УДК 621.577

Н. Д. Степанова
К. Р. Ковтун

ЕНЕРГЕТИЧНІ ТА ЕКОЛОГІЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМ ВИРОБНИЦТВА І РОЗПОДІЛУ ЕНЕРГОНОСІЇВ ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто передумови вибору джерел енергії та організації її розподілу для багатоповерхового житлового будинку із вбудованими комерційними приміщеннями у Києві. Проаналізовано структуру максимального теплового навантаження та річну потребу в теплоті. Запропоновано принципи розділення споживачів, регулювання й обліку, визначено підходи до порівняння джерел теплоти та оцінювання екологічних наслідків. Наведені варіанти є передпроєктними пропозиціями й потребують техніко-економічної перевірки.

Ключові слова: системи виробництва і розподілу енергоносіїв, житловий будинок, комерційні приміщення, теплопостачання, первинна енергія, тепловий насос, енергетичний баланс, викиди парникових газів.

Abstract

This paper examines the factors influencing the selection of energy sources and the organisation of energy distribution for a multi-storey residential building with integrated commercial premises in Kyiv. The structure of the peak heat load and the annual heat demand have been analysed. Principles for the classification of consumers, regulation and metering have been proposed, and approaches to comparing heat sources and assessing environmental impacts have been identified. The options presented are preliminary design proposals and require a technical and economic assessment.

Keywords: energy production and distribution systems, residential buildings, commercial premises, district heating, primary energy, heat pumps, energy balance, greenhouse gas emissions.

Вступ

Сучасні багатоповерхові житлові будинки є складними енергетичними об’єктами, у яких одночасно функціонують системи опалення, гарячого водопостачання, вентиляції, електропостачання та, за потреби, кондиціонування повітря. У будівлях зі вбудованими комерційними приміщеннями ця складність зростає, оскільки житлова й комерційна частини мають різні режими використання, графіки споживання енергії та вимоги до мікроклімату. Саме тому проєктування систем виробництва й розподілу енергоносіїв має ґрунтуватися не лише на забезпеченні розрахункової потужності, а й на аналізі фактичних режимів експлуатації, можливостей регулювання, надійності постачання та екологічних наслідків прийнятих рішень.

Актуальність теми зумовлена необхідністю зниження енергоспоживання будівельного сектору, підвищення ефективності використання теплової енергії та зменшення викидів парникових газів. В Україні вимоги до енергоефективності будівель і теплотехнічних характеристик огороджувальних конструкцій визначає ДБН В.2.6-31:2021, а вимоги до проєктування внутрішніх систем теплозабезпечення – ДБН В.2.5-67:2013 [1, 2]. Водночас для об’єктів, що приєднуються до централізованих теплових мереж або мають власні джерела теплоти, важливими є вимоги ДБН В.2.5-39:2008 до теплових мереж, теплових пунктів і розподільних систем . Правові засади виробництва, транспортування, постачання та використання теплової енергії встановлює Закон України «Про теплопостачання» .

Метою роботи є обґрунтування енергетичних та екологічних передумов вибору систем виробництва, перетворення, накопичення й розподілу енергоносіїв для багатоповерхового житлового будинку із вбудованими комерційними приміщеннями в місті Києві, а також сформувати критерії для подальшого техніко-економічного порівняння альтернативних варіантів енергозабезпечення.

Основні завдання: аналіз вихідного теплового балансу, визначення вимог до регулювання і надійності, формування критеріїв порівняння альтернатив. Електропостачання розглядається як супутня потреба насосів, автоматики та можливого теплонасосного обладнання.

Результати дослідження

Поєднання житлових, офісних і торговельних приміщень в одній будівлі потребує узгодження різних режимів теплоспоживання. Проєктування має забезпечувати не лише покриття максимального навантаження, а й економічну роботу систем упродовж року. Нормативною основою для внутрішніх систем є ДБН В.2.5-67:2013, а для зовнішніх теплових мереж — ДБН В.2.5-39:2008 [2; 3].

За наданими попередніми розрахунками максимальне сумарне теплове навантаження становить 675,3 кВт, річна потреба в тепловій енергії — 6702 ГДж. Частки окремих систем характеризують саме розрахункові потужності, а не розподіл річного споживання. Для визначення останнього необхідні графіки використання приміщень, тривалість роботи вентиляції та профіль водорозбору.

Ці розрахункові показники характеризують нерівномірність використання встановленої потужності, однак не замінюють погодинної моделі.

Опалення житлової частини формує близько 430,2 кВт, тому зниження тепловтрат огороджень є важливим напрямом скорочення потреби в теплоті. До вибору обладнання потрібно перевірити теплотехнічні характеристики стін, покриття, вікон, вузлів примикання та повітропроникність оболонки. Технічні параметри енергетичної ефективності будівель розглядає ДБН В.2.6-31:2021 [1].

Навантаження ГВП характеризує піковий режим, а не постійну потужність. Річне споживання цієї системи слід визначати за кількістю мешканців, питомим водоспоживанням, температурами води та втратами циркуляції. Застосування акумуляції перевіряють за добовим графіком водорозбору та санітарними вимогами.

Для комерційної частини необхідні самостійні часові програми опалення і вентиляції. Зниження температури поза робочим часом допускається лише за умови дотримання вимог до мікроклімату, захисту від замерзання та можливості своєчасного прогрівання. Припускати наперед збіг або незбіг піків усіх споживачів не слід: коефіцієнти одночасності мають бути обґрунтовані методикою розрахунку та графіками експлуатації [1].

Розглянемо можливі варіанти теплозабезпечення.

Першим варіантом для порівняння є централізоване теплопостачання з автоматизованим індивідуальним тепловим пунктом. Можливість приєднання встановлюють за технічними умовами, доступною потужністю, параметрами теплоносія та станом мереж. ІТП не виробляє теплоту спалюванням палива, а забезпечує її передачу, розподіл та регулювання. Правові засади виробництва, транспортування і використання теплоти визначає Закон України «Про теплопостачання» [4].

Другий варіант – автономне теплогенерування. Для газової котельні необхідно перевірити допустимість розміщення, газопостачання, відведення продуктів згоряння, пожежну безпеку та акустичний вплив. Число агрегатів і резервування визначають за вимогами надійності й мінімальним літнім навантаженням. Частка потужності окремого котла не може бути універсальною: вона залежить від глибини модуляції, ремонтних режимів і допустимого обмеження споживачів.

Третій варіант – теплові насоси або гібридна схема з піковим джерелом. Доцільність залежить від доступної електричної потужності, температурного графіка й сезонної ефективності. Потужність повітряного теплового насоса потрібно перевіряти саме за розрахункових зимових умов Києва, враховуючи відтавання. Остаточний вибір має спиратися на порівняння капітальних витрат, вартості енергії, обслуговування та ризиків перерв постачання.

Як передпроєктне рішення пропонується розділення контурів опалення житлової частини, опалення комерційних приміщень, вентиляційних калориферів і ГВП. Таке зонування дозволяє встановлювати окремі температурні й часові режими, обліковувати споживання та обмежувати взаємний гідравлічний вплив. Схему приєднання і потребу в теплообмінниках визначають після зіставлення допустимих тисків внутрішніх систем із параметрами зовнішньої мережі [2; 3].

Для багатоповерхового будинку істотним є статичний тиск. Потребу у вертикальному зонуванні, проміжних теплообмінниках та запобіжних пристроях визначають за висотою будівлі і допустимим робочим тиском обладнання. Оскільки поверховість та геометричну висоту не надано, конкретні тиски й число зон у цій роботі не призначаються. Підбір насосів має спиратися на гідравлічний розрахунок, а не лише на максимальну теплову потужність.

Автоматика повинна забезпечувати погодозалежне регулювання опалення, підтримання температури ГВП, керування насосами та аварійну сигналізацію. Погодозалежне регулювання не слід ототожнювати з погодинним: перше враховує температуру зовнішнього повітря, друге — часовий графік. Ча-

стотне керування насосами доцільно поєднувати з підтриманням перепаду тиску й балансуванням систем. Вимоги до проєктування внутрішнього теплопостачання та раціонального використання енергії встановлює ДБН В.2.5-67:2013 [2].

Для обліку пропонуються загальнобудинковий вузол, окремі прилади для комерційних споживачів та технічно придатний індивідуальний облік житлової частини. Теплоізоляції потребують трубопроводи, арматура і вузли, де це допускають умови обслуговування. Резервне електроживлення насосів та автоматики визначають за необхідною тривалістю автономної роботи; воно не означає автоматичного резервування всього електроспоживання теплових насосів.

Порівнювати рішення слід за однакової межі енергетичного балансу: корисна теплота у споживачів, енергія на вводі або паливо на джерелі. Відсутність димової труби біля будинку не означає відсутності викидів у всьому ланцюгу постачання. Для централізованої схеми потрібен питомий коефіцієнт викидів постачальника; для електричної — коефіцієнт електроенергії; для котельні — витрата палива й відповідний коефіцієнт викидів. Без цих даних числову оцінку CO_2 не виконують.

Для газової схеми річну енергію палива визначають з врахуванням сезонного коефіцієнта корисної дії котельні, для теплового насоса – сезонного коефіцієнт ефективності. До балансу додають допоміжну електроенергію, втрати розподілу та резервне джерело, якщо вони не включені раніше. Для теплових насосів до екологічного аналізу також включають ризик витоків холодоагенту, а для обладнання поблизу житла – шум і вібрацію.

Для вентиляції комерційних приміщень із максимальним навантаженням близько 50,0 кВт доцільно порівняти установки з утилізацією теплоти та без неї. Ефект залежить від витрати повітря, годин роботи, температур і характеристик теплоутилізатора. Додатково враховують електроспоживання вентиляторів, забруднення фільтрів і захист від обмерзання. Можливість повернення теплоти перевіряють із дотриманням санітарних обмежень щодо перенесення забруднень [2].

Сонячні колектори та фотоелектричні модулі можуть розглядатися лише після аналізу доступної площі, затінення, несучої здатності покрівлі та доступу для обслуговування. Для колекторів необхідно узгодити літню генерацію з потребою ГВП; для фотоелектричної системи — графік виробітку з електричним навантаженням. Без цих даних визначати частку заміщення традиційної енергії передчасно.

Розглядаючи варіанти підвищення ефективності системи енергозабезпечення порівнювалися варіанти влаштування теплового насоса «повітря-вода» [5], централізоване теплопостачання з якісним регулюванням зі зрізкою температурного графіка і коригуванням в ІТП за погодними умовами та рекуператор теплоти на системах вентиляції у порівнянні із традиційною газовою котельнею. Результати показані в табл.1.

Таблиця 1 - Результати дослідження підвищення ефективності систем виробництва і розподілу енергоносіїв

Варіанти підвищення ефективності	Тепловий насос «повітря-вода»	Централізоване теплопостачання з ІТП
Зменшення питомого енергоспоживання кВт·год/м^2	112,7	83,9
Зменшення питомих викидів парникових газів, кг/м^2	73,2	63,4
Клас енергоефективності будівлі	B	C

Із проаналізованих варіантів лише заміна газового котла на тепловий насос типу «повітря-вода» дозволяє досягти класу енергоефективності будівлі «В». Досягти класу енергоефективності «А» можна шляхом встановлення теплового насосу типу «повітря-вода» та одночасного впровадження системи рекуперації теплоти вентиляційного повітря. Рекуперація дозволяє повернути частину теплоти з витяжного повітря та зменшити теплове навантаження на калорифери вентиляційних систем, особливо в офісних і торговельних приміщеннях. Поєднання теплового насоса й рекуперації забезпечує одночасне зниження споживання теплової та електричної енергії, а отже, зменшення викидів парникових газів. Класифікація будівель за показниками енергетичної ефективності та вимоги до мінімального класу енергоефективності встановлені ДБН В.2.6-31:2021 .

Висновки

У результаті дослідження обґрунтовано енергетичні та екологічні передумови проєктування систем

виробництва й розподілу енергоносіїв багатоповерхового житлового будинку з вбудованими комерційними приміщеннями в м. Києві. Встановлено, що сумарне максимальне теплове навантаження будівлі становить 675,3 кВт, а річна потреба в тепловій енергії — 6702 ГДж.

Аналіз структури теплового балансу показав, що для ефективної роботи системи недостатньо встановлювати теплогенеруюче обладнання лише за максимальною потужністю. Річна потреба в тепловій енергії свідчить про суттєву нерівномірність споживання протягом року, тому в проєкті необхідно передбачати погодозалежне регулювання, каскадне керування теплогенераторами або модульне обладнання, частотне регулювання насосів, а також окремі контури для опалення житлової та комерційної частин, вентиляції й гарячого водопостачання. Доцільним є застосування індивідуального теплового пункту з незалежними гідравлічними контурами, автоматизованою системою керування та роздільним обліком теплової енергії.

Порівняння варіантів модернізації джерела теплоти показало, що заміна газового котла на тепловий насос типу «повітря-вода» є єдиним із розглянутих варіантів, який дозволяє досягти класу енергоефективності будівлі «В». Це пояснюється зниженням первинного споживання енергії за рахунок використання низькопотенціальної теплоти навколишнього повітря для виробництва теплової енергії. Водночас ефективність такого рішення має бути підтверджена розрахунком сезонного коефіцієнта ефективності теплового насоса, доступною електричною потужністю, температурним графіком системи та роботою обладнання в зимових умовах Києва.

Досягнення класу енергоефективності «А» можливе лише за комплексного впровадження двох взаємодоповнюваних заходів: встановлення теплового насоса типу «повітря-вода» та системи рекуперації теплоти вентиляційного повітря.

Екологічний ефект модернізації визначається не лише типом теплогенеруючого обладнання, а й сукупним зменшенням споживання енергії в будівлі. Застосування теплового насоса з рекуперацією теплоти вентиляційного повітря зменшує залежність будинку від спалювання природного газу, знижує локальні викиди продуктів згоряння та створює передумови для поступової декарбонізації системи теплопостачання. Водночас остаточна оцінка викидів CO_2 має виконуватися з урахуванням питомих коефіцієнтів викидів електроенергії, джерела теплопостачання та фактичних режимів роботи обладнання.

Для практичної реалізації запропонованих рішень необхідно виконати детальний енергетичний аудит, уточнити погодинні графіки теплового споживання, визначити доступну електричну потужність, провести гідравлічний розрахунок систем і техніко-економічне порівняння варіантів. Найбільш перспективним рішенням для досліджуваного будинку є впровадження теплового насоса типу «повітря-вода» у поєднанні з рекуперацією теплоти вентиляційного повітря, що дозволяє досягти класу енергоефективності «А» та забезпечити довгострокове зниження енергоспоживання й екологічного навантаження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. Єдина державна електронна система у сфері будівництва. URL: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3876000386489779420 (дата звернення: 17.11.2026).

2. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. Єдина державна електронна система у сфері будівництва. URL: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3873910458809321241 (дата звернення: 17.11.2026).

3. ДБН В.2.5-39:2008. Теплові мережі. Єдина державна електронна система у сфері будівництва. URL: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3879667345437754645 (дата звернення: 17.11.2026).

4. Про теплопостачання : Закон України від 02.06.2005 № 2633-IV. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2633-15 (дата звернення: 17.11.2026).

5. Степанова Н.Д., Ковтун К. Р. Теплові насоси типу «повітря–вода» в низькотемпературній системі теплопостачання житлового будинку у м. Київ. Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Енергоефективність в галузях економіки України 2025», Вінниця: ВНТУ, URL : https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/egeu/egeu2025/paper/view/26484. (дата звернення 20.03.2026 р.)

Степанова Наталія Дмитрівна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Stepanovand@i.ua

Ковтун Катерина Русланівна , студенка групи ТЕ-25м, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, kovtunkata70@gmail.com.

Stepanova Nataliya D., Cand. Sc. (Eng), Associate Professor of the Department of Thermal Power Engineering, Vinnitsa National Technical University, Vinnytsia, Stepanovand@i.ua

Kovtun Kateryna R., student of TE-25m group, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, kovtunkata70@gmail.com.