

УДК 697.329

Техніко-економічне обґрунтування використання теплоакumuлюючих матеріалів для систем міжсезонного сонячного теплопостачання

О.П. Любарець¹, А.С. Москвітіна²

¹к.т.н., доцент, Київський національний університет будівництва і архітектури, apl_knuba@ukr.net

²аспірант, Київський національний університет будівництва і архітектури, amosvitina@i.ua

Приводиться економічна оцінка капітальних витрат на будівництво міжсезонного акумулятора теплової енергії при використанні різних теплоакumuлюючих матеріалів. В якості теплоакumuлюючого матеріалу розглядалися: вода, гранітний щебінь, чавун, бетон, масло мінеральне, гудрон, гліцерин. Запропоновано критерій оптимізації для техніко-економічного порівняння використання різних теплоакumuлюючих матеріалів при будівництві акумуляторів теплоти.

Ключові слова: міжсезонне акумулювання теплоти; теплоємнісний акумулятор теплоти; теплоакumuлюючий матеріал; вартість акумулятора теплоти.

Вступ. Необхідність акумулювання теплоти при сонячному теплопостачанні обумовлена значною нерівномірністю надходження сонячної радіації та її теплоспоживання протягом доби та року. Враховуючи те, що в холодний період року надходження сонячної радіації мінімальне, а теплоспоживання максимальне, доцільно розглянути можливість акумулювання теплової енергії від сонячних колекторів влітку з метою її подальшого використання для теплопостачання в перехідний та опалювальний періоди. Запас енергії в акумуляторі може бути розрахований на кілька місяців або цілий рік - при сезонному акумулюванні. У цілому ж застосування міжсезонного акумулятора теплоти зможе підвищити енергонезалежність та ефективність теплопостачання об'єктів при використанні геліосистем, вторинних енергоресурсів (ВЕР) та надлишкової теплоти в теплий період року від когенераційних установок та ТЕЦ.

Аналіз літературних джерел виявив, що все більше уваги, особливо в північних широтах, приділяють сезонному акумулюванню сонячної енергії. У світовій практиці (Швейцарія, Швеція, Данія та Ізраїль) найбільше поширення мають теплоємнісні сезонні акумулятори [1,2], які використовуються як для житлових будинків, так і коттеджних містечок. Існує декілька конструктивних варіантів виконання таких сезонних акумуляторів теплоти [3,4].

Незважаючи на значне число різноманітних за конструкцією та потужністю сезонних акумуляторів сонячного тепла економічна ефективність їхнього застосування не завжди очевидна внаслідок великих капітальних затрат на його спорудження. Для вирішення питання про доцільність спорудження теплоакумуляторів необхідно, щоб витрати на пристрій і експлуатацію системи альтернативного теплопостачання з сезонним акумулятором теплоти компенсувалися вартістю отриманої енергії за економічно обґрунтований період окупності (в межах 6-8 років). Тому на сьогоднішній день розробка ефективного міжсезонного теплоакумулятора є основною складовою частиною подальшого розвитку відновлювальних та вторинних джерел енергії.

Система акумулювання теплоти, як правило, містить теплоізований резервуар з теплоакуюючим матеріалом (ТАМ), який здійснює накопичення й зберігання теплової енергії, теплообмінне обладнання для підведення й відводу теплоти від ТАМу при зарядці й розрядці теплоакумулятора.

Оптимальна енергоефективність акумуляції теплоти та всієї системи сонячного теплопостачання залежить від:

- вартості акумулятора, яка включає в себе вартість спорудження резервуару (повна конструкція резервуара з теплоізоляцією), вартість самого теплоакуюючого матеріалу;
- робочих температур ТАМа;
- вартості експлуатації теплоакумулятора;
- вартості й експлуатаційних характеристик геліоколекторів (виникає питання доцільності використання дорогих та складних конструкцій імпортованих геліоколекторів) та інших альтернативних джерел теплової енергії.

Тому нагальною потребою є визначення ефективного ТАМу з урахуванням його вартості, теплотехнічних характеристик та вартості на спорудження резервуару. Порівняння різних ТАМів можна знайти в працях Бекмана, Даффі та ін. [1,2]. Проведений аналіз літературних джерел виявив, що при обґрунтуванні вибору ТАМу до сих пір не враховувались капітальні затрати на спорудження сезонного теплоакумулятора.

Враховуючи актуальність даного питання, при конструюванні сезонних акумуляторів слід звертати особливу увагу на фактори, що впливають на питому вартість акумулювання теплоти. До цих факторів потрібно віднести: питому теплосмність ТАМу, його густину та вартість, технічно можливий температурний діапазон використання, екологічність, доступність та гарантований термін експлуатації.

Аналіз впливу перелічених факторів на вартість зберігання акумульованої теплоти дозволив запропонувати факторний критерій оптимізації на підставі якого можливо порівняти різні варіанти ТАМів:

$$K_o = \frac{6}{c \cdot \rho \cdot (t_{зар} - t_{роз})}, \text{ грн / кДж}, \quad (1)$$

де c – питома теплоємність ТАМу, $\text{кДж}/(\text{кг}\cdot^{\circ}\text{C})$; ρ – густина ТАМу, $\text{кг}/\text{м}^3$; $c\cdot\rho$ – об’ємна теплоємність ТАМу, $\text{кДж}/(\text{м}^3\cdot^{\circ}\text{C})$; $t_{\text{зар}}$ – температура зарядки теплоаккумулятора (залежить від фізичних характеристик ТАМ), $^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{роз}}$ – температура розрядки теплоаккумулятора (приймаємо 55°C для нагріву води для ГВП до 45°C , а при використанні теплових насосів слід приймати 8°C); v – питома вартість 1м^3 теплоаккумулятору, визначається з формули:

$$v = B_{\text{заг}} / V, \text{ грн} / \text{м}^3; \quad (2)$$

де $B_{\text{заг}}$ – загальна вартість теплоаккумулятора з урахуванням вартості ТАМу, вартості матеріалів для резервуару та вартості робіт по його спорудженню, грн.; V – розрахунковий об’єм теплоаккумулятору, визначається з формули:

$$V = \frac{Q \cdot 10^6}{c \cdot \rho \cdot (t_{\text{зар}} - t_{\text{роз}})}, \text{ м}^3; \quad (3)$$

де Q – кількість теплоти, яку необхідно закумуляувати, ГДж.

Техніко-економічна сутність запропонованого критерію оптимізації (K_0) полягає в оцінці питомої вартості витрат на зберігання (аккумуляування) теплової енергії.

Для оцінки різних типів ТАМів, розглянемо варіант сонячного міжсезонного теплопостачання для середньостатистичного котеджного будинку $S = 250\text{м}^2$ та питомими тепловтратами на опалення $E_{\text{буд}} = 400\text{МДж}/\text{м}^2$ на рік. Цей показник відповідає нормативним вимогам будівельних норм:

$$E_{\text{буд}} = 400\text{МДж}/\text{м}^2 \text{ на рік} = 111\text{кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2 \text{ на рік} \leq E_{\text{max}} = 118\text{кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2 [5].$$

Тобто необхідна кількість тепла на опалення становить:

$$W = E_{\text{буд}} \cdot S = 400\text{МДж}/\text{м}^2 \cdot 250\text{м}^2 = 100000\text{МДж на рік} = 100\text{ГДж на рік}.$$

Робимо розрахунок для теплоаккумулятора ємністю $W = 100\text{ГДж}$, який може бути розміщено під будівлею або біля неї. При розміщенні під будівлею стінки теплоаккумулятора одночасно можуть використовуватися як фундамент будівлі, що позитивно вплине на загальну вартість будівлі.

Прийнята конструкція теплоаккумулятору:

- ✓ гідротехнічний бетон, товщиною 30мм;
- ✓ важкий залізобетон з високою маркою водонепроникності, товщиною 0,2м;
- ✓ зовнішня теплоізоляція із мінеральної вати для стін теплоаккумулятора та і спіненого скла для донної частини теплоаккумулятора, товщина 0,6м;
- ✓ гідроізоляція (рубероїд).

З метою техніко-економічного обґрунтування використання ТАМів для систем міжсезонного сонячного теплопостачання розглядаємо найбільш поширені матеріали з високою об’ємною теплоємністю, до яких слід віднести: воду, гранітний щебінь, чавун, бетон, масло мінеральне, гудрон, гліцерин. Для використання води в якості теплоносія доцільно застосовувати знесолену, очищену воду, яка може бути отримана в установках зворотній осмос. Для порівняння наведені розрахунки для води при атмосферному тиску та для води* під тиском 1,5 атм і температурою кипіння 105°C .

Таблиця. 1.

Порівняння теплоакумуючих матеріалів

Матеріал	c , кДж/кг*°C	ρ , кг/м ³	$c*\rho$, кДж/м ³ *°C	$t_{зар}$, °C	$t_{роз}$, °C	V , м ³	$V_{заг}$, тис. грн	K_o , грн/кДж*10 ³
Вода	4,187	975	4082,3	95	55	612	851	8,51
Вода*	4,187	925	3873,0	105	55	516	733	7,33
Чавун	0,482	7200	3470,4	140	55	339	52749	527,50
Бетон	1,13	2242	2533,5	140	55	464	664	6,64
Масло минеральне	1,8	900	1620,0	140	55	726	18635	186,35
Щебінь гранітний	0,84	1600	1344,0	140	55	875	776	7,76
Глицерин	2,43	1260	3061,8	140	55	384	6593	65,93
Гудрон	2,09	1000	2090,0	140	55	563	3436	34,36

В таблиці 1 наведені результати порівняння теплоакумуючих матеріалів. З представлених результатів можна зробити висновок, що за наявності високотемпературних геліосистем, надлишкової теплоти в теплий період року від когенераційних установок, ТЕЦ та високотемпературних ВЕР ефективніше всього використовувати бетон та щебінь в якості ТАМу. Найдорожчим ТАМом є чавун, тому для збільшення ефективності теплових акумуляторів з чавуну необхідно використовувати весь потенціал його робочих температур (до 800 °C). При використанні нічних тарифів на електроенергію можливо прогрівання теплоаккумулятора з чавуну до температур 500-600 °C, що дає зменшення об'єму теплоаккумулятора в 5-6 разів. Виходячи з даних розрахунків для низькопотенційних відновлювальних та вторинних джерел енергії з температурою до 95°C (низькотемпературні геліосистеми, низькопотенційна скидна теплота) найкращим ТАМом є вода. Затрати на підвищення температури води за рахунок підтримання необхідного тиску не окупають себе за рахунок ускладнення експлуатації системи та додаткових затрат на обладнання.

Висновки. За наявності теплоносія з параметрами більше 120 °C, в якості ТАМа доцільно використовувати бетон та щебінь гранітний. Чавун, як ТАМ, має найменший об'єм, але дуже високу вартість, що значно збільшує капітальні затрати. Для низькотемпературного акумулювання (до 95°C) використання води є найкращим та найдешевшим варіантом. З урахуванням верхньої межі температурних параметрів (нарівні 120-160 °C) теплової енергії, що отримується в теплий період від геліоколекторів, когенераційних установок, кращого розподілу теплоти в об'ємі теплового акумулятора перспективними до застосування в теплоаккумуляції є бетон та гудрон.

Література

1. Бекман Н.Г., Гилли П. Тепловое аккумулирование энергии./ Пер. с англ. В.Я. Сидорова, Е.В. Сидорова; Под ред. В.М. Бродянского. – М.: Мир, 1987. – 272с.
2. Даффи Дж.А., Бекман У.А. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии: пер. с англ. – М.: Мир, 1977 – 420с.
3. Андерсон Б. Солнечная энергия (Основы строительного проектирования)/ Пер. с англ. А.Р. Анисимова; Под ред. Ю.Н. Малевского. - М.: Стройиздат, 1982. – 375с.
4. Современные системы солнечного теплоснабжения/Б.И.Казанджан//Журнал «Энергия». – 2005. – № 12,
5. ДБН В.2.6-31:2006. Конструкції будівель і споруд. Теплова ізоляція будівель/Мінбуд України. – К.: ДП „Укрархбудінформ” Мінбуду України, 2006. – 68 с.

Технико-экономическое обоснование использования теплоаккумулирующих материалов для систем сезонного солнечного теплоснабжения

А.П. Любарец, А.С. Москвитина

Приводится экономическая оценка капитальных затрат на строительство межсезонного аккумулятора тепловой энергии при использовании различных теплоаккумулирующих материалов. В качестве теплоаккумулирующего материала рассматривались: вода, гранитный щебень, чугун, бетон, масло минеральное, гудрон, глицерин. Предложен критерий оптимизации для технико-экономического сравнения использования различных теплоаккумулирующих материалов при строительстве аккумуляторов теплоты.

Ключевые слова: межсезонное аккумулирование теплоты; теплоёмкий аккумулятор теплоты; теплоаккумулирующий материал; стоимость аккумулятора теплоты.

Technical and economic justification for the use of heat-retaining materials for seasonal solar heating systems

O. Liubarets, A. Moskvitina

This article provides an economic assessment of the capital cost of heat accumulator using different heat storage materials. The heat accumulating material water, crushed granite, cast iron, concrete, mineral oil, tar, glycerin was analised. Optimization criterion is proposed for technical and economic comparison using different heat storage materials in the construction of the heat accumulator.

Keywords: Off-season accumulation of heat battery heat; heat accumulator's material; the cost of the battery heat.

Надійшла до редакції 30.05.2014 р.