

# АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНИХ ЗАСОБІВ ТА МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ НАКОПИЧЕННЯ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ

Вінницький національний технічний університет

## **Анотація**

*Проведено огляд методів та матеріалів для акумулювання теплової енергії, описано їх принцип роботи та галузі використання. Здійснено порівняння ємнісного, фазоперехідного та термохімічного акумулювання теплової енергії з наведенням переваг та недоліків та перспектив подальшого дослідження.*

**Ключові слова:** енергозбереження, тепловий акумулятор (ТА), теплоакумулюючий матеріал (ТАМ), ємнісний акумулятор, фазовий перехід, альтернативні джерела енергії, теплоємність, зворотні хімічні реакції, ендотермічні та екзотермічні реакції.

## **Abstract**

*An overview of the main methods of thermal energy storage, their principle of operation and field of use. A comparison of capacitive, phase-transient and thermochemical storage of thermal energy with the advantages and disadvantages and prospects for further research.*

**Keywords:** energy saving, heat accumulator (HA), heat storage materials (HSM), capacitive accumulator, phase transition, alternative energy sources, heat capacity, reverse chemical reactions, endothermic and exo-thermic reactions.

## **Вступ**

В Україні питання розвитку та впровадження альтернативної енергетики має критично важливе значення, у зв'язку з існуючими проблемами постачання та видобутку вуглеводневих джерел енергії через політичні та економічні події. Для систем теплопостачання виділяють використання систем сонячної енергетики, теплових насосів та біогазогенераторних установок [1-7]. Потужність енергоустановок встановлюється на максимально можливе навантаження споживачів, які обслуговуються цими енергогенераторами, проте теплоенергетична, як і електроенергетична система потребує достатнього резерву потужності для задоволення потреб споживачів у випадку зниження потужності енергетичних установок внаслідок раптових аварійних ситуацій або нерівномірності режиму споживання.

Нерівномірність споживання теплової енергії призводить до того, що потужність енергоустановок використовується лише в момент максимуму навантаження. Також не менш важливим фактором використання альтернативної енергетики є сезонність: для вітрових генераторів – сила вітру, для сонячних батарей та колекторів – інтенсивність теплового потоку, хмарність. Тому постає питання використання високоефективних технологій зберігання теплової енергії для «згладжування» нерівномірності добового та річного споживання теплової енергії в теплоакумулюючих установках.

Метою дослідження є порівняння основних типів теплових акумуляторів та визначити можливі сфери використання кожного з цих типів теплоакумуляторів.

## **Результати дослідження**

Класифікація способів акумулювання теплової енергії прийнята за такими критеріями [1]:

- за природою акумулювання: теплоємнісні (ТСА), акумулятори з фазовим переходом матеріалу (АФП), термохімічні акумулятори (ТХА);
- за рівнем робочих температур: низько - (до 100 °С), середньо - (від 100 до 400 °С), та високотемпературні (від 400 °С) теплоакумулятори;

- за тривалістю періоду заряду-розряду теплоакумуляючого матеріалу (ТАМ): короткострокові (до 3 діб), середньострокові (до 1 місяця) та міжсезонні (до 6 місяців або 1 півріччя).

Теплоємнісні акумулятори характеризуються тим, що ТАМ поглинає та віддає теплову енергію, супроводжуючи процес зміною температури без зміни агрегатного стану речовини [1]. Найвідомішим прикладом подібного ТАМ є вода: застосовується в системах опалення, вентиляції та кондиціонування із влаштуванням буферних ємностей або баків-акумуляторів. В системах опалення на традиційних джерелах енергії бак-акумулятор застосовується для врівноваження графіку теплоспоживання та вирівнювання графіку виробленої потужності котельної чи іншої теплогенеруючої установки. Також бак-теплоакумулятор застосовується в системах комбінованого тепlopостачання на відновлюваних джерелах тепlopостачання, наприклад сонячної енергії. Не дивлячись на доволі широке поширення теплоємнісних ТА (ті ж самі баки-акумулятори), їх застосування є малоефективним (порівняно з АФП) через те, що зниження значення теплоємності вимагає компенсації збільшенням об'єму [1], а втрати теплоти прямопропорційні перепаду температури від початкового значення до фактичного [2].

Необхідний об'єм теплоємнісного ТАМ визначається за формулою [13]:

$$V_{TE} = \frac{Q_{TE}}{c_p \rho \Delta T}, \text{ м}^3 \quad (1)$$

де  $Q_{TE}$  – необхідна кількість теплової енергії для зарядки теплоємнісного акумулятора, кДж:

$$Q_{TE} = c_t L \rho_t (t_k - t_n) \quad (2)$$

$c$  – питома теплоємність ТАМ, кДж/(кг·К);

$\rho$  – густина або щільність ТАМ, кг/м<sup>3</sup>;

$\Delta T$  – прийнятий температурний перепад охолодження ТАМ, °С;

$c_t$  – питома теплоємність теплоносія, кДж/(кг·К);

$L$  – об'єм теплоносія, що подається для зарядки акумулятора, м<sup>3</sup>;

$\rho_t$  – густина теплоносія, кг/м<sup>3</sup>;

$t_k, t_n$  – відповідно кінцева та початкова температури теплоносія, °С.

Теплові акумулятори на основі фазового переходу (АФП) засновані на здатності ТАМ змінювати свій агрегатний стан при накопиченні енергії (зазвичай це зворотній процес плавлення-кристалізація). Подібні акумулятори характеризуються вищою густиною тепла при малому об'ємі і відносно сталою температурою розряду [1]. При цьому виділяються наступні недоліки: вартість матеріалів для АФП значно вища, ніж для ТАМ, а для кожної заданої температури потрібно підбирати певну речовину, так як температура плавлення у цих речовин стала і не залежить від зміни умов.

Накопичення теплової енергії в ТАМ фазового переходу супроводжується послідовно двома явищами:

- незначним підвищенням температури ТАМ;
- після досягнення температури плавлення ТАМ зміна агрегатного стану матеріалу.

Необхідний об'єм ТАМ фазового переходу розраховується за формулою [13]:

$$V_{ФП} = \frac{Q}{c_p \Delta T + q_{пл} \rho}, \text{ м}^3 \quad (3)$$

де  $q_{пл}$  – питома теплота плавлення, кДж/кг.

З формули 3 видно, що складова теплоти плавлення  $q_{пл} \rho$  розраховується без перепаду температури, а її наявність, на відміну від формули 1, означає менший необхідний об'єм ТАМ.

Принцип термохімічних теплоакумуляторів (ТХА) заснований на зворотніх хімічних реакціях з попутнім теплопереносом. Так акумуляування тепла відбувається при протіканні реакції в одну сторону (ендотермічний процес), а розрядка акумулятора – при протіканні в іншу сторону (екзотермічний процес) [3]. Густина енергії в ТХА вища за густину енергії в АФП, а слідом і вища за густину енергії в ТСА [1]. Недоліками при створенні ТХА є незначна кількість дешевих хімічних сполук, що можуть вступати в зворотні реакції, виділення газів як продукти реакцій, що вимагає спеціального устаткування для відбору, також значна частина токсичних та небезпечних реагентів. Перевагою такого типу є те, що при стаціонарному режимі (тобто коли акумулятор статичний після зарядки), значно менші тепловтрати через огорожуючі конструкції, так як поглинуте тепло не змінює агрегатний стан матеріалу, а приймає участь в створенні нових хімічних сполук. В ТХА теплова енергія може запасатись у вигляді внутрішньої енергії молекул, або в продуктах реакції, які згодом можуть

реагувати між собою, виділяючи теплову енергію [3], що дозволяє знизити втрати енергії, так як хімічні сполуки продуктів ендотермічної реакції залишаються незмінними, до наступної екзотермічної реакції. Значна частина термохімічних теплових акумуляторів застосовується лише в галузях з високотемпературними процесами, наприклад, в промисловій металургії в процесі збагачення виходного палива [4], проте в даний час здійснюються дослідження можливості використання таких акумуляторів в теплових процесах з низькотемпературним потенціалом, що дозволило б застосовувати їх у побутових системах теплопостачання та опалення.

### Висновок

Розглянуто класифікацію теплових акумуляторів та охарактеризовано принципи роботи всіх типів акумуляційних установок. Серед розглянутих типів теплових акумуляторів найбільшого поширення займають теплоємнісні (ТСА) акумулятори. Меншого поширення займають акумулятори з фазовим переходом (АФП). Термохімічні акумулятори тепла (ТХА) в наш час поширені лише в якості теоретично описаних або лабораторно досліджених процесів, або ж як процеси збагачення виходного палива з накопиченням високотемпературної теплової енергії в металургійній галузі, проте даний тип має вищий потенціал ефективного зберігання тепла.

Подальшому дослідженню підлягає розгляд певних фізичних та хімічних процесів із супроводженням поглинання та вивільнення тепла, які потенційно можуть бути використані в термохімічних теплових акумуляторах.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кудря С. О. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії : підручник / С. О. Кудря : Київ, НТУУ «КПІ», 2012. – 492 с.
2. Чайка Ю. И. Сравнение теплоаккумулирующих материалов с фазовым переходом для систем солнечного теплоснабжения / Ю. И. Чайка, С. В. Будлянский, А. Ф. Редько, – Харьков, ХНУСА. – 2013
3. Лук'янов О. В. Схеми роботи акумуляторів теплоти фазового переходу в системах теплопостачання з котлами на органічному паливі / В. В. Остапенко, Д. В. Остапенко, О. В. Лук'янов // Сучасне промислове та цивільне будівництво. – 2016. – том 12, №2. – С. 71-77. – УДК 697.32+620.9
4. Гребенюк А. М. Способи акумуляції енергії нетрадиційних джерел / А. Н. Гребенюк // Енергозбереження та енергоефективність. - м. Дніпро. – С. 131-136
5. Коц Иван Васильевич. Математичне моделювання тепломасообмінних процесів теплиці із застосуванням енергозберігаючих технологій / І. В. Коц, А. В. Грицун, І. М. Берник, Ю. М. Ярмолук // Збірник наукових праць ВНАУ, №8. – Вінниця, 2011
6. Джеджула В.В. Економічна ефективність впровадження теплонасосного опалення приміщень. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2011 – № 1 – С. 144-148
7. Джеджула В.В. Енергоефективність систем вентиляції: критерії оцінювання та фактори впливу. Сучасні технології, матеріали та конструкції у будівництві. – 2016. – № 1. – С. 114-119.

**Бадяка Олег Володимирович** – аспірант факультету будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: oleg.badyaka@ukr.net

**Панкевич Ольга Дмитрівна** – к. т. н., доцент кафедри інженерних систем у будівництві, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

**Oleh Badiaka V.** – postgraduate Faculty of Civil Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: oleg.badyaka@ukr.net

**Olha D. Pankevych** - Cand. Sc. (Eng.), Ass. Prof. of the Department of Engineering Systems in Construction. Vinnytsia National Technical University