ЕНЕРГЕТИКА ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

УДК 658.264

Застосування відновлювальних джерел енергії в торгівельно-розважальних центрах для потреб теплопостачання з урахуванням режимів експлуатації

Ж. Ф. Дорошенко[1]✉, В. Д. Станіславов[2], Ю. К. Бессатьян[3], С. І. Грищенко[4], А. Ю. Каверін[5]
[1-5]Національний університет «Одеська політехніка», просп. Шевченка, 1, Одеса, 65044, Україна
✉ e-mail: [1]dorosh1gan@gmail.com
ORCID: [1]http://orcid.org/0000-0002-8019-7864; [2]https://orcid.org/0009-0002-4512-2725; [3]https://orcid.org/0009-0008-2445-365X; [4]https://orcid.org/0000-0002-0686-1149; [5]https://orcid.org/0009-0002-6762-1808

В роботі проведено дослідження застосування відновлювальних джерел енергії (теплових насосів) в комбінованих системах теплопостачання в будівлях громадського призначення зі змінним режимом експлуатаціїї як протягом доби так і протягом тижня, а саме в торгівельно-розважальних комплексах житлових масивів та мікрорайонів міста. Проведено аналіз існуючих систем науково-технологічних рішень теплозабезпечення будівель із різними видами теплоспоживання та змінним режимом експлуатації, а саме – відвідування сопживачів протягом доби та тижня. Розглянуті основні системи теплоспоживання, опалення, вентиляція, гаряче водопостачання, та технологічні потреби і зв'язок їх роботи від експлуатаційних режимів самого комплексу в цілому. Виявлені залежності, що дозволяють намітити шляхи підвищення ефективності роботи комбінованої системи теплопостачання із потенціалом впровадження відновлювальних джерел енергії в залежності від внутрішніх та зовнішніх кліматичних чинників, а також режимів експлуатації. Для кожного із видів теплового навантаження (опалення, вентиляція, гаряче водопостачання та інше) проведено аналіз впливу кількості відвідувачів торгівельно розважального центру на загальне навантаження за кожним видом спожаивачів. Для отриманих даних споживання теплової енергії проведено дослідження заміщення теплової потужності тепловими насосами для енергоефективного теплозабезпечення, частка яких становить від 50 до 80 %, в залежності від зовнішніх та внутрішніх кліматичних чинників. У якості резервних джерел енергії передбачені газові конденсаційні котли. На основі отриманих даних проведено дослідження щодо зменшення розрахункових загальних потужностей системи комбінованого теплоопостачання за видами теплоспоживання із урахуванням реальних режимів експлуатації теплоенергетичних системи.

Ключові слова: *Відновлювальні джерела енергії; Теплові насоси; Системи теплопостачання; Режими роботи систем теплопостачання; Газові котли; Види теплового навантаження.*

doi: https://doi.org/10.15673/ret.v61i4.3331

© The Author(s) 2025. This article is an open access publication
This work is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY)
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

1. Вступ

Торгово-розважальний центр (ТРЦ) – це комплексна будівля або приміщення, яке поєднує в собі торгові, розважальні, гастрономічні та інші послуги для споживачів. Такі споруди стали невід'ємною частиною сучасних міст, навіть не дуже великих за розміром та кількістю населення. Більшість ТРЦ будуються за власними проектами з характерними ознаками певної мережі. Але усі об'єкти мають ряд спільних рис та складаються з типових частин.

Особливості роботи інженерних систем у торгових зонах. Інженерні системи: опалювання, вентиляція, кондиціювання (ОВК), а також гаряче водопостачання (ГВП) та системи теплопостачання (теплові пункти) важлива частина торгівельних та розважальних комплексів, оскільки споруди мають великі відкриті простори, високі вимоги до комфорту та безпеки відвідувачів, а також різноманітні зони з різними вимогами до мікроклімату. ОВК – системи для забезпечення оптимальних умов праці персоналу та комфорту відвідувачів повинні враховувати ряд особливостей торгових відділів. Особливої уваги потребує нерівномірність теплового навантаження на різні види теплопостачання протягом як доби так і тижня. Так системи опалення, вентиляції, гарячого водопостачання, а також технологічні потреби залежать від кількості споживачів протягом доби, при цьому необхідно розділити як будні дні так і вихідні. Вказана нерівномірність теплового забезпечення є потенціалом підвищення ефективності систем теплопостачання та потребує додаткових досліджень.

2. Аналіз літературних джерел та постановка проблеми

Проблемам систем теплопостачання в будівлях зі змінним тепловим режимом присвячено низку науоквих праць, як у вітчізняних періодичних виданнях [1-3] так і зарубіжних [4-8]. Особлива увага приділяється режимам роботи різних інженерних систем протягом різних періодів експлуатації. Зазвичай виділяються в цьому напряму системи опалення, вентиляції, гарячого водопостачання та технологічні потреби. Кожна із систем має свої властивості роботи протягом різних періодів експлуатації.

Системи опалення. Найчастіше на практиці в торгових центрах використовують повітряне опалення, яке забезпечується за допомогою фанкойлів, руфтопів, тепловентиляторів. Традиційне водяне опалення на основі радіаторів у торгових центрах трапляється зазвичай у відокремлених приміщеннях невеликої площі, а також у допоміжних приміщеннях та приміщеннях технічного призначення.

В останні часи все частіше застосовують системи повернення тепла у робочу зону. Вказане повязано з тим, що тепле повітря збирається і накопичується під стелею і випаровується через дах. Такі системи примусово повертають тепло за допомогою спеціальних вентиляторів у робочу зону. Система опалення зворотньо пропорційна кількості відвідувачів ТРЦ.

Системи вентиляції. Вентиляція в торгових центрах – інженерний комплекс, що формує регульований повітрообмін у внутрішніх приміщеннях. Така система розрахована на підтримку нормативних показників мікроклімату, збереження допустимої концентрації домішок та запобігання перегріву або переохолодженню будівельних конструкцій.

Системи вентиляції ТРЦ відповідно діючих норм проєктуються відповідно до приміщень, що обслуговуються. Системи вентиляції можуть бути відокремлені від систем забезпечення мікроклімату, або буди централізованими. В останьому випадку вони забезпечують не лише необхідний повітреобмін, а також і інші параметри мікроклімату. Системи вентиляції оснащуються рекуператорами теплоти (якщо це не суперечить нормам), що значно зменшує теплове навантаження на калорифери систем. Калорифери систем вентиляції зазвичай можуть бути гідроними, електричними, або фреоновими. Останні можуть виконувати функцію як охолодження так і підігріву, за рахунок роботи холодильної машини у режимі «теплового насосу». Застосування проміжних роздільних гідронних рекуператорів з одного боку дозволяє зменшити загальне навантаження на системи теплопостачання вентиляції, з іншого боку доволі ускладнює систему та збільшує загальні капіталовкладення. Робота системи вентиляції зазвичай прямо пропорційна кількості відвідувачів ТРЦ.

Гаряче водопостачання. Гаряче водопостачання основних зон ТРЦ повязано безпосередньо із функціональним призначенням робочих зон. Так для торгівельних приміщень одягу це відносно невеликі витрати для санітарних візлів. Для продуктових бутіків витрати гарячої води вже більші, для зон харчування (кафе, ресторани, фудкорти) ще більші. Для спортивних зон оснащених душевими витрата гарячої води також на високому рівні і т.п. Забезпечення споживачів гарячою водою залежить від виду споживача: починаючі від невеличких санвузлів та невеличких продуктових магазинів – електробойлер, закінчуючи закладами харчування та спортивними комплексами із централізованими водонагрівачами-акумуляторами. Режими споживання гарячої води також пропорційно залежать від кількості відвідувачів, але із корегуванням у часі.

Технологічні потреби зазвичай мають специфічний характер та та їх теплозабезпечення може бути не привязане до кількості відвідування споживачів.

Вказані обставини призводять до необхідності ретельного дослідження, щодо ефективного теплозабезпечення інженерних систем ТРЦ

Основною метою дослідження є аналіз ефективності роботи різних видів споживачів теплоти ТРЦ, та шляхи щодо підвищення ефективності роботи системи теплопостачання в цілому.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступні задачі:

– провести аналіз сучасного стану інженерних систем за видами теплоспоживання;

– провести аналіз режимів роботи окремого ТРЦ протягом доби робочого будня та вихідного дня за видами теплового споживання;

– виявити наявні потенціали зниження теплоспоживання ТРЦ.

Для проведення дослідження навантаження ТРЦ протягом доби в різні пори тижня застосовано нормовану методику визначення теплових навантажень за видами теплоспоживання [9-12].

Система опалення. Рівняння теплового балансу виробничого приміщення може бути виражене у виді рівності

$$Q_{от} = Q_{огр} + Q_{інф} + Q_{ох} - \sum Q_{ТВ}, \qquad (1)$$

де $Q_{от}$ – підведення теплоти в будинок через опалювальну систему, кВт; $Q_{огр}$ – тепловтрати теплопередачею через зовнішні огородження, кВт; $Q_{інф}$ – тепловтрати інфільтрацією через надходження в приміщення через нещільності зовнішніх огороджень холодного повітря, кВт; $Q_{ох}$ – витрата теплоти на підігрів холодних предметів, кВт; $\Sigma Q_{ТВ}$ – внутрішні тепловиділення в приміщенні, кВт.

Системи вентиляції.

Орієнтований розрахунок витрати теплоти на вентиляцію, Вт, можна проводити по формулі

$$Q_{в} = m \cdot V_{в} \cdot C_{в} \left(t_{ВП} - t_{НР}\right), \qquad (2)$$

де $Q_{в}$ – витрата теплоти на вентиляцію; m – кратність обміну повітря, 1/с; $V_{в}$ – вентильований обсяг будинку, м^3; $C_{в}$ – об'ємна теплоємність повітря, дорівнює 1260 Вт/(м^3 К) або 0,3 ккал/(м^3 °С); $t_{вп}$ – температура нагрітого повітря, що подається у приміщення, °С; $t_{н}$ – температура зовнішнього повітря, °С.

Гаряче водопостачання. Гаряче водопостачання має досить нерівномірний характер як протягом доби, так і протягом тижня.

Середньо тижнева витрата теплоти, Дж, побутового гарячого водопостачання суспільних і промислових будинків визначають по формулі

$$Q_{Г}^{срн} = a \cdot m \cdot c\left(t_{г} - t_{х}\right)/n_{с}, \qquad (3)$$

де a – норма витрати гарячої води з температурою 60°С, кг(л) на одиницю виміру; m – кількість одиниць виміру (відвідувачів).

Оцінка витрат енергетичних ресурсів для комбінованої системи теплопостачання із застосуванням теплового насосу у якості основного джерела енергії та газового котлу у якості резервного джерела енергії визначається із витратою ресурсів кожного джерела енергії.

Розрахунок споживання електроенергії тепловим насосом

Тепловий насос першочергове та основне джерело тому завжди працює на максимум протягом дня. Із розрахунку на один ТН.

$$W_{ел} = Q_{тепл.нас} / COP, \qquad (4)$$

де $Q_{тепл.нас}$ – максимальна кількість тепла що може виділятись тепловим насосом за годину роботи, кВт; COP – коефіцієнт енергоефективності (перетворення), який показує кількість теплової енергії, отриманої від теплового насоса при споживанні 1 кВт·год електричної енергії.

Розрахунок споживання газу котлами при роботі в комбінації з тепловим насосом:

$$V_{газ} = Q_{котли} / \left(\eta_{к} \cdot Q_{р}\right), \qquad (5)$$

де $Q_{котли}$ – потреби в додатковому теплі від газових котлів, яке необхідно для покриття загальних теплових навантажень будівлі, кВт; $\acute{\eta}_{к}$ – коефіцієнт корисної дії газових котлів згідно з вихідними данними; $Q_{р}$ – теплотворна здатність природнього газу згідно з вихідними данними, кВт·год/м^3.

Для оцінки потенціалу зниження теплового навантаження використовувався потенціал зниження теплоспоживання відносно розрахункового теплового навантаження відповідного виду теплового навантаження.

Вказаний потенціал зниження показує діапазон роботи кожного виду теплового навантаження протягом доби відносно розрахункового значення.

$$\left(Q_{ip} - Q_{id}\right) / Q_{ip}, \qquad (6)$$

де Q_{ip} – розрахункове теплове навантаження для кожного виду теплоспоживання; Q_{id} – дійсне теплове навантаження для кожного виду теплоспоживання.

3. Результати досліджень

Для визначення графіків зміни теплового навантаження торгівельно розважальними комплексами на основі досліджень для обраного ТРЦ було проведено дослідження зміни теплового навантаження впродовж доби у будній та вихідні дні при прийнятих наступних вихідних даних.

Орієнтовний графік відвідуваності (на базі ТРЦ у великих містах)

Відвідування для торгових центрів:

- Будні дні:

Ранок (10:00-12:00) – низький потік (~20-30% макс)
День (12:00-17:00) – помірний потік (~50%)
Вечір (17:00-21:00) – пік (~80-100%)

- Вихідні дні:

Ранок (10:00-12:00) – середній потік (~40%)
День (12:00-17:00) – високий потік (~80-100%)
Вечір (17:00-21:00) – теж високий (~90-100%)

Розрахункові зовнішні та внутрішні температурні параметри для підбору системи опалення:

Температура зовнішнього повітря: -18 °C

Внутрішні температури:

+22 °C – санвузли, спортивні зали;
+20 °C – зали торгівлі, кінозали, фудкорти, кабінети;
+18 °C – технічні приміщення.

Тепловиділення від людей: $q_{люд}$ = 0,12 кВт/люд.

Таблиця 1 *– Відсоткове навантаження систем і відвідування ТРЦ в залежності від години доби. Будній день.*

Час доби	Люди (%)	Опалення(%)	Вентиляція(%)	ГВП(%)	Загальне(%)
Ранок	30	92	30	30	69
День	50	87	50	50	74
Вечір	90	77	90	90	82
Ніч	10	97	10	10	65

Таблиця 2 *– Відсоткове навантаження систем і відвідування ТРЦ в залежності від години доби. Вихідний день.*

Час доби	Люди (%)	Опалення(%)	Вентиляція(%)	ГВП(%)	Загальне(%)
Ранок	40	90	40	40	71
День	80	80	80	80	80
Вечір	90	77	90	90	82
Ніч	10	97	10	10	65

Таблиця 3 *– Основні показники для розрахунку зміни теплового навантаження ТРЦ протягом буднього дня за видами теплового навантаження.*

Час доби	Кількість відвідувачів	Опалення, кВт	Вентиляція, кВт	ГВП, кВт	Загальне, кВт
Ранок	1140	1657,2	72	243	1972,2
День	1900	1566,0	120	405	2091,0
Вечір	3420	1383,6	216	729	2328,6
Ніч	380	1748,4	24	81	1853,4

Таблиця 4 *– Основні показники для розрахунку зміни теплового навантаження ТРЦ протягом вихідного дня за видами теплового навантаження*

Час доби	Кількість відвідувачів	Опалення, кВт	Вентиляція, кВт	ГВП, кВт	Загальне, кВт
Ранок	1520	1611,6	96	324	2031,6
День	3040	1429,2	192	648	2269,2
Вечір	3420	1383,6	216	729	2328,6
Ніч	380	1748,4	24	81	1853,4

Таблиця 5 *– Основні данні зміни споживання енергоресурсів ТРЦ протягом буднього дня*

Час доби	Загальне навантаження, кВт	Тепло від теплового насосу, кВт	Споживання електроенергії, кВт*год	Потреба в додатковому теплі, кВт	Споживання газу, м^3
Ранок	1972,2	1200	400	772,2	107,25
День	2091,0	1200	400	891,0	123,75
Вечір	2328,6	1200	400	1128,6	156,75
Ніч	1853,4	1200	400	653,4	90,75

Таблиця 6 *– Основні данні зміни споживання енергоресурсів ТРЦ протягом вихідного дня*

Час доби	Загальне навантаження, кВт	Тепло від теплового насосу, кВт	Споживання електроенергії, кВт*год	Потреба в додатковому теплі, кВт	Споживання газу, м^3
Ранок	2031,6	1200	400	831,6	115,5
День	2269,2	1200	400	1069,2	148,5
Вечір	2328,6	1200	400	1128,6	156,75
Ніч	1853,4	1200	400	653,4	90,75

Відповідні розрахунки представлені графічними залежностями (рис.1, рис.2).

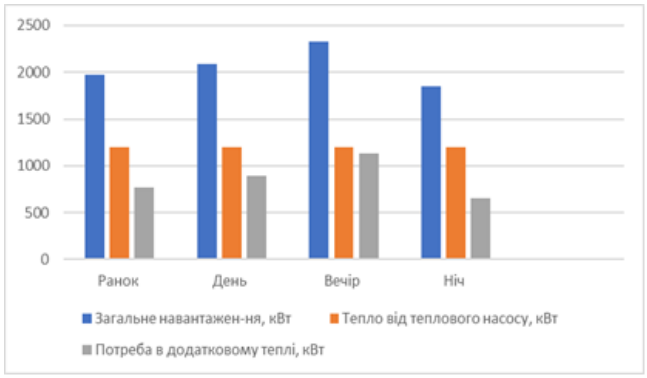

Рисунок 1 *– Розподіл теплового навантаження протягом доби. Будній день*

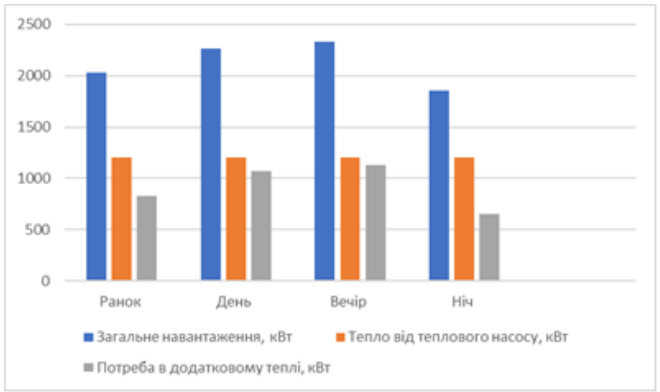

Рисунок 2 *– Розподіл теплового навантаження протягом доби. Вихідний день.*

Визначення необхідних потреб теплоспоживання та потенціалу самокомпенсації за раніше визначеною методокою представлено на рис 3.

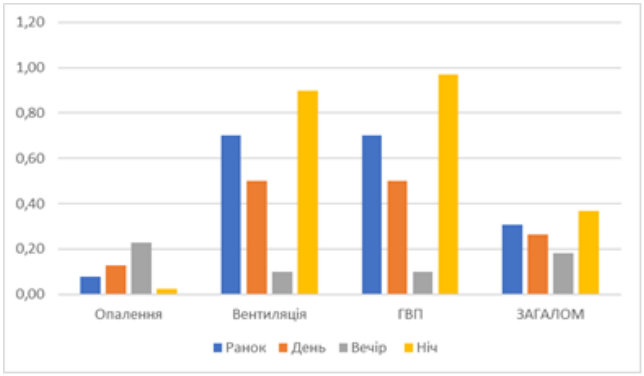

Рисунок 3 *– Потенціал зниження теплоспоживання відносно розрахункового теплового навантаження за видами теплового навантаження для ТРЦ.*

Як видно із наведених графічних залежностей найбільшим потенціалом компенсації є вентиляція та гаряче водопостачання у нічний період, про те системи опалення працюють в максимальному режимі. Загалом потенціал зниження максимального теплового навантаження є у нічний період, однак лімитується він для ТРЦ у вечірній період – максимального відвідування споживачів.

4. Висновки

Відповідно до поставлених задач в роботі проведено аналіз ефективності застосування відновлювальних джерел енергії для теплопостачання торгівельно-розважального центру. В роботі проведено аналіз сучасного стану систем теплопостачання ТРЦ із використанням відновлювальних джерел енергії, з урахуванням режимів експлуатації за разними видами теплоспоживання.

Проведені дослідження дали змогу оцінити режим експлуатації систем теплопостачання протягом буднього дня та вихідного дня. Отримані дані дозволяють оцінити можливість ефективного застосування відновлювальних джерел енергії та потенціал самокомпенсації різних видів теплового навантаження.

Результати дослідження дають змогу оцінити частку заміщення теплової потужності відновлювальними джерелами енергії, а саме тепловими насосами, яка становить від 50 до 80 % в залежності від зовнішніх та внутрішніх кліматичних чинників.

Також результати проведених досліджень дають змогу оцінити для конкреткного ТРЦ потенціал самокомпенсації теплової потужності прQотягом доби як в будній день так і протягом вихідного дня. Потенціал самокомпенсації теплового навантаження складає близько до 60 % за видами теплового навантаження.

Особистий внесок авторів CRediT

Дорошенко Ж.В.: проведення обробки даних за обраною методикою. **Станіславов В.Д.:** аналіз отриманих результатів. **Бессатьян Ю.К.:** складання теплового балансу. **Грищенко С.І.:** опрацювання даних щодо режимів теплопостачання; **Каверін А.Ю.:** аналіз літературних джерел.

Література

1. Стратегія енергозбереження в Україні: Аналітично-довідкові матеріали в 2-х томах: Загальні засади енергозбереження. Т. 1. / За ред. В**.А. Жовтянського, М.М. Кулика, Б. С Стогнія**. – К: Академперіодика, 2006. – 510 с.

2. **Микитенко В.** Енергоефективність національної економіки: соціально-економічні аспекти // Вісник НАН України. – 2006. – №10. – С. 17-26.

3. **Климчук О.А., Андрющенко А.М., Бабаєв Є.С. Сергеєв М.І.** Переведення теплопостачання районів міст на електроенергію з використанням існуючих теплових мереж // Матеріали II міжнародної науково-практичної конференції «Енерго ефективне місто. XXI століття». – 2022. – С. 74-76.

4. **Климчук О.А., Сергеєв М.І.** Аналіз режимів роботи систем теплозабезпечення з акумуляторами теплоти в будівлях громадського призначення // Холодильна техніка та технологія. – 2024. – Т. 60(4). – С. 317-323.

5. **O. Klymchuk, G. Pozdnyakova.** Improving the reliability of heat supply systems in the conditions of power outage // Proceedings of Odesa polytechnic university. – 2024. – Is. 2(70). – P. 48-55.

6. **Климчук О.А., Бабаєв Є.С.** Аналіз режимів роботи систем теплопостачання для торгівельно-розважальних комплексів. // Холодильна техніка та технологія. – 2025. – Т. 61(1). – С. 83-90.

7. **H. Liang, X. Xie, M. Liu, S. Niu, H. Su.** Research on Strategies for Air-Source Heat Pump Load Aggregation to Participate in Multi-Scenario Demand Response // Energies. – 2024. – No. 17(11). – Article 2471.

8. **Мазуренко А.С. Денисова А.Є., Климчук О.А., Нго Мінь Хієу.** Установка комбінованої системи альтернативного теплопостачання навчального корпусу ОНПУ // Матеріали IV міжнародної конференції магістрів, аспірантів та науковців «Управління проектами в умовах транзитивної економіки». Том 2. – Одеса: ОДАБА, 2013. – С. 92-94.

9. **Balasanian G., Klymchuk O., Babaiev Y., Semenii A.** Improving the Efficiency of Heating Systems of Buildings Due to Intermittent Heating // Proceedings of EcoComfort 2022. – 2022. – P. 162-170.

10. **Мазуренко А.С., Климчук О.А., Шраменко О.М., Сичова О.А.** Порівняльний аналіз систем децентралізованого теплопостачання житлових будівель із використанням електроенергії // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2014. – Вип. 5(8). – С. 21-25.

11. **Holzman H.** Heat pump development in Austria. Newsletter of the IEA Heat Pump Center. – 1989. – Vol.7. – No. 4.

12. **H. Balasanian, O. Klymchuk, G. Luzhanska, I. Aksyonova, S. Voronenko**. Influence of the Building's Thermal Insulation on Intermittent Heating Mode Efficiency // Management Systems in Production Engineering. – 2024. – Vol. 32. – P. 484-488.

Отримана в редакції 09.11.2025, прийнята до друку 28.11.2025

Application of renewable energy sources in shopping and entertainment centers for heat supply needs taking into account operation modes

Zhanna Doroshenko[1]✉, Volodymyr Stanislavov[2], Yuriy Bessatyan[3], Sergii Gryshchenko[4], Andrii Kaverin[5]

[1-5]National University "Odesa Polytechnic", 1 Shevchenko Ave., Odesa, 65044, Ukraine

✉ e-mail: [1]dorosh1gan@gmail.com

ORCID: [1]http://orcid.org/0000-0002-8019-7864; [2]https://orcid.org/0009-0002-4512-2725; [3]https://orcid.org/0009-0008-2445-365X; [4]https://orcid.org/0000-0002-0686-1149; [5]https://orcid.org/0009-0002-6762-1808

The work conducted a study of the use of renewable energy sources (heat pumps) in combined heat supply systems in public buildings with variable operating modes both during the day and during the week, namely in shopping and entertainment complexes of residential areas and microdistricts of the city. An analysis of existing systems of scientific and technological solutions for heat supply of buildings with different types of heat consumption and variable operating modes, namely - visits of co-users during the day and week, was conducted. The main heat consumption systems, heating, ventilation, hot water supply, and technological needs and the connection of their operation with the operating modes of the complex as a whole were considered. Dependencies were identified that allow us to outline ways to increase the efficiency of the combined heat supply system with the potential for introducing renewable energy sources depending on internal and external climatic factors, as well as operating modes. For each type of heat load (heating, ventilation, hot water supply, etc.), an analysis of the impact of the number of visitors to the shopping and entertainment center on the total load for each type of consumer was conducted. For the obtained data on heat energy consumption, a study was conducted on the replacement of heat capacity with heat pumps for energy-efficient heat supply, the share of which is from 50 to 80%, depending on external and internal climatic factors. Gas condensing boilers are provided as backup energy sources. Based on the obtained data, a study was conducted on reducing the estimated total capacities of the combined heat supply system by types of heat consumption, taking into account the real operating modes of heat energy systems.

Keywords: *Renewable energy sources; Heat pumps; Heat supply systems; Operating modes of heat supply systems; Gas boilers; Types of heat load.*

References

1. (2006) Energy Saving Strategy in Ukraine: Analytical and Reference Materials in 2 Volumes: General Principles of Energy Saving. T. 1. / Edited by **Zhovtyansky, V.A., Kulyk, M.M., Stognii, B. S.** *Kyiv: Akademperiodika, 510.*

2. **Mykytenko, V.** Energy (2006) Efficiency of the National Economy: Socio-Economic Aspects. *Bulletin of the NAS of Ukraine, 10, 17-26.*

3. **Klymchuk, O.A., Andryushchenko, A.M., Babaiev, E.S. Sergeyev, M.I.** (2002) Conversion of Heat Supply of Urban Areas to Electricity Using Existing Heat Networks. *Materials of the II International Scientific and Practical Conference "Energy-Efficient City. 21st Century", 74-76.*

4. **Klymchuk, O.A., Sergeev, M.I.** (2024) Analysis of operating modes of heat supply systems with heat accumulators in public buildings. *Refrigeration engineering and technology, 60(4), 317-323.*

5. **Klymchuk, O., Pozdnyakova, G.** (2024) Improving the reliability of heat supply systems in the conditions of power outage. *Proceedings of Odesa polytechnic university, 2(70), 48-55.*

6. **Klymchuk, O.A., Babaiev, E.S.** (2025) Analysis of operating modes of heat supply systems for shopping and entertainment complexes. *Refrigeration engineering and technology, 61(1), 83-90.*

7. **Liang, H., Xie, X., Liu, M., Niu, S., Su, H.** (2024) Research on Strategies for Air-Source Heat Pump Load Aggregation to Participate in Multi-Scenario Demand Response. *Energies, 17(11), 2471.*

8. **Mazurenko, A.S., Denisova, A.E., Klymchuk, O.A., Ngo Minh Hieu.** (2013) Installation of a combined system of alternative heat supply of the educational building of ONPU. *Proceedings of the IV International Conference of Masters, Postgraduate Students and Scientists "Project Management in the Conditions of a Transitional Economy". Volume 2. Odesa: ODABA, 92-94.*

9. **Balasanian, G., Klymchuk, O., Babaiev, Y., Semenii, A.** (2022) Improving the Efficiency of Heating Systems of Buildings Due to Intermittent Heating. *Proceedings of EcoComfort 2022, 162-170.*

10. **Mazurenko, A.S., Klymchuk, O.A., Shramenko, O.M., Sychova, O.A.** (2014) Comparative analysis of decentralized heat supply systems for residential buildings using electricity. *Eastern European Journal of Advanced Technologies, 5(8), 21-25.*

11. **Holzman, H.** (1989) Heat pump development in Austria. *Newsletter of the IEA Heat Pump Center, 7, 4.*

12. **Balasanian, H., Klymchuk, O., Luzhanska, G., Aksyonova, I., Voronenko, S.** (2024) Influence of the Building's Thermal Insulation on Intermittent Heating Mode Efficiency. *Management Systems in Production Engineering, 32, 484-488.*

Received 09 November 2025
Approved 28 November 2025
Available in Internet 30 December 2025