

ЕНЕРГЕТИКА ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

УДК 662.987

Аналіз режимів роботи систем теплопостачання для торгівельно-розважальних комплексів

О. А. Климчук^{1✉}, Є. С. Бабаєв²¹⁻²Національний університет «Одеська політехніка», просп. Шевченка, 1, Одеса, 65044, Україна✉ e-mail: ¹klymchuk@op.edu.uaORCID: ¹<http://orcid.org/0000-0002-5207-7259>; ²<https://orcid.org/0000-0001-7388-5979>

Система теплопостачання мікрорайону, або житлового масиву є складною структурою взаємопов'язаних систем теплопостачання будівель різного типу призначення. Взаємозв'язок між будівлями централізованої системи теплопостачання обумовлений режимами роботи будівель різного типу призначення. В роботі проведено аналіз стану систем централізованого теплопостачання житлових масивів із об'єктами житлового комплексу та будівель громадського призначення. Визначено основні типи будівель житлового масиву та особливості теплопостачання різних видів будівель громадського призначення за визначеним класом будівель. На основі аналізу різноманітних методик визначення теплового навантаження різних типів будівель, в тому числі і громадського призначення запропонована математична модель, що ураховує особливості експлуатації будівлі впродовж доби в залежності від типу призначення споруди. Для окремого виду будівлі громадського призначення – торгівельно-розважальний комплекс проведено дослідження роботи санітарно-технічних систем впродовж доби для двох основних режимів експлуатації «будній день» – «вихідний день». В роботі показано особливості теплового навантаження за видами експлуатації систем забезпечення належного стану санітарно-технічних систем, а саме опалення, вентиляція, гаряче водопостачання і загальна сума теплового навантаження впродовж доби в різні періоди експлуатації вказаного об'єкта спостереження. Доведено раціональність роботи відновлювальних джерел енергії на покриття базових вимог теплопостачання за рахунок використання теплових насосів із відбором теплоти від зовнішнього повітря в комбінації із газовим котлом, що покриває надлишки піків теплопостачання при змінних кліматичних чинників. Наведені рекомендації щодо організації роботи систем теплопостачання будівель громадського призначення із урахуванням режимів її експлуатації.

Ключові слова: Відновлювальні джерела енергії; Теплові насоси; Системи теплопостачання; Режими роботи систем теплопостачання

doi: <https://doi.org/10.15673/ret.v61i1.3094>

© 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

Система теплопостачання мікрорайону, або житлового масиву є складною структурою взаємопов'язаних систем теплопостачання будівель різного типу призначення. Взаємозв'язок між будівлями централізованої системи теплопостачання

обумовлений режимами роботи будівель різного типу призначення [1].

Теплопостачання житлового масиву зазвичай включає декілька центральних теплових пунктів. Центральні теплові пункти можуть бути пов'язані між собою за допомогою спеціальних ділянок трубопроводів теплових мереж [2]. При цьому теплові

пункти забезпечують тепловою потужністю як житлові будівлі так і будівлі громадського призначення, які розташовані у межах відповідальності центрального теплового пункту. Кожен такий житловий масив має своє унікальне співвідношення кількості житлових будівель та будівель громадського призначення.

Основним джерелом тепла в сучасних системах теплопостачання є водогрійні котельні, що працюють на природному газі. Невелика частина теплових споживачів отримує тепло від відновлювальних джерел енергії, таких як: геліосистеми, теплові насоси, інше [3].

Найважливішою характеристикою теплових джерел є встановлене та приєднане теплове навантаження. При цьому слід розрізняти типи абонентів за їх режимами споживання теплової енергії як впродовж доби, так і впродовж тижня. Зазвичай для житлових масивів притаманна така класифікація будівель:

- житлові будівлі (багатоповерхові будівлі, коледжі, гуртожитки, приватні житлові будинки);
- адміністративні будівлі (адміністрація різних видів самоврядування, офісні будівлі, проектні інститути, тощо);
- навчальні заклади (дитячі садки, школи, корпуси навчальних закладів різних видів підготовки);
- торговельні комплекси.

Кожен з вказаних типів будівель має власний характерний режим теплоспоживання за різними видами теплового навантаження (опалення, вентиляція, гаряче водопостачання, технологічні потреби) [4]. В залежності від насичення житлового масиву різними видами будівель, загальне теплове навантаження на джерело центрального теплопостачання може змінюватись протягом доби та тижня.

2. Огляд наукових праць, теплозабезпеченню будівель громадського призначення

Як правило, теплопостачання житлового масиву/мікрорайону за рахунок використання відносно невеликої кількості теплових джерел, має значні переваги порівняно з системами, що включають велику кількість малопотужних джерел тепла. Використання невеликої кількості великих теплових джерел дозволяє забезпечити більш ефективне використання палива, підвищити рівень автоматизації теплотехнічних процесів, знизити рівень шкідливих викидів у атмосферу та зменшити кількість

обслуговуючого персоналу. Також централізовані системи теплопостачання мають змогу урахувати дисбаланс теплової потужності будівель різного типу призначення, тим самим зменшити потужність основних генераторів теплоти [5].

Однак, при низькій щільності забудови, використання потужних теплових джерел може призвести до необхідності прокладання надмірно довгих теплових мереж. Це вимагає проведення ретельного аналізу довжини теплових мереж і їх витрат на одиницю потужності, та урахування режимів роботи будівель різного типу призначення.

Будинки громадського призначення, на відміну від житлових будівель мають дуже різноманітний діапазон теплових навантажень [6]. В основному на теплопостачання таких будівель впливає саме характер їх призначення [7]. Кожна із наведених раніше категорій відрізняється співвідношенням часток теплоспоживання за видами теплового навантаження та організаційно-експлуатаційними режимами будівель [8].

Адміністративні будівлі та офісні центри звичайно мають рівномірний графік витрати теплоти на потреби гарячого водопостачання впродовж робочого дня, при цьому відсоток на вказане навантаження відносно малий.

Системи вентиляції працюють лише впродовж робочого дня і, зазвичай, в останні роки оснащені рекуператорами, що дозволяє значно знизити частку теплоти на підігрів зовнішнього повітря. Система опалення працює впродовж доби і її теплова потужність залежить від температури зовнішнього повітря.

Торговельні комплекси у багатьох випадках працюють впродовж тижня та доби, тому нерівномірність спостерігається між видами теплового навантаження в залежності насичення торговельних центрів відвідувачами. Системи вентиляції не завжди вдається оснастити рекуператорами, тому зростає частка теплоти на підігрів зовнішнього повітря. Теплопостачання систем вентиляції залежить від періоду роботи протягом доби та тижня. Чим більше відвідувачів тим витрата повітря зростає, що веде до зростання теплової потужності роботи калориферів систем [9].

Системи гарячого водопостачання можуть мати пік споживання вранці (при використанні баків акумуляторів) та підвищений режим споживання ввечері. Система опалення працює цілодобово з потужністю зворотній кількості відвідувачів за рахунок теплонадходжень від людей. У торгових

комплексах можливо використовувати теплоту конденсації холодильних машин для підігріву приміщень та приготування гарячої води.

Особливістю теплозабезпечення навчальних закладів окрім добової та тижневої нерівномірності ще й суттєва річна нерівномірність, обумовлена літніми канікулами. Добова нерівномірність залежить від графіку навчального процесу та наявності додаткових учбових та культурних заходів [10].

Пік теплового навантаження приходить на опалювальний період на робочі дні з 8.00 до 15.00. При цьому при максимальному заповненні класів та аудиторій можливе часткове зменшення навантаження на опалення внаслідок суттєвих тепловиділень та збільшенні навантаження на системи вентиляції (при їх наявності).

Що стосується житлових будівель, а саме гуртожитків та котеджних селищ робочих районів то в них спостерігається інший графік споживання теплоти. А саме максимальне споживання приходить на вечір та ранок. При цьому впродовж дня споживання зменшується внаслідок переміщення мешканців на роботу.

Для розглянутих вище будівель громадського призначення доцільність використання режиму змінного режиму теплопостачання є незаперечною і очевидною, бо при експлуатації, характерним є здатність цих систем теплозабезпечення до природного перерозподілу та компенсації одних видів теплових потреб іншими, тобто здатність систем теплопостачання до «самобалансування».

Для розглянутих типів будівлі необхідно виконати додаткові теоретичні та експериментальні дослідження щодо визначення раціональних режимів роботи на прикладі однієї із вказаних видів будівель. А саме – торгівельно-розважальний комплекс.

3. Мета та задачі дослідження

Основною метою даного дослідження роботи є визначення режимів роботи різних систем забезпечення кліматом торгівельно-розважального комплексу як впродовж робочої доби так і у вихідний день.

Для вирішення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- на базі існуючих методик розрахунку роботи різних систем забезпечення теплом різних споживачів визначити математичну модель роботи кожного з видів систем теплоспоживання;

- провести дослідження режимів роботи різних видів споживачів теплоти для вказаного комплексу;

- на основі отриманих даних визначити раціональне використання різних джерел теплоти для забезпечення потреб теплопостачання комплексу.

4. Методика проведення досліджень та обробки отриманих даних

Теплові втрати з будівлі у довкілля визначаються процесом теплообміну між повітрям внутрішнім і зовнішнім у формі теплопередачі. В якості розділяючої стінки використовуються будівельні огороження приміщення. Виконання цільової задачі системою опалювання забезпечується компенсацією втраченої теплоти з опалювального приміщення до навколишнього середовища тепловими можливостями систем, тобто підтримка балансу між втратами теплоти з приміщення і прибутком теплоти до приміщення. Рівняння теплового балансу – між прибутком і витратами теплоти – для приміщення має вигляд рівняння [7]:

$$Q_{on} = Q_{opr} + Q_{inf} + Q_{ox} - \sum Q_{mv}, \quad (1)$$

де: Q_{on} – теплота, що подається до приміщення опалювальною системою, кВт; Q_{opr} – тепловтрати теплопередачею через зовнішні огороження, кВт; Q_{inf} – тепловтрати інфільтрацією через надходження в приміщення холодного повітря в наслідок нещільності зовнішніх огорожень, кВт; Q_{ox} – витрата теплоти на підігрів холодних предметів, кВт; $\sum Q_{mv}$ – внутрішні тепловиділення в приміщенні, кВт.

Витрата теплоти на вентиляцію виробничих і комунальних підприємств, а також суспільних будинків і культурних установ складає значну частку сумарного теплоспоживання об'єкта. У виробничих підприємствах витрати теплоти на вентиляцію часто перевищує витрата на опалення [7].

Орієнтований розрахунок витрати теплоти на вентиляцію, Вт, можна проводити за формулою

$$Q_v = m \cdot V_v \cdot C_v \cdot (t_{en} - t_{ns}), \quad (2)$$

де Q_v – витрата теплоти на вентиляцію; m – кратність обміну повітря, 1/с; V_v – вентиляований об'єм будинку, м³; C_v – об'ємна теплоємність повітря, дорівнює 1050 Дж/(м³ К) або 0,3 ккал/(м³ °С); t_{en} – температура нагрітого повітря, що надається у

приміщення, °C; $t_{\text{нв}}$ – температура зовнішнього повітря, °C.

Розрахунок теплового навантаження гарячого водопостачання (ГВП) виконується згідно існуючих норм та правил. Тобто на основі встановлених норм гарячої води на 1 людину за добу, л/люд. (кг/люд) визначаються секундні витрати, які після корегування за умов реальної добової і тижневої нерівномірності. Таке уточнення витрат гарячої води дозволяє надати якісну послугу споживачу – споживач гарантовано отримує гарячу воду встановленої температури ($t_{\text{г.в}} = 55^\circ\text{C}$)

Секундні витрати води л/с, водорозбірною арматурою (приладом), віднесені до одного приладу, слід визначати різними приладами, обслуговуючих різних водоспоживачів, по формулі:

$$q_0 = \frac{\sum_1^i N_i P_i q_{0i}}{\sum_1^i N_i P_i}, \quad (3)$$

де P_i – вірогідність дії санітарно-технічних приладів, яка визначена для кожної групи водоспоживачів; q_{0i} – секундна витрата води (загальна, гаряча, холодна), л/с, водорозбірною арматурою (приладом), прийнята згідно обов'язковому застосуванню для кожної групи водоспоживачів.

У житлових і суспільних будівлях і спорудах, по яких відсутні зведення про витрати води і технічні характеристики санітарно-технічних приладів, допускається приймати:

$$q_0^{\text{tot}} = 0,3 \text{ л/с}; \quad q_0^h = q_0^c = 0,2 \text{ л/с}. \quad (4)$$

Максимальну секундну витрату води на розрахунковій ділянці мережі $q(q^{\text{tot}}, q^h, q^c)$, л/с, слід визначати по формулі

$$q = 5q_0\alpha, \quad (5)$$

де α – коефіцієнт, що визначається згідно рекомендованого додатку в залежності від загальної кількості приладів N на розрахунковій ділянці мережі і вірогідності їхньої дії P .

5. Результати досліджень

Для проведення досліджень було обрано торгівельно-розважальний центр в м. Одеса. За часи експлуатації було визначено середня питома кількість відвідувачів впродовж доби для двох режи-

мів експлуатації: робочий та вихідний день.

Орієнтовний графік відвідуваності (на базі ТРЦ у великих містах)

1) Типові патерни 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%)

2) Вплив на теплові навантаження:

- опалення – змінюється через тепловиділення від людей (чим більше людей, тим менше потрібно тепла від системи).

- вентиляція – збільшення кількості людей підвищує теплові навантаження через підвищену потребу в повітрообміні.

- ГВП – більше відвідувачів = більше використання води, особливо в туалетах і фуд-корті.

3) Вихідні дані для моделювання режимів роботи систем

Об'єкт розрахунку: Торгівельно-розважальний центр загальною площею 2920 м²;

Загальна кількість приміщень: 72 шт;

Призначення приміщень:

Магазини – 18 приміщень, загальна кількість відвідувачів 30 чол;

Кінозали – 6 приміщень, загальна кількість відвідувачів 120 чол;

Зона прийому їжі – 1 приміщення, загальна кількість відвідувачів 200 чол;

Зони приготування їжі – 8 фудкортів;

Санвузли – 12 приміщень;

Зони для миття рук – 3 зони;

Робочі кабінети – 12 кабінетів, загальна кількість відвідувачів по 8 чол в кожному;

Технічні та допоміжні приміщення – 10 приміщень;

Загальна кількість людей:

$$N_{\text{макс}} = 18 \cdot 30 + 6 \cdot 120 + 200 + 8 \cdot 4 + 12 \cdot 8 = 1588 \text{ чол.}$$

Розрахункові зовнішні та внутрішні температурні параметри для підбору системи опалення:

Температура зовнішнього повітря: -18 °C

Санвузли: +22 °C;

Зали торгівлі, кінозали, фудкорти, кабінети: +20 °C;

Технічні приміщення: +18 °C.

Теплові навантаження на будівлі:

- Опалення: $Q_{\text{оп.макс}} = 137 \text{ кВт}$

- Вентиляція: $Q_{\text{вент.макс}} = 275 \text{ кВт}$

- ГВП: $Q_{\text{о.п.макс}} = 200 \text{ кВт}$

Джерела теплопостачання:

Газові напольні котли тепловою потужністю 96 кВт – 3 шт

Тепловий насос повітря-вода потужністю 120 кВт – 1 шт

Тепловиділення від людей: $q_{\text{люд}} = 0,12 \text{ кВт/людина}$

Відсоткове навантаження систем і відвідування ТРЦ в залежності від часу доби (табл.1,2).

Таблиця 1 – Режими роботи санітарно-технічних систем впродовж робочої доби

Час доби	Люди (%)	Опалення (%)	Вентиляція (%)	ГВП (%)	Загальне навантаження (%)
Ранок (10-12)	30%	58%	30%	30%	52%
День (12-17)	50%	30%	50%	50%	65%
Вечір (17-21)	90%	0%	90%	90%	100%
Ніч (21-10)	10%	86%	10%	10%	39%

Таблиця 2 – Режими роботи санітарно-технічних систем впродовж вихідного дня

Час доби	Люди (%)	Опалення (%)	Вентиляція (%)	ГВП (%)	Загальне навантаження (%)
Ранок (10-12)	40%	44%	40%	40%	59%
День (12-17)	80%	0%	80%	80%	89%
Вечір (17-21)	90%	0%	90%	90%	100%
Ніч (21-10)	10%	86%	10%	10%	39%

На основі представленої методики для торгівельно-розважального комплексу було проведено дослідження режимів роботи різних санітарно-технічних систем як для робочого дня так і для вихідного дня (рис. 1, 2).

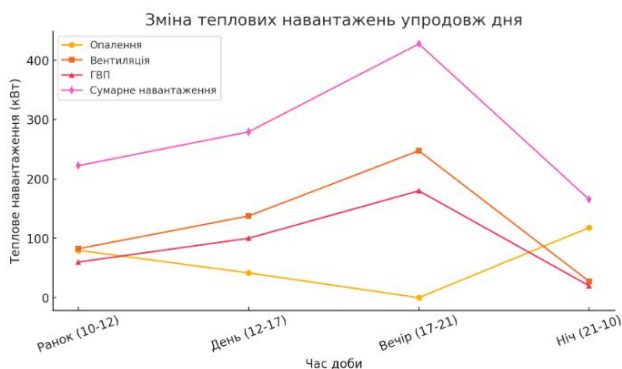


Рисунок 1 – Зміна теплового навантаження впродовж робочої доби торгівельно-розважальним комплексом систем опалення, вентиляції, ГВП.

Як видно із графіків теплового навантаження різними видами інженерних систем забезпечення життєдіяльності обраної будівлі пік сумарного теплового навантаження припадає на вечірні часи. Зменшення піку загального теплового наванта-

ження можна досягти застосуванням акумуляторів теплоти у нічний час та бойлерів для приготування гарячої води також у нічні часи.

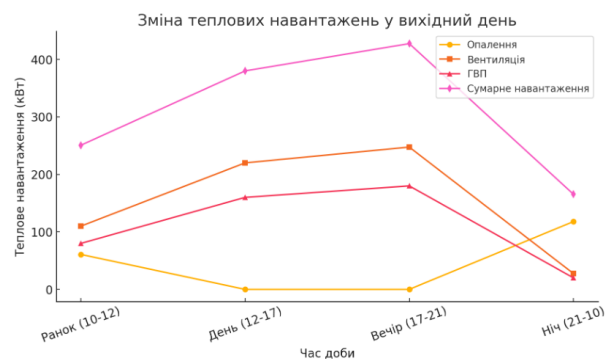


Рисунок 2 – Зміна теплового навантаження впродовж вихідного дня торгівельно-розважальним комплексом систем опалення, вентиляції, ГВП

За результатами моделювання режимів роботи санітарно-технічних систем торговельно-розважального комплексу було побудовано графік споживання електричної енергії базовим джерелом теплоти – тепловим насосом та споживання газу котлом для покриття пікових навантажень теплогенерації різних видів теплового споживання (опалення, вентиляція, гаряче водопостачання), (рис 3, 4).

Таблиця 3 – Режими роботи джерел теплопостачання торгівельно-розважального комплексу в будній день та вихідний день

Підсумкові таблиці

Будній день

Час доби	Загальне навантаження (кВт)	Тепло від теплового насоса (кВт)	Споживання електроенергії (кВт·год)	Потреба в додатковому теплі (кВт)	Споживання газу (м³)
Ранок (10-12)	222.3	120	40	102.3	14.21
День (12-17)	279.2	120	40	159.2	22.11
Вечір (17-21)	427.5	120	40	307.5	42.71
Ніч (21-10)	165.4	120	40	45.4	6.31

Вихідний день

Час доби	Загальне навантаження (кВт)	Тепло від теплового насоса (кВт)	Споживання електроенергії (кВт·год)	Потреба в додатковому теплі (кВт)	Споживання газу (м³)
Ранок (10-12)	250.8	120	40	130.8	18.17
День (12-17)	380.0	120	40	260.0	36.11
Вечір (17-21)	427.5	120	40	307.5	42.71
Ніч (21-10)	165.4	120	40	45.4	6.31



Рисунок 3 – Діаграма споживання газу котлами протягом буднього/вихідного днів торгівельно-розважального комплексу

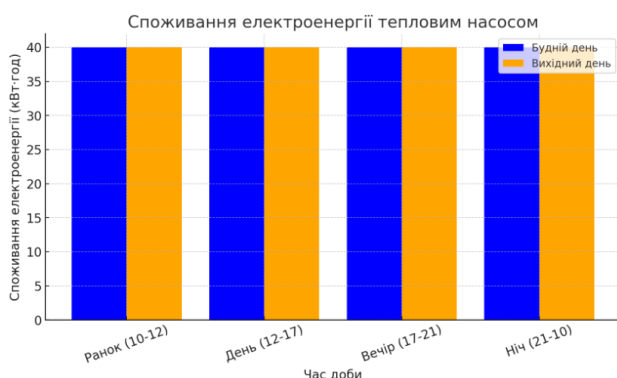


Рисунок 4 – Діаграма споживання електроенергії тепловим насосом буднього/вихідного днів торгівельно-розважального комплексу

Результати досліджень дають змогу проаналізувати графіки роботи теплопостачання систем за-

безпечення життєдіяльності центру, а саме впродовж буднього та вихідного дня та скласти графік роботи вказаних систем, який засновано на прогнозі кількості відвідувачів торгівельно-розважального комплексу. Щодо джерел теплопостачання то слід відмітити наступне:

- тепловий насос працює на максимум у всі періоди. Оскільки його теплова потужність 120 кВт, а COP 3,0, він завжди споживає 40 кВт·год електроенергії щогодини.

- газові котли вмикаються тільки при перевищенні навантаження 120 кВт. Вранці та вночі котли працюють на мінімальному рівні ($\approx 6-18 \text{ м}^3$ газу). Увечері (17-21) споживання газу максимальне (42.71 м^3), оскільки це піковий період. У вихідний день газу витрачається більше вдень ($36,1 \text{ м}^3$) у порівнянні з буднім днем ($22,1 \text{ м}^3$), через більший потік відвідувачів.

Загальна картина енергоспоживання

- Будній день: газові котли працюють активніше у вечірній період.

- Вихідний день: більше газу витрачається у денний час через підвищене навантаження.

- Нічні години (21.00-10.00) – період мінімального навантаження для обох днів, коли енергоспоживання найнижче.

6. Висновки

В роботі проведено аналіз режимів експлуатації будівлі громадського призначення, а саме торгівельно-розважального комплексу протягом доби в будній день та вихідний день.

На основі аналізу літературних джерел обрано методику визначення теплових навантажень за видами споживання теплової енергії.

Для вказаних визначних періодів роботи торгівельно-розважального комплексу (будній день/вихідний день) на основі обраної математичної моделі проведено дослідження графіку споживання теплоти різними санітарно-технічними системами (опалення, вентиляція, гаряче водопостачання).

Результати моделювання роботи санітарно-технічних систем протягом доби дають можливість аналізу потенціалу зниження теплового навантаження у піки споживання за рахунок накопичення теплової енергії у неробочі часи, або часи провалу навантажень в акумуляторах різного типу.

Раціональне розподілення навантажень серед основних джерел тепла (теплового насосу) та резервного/дублюючого джерела теплоти (газового

котлу) сприяє підвищенню енергоефективності систем теплопостачання будівлі та зменшення впливу на екологічний стан навколишнього середовища.

Особистий внесок авторів CRediT

Климчук О.А.: Аналіз літературних джерел, постановка задач, формулювання математичної моделі. **Бабасєв Є.С.:** Проведення дослідження ефективності роботи систем теплопостачання, аналіз результатів моделювання

Література

1. Стратегія енергозбереження в Україні: Аналітично-довідкові матеріали в 2-х томах: Загальні засади енергозбереження / За ред. **В.А. Жовтянського, М.М. Кулика, Б.С. Стогнія**. – К: Академперіодика, 2006. – Т. 1. – 510 с.
2. **Климчук О.А., Андрющенко А.М., Бабасєв Є.С. Сергєєв М.І.** Переведення теплопостачання районів міст на електроенергію з використанням існуючих теплових мереж // Матеріали II міжнародної науково-практичної конференції «Енергоефективне місто. XXI століття». – Одеса, 2022. – С. 74-76.
3. **Мазуренко А.С., Денисова А.Є., Климчук О.А., Комаров Ю.О.** Дослідження та аналіз режимів акумулювання в комбінованих системах енергопостачання з використанням відновлювальних ресурсів енергії // Науково-дослідний звіт (ОНПУ). УкрІНТЕІ. Деп. 04.01.2017 р. № д/р 0115U000412. 154
4. **Микитенко В.** Енергоефективність національної економіки: соціально-економічні аспекти // Вісник НАН України. – 2006. – №10. – С. 17-26.

5. **Дарчук В.А., Жовтянський В.А., Праховник А.В.** Управління енерговикористанням: проблеми, шляхи реалізації // Матеріали Міжнар. конф. “Енергетична безпека Європи. Погляд в XXI століття”. – Київ: УЕЗ, 2001. – С. 169-177.
6. **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». – ОДАБА, Одеса, 2013. – Том 2. – С. 92-94.
7. **Balasanian G., Klymchuk O., Babaiev Y., Semenii A.** Improving the Efficiency of Heating Systems of Buildings Due to Intermittent Heating // Lecture Notes in Civil Engineering. – 2023. – Vol. 290 LNCE. – P. 162-170.
8. **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.
9. **Титар С.С., Климчук О.А., Молчанський Б.Є.** Теплопостачання та кондиціонування громадських будинків з використанням поновлювальних джерел енергії // Науковий журнал «Вісник Вінницького політехнічного інституту». – Вінниця 2011. – Вип. 5. – С.64-69.
10. **Chwieduk D.** Solar assisted heat pumps in comprehensive renewable energy // Comprehensive renewable energy. – 2012. – Vol. 3. – P. 495-528.
11. **Holzman H.** Heat pump development in Austria // Newsletter of the IEA Heat Pump Center. – 1989. – Vol.7. – № 4.

Отримана в редакції 03.02.2025, прийнята до друку 04.03.2025

Analysis of operating modes of heat supply systems for shopping and entertainment complexes

Oleksandr Klymchuk^{1✉}, Yevhen Babaiev²

¹⁻²National University "Odesa Polytechnic", 1 Shevchenko Ave., Odesa, 65044, Ukraine

✉ e-mail: ¹klymchuk@op.edu.ua

ORCID: ¹<http://orcid.org/0000-0002-5207-7259>; ²<https://orcid.org/0000-0001-7388-5979>

The heat supply system of a microdistrict or residential area is a complex structure of interconnected heat supply systems of buildings of different types of purpose. The relationship between buildings of a centralized heat supply system is determined by the operating modes of buildings of different types of purpose. The paper analyzes the state of centralized heat supply systems of residential areas with objects of a resi-

dential complex and public buildings. The main types of buildings of a residential area and the features of heat supply of different types of public buildings for a certain class of buildings are determined. Based on the analysis of various methods for determining the heat load of different types of buildings, including public buildings, a mathematical model is proposed that takes into account the features of the operation of a building during the day depending on the type of purpose of the structure. For a separate type of public building – a shopping and entertainment complex, a study of the operation of sanitary and technical systems during the day for two main operating modes "weekday" – "weekend". The paper shows the features of the heat load by types of operation of systems for ensuring the proper condition of sanitary and technical systems, namely heating, ventilation, hot water supply and the total amount of heat load during the day in different periods of operation of the specified observation object. The rationality of the operation of renewable energy sources to cover the basic requirements of heat supply through the use of heat pumps with heat extraction from the outside air in combination with a gas boiler covering the excess peaks of heat supply under variable climatic factors is proven. Recommendations are given for the organization of the operation of heat supply systems of public buildings taking into account the modes of its operation.

Keywords: Renewable energy sources; Heat pumps; Heat supply systems; Operating modes of heat supply systems

References

1. (2006) Energy Saving Strategy in Ukraine: Analytical and Reference Materials in 2 Volumes: General Principles of Energy Saving. Edited by **Zhovtyanskyi, V.A., Kulyk, M.M., Stognii, B.S.** Kyiv: *Akademperiodyka*, 1, 510.
2. **Klymchuk, O.A., Andryushchenko, A.M., Babaiev, Ye.S. Serheiev, M.I.** (2022) Conversion of heat supply of urban areas to electricity using existing heating networks. *Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference "Energy-efficient city. XXI century"*, 74-76.
3. **Mazurenko, A.S., Denysova, A.E., Klymchuk, O.A., Komarov, Yu.O.** (2017) Research and analysis of storage modes in combined power supply systems using renewable energy resources. *Research report (ONPU). UkrINTEI. Dep. 04.01.2017. No. d/r 0115U 000412. 154*
4. **Mykytenko, V.** (2006) Energy efficiency of the national economy: socio-economic aspects. *Bulletin of the NAS of Ukraine*, 10, 17-26.
5. **Darchuk, V.A., Zhovtyanskyi, V.A., Prakhovnyk, A.V.** (2001) Energy use management: problems, ways of implementation. *Proceedings of the International Conference "Energy Security of Europe. A Look into the 21st Century"*, Kyiv: UEZ, 169-177.
6. **Mazurenko, A.S., Denysova, A.E., Klymchuk, O.A., Ngo Minh Hieu** (2013). Installation of a combined system of alternative heat supply of the ONPU educational building. *Proceedings of the IV International Conference of Masters, Postgraduate Students and Scientists "Project Management in the Conditions of a Transitional Economy"*, ODABA, Odesa, 2, 92-94.
7. **Balasanian, G., Klymchuk, O., Babaiev, Y., Semenii, A.** (2023) Improving the Efficiency of Heating Systems of Buildings Due to Intermittent Heating. *Lecture Notes in Civil Engineering*, 290 LNCE, 162-170.
8. **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.
9. **Tytar, S.S., Klymchuk, O.A., Molchansky, B.E.** (2011) Heat supply and air conditioning of public buildings using renewable energy sources. *Scientific journal "Bulletin of Vinnytsia Polytechnic Institute"*, 5, 64-69.
10. **Chwieduk, D.** (2012) Solar assisted heat pumps in comprehensive renewable energy. *Comprehensive renewable energy*, 3, 495-528.
11. **Holzman, H.** (1989) Heat pump development in Austria. *Newsletter of the IEA Heat Pump Center*, 7, 4.

Received 03 February 2025

Approved 04 March 2025

Available in Internet 31 March 2025