технологічних інновацій та перспектив впровадження енергоефективного кліматичного обладнання в житловому і громадському будівництві. Актуальність теми зумовлена критичною необхідністю скорочення глобальних викидів вуглекислого газу, а також зростаючими вимогами до енергетичної автономності будівель в умовах високих цін на енергоносії та інфраструктурних ризиків, що є особливо важливим для України. Метою дослідження є систематизація передових інженерних рішень, що дозволяють наблизити експлуатаційні характеристики об'єктів нерухомості до стандартів будівель з майже нульовим споживанням енергії (NZEB). У статті розглянуто обладнання технологій відновлюваної енергетики, зокрема фотоелектричних систем (PV). Автори відзначають зростання ефективності сучасних монокристалічних модулів та зниження вартості електроенергії (LCOE), а також аналізують потенціал інтегрованих у

будівлі фотоелектричних систем (BIPV). Значну увагу приділено технологіям теплових насосів як ключовому інструменту декарбонізації систем опалення та гарячого водопостачання. Наведено порівняльний аналіз ефективності повітряних і геотермальних теплових насосів. Відзначено переваги тенденції частішого встановлення теплових насосів «повітря-повітря» для МАФ. Для сектору комерційної нерухомості досліджено переваги впровадження систем зі змінною витратою холодоагенту (VRV/VRF) та інверторних чилерів з функцією рекуперації тепла. Зазначено, що сучасні VRV-системи і чилери демонструють високі показники сезонної енергоефективності і забезпечують гнучкість мікроклімату завдяки можливості одночасної роботи на опалення і охолодження. Також висвітлено роль припливно-витяжних установок з високоефективною рекуперацією тепла у зменшенні вентиляційних тепловтрат. Зроблено висновок, що інтеграція розглянутого обладнання, попри вищі початкові інвестиції, є безальтернативним шляхом до підвищення класу енергоефективності будівель та забезпечення їхньої стійкості до сучасних енергетичних викликів.

Ключові слова: енергоспоживання, кліматичне обладнання, проєкт, управління будівлею, ефективність.

Вступ

На сьогоднішній день зведення та експлуатація будівель несуть відповідальність за 34 % від усіх викидів CO₂, що пов'язані з енергетикою [1]. Цей сектор також використовує понад третину загального світового кінцевого енергоспоживання. Прогнозується, що попит на електроенергію з боку будівельної галузі помітно зросте до 2035 року, переважно через потреби в охолодженні [2]. Через це людство надзвичайно зацікавлене в оптимізації споживання електроенергії під час експлуатації як житлових, так і комерційних будівель. До того ж, самі власники або орендарі будівель різного типу зацікавлені у скороченні своїх платіжок за комунальні послуги на тлі глобальної тенденції до високих цін на всі види енергоресурсів. Тому значний науковий та технічний потенціал спрямовується на розробку та модернізацію кліматичного обладнання з кращими характеристиками та показниками енергоефективності. В Україні ця тенденція посилюється проблемами з енергозабезпеченням, які спричинені безперервними атаками на нашу енергетичну інфраструктуру.

Аналіз літературних джерел та постановка проблеми. У сучасних наукових працях значна увага приділяється підвищенню енергоефективності будівель через модернізацію теплотехнічних та вентиляційних систем. О. Савченко окреслює ключові напрями удосконалення централізованого тепlopостачання, а П. Кіріченко доводить ефективність рекуператорів як інструменту зменшення теплових втрат [3, 4]. Дослідження С. Шаповала підтверджують перспективність сонячних і гібридних фото-теплових систем у світлопрозорих фасадах, тоді як роботи Ю. Коваленка, А. Полив'ячука демонструють ефективність теплопоглинальних покриттів та природоорієнтованих технологій

енергомодернізації, а в працях О. Пахолюка проаналізовано втрати опалювальних систем у наявному будівельному фонді [5-8]. Економічні переваги впровадження інноваційного кліматичного обладнання ґрунтовно висвітлено у статті О. Жусь та К. Гуйван [9].

Незважаючи на наявні напрацювання, актуальними залишаються подальші дослідження, спрямовані на вдосконалення кліматичних систем, інтеграцію відновлюваних джерел енергії, розвиток комбінованих технологій та пошук оптимальних проєктних рішень для підвищення енергетичної ефективності будівель.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є окреслення напрямів розвитку технологій у сфері енергоефективного кліматичного обладнання, а завданнями – аналіз цих технологій та застосування їх при проєктуванні будівель у контексті сучасних енергетичних викликів.

Методи та матеріали

Методологічною основою статті є комплексний огляд наукових публікацій, аналітичних матеріалів та фахових досліджень, присвячених енергоефективному кліматичному обладнанню для житлових і громадських будівель. У роботі застосовано методи систематизації, порівняльного аналізу, узагальнення та контент-аналізу, що дозволило виокремити ключові тенденції розвитку сучасних технологій у сфері теплопостачання, вентиляції, сонячної енергетики та енергомодернізації огороджувальних конструкцій.

Матеріалами дослідження слугували результати сучасних наукових публікацій українських та зарубіжних авторів, а також аналітичні звіти міжнародних енергетичних організацій і профільних асоціацій.

Результати та обговорення

Виклики енергоспоживання вирішуються за допомогою таких технологічних інновацій кліматичного обладнання (класифікацію див. на рис. 1), як фотоелектричні (сонячні) панелі, сонячні теплові колектори, теплові насоси, реверсивні чилери, системи зі змінною витратою холодоагенту, вентиляційні установки з рекуперацією тепла, вітрові турбіни, пристрої для накопичення енергії та системи опалення, що працюють на біомасі. Стрімкий розвиток цих технологій останніми роками зумовлений підвищенням цін на енергоносії, кліматичними проблемами, а також технологічними інноваціями, цифровізацією і інтеграцією в системи управління будівлями. У сукупності вони формують технологічну базу для об'єктів, що проєктуються згідно з вимогами до будівель з майже нульовим споживанням енергії (NZEB) у Європі, та допомагають у досягненні кліматично нейтральних цілей до 2050 р. Серед обладнання, що базується на відновлюваних джерелах енергії, найпоширенішими в масштабах житлових та комерційних споруд є технології перетворення сонячної

енергії, з яких фотоелектричні панелі (PV) займають провідні позиції з впровадження у світі. Фотоелектричні модулі трансформують сонячне випромінювання в електроенергію, використовуючи напів-провідникові матеріали, найчастіше – кристалічний кремій. Ефективність панелей суттєво зросла за останні 20 років: якщо середня ефективність комерційних модулів на початку 2000-х була близько 12-14 %, то сучасні монокристалічні модулі демонструють понад 26 % в лабораторних умовах та до 24 % при комерційному застосуванні [10]. Тонкоплівкові технології, наприклад, телурид кадмію (CdTe) та селенід міді-індію-галію (CIGS), мають дещо нижчу ефективність, зазвичай в межах 15-18 %, але вони виграють у гнучкості та можливостях інтеграції в фасади будівлі.

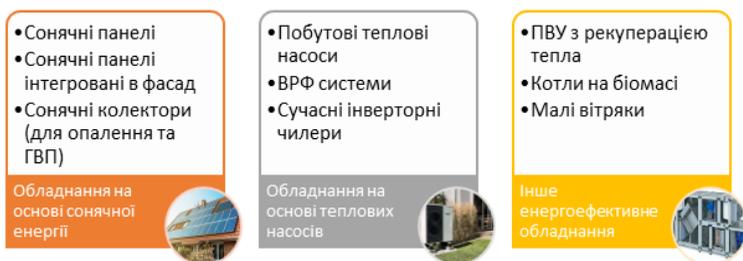


Рис. 1. Типи енергоефективного обладнання для будівель та споруд

Новим трендом стала інтегрована в будівлі фотоелектрична система (BIPV), де сонячні модулі вбудовуються прямо у фасади, вікна чи дахи, замінюючи традиційні будматеріали та генеруючи електроенергію (рис. 2).



Рис. 2. Фотоелектрична система, вбудована в фасад

Економічна вигідність фотоелектричних панелей зазвичай оцінюється через нормалізовану вартість електроенергії (LCOE), яка для спеціалізованих великих проєктів у Європі знизилася до 30 – 40 дол./МВт-год у 2024 р. [11]. Для менших дахових систем ці показники є дещо гіршими. Економічна доцільність впровадження сонячних панелей для житлових та комерційних об'єктів залежить не лише від співвідношення ціни та

ефективності системи, але й від локальних умов: тарифів на власне споживання, тарифів на електроенергію та наявності програм нетто-лічильника або «зелених» тарифів. В Україні ринок дахових ФЕС стрімко зростає з 2015 р., підтриманий сприятливими «зеленими» тарифами. Хоча війна тимчасово пригальмувала ріст ринку, вже у 2024 р. впровадження «зеленого тарифу» для бізнесу дало потужний поштовх цьому сектору.

У той час як фотоелектричні панелі створені для виробництва електрики, сонячні теплові колектори цілеспрямовано розроблені для перетворення сонячної енергії на тепло [12]. Нагріта рідина циркулює через теплообмінник, передаючи теплову енергію системам гарячого водопостачання (ГВП) або контурам опалення. Найпоширенішими є два типи колекторів: плоскі та вакуумні трубчасті.

Теплові насоси є однією з ключових технологій для досягнення суттєвого зменшення викидів, пов'язаних з експлуатацією будівель та скорочення залежності від викопного палива. Вони роблять за принципом циклу паростискання, забираючи низькопотенційне тепло з довкілля (повітря, води чи ґрунту) і підвищуючи його температуру до рівня, придатного для опалення чи ГВП [12-14]. Оскільки обсяг енергії, «перекачаної» з відновлюваних джерел, зазвичай у кілька разів перевищує обсяг електроенергії, витраченої на роботу компресора, теплові насоси мають ефективність, що значно вища за звичайне електричне опалення.

Головним показником ефективності теплових насосів є коефіцієнт перетворення (COP), що визначається як співвідношення корисної теплової потужності до спожитої електроенергії. За оптимальних умов, сучасні теплові насоси «повітря-вода» демонструють сезонні коефіцієнти перетворення (SPF) в діапазоні 3,0-5,0, тоді як геотермальні системи часто сягають рівня 5,1-5,4 і вище [14]. Це означає, що на кожен спожити кВт·год електрики можна отримати 3-5 кВт·год тепла, і це тепло класифікується як відновлювана енергія згідно з європейським та українським законодавством. Саме ця технологія на даний момент є найпоширенішим методом зниження витрат на опалення для приватних будинків та невеликих комерційних об'єктів.

Теплові насоси типу «повітря-вода» зараз є найбільш поширеними для житлових та комерційних будівель. Їхня популярність пояснюється відносно низькими витратами на монтаж та відсутністю необхідності буріння чи доступу до ґрунтових вод. В кліматичних умовах України, де попит на опалення взимку значний, однак температури менше $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ є рідкістю, теплові насоси «повітря-вода» є особливо привабливими. Також популярною є комбінація теплових насосів з фотоелектричними системами, що дозволяє досягти високого рівня декарбонізації опалення.

Окремо варто виділити теплові насоси «повітря-повітря», які по суті є інверторними кондиціонерами, модифікованими для ефективнішої роботи на обігрів. Вони пропонують легкість монтажу, низькі витрати на опалення

та охолодження, а також відсутність потреби у створенні повноцінної системи опалення, яка до того ж зазвичай містить воду, що може замерзнути і пошкодити труби. Тому це рішення в Україні набуває великої популярності для МАФів, дач та приватних будинків, які використовуються на непостійній основі.

Інверторні реверсивні чилери є технологією, що масштабує принцип дії сучасних теплових насосів на рівень великих промислових та комерційних будівель. Вони по своїй суті є тепловими насосами типу «моноблок». Більшість чилерів з інверторним управлінням, що є на ринку, активно пропонуються як теплові насоси, що можуть працювати як на охолодження, так і на обігрів, залежно від режиму.

Для комерційних об'єктів, таких як ТРЦ, лікарні чи ЦОД, чилери з рекуператорами тепла можуть забезпечувати одночасне опалення та охолодження, збираючи відпрацьоване тепло від охолоджувальних процесів та використовуючи його для підігріву ГВП або подачі в контури опалення. Ця подвійна функція значно покращує загальну ефективність системи, оскільки рекупероване тепло суттєво зменшує потребу в опаленні на викопному паливі. Таким чином, межа між чилерами та тепловими насосами стає все більш умовною, а виробники позиціонують свої реверсивні чилери як ключові технології для досягнення стандартів NZEB у великих будівлях.

Ще однією провідною категорією технологій, що використовує відновлювану енергію для великих будівель, є системи зі змінною витратою холодоагенту (VRF) або змінним об'ємом холодоагенту (VRV, рис. 3), які за принципами роботи ідентичні – різниця лише в патенті. Вони з'явилися в Японії у 1980-х роках і зараз активно поширюються в Європі та Азії. Вони складаються з декількох внутрішніх блоків, підключених до одного зовнішнього блоку, та мають складні системи управління для оптимізації енергоспоживання. Коефіцієнти сезонної енергоефективності (SEER) для VRV систем часто перевищують 7,0, а коефіцієнти сезонної продуктивності опалення (SCOP) варіюються від 3,5 до 5,0, залежно від клімату [15]. Системи VRV забезпечують модульність та гнучкість, що робить їх ідеальними для модернізації існуючих комерційних будівель зі складною структурою орендарів, як-от офісні центри, готелі чи ТРЦ, або для тих, хто не бажає псувати фасад будівлі численними спліт-системами. Оскільки системи VRV здатні одночасно охолоджувати одну зону, рекуперуючи тепло для обігріву іншої, вони досягають ефективності, що не лише перевершує теплові насоси, але й сприяє значному зменшенню енерговитрат (рис. 3). Ця властивість робить VRV системи ключовим компонентом багатьох сучасних енергоефективних комерційних будівель.

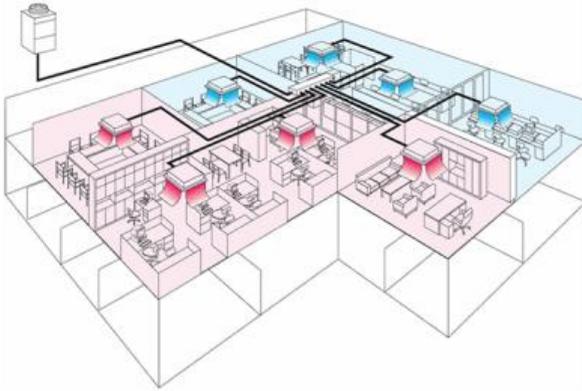


Рис. 3. Принцип дії системи VRV в режимі одночасного нагріву та охолодження

Нарешті, вентиляція є надзвичайно важливим елементом енергоефективності будівель, а сучасні припливно-витяжні установки (ПВУ) з рекуперацією тепла є одним з найефективніших методів для скорочення енерговтрат. У звичайних системах вентиляції значний обсяг нагрітого або охолодженого повітря просто викидається назовні, а на його місце подається необроблене зовнішнє повітря, що створює значну потребу в його нагріванні чи охолодженні. Оснащені теплообмінниками ПВУ забирають тепло з витяжного повітря і передають його свіжому припливному, часто досягаючи ефективності рекуперації тепла 70-90 %.

Висновки

Ринок енергоефективного обладнання (фотоелектричні (сонячні) панелі, сонячні теплові колектори, теплові насоси, реверсивні чилери, системи зі змінною витратою холодоагенту, вентиляційні установки з рекуперацією тепла, вітрові турбіни, пристрої для накопичення енергії та системи опалення, що працюють на біомасі) дуже динамічно розвивається, пропонуючи широкий спектр кліматичних рішень для житлових та нежитлових об'єктів. На даний час головним недоліком більшості згаданих типів обладнання є високі початкові інвестиції. Проте, є чітка тенденція до зниження цін зі зростанням ринку та появою на ньому нових гравців. Крім того, всі ці рішення гарантовано окуплюють себе в процесі експлуатації та дозволяють досягти високого класу енергоефективності будівель.

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. United Nations Environment Programme (UNEP). 2022 Global Status Report for Buildings and Construction. Nairobi. URL: <https://www.unep.org/resources/publications/2022-global-status-report-buildings-and-construction>
2. International Energy Agency. World Energy Outlook 2025. IEA, 2025. URL: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2025#overview>
3. Savchenko, O. (2024). Improving the energy efficiency of buildings in the context of recovery and reconstruction through the introduction of district heating systems. *Science and Construction*, 38(4). <https://doi.org/10.33644/2313-6679-4-2023-6>
4. Savin, V. V., Kirichenko, P. S. (2023). Recuperators as a way to improve the efficiency of mechanical ventilation systems in building energy saving. *Bulletin of Kryvyi Rih National University*, 56, 104–109. <https://doi.org/21/2/10.317306-5451-2023-1-56-104-109>
5. Shapoval, S., Pryshliak, Yu., Hulai, B., Hensetskyi, M., Kasynets, M. (2024). Energy-efficient hybrid solar collectors integrated into transparent building structures. *Technical Sciences and Technologies*, 3(37), 217–227. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2024-3\(37\)-217-227](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2024-3(37)-217-227)
6. Kovalenko, Yu. L., Polyvianchuk, A. P., Beketov, V. Ye. (2024). Study of the efficiency of nature-based technologies during building energy modernization. *Visnyk VPI*, 5, 33–39. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2024-176-5-33-39>
7. Kovalenko, Yu. L., Polyvianchuk, A. P., Maliarenko, V. A., Ponomarenko, Ye. H. (2025). Increasing the energy efficiency of buildings by finishing external enclosing structures with heat-absorbing coatings. *Visnyk VPI*, 2, 23–31. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2025-179-2-23-31>
8. Pakholiuk, O., Samchuk, V., Chapiuk, O., Onyshchuk, O. (2025). Heat loss level of heating systems of existing buildings. *Modern technologies and methods of calculations in construction*, 22, 153–160. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-12\(22\)-15](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-12(22)-15)
9. Zhus, O., Huiivan, K. (2025). Resource saving in construction: energy-efficient approaches and economic feasibility. *Economics and Society*, 72. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-72-25>
10. Philipps, S., Warmuth, W. (2025). Photovoltaics Report. *Fraunhofer ISE*. URL: <https://www.ise.fraunhofer.de/en/publications/studies/photovoltaics-report.html>
11. Renewable Power Generation Costs in 2024. *IRENA*, 2025. URL: <https://www.irena.org/Publications/2025/Jun/Renewable-Power-Generation-Costs-in-2024>
12. Mosiichuk, I.V., Uzhehova, O.A., Rotko, S.V., Synii, S.V., Pakholiuk, O.A. (2022). Application of heat pumps in the heating and hot water supply systems on the

example of the city of Lutsk. *Modern technologies and methods of calculations in construction*, 18, 71-80. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-8\(18\)-09](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-8(18)-09)

13. Synii, S. V., Hupik, N. V., Ksonshkevych, L. M., Krantovska, O. M., Uzhegova, O. A., Rotko, S. V. (2025). Features of the methodology for integration engineering networks with a heat pump in building in the Sapalayivka River valley in Lutsk. *Modern technologies and methods of calculations in construction*, 23, 285-300. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-13\(23\)-25](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-13(23)-25)

14. Heat Pumps: How they work and why they matter. *EHPA*, 2018. URL: <https://ehpa.org/news-and-resources/publications/heat-pumps-integrating-technologies-to-decarbonise-heating-and-cooling/>

15. Decarbonisation of buildings made easy: Benefit from leading VRV 5 technology. *Daikin Europe*, 2023. URL: https://catalogues.daikin.eu/flipbooks/EN/Air_cooling/ECPEN25-213/index.html

Література

1. United Nations Environment Programme (UNEP). 2022 Global Status Report for Buildings and Construction. Nairobi. URL: <https://www.unep.org/resources/publication/2022-global-status-report-buildings-and-construction>

2. International Energy Agency. World Energy Outlook 2025. IEA, 2025. URL: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2025#overview>

3. Савченко, О. (2024). Підвищення енергетичної ефективності будівель в умовах відновлення та відбудови шляхом впровадження централізованих систем теплопостачання. *Наука та будівництво*, 38(4). <https://doi.org/10.33644/2313-6679-4-2023-6>

4. Савін, В. В., Кіріченко, П. С. (2023). Рекуператори як шлях підвищення ефективності систем механічної вентиляції в питанні енергозбереження будинків. *Вісник Криворізького національного університету*, 56, 104-109. <https://doi.org/10.317306-5451-2023-1-56-104-109>

5. Шаповал С., Пришляк, Ю., Гулай, Б., Генсецький, М., Касинець, М. (2024). Енергоефективні гібридні сонячні колектори інтегровані у світлопрозорі конструкції будівель. *Технічні науки та технології*, 3(37), 217-227. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2024-3\(37\)-217-227](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2024-3(37)-217-227)

6. Коваленко Ю. Л., Полив'яничук А. П., Бекетов В. С. (2024). Дослідження ефективності використання природоорієнтованих технологій під час проведення енергомодернізації будівель. *Вісник ВПІ*, 5, 33-39. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2024-176-5-33-39>

7. Коваленко Ю. Л., Полив'яничук А. П., Маляренко В. А., Пономаренко С. Г. (2025). Підвищення енергоефективності будівель оздобленням зовнішніх огорожувальних конструкцій теплопоглинальним покриттям. *Вісник ВПІ*, 2, 23-31. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2025-179-2-23-31>

8. Пахолок О., Самчук В., Чапюк О., Онищук О. (2025). Рівень тепловтрат систем опалення існуючих будівель. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 22, 153-160. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-12\(22\)-15](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-12(22)-15)

9. Жусь, О., Гуйван, К. (2025). Ресурсозбереження в будівництві: енергоефективні підходи та економічна доцільність. *Економіка та суспільство*, 72. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-72-25>

10. Philipps, S., Warmuth, W. (2025). Photovoltaics Report. *Fraunhofer ISE*. URL: <https://www.ise.fraunhofer.de/en/publications/studies/photovoltaics-report.html>

11. Renewable Power Generation Costs in 2024. *IRENA*, 2025. URL: <https://www.irena.org/Publications/2025/Jun/Renewable-Power-Generation-Costs-in-2024>
12. Мосійчук, І. В., Ужегова, О. А., Ротко, С. В., Синій, С. В., Пахолук, О. А. (2022). Застосування теплових насосів у системах опалення і гарячого водопостачання на прикладі міста Луцька. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 18, 71-80. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-8\(18\)-09](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-8(18)-09)
13. Синій, С. В., Гупік, Н. В., Ксьоншкевич, Л. М., Крантовська, О. М., Ужегова, О. А., Ротко, С. В. (2025). Особливості методики інтеграції інженерних мереж з тепловим насосом у будівлю в долині річки Сапалаївки у Луцьку. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 23, 285-300. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-13\(23\)-25](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-13(23)-25)
14. Heat Pumps: How they work and why they matter. *EHPA*, 2018. URL: <https://ehpa.org/news-and-resources/publications/heat-pumps-integrating-technologies-to-decarbonise-heating-and-cooling/>
15. Decarbonisation of buildings made easy: Benefit from leading VRV 5 technology. *Daikin Europe*, 2023. URL: https://catalogues.daikin.eu/flipbooks/EN/Air_conditioning/ECPEN25-213/index.html

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 14.11.2025	Received 14.11.2025
Отримано у доопрацьованому вигляді 15.11.2025	Received in revised form 15.11.2025
Прийнято 25.11.2025	Accepted 25.11.2025
Опубліковано 25.12.2025	Published 25.12.2025

P. V. Khvyshchuk

Student, ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-8566-6202>

Department of Construction and Civil Engineering

Lutsk National Technical University, 75 Lvivska St., Lutsk, Ukraine, 43018

O. V. Dziubynska*

PhD in Economics, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1478-8452>

Department of Construction and Civil Engineering

Lutsk National Technical University, 75 Lvivska St., Lutsk, Ukraine, 43018

M. V. Smal

PhD in Engineering, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3333-0984>

Department of Construction and Civil Engineering

Lutsk National Technical University, 75 Lvivska St., Lutsk, Ukraine, 43018

A. V. Dziubynskyi

PhD in Economics, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5156-9852>

Department of Commodity Science and Customs Expertise

Lutsk National Technical University, 75 Lvivska St., Lutsk, Ukraine, 43018

D.O. Smal

Student

Department of Construction and Civil Engineering

Lutsk National Technical University, 75 Lvivska St., Lutsk, Ukraine, 43018

*corresponding author, e-mail: oksanaklimuk@ukr.net

Modern trends of climate equipment in organizing the energy efficiency of residential and public buildings

How to Cite:

Khvyshchuk, P. V., Dziubynska, O. V., Smal, M. V., Dziubynskiy, A. V., Smal D.O. (2025). Modern trends in energy-efficient climate equipment for residential and public buildings. *Modern Technologies and Methods of Calculations in Construction*, 24, 610-620. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-52](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-52)

Abstract. The paper provides a comprehensive analysis of current trends, technological innovations, and prospects for the implementation of energy-efficient climatic equipment in residential and public construction. The relevance of the topic is driven by the critical need to reduce global carbon dioxide emissions, as well as by growing requirements for building energy autonomy amidst high energy prices and infrastructural risks, which is particularly important for Ukraine. The study aims to systematize advanced engineering solutions that allow bringing the operational performance of real estate closer to Nearly Zero-Energy Building (NZEB) standards. The article examines the evolution of renewable energy technologies, particularly photovoltaic (PV) systems. The authors highlight the increasing efficiency of modern monocrystalline modules and the reduction in the Levelized Cost of Electricity (LCOE), and also analyse the potential of Building-Integrated Photovoltaics (BIPV). Significant attention is paid to heat pump technologies as a key tool for decarbonizing heating and domestic hot water systems. A comparative analysis of the efficiency of air-source and geothermal heat pumps is provided. The advantages of the trend towards more frequent installation of air-to-air heat pumps for small architectural forms (MAFs) are noted. For the commercial real estate sector, the study investigates the benefits of implementing Variable Refrigerant Volume/Flow (VRV/VRF) systems and inverter chillers with heat recovery functions. It is noted that modern VRV systems and chillers demonstrate high seasonal energy efficiency ratings and ensure microclimate flexibility due to their capability for simultaneous heating and cooling. The role of supply and exhaust ventilation units with high-efficiency heat recovery in reducing ventilation heat losses is also highlighted. The conclusion is drawn that integrating the discussed equipment, despite higher initial investments, is an indispensable path to improving the energy efficiency class of buildings and ensuring their resilience to modern energy challenges.

Keywords: energy consumption, climate equipment, project, building management, efficiency.