

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ІНЖЕНЕРНИХ СИСТЕМ СТВОРЕННЯ МІКРОКЛІМАТУ ГРОМАДСЬКИХ БУДІВЕЛЬ

Вінницький національний технічний університет

Анотація. У статті проаналізовано сучасні технологічні рішення підвищення енергоефективності інженерних систем мікроклімату громадських будівель. Показано, що системи вентиляції, кондиціонування та опалення формують до 60% загального енергоспоживання. Розглянуто ефективність рекуперації тепла, частотно-регульованих приводів, теплових насосів та BMS-автоматизації. Комплексне впровадження заходів забезпечує економію 35–45% енергоресурсів.

Ключові слова: енергоефективність, мікроклімат, громадська будівля, рекуперація тепла, частотно-регульований привід, тепловий насос, BMS.

Abstract. The article analyses modern technological solutions for improving the energy efficiency of microclimate engineering systems in public buildings. Ventilation, air conditioning and heating systems account for up to 60% of total energy consumption. The effectiveness of heat recovery, variable frequency drives, heat pumps and BMS automation is considered. Comprehensive implementation provides energy savings of 35–45%.

Keywords: energy efficiency, microclimate, public building, heat recovery, variable frequency drive, heat pump, building management system.

Вступ

Підвищення енергоефективності громадських будівель є одним із пріоритетних напрямів державної енергетичної політики України. Відповідно до Закону України «Про енергетичну ефективність будівель» (2017) усі нові громадські будівлі з 2021 року мають відповідати стандарту мінімального споживання енергії. Водночас значна частина існуючого фонду громадських будівель — адміністративних, освітніх, культурних — характеризується рівнем питомого енергоспоживання у 2–3 рази вищим за нормативний [1-5].

Особливе місце в структурі енергоспоживання посідають інженерні системи мікроклімату — вентиляція, кондиціонування та опалення, — що в сукупності формують від 55 до 65% загального споживання енергетичних ресурсів будівлі. Тому модернізація цих систем є ключовим резервом підвищення енергоефективності.

Метою роботи є аналіз сучасних технологічних рішень та оцінювання їх ефективності для підвищення енергоефективності систем мікроклімату громадських будівель.

2. Структура енергоспоживання систем мікроклімату громадських будівель

Аналіз енергетичних балансів громадських будівель різного функціонального призначення свідчить про стійку структуру розподілу споживання. Системи опалення та гарячого водопостачання формують близько 52–58% загального балансу; системи вентиляції та кондиціонування повітря — 18–25%; освітлення — 10–15%; інше (ліфти, електрообладнання) — 8–12% [2-5].

Питоме споживання теплової енергії в громадських будівлях дореформеного будівництва в Україні становить 180–280 кВт·год/м² на рік, тоді як нормативний показник для нових будівель класу В не повинен перевищувати 80–100 кВт·год/м² на рік. Таким чином, потенціал скорочення теплоспоживання при проведенні комплексної модернізації може сягати 50–65%.

Особливістю громадських будівель є змінний графік навантаження: протягом робочого дня рівень повітрообміну та теплового навантаження змінюється в широких межах залежно від кількості людей,

зовнішніх кліматичних умов та режиму роботи обладнання. Ця нерівномірність обумовлює значний потенціал економії при застосуванні систем автоматичного регулювання.

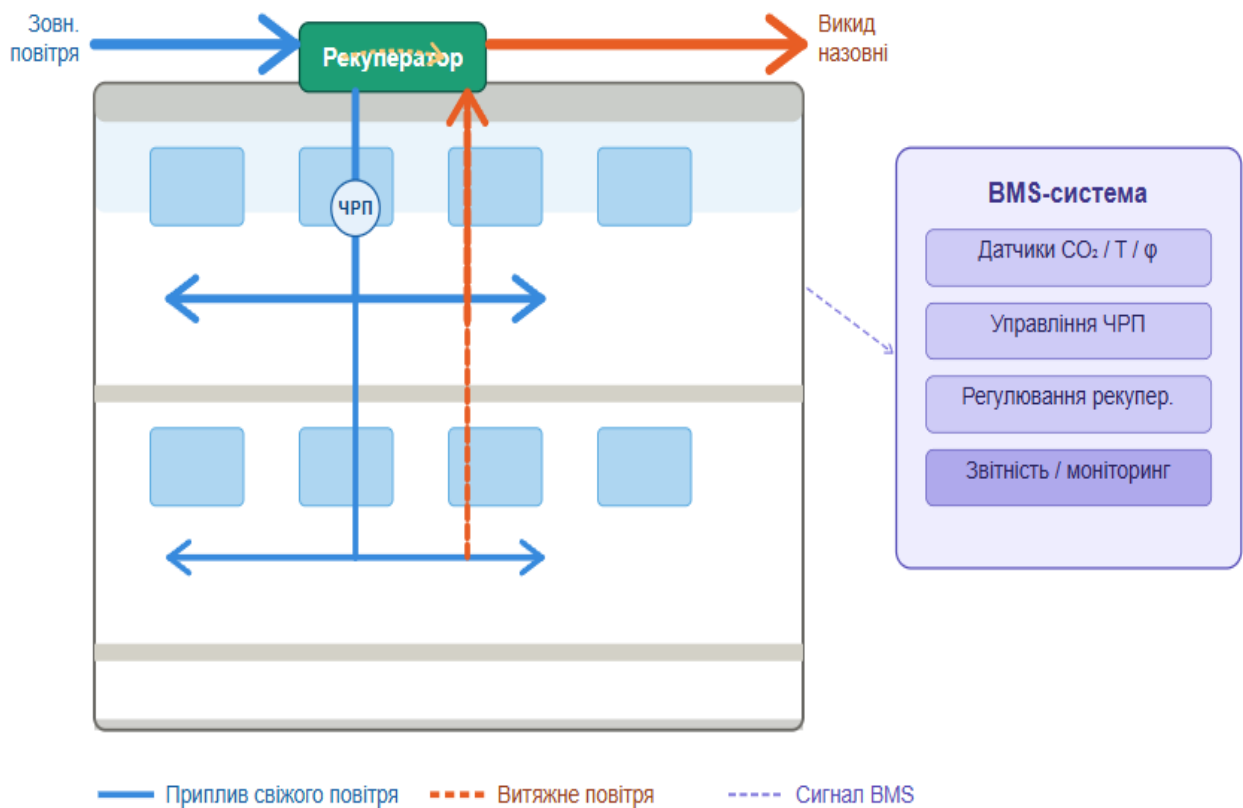


Рис. 1. Схема рекуперативної системи вентиляції громадської будівлі з управлінням BMS

3. Технологічні рішення підвищення енергоефективності

Найбільш дієвим заходом є впровадження систем рекуперації тепла у припливно-витяжних вентиляційних установках (ПВУ). Роторні рекуператори досягають коефіцієнту передачі тепла 75–85%, пластинчасті — 60–75%. Для громадських будівель з нормативним повітрообміном 2–6 об/год це дозволяє скоротити витрати теплоти на підігрів припливного повітря на 25–40% [3].

Впровадження частотно-регульованих приводів (ЧРП) на двигунах вентиляторів і насосів є одним із найбільш економічно привабливих рішень. Оскільки потужність, що споживається, пропорційна кубу частоти обертання, зниження продуктивності системи до 70% від номінальної скорочує споживання електроенергії до 34%. Реальна економія у громадських будівлях зі змінним навантаженням становить 30–50% від споживання електроенергії систем вентиляції та насосного обладнання [1, 4].

Теплові насоси є перспективним рішенням для децентралізованого теплопостачання та охолодження громадських будівель. Коефіцієнт перетворення (COP) сучасних теплових насосів типу «повітря–вода» становить 3,0–4,2, що означає отримання 3–4 одиниць теплової або холодильної енергії на одну одиницю спожитої електроенергії. При використанні відновлюваних джерел електроенергії такі системи забезпечують фактично нульове вуглецеве навантаження [5].

Системи управління будівлею (BMS — Building Management System) забезпечують інтеграцію всіх інженерних систем під єдиним диспетчерським керуванням з алгоритмами оптимізації. Датчики CO₂, температури та відносної вологості дозволяють підтримувати нормовані параметри мікроклімату при мінімальному споживанні енергії. Впровадження BMS у середньому дає додаткову економію 15–25% понад ефект від модернізації обладнання.

Таблиця 1. Порівняльна ефективність заходів підвищення енергоефективності систем мікроклімату громадських будівель (узагальнено авторами)

Захід	Економія, %	Окупність, роки	Складність впровадження
Рекуперация тепла ПВУ	25–40	4–6	Середня
ЧРП на вентиляторах і насосах	30–50	2–4	Низька
Тепловий насос	40–60	6–10	Висока
Автоматизація BMS	15–25	3–5	Середня
LED-освітлення + датчики руху	50–70	2–3	Низька

4. Комплексний підхід та BMS-автоматизація

Максимальний ефект досягається при комплексному впровадженні описаних рішень у рамках єдиного проекту модернізації. Синергетичний ефект від поєднання рекуператії тепла, ЧРП та BMS-управління перевищує просту суму окремих складових: автоматика дозволяє спільно оптимізувати роботу всіх підсистем, уникаючи «конфлікту» між опаленням та охолодженням.

На рис. 2 наведено порівняльну ефективність основних заходів за показниками енергозбереження та строком окупності. Найвищий питомий ефект забезпечують ЧРП (мінімальні капітальні витрати при значній економії), тоді як тепловий насос, попри тривалий термін окупності, дає найбільше абсолютне скорочення споживання первинної енергії [2, 5].

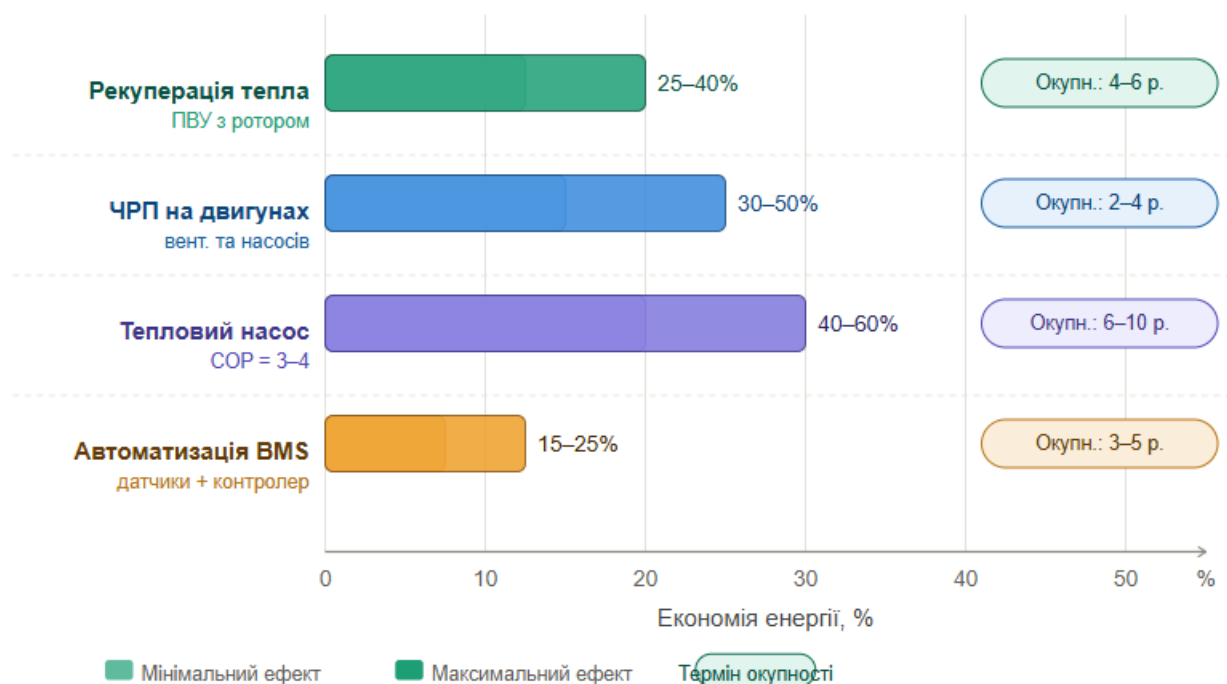


Рис. 2. Порівняльна ефективність заходів підвищення енергоефективності систем мікроклімату громадських будівель

Вибір конкретного набору заходів залежить від типу та функціонального призначення громадської будівлі, існуючого стану інженерних систем, фінансових можливостей замовника та наявності державних програм підтримки. Для адміністративних будівель пріоритетними є ЧРП та BMS; для

будівель з інтенсивним вентиляційним навантаженням (спортивні зали, актові зали) — рекуперація; для нового будівництва — теплові насоси у комплексі з відновлюваними джерелами.

5. Висновки

Проведений аналіз дозволяє зробити такі висновки. По-перше, системи мікроклімату є основним резервом підвищення енергоефективності громадських будівель, формуючи до 60% загального споживання. По-друге, комплексне впровадження рекуперації тепла, ЧПІ та BMS-автоматизації забезпечує сумарну економію енергоресурсів на рівні 35–45% при терміні окупності 5–8 років. По-третє, теплові насоси є стратегічним рішенням для досягнення стандарту «майже нульового» споживання у громадських будівлях. По-четверте, BMS-системи є обов'язковим елементом ефективного управління модернізованими інженерними системами, що дозволяє отримати додаткові 15–25% економії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Bertoldi P. Policies for Energy Conservation and Sufficiency: Review of Existing Policies and Recommendations for New and Effective Policies in OECD Countries. *Energy and Buildings*. 2022. Vol. 264. Article 112075. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112075>
2. Hafez F. S., Sa'di B., Safa-Gamal M. et al. Energy Efficiency in Sustainable Buildings: A Systematic Review with Taxonomy, Challenges, Motivations, Methodological Aspects, Recommendations, and Pathways for Future Research. *Energy Strategy Reviews*. 2023. Vol. 45. Article 101013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.esr.2022.101013>
3. Gradziuk P., Siudek A., Klepacka A. M. et al. Heat Pump Installation in Public Buildings: Savings and Environmental Benefits in Underserved Rural Areas. *Energies*. 2022. Vol. 15. No. 21. Article 7903. DOI: <https://doi.org/10.3390/en15217903>
4. Степанов Д. В., Степанова Н. О., Оникієнко С. О., Мартиненко В. Б. Показники енергоефективності громадської будівлі. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. 2023. № 1(34). С. 134–139. DOI: <https://doi.org/10.31649/2311-1429-2023-1-134-139>
5. Mastrucci A., Niamir L., Boza-Kiss B. et al. Modeling Low Energy Demand Futures for Buildings: Current State and Research Needs. *Annual Review of Environment and Resources*. 2023. Vol. 48. P. 761–792. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-112321-102921>

Джеджула В'ячеслав Васильович - доктор економічних наук, професор, Вінницький національний технічний університет, e-mail: djedjula@vntu.edu.ua

Рябчинський Максим Олександрович – здобувач освітньо-наукового ступеня «доктор філософії», Вінницький національний технічний університет

Чугу Михайло Анатолійович – здобувач освітньо-наукового ступеня «доктор філософії», Вінницький національний технічний університет