

УДК 620.91:621.31

**МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРУ СИСТЕМИ  
ГАРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ В РАЗІ ВИКОРИСТАННЯ  
ЕНЕРГІЇ НА ОБІГРІВ ПРИМІЩЕННЯ**

Щербаков О.А., аспірант

*Київський національний університет технологій та дизайну*

Цибуленко Д.А., студент

*Київський національний університет технологій та дизайну*

Шавьолкін О.О., доктор технічних наук, професор

*Київський національний університет технологій та дизайну*

*Ключові слова:* теплоаккумулятор, система гарячого водопостачання, теплова енергія, тепловий насос, економія витрат на паливо.

Останнім часом в системах енергозабезпечення сімейних будинків розповсюдженим є використання фотоелектричних систем (ФЕС) з тепловими насосами (ТН) [1]. Це дозволяє зменшити витрати електроенергії на опалення, кондиціонування та гаряче водопостачання. Зазвичай використовують підключені до мережі ФЕС з акумуляторною батареєю (АКБ), що забезпечує підвищення надійності електропостачання. Зокрема, в період без опалення можливим є автономне енергозабезпечення. Однак в опалювальний сезон енергії ФЕС є недостатньо. Тому в аварійних ситуаціях за відключенням мережі передбачається використання додаткових джерел теплової (камін або твердопаливний котел) або електричної енергії (бензогенератор).

Поряд з АКБ для підвищення рівня власного споживання фотоелектричної енергії [2] доречним є використання додаткового елемента зберігання енергії – теплоаккумулятора (ТА). В якості ТА використовується бак системи ГВС достатньо великого об'єму  $V \geq 500$  л. Нагрівання води в ТА забезпечується ТН через теплообмінник та електричним нагрівачем за наявності надлишкової енергії. Теплова енергія ТА є достатньо великою, що дає можливість її використання на обігрів приміщення в аварійних ситуаціях за обмеження електричної енергії. Метою даної роботи є оцінка такого використання ТА, що сприятиме економії палива на обігрів.

В якості інструмента дослідження обрано математичне моделювання. Розглянуто використання моделі ТА, що наведена в [1]. За цього температура води в ТА [1]

$$\tau_{vin} = \tau_{vin0} + \left(\frac{1}{m \cdot c}\right) \int \left(P_{he} - H_L(\tau_{vin} - \tau_{in}) - \left(\frac{c}{60}\right) \cdot V_B(\tau_{vin} - \tau_c)\right) dt, \quad (1)$$

де  $\tau_{vin0}$  - початкова температура води;

$m$  - маса води, відповідає об'єму ТА в літрах  $m=V$ ;

$P_{he}$  - теплова потужність, що передається нагрівачем;

$H_L$  - коефіцієнт теплопередачі через стінки ТА;

$\tau_{in}$  - температура в будинку;

$\tau_c$  - температура холодної води, яка надходить в бак;

$v_B$  – масове споживання води з бака [л/хв];  $c$  – теплоємність води [Дж/кг $^{\circ}$ С].

За потужності ФЕС 5 кВт та середньої генерації в грудні 1кВт на 1 кВт встановленої потужності ФЕС маємо  $W_{PV} \approx 5$  кВтгод. В разі генерації 50% від середньої  $W_{PV} = 2.5$  кВтгод. Якщо енергоємність АКБ  $W_B = 5$  кВтгод при розряді до 20% загальна доступна енергія  $W \approx 6.5$  кВтгод. За обмеженої генерації фотоелектричної енергії (ФЕ) та енергії АКБ повноцінне використання ТН на опалення суттєво обмежується. Проте можливим є використання насоса, що прокачує теплоносій системи ТН через ТА і потужність споживання якого невелика.

Згідно [3] номінальна продуктивність насоса  $TN v_B = 0.8$  м<sup>3</sup>/час при температурі теплоносія  $w = 35^{\circ}$ С,  $\tau_{out} = -7^{\circ}$ С і перепаді температури  $\Delta\tau = 5^{\circ}$ С (на виході та вході ТН). За цього теплоносій підігрівається в ТА і в подальшому частка енергії передається на опалення. Прийmemo  $\tau_{in} = 20^{\circ}$ С. Теплопередача залежить від різниці температури теплоносія  $w$  та в доме  $\tau_{in}$ . Приймаємо, що  $w = \tau_{in}$  і залежність теплопередачі є лінійна відносно значення  $(\tau_{vin} - \tau_{in})$ . Тоді  $\Delta\tau = h(\tau_{vin} - \tau_{in})$ .

За цього модель ТА має певні особливості. Компресор ТН відключено і працює лише насос. Нагрів води відсутній  $Q_E = 0$ . Потужність нагріву  $P_{hT}$ , що віддає ТА, визначається третьою складової (1) і знижується в процесі охолодження води в ТА.

Моделювання виконано для тривалого відключення мережі протягом доби, за початкового значення температури в будинку  $\tau_{in0} = 20^{\circ}$ С. Для визначення втрат тепла  $P_{hC}$  використана теплова модель будинку 120 м<sup>2</sup>[4]. Прийнято наступний алгоритм роботи. За відключенням напруги мережі ТН вимикається та вмикається в разі зниження  $\tau_{in}$  до 18  $^{\circ}$ С і підтримує це значення температури. Тривалість роботи ТН  $t_{TH}$  обмежується згідно спожитої ЕЕ  $W_{ETH}$  (прийнято близько 3000 Втгод). При наступному зниженні  $\tau_{in}$  до 17  $^{\circ}$ С вмикається лише насос ТН і використовується енергія ТА за потужності  $P_{hTA}$ .

Показники функціонування за різних значень  $\tau_{out}$  і початкового значення температури води в ТА  $\tau_{vin0} = 45^{\circ}$ С наведено в табл.1. В табл.1  $\tau_{outC}$  – середнє за добу значення,  $\tau_{inK}^*$  – значення на кінець доби за відсутності опалення,  $\tau_{inK}$  - значення на кінець доби,  $\tau_{vinK}$ , - значення температури води в ТА на кінець доби. Використано репрезентативний графік  $\tau_{out}(t)$  для м. Київ в січні згідно [4].

Таблиця 1

Показники функціонування за різних значень  $\tau_{out}$ 

$\tau_{outC}, ^{\circ}$ С	$\tau_{inK}^*, ^{\circ}$ С	$W_{ETH},$ Втгод	$t_{TH},$ год	$\tau_{inK}, ^{\circ}$ С	$\tau_{vinK}, ^{\circ}$ С
-4.7	11.7	2927	3.2	14.9	21.4
0	13.2	2925	4.5	16.5	22.5
2	13.9	2722	5	17.1	22.9

На рис.1. наведені графіки  $\tau_{out}$ ,  $\tau_{in}$ , теплової потужності ТН  $P_{TH}$ , потужності споживання ТН  $P_{ETH}$ ,  $P_{hc}=(P_{hc}+P_{hTA})$  за середнього значення температури  $\tau_{out}=2\text{ }^{\circ}\text{C}$  і  $\tau_{vin0}=45\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

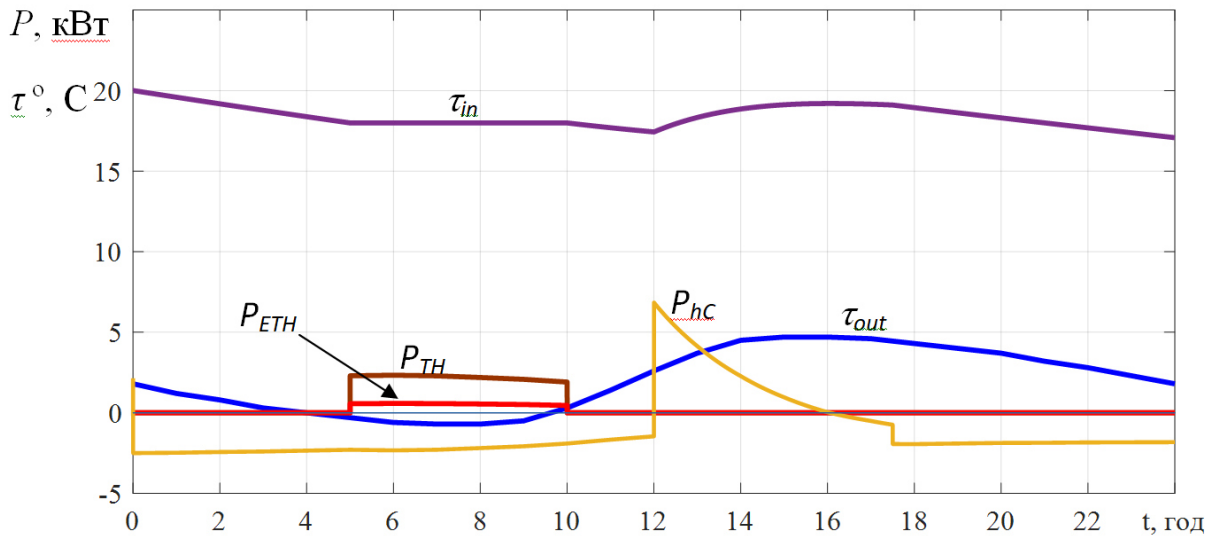


Рисунок 1 - Графіки  $\tau_{out}$ ,  $\tau_{in}$ ,  $P_{TH}$ ,  $P_{ETH}$ ,  $P_{hc}=(P_{hc}+P_{hTA})$  за середнього значення температури  $\tau_{out}=2\text{ }^{\circ}\text{C}$  і  $\tau_{vin0}=45\text{ }^{\circ}\text{C}$

Таким чином, за низьких температур потрібно використання додаткового джерела теплової або електричної енергії. Разом з тим, використання енергії ТА на підтримання температури в будинку за аварійного відключення напруги мережі може бути доречним восени або весною за температурою  $\tau_{out}\geq 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Це дозволяє зменшити витрати на паливо та вплив на екологію.

#### Список використаних джерел

1. Shavolkin, O., Shvedchykova, I., Demianchuk, O., & Shcherbakov, O. (2025). Improving the model of a system that maintains a microclimate regime in a single-family house by using a reversible heat pump. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5(8 (137)), 38–47. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.342027>
2. Shavolkin, O., Shvedchykova, I., Kolcun, M., Medved, D., Mazur, D., Kwiatkowski B. (2024). Increasing photovoltaic self-consumption for objects using domestic hot water systems. *Archives of Electrical Engineering*, 73(3), 573 –593. <https://doi.org/10.24425/aee.2024.150884>
3. Installation instructions AERO ILM. Available at: <https://www.c-o-k.ru/library/instructions/idm/teplovye-nasosy/29558/108525.pdf>
4. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія. DSTU-NBV.1.1-27:2010