



УДК 536.24

## ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧА СИСТЕМА ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ НА БАЗІ СЕЗОННОГО АКУМУЛЯТОРА ТЕПЛОТИ

Антипов Є.О., інж.

Національний університет біоресурсів і природокористування  
України, м. Київ, Україна

Телефон: (099)-335-11-12. E-mail: ant1doc@mail.ru

**Анотація** – розглядається можливість створення енергозберігаючих систем теплопостачання з використанням сонячної енергії та сезонного акумулятора теплоти, що працює на фазових перетвореннях теплоакуючого матеріалу. Визначено розміри акумулятора та масу акуючого матеріалу для сезонного теплоспоживання. Розраховано часові проміжки для «зарядки» і «розрядки» теплового акумулятора.

**Ключові слова** – сезонний акумулятор теплоти, теплообмінні процеси, фазовий перехід, зарядка та розрядка акумулятора.

*Постановка проблеми.* Різке загострення взаємопов'язаних енергетичних і екологічних проблем - Монреальський протокол 1987 року з проблеми озонобезпеки і Кіотський протокол 1997 року (з проблем емісії парникових газів і глобального потепління), викликало значний інтерес до можливостей сонячних систем для теплопостачання (гаряче водопостачання й опалення) та холодопостачання. Останнє десятиліття відзначено особливою активністю у цьому напрямі в Японії і США. Приділяється увага розробці та створенню „гібридних” систем опалення та гарячого водопостачання будинків.

Стимулювання використання відновлюваної енергії є головною складовою Європейської енергетичної та екологічної політики впродовж багатьох років. Згідно з Політикою ЄС, викладеною в Директиві 2009/28/ЄС, на рівні ЄС були погоджені цілі досягнення впровадження ВДЕ, відзначається підвищений інтерес до використання сонячної енергії, в тому числі - її акуювання.

*Аналіз останніх досліджень.* Одним з ефективних та широко розповсюджених способів отримання теплоти є перетворення сонячного випромінювання, яке падає на поверхню Землі. Але, у зв'язку з тим, що період опалення у холодний період року зміщений на 180 діб відносно періоду найбільш інтенсивної сонячної інсоляції, виникає необ-



хідність акумулювання сонячної теплоти. Застосування сезонного акумуляторатеплоти (САТ), для зберігання теплоти на короткостроковий або довгостроковий період часу, дозволяє підвищити ефективність роботи та надійність геліосистем теплопостачання навіть за несприятливих кліматичних умов [1].

У сільському господарстві є великі можливості для застосування сонячних установок у рослинництві, тваринництві і садівництві. Йдеться насамперед про геліотеплиці, сушильні установки, гаряче водопостачання і опалювання будинків, ферм, про підігрів води у басейнах для розведення риби, про холодильні установки тощо. Економічно доцільне використання сонячної енергії для гарячого водопостачання сезонних користувачів типу баз відпочинку, дачних поселень, а також для обігріву відкритих та закритих плавальних басейнів, спортивних споруд тощо [2].

*Формулювання цілей.* При застосуванні альтернативних, енергозберігаючих технологій використання енергії навколишнього середовища (енергії Сонця, вітру, ґрунту, водоймищ тощо) виникає необхідність накопичувати цю енергію в теплових чи електричних акумуляторах. Тому, метою даного дослідження є створення екологічно чистих, енергозберігаючих систем теплопостачання з використанням сонячної енергії на базі сезонного акумулятора теплоти.

*Основні матеріали досліджень.* Залежно від режиму споживання енергії і технічних особливостей систем теплопостачання використовується:

- акумулювання в період хмарності;
- добове;
- сезонне акумулювання.

Сезонні акумулятори теплоти можна класифікувати за характером фізико-хімічних процесів, що протікають в ТАМ:

- ємнісні акумулятори, в яких використовується теплоємність речовини, яка нагрівається або охолоджується без зміни агрегатного стану (галька, вода, водні розчини солей та ін.);
- акумулятори, що працюють на фазовому переході теплоакуючого матеріалу (АФП) - використовується прихована теплота, яка виділяється при плавленні або затвердінні речовини;
- акумулятори хімічного та фотохімічного типу - засновані на виділенні або поглинанні теплоти при оборотних хімічних і фотохімічних реакціях [3].

Акумулятори теплоти перших двох типів знайшли практичне застосування в геліосистемах теплопостачання. Але найбільш широке розповсюдження отримав ємнісний тип акумулювання. Для добового акумулювання в системах опалення та гарячого водопостачання використовуються акумулятори теплоти ємнісного типу, що працюють в



діапазоні температур від 30 до 100 °С. Нижня межа температури 30 °С характерна для повітряного опалення, діапазони 30...90 °С і 40...60 °С – для водяного опалення і гарячого водопостачання відповідно. До недоліків акумуляторів ємнісного типу можна віднести їх велику масу і, як наслідок, потреба у великих площах у розрахунку на 1 ГДж акумульованої теплоти. Тому, для зменшення масо-габаритних показників традиційних теплоакумуляторів на основі рідкого ТАМ, пропонується застосування акумуляторів “прихованої” теплоти фазового переходу теплоакумуляуючого матеріалу.

Акумуляція прихованої теплоти є дуже зручною для системи сонячного опалення. Основна перевага АФП - висока питома густина акумульованої енергії, завдяки чому істотно зменшуються об'ємні та вагові характеристики акумулятора теплоти в порівнянні з акумуляторами ємнісного типу. Температура фазових переходів вибирається невисокою, відповідно для системи опалення та гарячого водопостачання будинків, підбираються речовини, в яких плавлення відбувається при температурах від 30 до 50°С.

До перспективних низькотемпературних теплоакумуляуючих матеріалів можна віднести органічні речовини (парафін і жирні кислоти, що плавляться при 40...56 °С) і кристалогідрати неорганічних солей ( $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NaSO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  та глауберова сіль  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ , що плавляться при 29...35 °С).

*Розробка системи тепло забезпечення будівель з використанням сезонного акумулятора теплоти та аналіз її роботи.* У роботі розглядається можливість використання сезонного теплового акумулятора, що накопичує теплову енергію зовнішнього середовища в літній період часу з застосуванням геліоколекторів у системах опалення та/або гарячого водопостачання будівель. У таких пристроях як гарячий теплоносій може використовуватися вода, розчин етиленгліколю [4] або водно-сольові розчини [5]. Такий теплоносій за допомогою насосного обладнання циркулює в контурах: зарядки, що з'єднує джерело теплоти (сонячний колектор) з акумулятором теплоти та контуру його розрядки - споживаючі пристрої систем опалення та гарячого водопостачання об'єкту. В літній період контур системи опалення відключається, а система переходить в режим накопичення теплової енергії в сезонному акумуляторі теплоти.

Розроблена система (див. рис. 1) призначена для підвищення економічності ефективності системи опалення та гарячого водопостачання будинку за рахунок використання сонячної енергії та сезонного акумулятора теплоти.

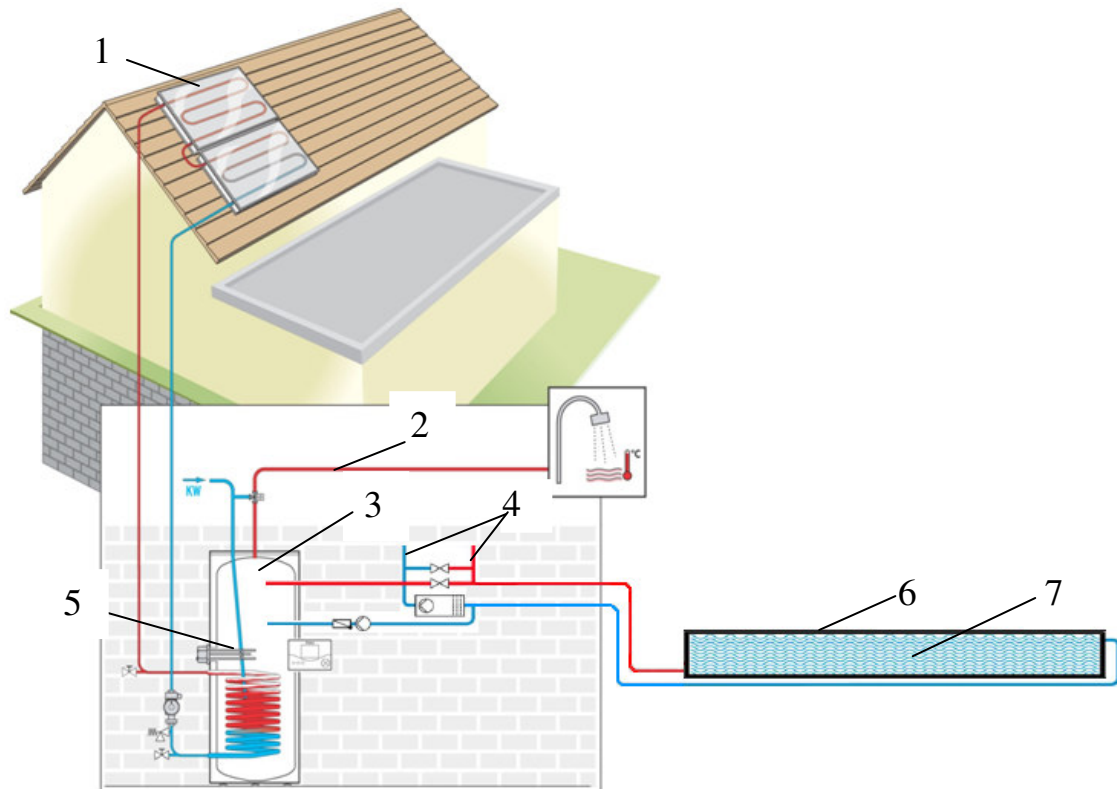


Рис. 1. Комбінована схема геліосистеми теплопостачання з використанням сезонного акумулятора теплоти: 1 – сонячний колектор; 2 – контур системи гарячого водопостачання; 3 – бак-накопичувач контуру постачання; 4 – контур системи підлогового опалення; 5 – трубчастий електронагрівач (ТЕН); 6 – сезонний акумулятор теплоти (САТ); 7 – теплоакumuлюючий матеріал (ТАМ).

Теплота з геліоустановок 1, які знаходяться на даху або поруч з будинком на окремому майданчику, надходить до баку-накопичувача теплоти 3. Конструктивно останній являє собою теплоізольовану ємність із змійовиком (контур сонячних колекторів) та ТЕНом 5, який є дублюючим джерелом підігріву води при зниженні рівня інтенсивності сонячного випромінювання або підвищеної хмарності. Накопичене тепло циркуляційним насосом переміщується по контуру бак-накопичувач – САТ.

В даній роботі, в якості об'єкта дослідження, обраний сезонний акумулятор теплоти, що використовує приховану теплоту фазових переходів. Сам акумулятор представляє собою теплоізольовану ємність 6, виготовлену із сталі, заповнену теплоакumuлюючим матеріалом (ТАМ) 7, температура фазового переходу якого перебуває в межах зміни робочої температури системи теплопостачання (системи підлогового опалення 4 та контуру гарячого водопостачання 2).



Всередині корпусу знаходиться пучок труб, по яким протікають теплоносії контурів зарядки/розрядки. У міру проходження теплоносія по системі нагрівних труб, через їх стінку (теплообмінну поверхню), відбувається нагрівання ТАМ, і при досягненні температури стінки труб, рівній температурі плавлення теплоакумулюючого матеріалу, починається фазове перетворення, з'являється рідка фаза, що супроводжується акумулюванням теплоти. Міжфазна поверхня переміщається всередину ТАМ і в результаті вся речовина розплавляється. При охолодженні - процес відбувається у зворотній послідовності, тверда фаза утворюється біля теплообмінної поверхні, а потім і у повному об'ємі ТАМ, причому виділяється акумульована теплота.

*Математична модель переносу маси та енергії в досліджуваному об'єкті.* Математична модель включає в себе рівняння Нав'є – Стокса та крайові умови на зовнішній поверхні корпусу акумулятора теплоти. В першому наближенні, оскільки корпус теплоаккумулятора буде теплоізований, вважається, що теплові втрати в зовнішнє середовище рівні нулю. В подальшому ці втрати будуть враховані залежно від умов експлуатації такого акумулятора.

Дана модель є мультифізичною, оскільки в нашому випадку аналізується більш одного фізичного явища. Тому, окрім розв'язання системи рівнянь Нав'є – Стокса для нестисливих потоків, потрібно розв'язати і рівняння теплообміну.

Рівняння Нав'є – Стокса для нестисливих потоків складаються з балансу кількості руху (імпульсу), при виконанні закону збереження мас, і умови нестисливості, які у спрощеному вигляді представляються таким чином:

$$\rho \cdot \left[ \frac{dW_X}{dt} + \frac{dW_X}{dx} + \frac{dW_X}{dy} + \frac{dW_X}{dz} \right] = \rho g x - \frac{dp}{dx} + \mu \cdot \left( \frac{d^2 W_X}{dx^2} + \frac{d^2 W_X}{dy^2} + \frac{d^2 W_X}{dz^2} \right), \quad (1)$$

$$\rho \cdot \left[ \frac{dW_Y}{dt} + \frac{dW_Y}{dx} + \frac{dW_Y}{dy} + \frac{dW_Y}{dz} \right] = \rho g y - \frac{dp}{dy} + \mu \cdot \left( \frac{d^2 W_Y}{dx^2} + \frac{d^2 W_Y}{dy^2} + \frac{d^2 W_Y}{dz^2} \right), \quad (2)$$

$$\rho \cdot \left[ \frac{dW_Z}{dt} + \frac{dW_Z}{dx} + \frac{dW_Z}{dy} + \frac{dW_Z}{dz} \right] = \rho g z - \frac{dp}{dz} + \mu \cdot \left( \frac{d^2 W_Z}{dx^2} + \frac{d^2 W_Z}{dy^2} + \frac{d^2 W_Z}{dz^2} \right), \quad (3)$$

де  $\rho$  – густина середовища, кг/м<sup>3</sup>;

$g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;

$\mu$  – динамічна в'язкість середовища, Па·с;

$p$  – тиск, Па;

$W_X, W_Y, W_Z$  – векторне поле швидкостей;

$t$  – час, с.



Рівняння нерозривності:

$$\frac{d\rho}{dt} + \frac{d(\rho W_x)}{dx} + \frac{d(\rho W_y)}{dy} + \frac{d(\rho W_z)}{dz} = 0 \quad (4)$$

У загальному вигляді нестационарний процес теплопереносу описується рівнянням:

$$\frac{dT}{dt} + W_x \cdot \frac{dT}{dx} + W_y \cdot \frac{dT}{dy} + W_z \cdot \frac{dT}{dz} = \frac{\lambda}{C_p \cdot \rho} \cdot \left( \frac{d^2T}{dx^2} + \frac{d^2T}{dy^2} + \frac{d^2T}{dz^2} \right) \quad (5)$$

де  $T$  – температура в деякій точці, °К;

$\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності середовища, Вт/м·°К;

$Q$  – джерело теплоти, Вт;

$C_p$  – питома теплоємність середовища, Дж/кг·°К.

Рівняння (5) доповнюється граничними умовами на стінках акумулятора

$$\left. \frac{dT}{dn} \right|_s = 0, \quad (6)$$

де  $s$  – індекс, який означає границі стінок акумулятора теплоти.

*Результати досліджень.* Проведені інженерні розрахунки показали, що для опалення та гарячого водопостачання будинку площею  $S = 250 \text{ м}^2$ , необхідна потужність теплових джерел повинна становити  $P = 36 \text{ кВт}$ . Для покриття зазначеного навантаження систем опалення та ГВП в зимовий період за рахунок акумуляованої сонячної енергії в сезонному акумуляторі теплоти, в якому в якості ТАМ вибрано глауберову сіль  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  (з температурою фазового переходу  $t_{\text{ф}} = 35^\circ\text{C}$ ), розрахунково-необхідний об'єм останньої становить  $363 \text{ м}^3$ , тоді розміри САТ –  $3,1 \times 11,1 \times 11,1 \text{ м}$ , з такими параметрами теплообмінної поверхні:

- зовнішній діаметр труб трубного пучка –  $d_3 = 0,034 \text{ м}$ ;
- відстань між нагрівними тубами –  $l = 0,75 \times 0,75 \text{ м}$ ;

при цьому час роботи останнього в режимі “розряд” становить близько 190 днів.

Результати розрахунку тепловідводу при заряді та розряді ТА наведено в таблиці 1.

Враховуючи те, що реальний ККД плоских сонячних колекторів знаходиться в межах 22–40% (величину ККД отримано дослідним шляхом) від номінального розрахункового значення, яке склало 64 %, що майже в 2 рази більше за реальне, тому пропонується залишити прийняті параметри теплообмінної поверхні (кількість нагрівних труб та їх діаметр) без змін, та вважати їх оптимальними для обох режимів роботи ТА.

Таблиця 1 – Розрахунковий та заданий час роботи акумулятора при різних режимах

Режим роботи ТА	Температура, °С	Тривалість роботи, год.	
		Розрахований	Заданий
Заряд	25 – 35	139	3960
	35	1031	
	35 – 60	113	
Розряд	60 – 35	1676	4800
	35	2825	
	35 – 25	1019	

### Висновки.

1. Використання геліосистем в Україні, з метою акумулювання генерованої ними теплової енергії, є перспективним шляхом, який повинен стати пріоритетним напрямом не лише в стратегічних планах розвитку відновлюваної енергетики Євросоюзу, але й України.

2. Використання сонячних колекторів в якості додаткового джерела системи опалення будівель можливе за умов, якщо вже існуюча система орієнтована на низькотемпературні прилади опалення, наприклад, на обігрів підлоги.

3. Ефект від застосування сонячної енергії для обігріву буде задовільним, якщо будівля добре ізольована від втрат тепла у навколишнє середовище.

4. Проведені розрахунки показали, що для сезонного акумулювання теплової енергії з подальшим її використанням в системі теплозабезпечення будинку площею 250 м<sup>2</sup>, потрібен САТ з такими параметрами:

- зовнішній діаметр труб трубного пучка –  $d_z = 0,034$  м;
- відстань між нагрівними тубами –  $l = 0,75 \times 0,75$  м;
- теплоакumuлюючий матеріал – глауберова сіль;
- об'єм ТАМу – 363 м<sup>3</sup>;
- розміри акумулятора – 3,1x11,1x11,1 м.

### Література.

1. Бекман Г. Тепловое аккумулярование энергии / Г. Бекман, П.Гилли; пер. с англ. – М.: Мир, 1987. – 272 с.

2. Дверняков В.С. Солнце – энергия та життя / В.С. Дверняков. – К.: Наук. думка, 1991. – 176 с.

3. Елистратов В.В. Аккумулярование солнечной энергии / В.В. Елистратов // Нетрадиционная энергетика и технология: материалы междунар. конф.; 20-25 ноября 1975 – Ч. 1. Владивосток: ДВО РАН – 1975. – С. 32.



4. *Абдулаева М.Д.* Низкотемпературный носитель для систем солнечного теплоснабжения / *М.Д. Абдулаева, В.П. Баранник, С.И. Смирнов, Т.Х. Чен* // П. Гелиотехника. – 1988. – №1. – С. 32 – 35.

5. *Сарнацкий З.В.* Системы солнечного тепло- и хладоснабжения / ред. *З.В. Сарнацкого и С.А. Чистовича.* – М.: Стройиздат, 1990. – 328 с.

## **ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ СИСТЕМА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ НА БАЗЕ СЕЗОННОГО АККУМУЛЯТОРА ТЕПЛОТЫ**

Е.А. Антипов

**Аннотация** - рассматривается возможность создания энерго-сберегающих систем теплоснабжения с использованием солнечной энергии и сезонного аккумулятора теплоты, который работает на фазовых превращениях теплоаккумулирующего материала. Определены размеры аккумулятора и массу аккумулирующего материала для сезонного теплопотребления. Рассчитаны временные промежутки для «зарядки» и «разрядки» теплового аккумулятора.

## **ENERGY SAVING HEATING OF THE SYSTEM BASED ON SEASONAL THE HEAT ACCUMULATOR**

I. Antypov

### **Summary**

**Construction of seasonal heat accumulators worked out and the numeral design of heat and mass transfer this accumulator is conducted. Developed accumulator is worked on phase transformations of heat-accumulating material. Size accumulator battery and weight accumulating material for seasonal heat consumption are found. Time period to "charge" and "discharge" of thermal battery are calculated.**