

ЕНЕРГЕТИКА ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

УДК 662.987

Аналіз режимів роботи систем теплозабезпечення з акумуляторами теплоти в будівлях громадського призначення**О. А. Климчук^{1✉}, М. І. Сергєєв²**¹⁻²Національний 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/0000-0002-3679-3888>

Сучасний стан енергетики України потребує модернізації системи розподілення енергоносіїв. В роботі проведено аналіз існуючого стану систем комунальної теплоенергетики. Показано необхідність застосування акумуляторів теплоти в системах теплопостачання із використанням в якості основного енергетичного джерела централізовані системи електропостачання. Вказані рішення дозволяють вирівняти графіки генерації електроенергії впродовж доби та зменшити споживання природного палива. Показано, що найбільш раціонально впроваджувати в системи теплопостачання акумулятори теплоти для будівель громадського призначення, в яких можливо організовувати двоперіодний режим теплопостачання. Показано основні функціональні призначення акумуляторів в системах теплопостачання при різних режимах роботи генераторів теплоти та споживачів. Проведено аналіз режимів роботи різних видів споживачів теплоти. Для будівлі громадського призначення проведено дослідження роботи акумулятора теплоти із рідинним акумулюючим середовищем для різних джерел теплоти при змінних кліматичних умовах. Для однакових умов проведено дослідження ефективності використання акумуляторів теплоти для накопичення теплової енергії в нічний період доби, із подальшою віддачею споживачам системи теплопостачання для різних типів генераторів теплоти. Проведено аналіз потенціалу акумулювання від різних джерел енергії за рахунок перетворення електроенергії у теплову. При аналізі потенціалу враховувалась можливість акумуляції теплоти при максимальній температурі джерела теплоти та температурі зовнішнього повітря, що впливає на теплову потужність системи теплопостачання. Показано ефективність використання акумуляторів теплоти при різних кліматичних зонах зовнішнього повітря. На основі отриманих даних дослідження показано ефективні температурні зони застосування акумуляторів теплоти.

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

doi: <https://doi.org/10.15673/ret.v60i4.3075>

© The Author(s) 2024. 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**

Сучасний стан енергетики України потребує модернізації системи розподілення енергоносіїв [1]. В тому числі доволі суттєвим питанням є вирівнювання графіку споживання електроенергії. Вказане пов'язано із доволі великим відсотком ге-

нерації електроенергії атомними електричними станціями, які мають доволі вузький діапазон регулювання потужності і покривають зазвичай базове навантаження енергосистеми [2].

Одним із напрямків вирішення вказаного питання є використання в системах комунального теплопостачання джерел теплоти на базі електрое-

енергії із акумулюванням теплової енергії в нічний період часу. Насамперед мова йдеться про будівлі громадського призначення, які в нічний період не працюють в робочому режимі та здатні переходити на черговий режим опалення, при цьому потужність систем гарячого водопостачання, вентиляції та інших технологічних споживачів теплоти практично дорівнює нулю. Вказане дозволяє використовувати резерв теплової потужності джерела для накопичення теплової енергії практично на добу.

При цьому для ефективної акумуляції теплоти протягом нічного періоду для покриття добових потреб теплопостачання житлових будинків, необхідно передбачити джерело генерації енергії більшої потужності (~у 4 рази більше) ніж без акумулятора. Вказане обумовлено необхідністю роботи систем опалення в нічний період часу у штатному режимі. В той же час для будівель громадського призначення з можливістю організації двоперіодного режиму опалення необхідна потужність джерела енергії лише ~ у 2,5 рази більше від розрахункової [3].

Вказані показники збільшення теплової потужності генераторів теплоти за умов акумулювання представлені для розрахункової температури зовнішнього повітря для систем опалення самої холодної п'ятиденки. При температурах більших, ніж розрахункова температура, надлишкова потужність джерела теплоти звичайно менша.

Окрім вказаного також слід зазначити економічну складову вказаних систем при можливості використання дво або трьох тарифних цін на електроенергію, з умовою використання для систем опалення основним джерелом електроенергію.

2. Огляд наукових праць, використанню акумуляторів теплоти в системах теплопостачання

Застосуванню акумуляторів теплоти в системах теплопостачання присвячено низку наукових праць [4-6]. При цьому акумулятори, що застосовуються, можуть виконувати доволі багато функцій:

- узгодження режимів генерації та споживання теплоти;
- узгодження роботи різних джерел теплоти;
- виконання ролі буферної ємності для роботи теплових насосів;
- розподілення теплоносіїв для споживачів різних температурних рівнів;

- накопичення теплоти за визначний період (доба, сезон, тощо);
- інше.

При цьому необхідно враховувати кліматичні чинники та режими експлуатації системи теплопостачання будівлею, а також технічні умови підключення будівель до електричних мереж [7].

Наведені особливості вказують на необхідність раціонального підходу до вибору об'єму теплового акумулятора систем теплопостачання, який залежить від температури зовнішнього повітря [8]:

– при виборі максимального об'єму акумулятора (для мінімальної розрахункової температури зовнішнього повітря за параметрами Б, холодна п'ятиденка) можна повністю забезпечити потреби в теплоті впродовж нічного періоду, але капітальні витрати будуть невиправданими, бо у період, коли температура зовнішнього повітря вище розрахункової, надмірні теплові втрати акумулятора (негативний ефект) зведуть нанівець корисний ефект;

– при виборі об'єму акумулятора (для розрахункової температури зовнішнього повітря за параметрами А, холодні тридцять діб) хоча потреби в теплоті можна забезпечити не повністю впродовж нічного періоду, але капітальні витрати суттєво зменшуються. Коли температура зовнішнього повітря нижче вказаних параметрів, дефіцит потужності можна компенсувати за рахунок денних провалів електричного навантаження та зменшення теплових втрат акумулятором. Крім того, додатковий корисний ефект полягає в тому, що зменшується максимальна електрична потужність в період зарядки акумулятора.

Цікавими є рішення використовувати акумулювання тепла в нічний період за пільговим тарифом на електроенергію від теплового насоса [9]. В такій системі є певні переваги – менше споживання електроенергії на відміну від електродогріва, однак суттєвим недоліком є обмеження температури в подавальній магістралі для більшості теплових насосів, що зменшує акумуляційну здатність теплоакumuлюючого матеріалу.

Серед споживачів також спостерігається нерівномірність роботи впродовж року та доби. Так система гарячого водопостачання відрізняється нерівномірністю теплового навантаження впродовж доби з характерними піками вранці та ввечері. Якщо це навантаження накласти на графік добового споживання теплоти, стає очевидною необхідність підвищення максимальної потужності джерела тепла. Для запобігання зростання розрахун-

кової потужності джерела теплоти зазвичай встановлюють водонагрівачі-акумулятори. Ця обставина вирівнює теплове навантаження на потреби гарячого водопостачання впродовж доби [10].

Система опалення змінює навантаження впродовж року. При цьому впродовж доби суттєві коливання спостерігаються лише при використанні двоперіодного режиму обігріву приміщень. Окремо треба сказати про використання системи «тепла підлога» у значних масштабах обігріву приміщень. В таких випадках гідравлічний режим системи опалення не співпадає з гідравлічним режимом джерела тепла (різні перепади температур, внаслідок різні витрати). Для узгодження режимів роботи необхідно встановлювати акумулятор, що виконує роль буферної ємності.

Теплопостачання системи вентиляції залежить від температури зовнішнього повітря та режиму експлуатації будівлі, тому можливе коливання теплового навантаження впродовж як року, так і доби. Узгодження роботи систем вентиляції та джерела тепла можливе за рахунок модуляції системи теплопостачання.

Враховуючи наведені обставини, можна зробити висновок, що для узгодження роботи системи теплопостачання та споживачів рекомендовано встановлення акумуляторів тепла або буферних ємностей. Також виходячи із техніко-економічних обставин, рекомендовано використовувати комбіновані системи теплопостачання з використанням відновлювальних джерел тепла [11].

На відміну від котлів, тепловий насос (одноступеневий) має температуру в подавальній магістралі не більше +55 °C, однак різниця між подавальною та зворотною магістраллю не перебільшує зазвичай 10 °C (а може бути й меншою). В такому випадку відбувається узгодження не тільки температурних режимів у системі «генератор-споживач», але й гідравлічних режимів та режиму відтаювання зовнішнього блоку.

Наведені дані дають змогу поставити завдання визначення раціонального об'єму акумуляторів теплоти для потреб системи теплопостачання будівель громадського призначення із урахуванням режимів експлуатації та кліматичних чинників [12].

3. Мета та задачі дослідження

Основною метою даного дослідження є визначення основних характеристик акумуляторів теплоти при роботі в комбінованих системах тепло-

постачання з накопиченням теплової енергії впродовж нічного періоду та режимів роботи їх в системах теплопостачання.

Для вирішення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- на базі існуючих досліджень обрати математичну модель роботи акумуляторів теплоти;
- провести дослідження режимів роботи акумуляторів теплоти з урахуванням кліматичних чинників для джерел теплоти від електроенергії;
- на основі отриманих даних визначити раціональні об'єми акумуляторів теплоти для будинків громадського призначення.

4. Методика проведення досліджень та обробки отриманих даних

Приймаємо, що у довільний момент часу t температура теплоносія буде постійною по всьому об'єму акумулятора теплоти (АК).

Тепловий баланс рідинного акумулятора в загальному вигляді:

$$Q_{\text{nidv}} - Q_{\text{vidv}} = Q_{\text{ak}} \quad (1)$$

де Q_{nidv} – підведена теплота, Дж; Q_{vidv} – відведена теплота, Дж; Q_{ak} – акумульована теплота, Дж.

Рівняння теплового балансу рідинного акумулятора [13]:

$$V_a \cdot C_p \cdot \rho_a \cdot \left(\frac{dT_a(t)}{dt} \right) = Q_{\text{ex}}(t) - Q_{\text{vux}}(t) - Q_n(t), \quad (2)$$

де $Q_{\text{ex}}(t)$, $Q_{\text{vux}}(t)$ – відповідно, тепловий потік на вході та виході акумулятора теплоти, Вт; $Q_n(t)$ – втрати теплоти у навколишнє середовище, Вт.

Згідно першому закону термодинаміки для підведеної і відведеної енергії відкритої системи, основне рівняння акумулювання енергії в диференціальній формі має вигляд:

$$\begin{aligned} & \left(u + pv + gH + \frac{c^2}{2} \right)_{\text{nidv}} \cdot dm_{\text{nidv}} + dQ - \\ & - \left(u + pv + gH + \frac{c^2}{2} \right)_{\text{vidv}} \cdot dm_{\text{vidv}} - dW = \\ & = d \left(u + gH + \frac{c^2}{2} \right)_{\text{ak}} \cdot dm_{\text{ak}}. \end{aligned} \quad (3)$$

де m_{ak} – маса робочого середовища, кг; u – внутрішня енергія, Дж/кг; p – тиск, Па; v – питомий

об'єм, $\text{м}^3/\text{кг}$; g – прискорення сили тяжіння, $\text{м}/\text{с}^2$; H – висота, м ; gH – питома потенційна енергія, $\text{Дж}/\text{кг}$; c – швидкість течії, $\text{м}/\text{с}$; $c^2/2$ – питома кінетична енергія, $\text{Дж}/\text{кг}$; dQ – підведена до системи теплота, Дж ; dW – робота системи, Дж .

До акумулювання теплоти відноситься випадок: зміна питомої внутрішньої енергії. Якщо питома внутрішня енергія робочої рідини АК вища за довкілля, справедливим є випадок: зміна питомої потенційної енергії.

Накопичення кінетичної і потенційної енергії не відбувається, якщо, члени рівняння, які характеризують кінетичну і потенційну енергію підводу і відводу дуже малі:

$$dW = p_{ак} dV_{ак} \quad (4)$$

тоді рівняння акумулювання енергії в диференціальній формі набуває вигляду:

$$(u + pv)_{вх} dm_{вх} + dQ - (u + pv)_{вих} dm_{вих} = d(u)_{ак} + p_{ак} dV_{ак} \quad (5)$$

де $V_{ак}$ – об'єм рідинного АК, м^3 ; $p_{ак}$ – тиск рідини АК, Па .

Використовуючи поняття ентальпії:

$$h = u + pv \quad (6)$$

одержуємо рівняння енергобалансу АК:

$$h_{вх} dm_{вх} + dQ - h_{вих} dm_{вих} = d(h)_{ак} + p_{ак} dV_{ак} \quad (7)$$

Теплові втрати акумулятора теплоти в довкілля становлять [14]:

$$Q_n(t) = k_{ак} \cdot V^{2/3} \cdot \Phi \cdot [T_s(t) - T_{нс}] \quad (8)$$

Рідинні теплові акумулятори теплоти застосовуються також підвищити ефективності роботи системи переривчастого теплопостачання, особливо при використанні нічного тарифу на електроенергію для зарядки акумулятора.

5. Результати досліджень

Для будинку громадського призначення із умовною розрахунковою потужністю систем теплопостачання 100 кВт було проведено моделювання

роботи існуючої системи теплопостачання із використанням акумуляторів теплоти із урахуванням кліматичних чинників та якісного регулювання потужності систем теплопостачання (рис 1). При цьому для дослідження обрано два генератора теплоти: електричний котел (максимальна температура в подавальній магістралі 80 °С) та тепловий насос (максимальна температура в подавальній магістралі 55 °С).

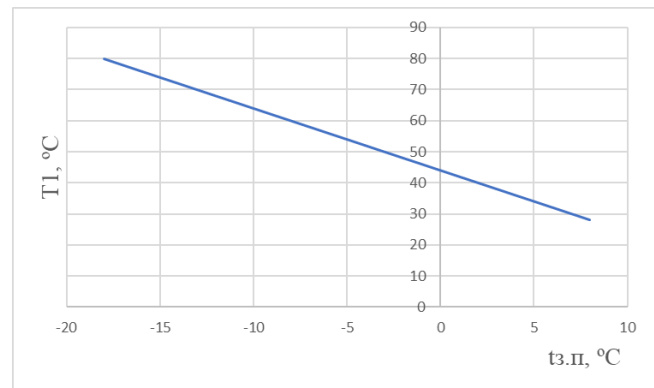


Рисунок 1 – Графік зміни температури в подавальній магістралі T_1 в залежності від температури зовнішнього повітря $t_{з.п.}$

Як видно із графіку якісного регулювання теплового навантаження за рахунок зміни теплоносія в подавальній магістралі в залежності від кліматичних чинників, мінімальна температура зовнішнього повітря для можливості роботи теплового насоса не перевищує «-5 °С».

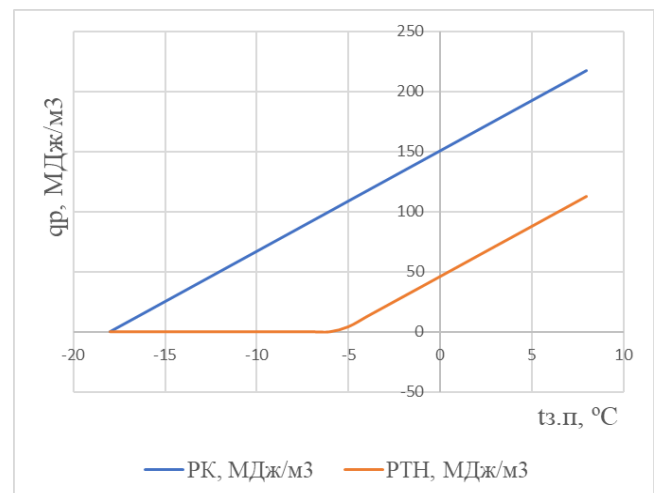


Рисунок 2 – Графік зміни питомого акумуляційного потенціалу від температури зовнішнього повітря $t_{з.п.}$ для котла (ПК) та теплового насоса (РТН)

Враховуючи отримані дані проведено аналіз потенціалу акумулювання від різних джерел енергії за рахунок перетворення електроенергії (рис.2).

При аналізі потенціалу враховувалась можливість акумуляції теплоти при максимальній температурі джерела теплоти та температурі зовнішнього повітря, що впливає на теплову потужність системи тепlopостачання.

Графічні дані показують яку кількість теплоти може акумулювати 1 м^3 рідини при різних теплових навантаженнях на системи тепlopостачання при змінні кліматичних чинників. Як видно для теплового насосу можливість акумуляції починається при температурі зовнішнього середовища вище «-5 °C». При цьому більш низька температура в подавальній магістралі в тепловому насосі робить значно меншим потенціал накопичення теплоти в акумуляторі.

Дані потенціалу накопичення теплоти в нічний період часу для двох типів джерел дозволяє оцінити об'єм акумулятора для забезпечення 100% навантаження у денну пору року при різних температурах навколишнього середовища (рис. 3).

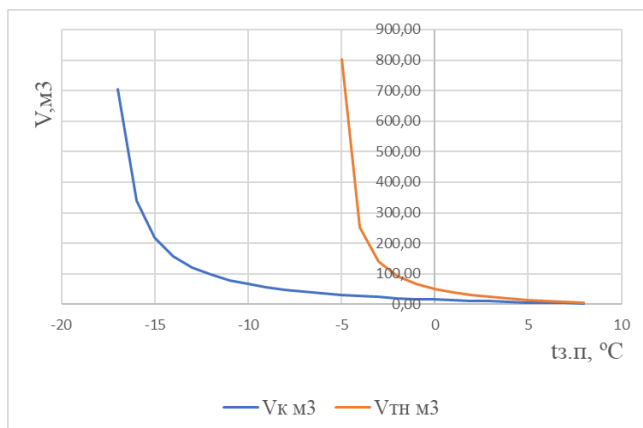


Рисунок 3 – Графік зміни необхідного об'єму акумулятора від температури зовнішнього повітря $t_{з.п.}$ для котла (V_K) та теплового насосу (V_{TH}).

Данні дослідження показують доволі різкий ріст об'єму акумулятора при наближенні до максимальної температури роботи джерела теплоти. При цьому об'єм акумулятора теплоти для теплового насоса значно перевищує акумулятор для котла.

Постає питання ефективного використання 1 м^3 акумулюючого середовища впродовж опалювального періоду враховуючі данні кліматології (рис.4).

Як видно з графіку найбільшою ефективністю використання акумулюючого матеріалу для потреб тепlopостачання громадського будинку є температурний діапазон зовнішнього повітря для котла, починаючи з температури зовнішнього повітря «-5» °C. Для теплового насоса зона ефективного використання акумулюючого матеріалу, починаю-

чи з температури зовнішнього повітря «0» °C.

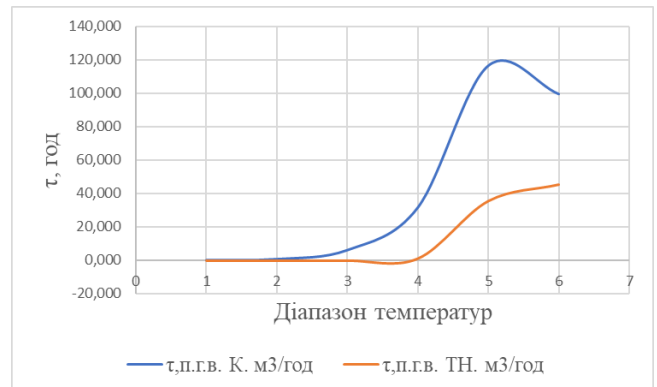


Рисунок 4 – Залежність годин використання 1 м^3 акумулятора теплоти, для котла ($\tau, \text{п.г.в.К}$) та теплового насоса ($\tau, \text{п.г.в.ТН}$) для різних температурних діапазонів зовнішнього повітря: 1 – «-18...-15» °C; 2 – «-15...-10» °C; 3 – «-10...-5» °C; 4 – «-5...0» °C; 5 – «0...+5» °C; 6 – «+5...8» °C

6. Висновки

Відповідно до поставлених задач дослідження в роботі отримано наступні результати:

- проведено аналіз існуючих результатів дослідження та обрано математичну модель опису процесу акумуляції для систем тепlopостачання;
- для обраного об'єкту громадського призначення проведено дослідження ефективності режимів роботи акумуляторів теплоти від різних джерел теплоти при змінних кліматичних чинників;
- на основі отриманих даних дослідження показано ефективні температурні зони застосування акумуляторів теплоти. Так для котла мінімальна температура зовнішнього повітря для розрахунку об'єму акумулятора теплоти складає «-5» °C. Для теплового насоса мінімальна температура зовнішнього повітря для розрахунку об'єму акумулятора теплоти складає «0» °C.

Особистий внесок авторів CRediT

Климчук О.А.: аналіз математичної моделі роботи сонячних колекторів. **Сергєєв М.І.:** проведення дослідження ефективності роботи акумуляторів теплоти, аналіз результатів моделювання

Література

1. Стратегія енергозбереження в Україні: Аналітично-довідкові матеріали в 2-х томах: Загальні засади енергозбереження / За ред. **В.А. Жовтян-**

- ського, М.М. Кулика, Б.С. Стогнія. – К: Академперіодика, 2006. – Т. 1. – 510 с.
2. Енергетична стратегія України на період до 2035 року. Біла книга енергетичної політики України «Безпека та конкурентоспроможність». – Київ, 2015. – 49 с.
 3. Титар С.С., Климчук О.А., Шраменко О.М. Застосування акумуляторів тепла на основі твердих матеріалів в системах теплопостачання з використанням електроенергії // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2012. – №4. – С. 112-114.
 4. Mazurenko A.S., Denysova A.S. Installation of potable water supply and heat supply at base of subsoil waters // Proceedings of the World Renewable Energy Congress'14 "WREC XIV" University Politechnica of Bucharest-Romania, June 8-12, 2015. – P. 235-245.
 5. Denysova A.E., Bodnar I.A., Denysova A.S. Heat pump using subsoil waters as low temperature heat source // Problemele energeticii regionale. – 2015. – No. 2(28). – P.69-76.
 6. Mazurenko A., Denysova A., Balasanian G., Klymchuk A., Borisenko K. Improving the efficiency of operation mode heat pump hot water system with two-stage heat accumulation // Eastern-european journal of enterprise technologies. –2017. – Vol. 1/8. – P. 27-34.
 7. Корінчевська Т.В. Перспективні методи акумулювання теплової енергії // Наукові праці ОНАХТ. – Одеса, 2010. – Вип.37. – С.236-241.
 8. Корінчевська Т.В., Снєжкін Ю.Ф., Михайлик В.А. Техніко-економічні показники електронагрівальних теплових акумуляторів // Наукові праці ОНАХТ. – Одеса, 2014. – Вип. 45, Т.3. – С.191-193.
 9. Шраменко О.М. Удосконалення конструкції та режимів роботи акумуляторів теплоти на основі твердих матеріалів // Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. – 2016. – 149 с.
 10. Климчук О.А., Андрущенко А.М., Бабаєв Є.С. Сергєєв М.І. Переведення теплопостачання районів міст на електроенергію з використанням існуючих теплових мереж // Матеріали II міжнародної науково-практичної конференції «Енерго-ефективне місто. XXI століття». – Одеса, 2022. – С. 74-76.
 11. Freeman T., Mitchell W., Audit T. Performance of combined solar heat-pump systems // Solar energy. – 1979. – Vol. 22.
 12. 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.
 13. 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
 14. Mazurenko A., Denysova A. Perspektywy wykorzystania energii slonecznej na Ukrainie // IV Konferencja remontowa energetyki «GRE'94». Seria Elektryka 38. – Bielsko-Biala, Opole (Polska). – 1994. – No. 199. – P. 247-248.

Отримана в редакції 06.11.2024, прийнята до друку 28.11.2024

Analysis of operating modes of heat supply systems with heat accumulators in public buildings

Oleksandr Klymchuk^{1✉}, Mykola Serheiev²

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/0000-0002-3679-3888>

The current state of Ukraine's energy sector requires modernization of the energy distribution system. Among other things, a fairly significant issue is the leveling of the electricity consumption schedule. The paper analyzes the current state of municipal heat and power systems. It shows the need to use heat accumulators in heat supply systems using centralized power supply systems as the main energy source. These solutions allow to align electricity generation schedules throughout the day and reduce natural fuel consumption. It shows that it is most rational to introduce heat accumulators into heat supply systems for public buildings, in which it is possible to organize a two-period heat supply mode. The main functional

purposes of accumulators in heat supply systems are shown under different operating modes of heat generators and consumers. The operating modes of different types of heat consumers are analyzed. For a public building, a study of the operation of a heat accumulator with a liquid storage medium for different heat sources under variable climatic conditions was conducted. For the same conditions, a study of the efficiency of using heat accumulators for thermal energy storage at night, with subsequent return to consumers of the heat supply system for different types of heat generators was conducted. The potential for storage from different energy sources by converting electricity into heat was analyzed. When analyzing the potential, the possibility of heat accumulation at the maximum temperature of the heat source and the temperature of the outside air, which affects the thermal power of the heat supply system, was taken into account. The effectiveness of using heat accumulators in different climatic zones of the outside air is shown. Based on the obtained research data, the effective temperature zones of use of heat accumulators are shown.

Keywords: Heat accumulators; Heat pumps; Renewable energy sources; 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. (2015) Energy Strategy of Ukraine for the Period Until 2035. White Paper of Energy Policy of Ukraine "Security and Competitiveness". Kyiv, 49.
3. **Tytar, S.S., Klymchuk, O.A., Shramenko, O.M.** (2012) Application of Heat Accumulators Based on Solid Materials in Heat Supply Systems Using Electricity. *Bulletin of Vinnytsia Polytechnic Institute*, 4, 112-114.
4. **Mazurenko, A.S., Denysova, A.S.** (2015) Installation of potable water supply and heat supply at base of subsoil waters. *Proceedings of the World Renewable Energy Congress'14 "WREC XIV" University Politehnica of Bucharest-Romania, June 8-12*, 235-245.
5. **Denysova, A.E., Bodnar, I.A., Denysova, A.S.** (2015) Heat pump using subsoil waters as low temperature heat source. *Problems of the regional energetics*, 2(28), 69-76.
6. **Mazurenko, A., Denysova, A., Balasanian, G., Klymchuk, A., Borisenko, K.** (2017) Improving the efficiency of operation mode heat pump hot water system with two-stage heat accumulation. *Eastern-european journal of enterprise technologies*, 1/8, 27-34.
7. **Korinchevska, T.V.** (2010) Promising methods of thermal energy accumulation. *Scientific works of ONAFT*, 37, 236-241.
8. **Korinchevska, T.V., Snezhkin, Yu.F., Mykhaylik, V.A.** (2014) Technical and economic indicators of electroheating thermal accumulators. *Scientific works of ONAFT*, 45, 3, 191-193.
9. **Shramenko, O.M.** (2016) Improvement of the design and operating modes of heat accumulators based on solid materials. *Dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences*, 149.
10. **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.
11. **Freeman, T., Mitchelli, W., Audit, T.** (1979) Performance of combined solar heat-pump systems. *Solar energy*, 22.
12. **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.
13. **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
14. **Mazurenko, A., Denysova, A.** (1994) Prospects of solar energy utilization in Ukraine. *IV Power Engineering Repair Conference «GRE'94». Series Electricity*, 38, Bielsko-Biala, Opole (Poland), 199, 247-248.

Received 06 November 2024

Approved 28 November 2024

Available in Internet 30 December 2024