

7. Мастеров В.А. Серебро, сплавы и биметаллы на его основе. Справочник / В.А. Мастеров, Ю.В Саксонов. – М.: Металлургия, 1979. – 295с.

Представлены результаты исследований структуры рабочей поверхности серийных контактных материалов типа КМК-А10м на основе металлографического и рентгеноспектрального анализа.

Контакты, эрозия, сваривание, микроструктура, контактное сопротивление, электрическая дуга, эрозионная устойчивость.

Presented results of researches of structure of working surface of serial pin materials as КМК-А 10м on the basis of metallography and x-ray-spectral analysis.

Contacts, erosion, welding, microstructure, contact resistance, voltaic arc, erosion stability.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АКУМУЛЯТОРІВ ГЕЛІОУСТАНОВОК

Б.Х. Драганов, доктор технічних наук

Викладено методи підвищення ефективності акумуляторів теплоти. Показано, що основні шляхи розв'язання вказаного питання полягають у застосуванні методів математичного моделювання та оптимізації енергозберігаючих систем.

Математичні методи, безрозмірні параметри, графові побудови, нелінійні функції.

Енергетичні системи з використанням сонячної енергії мають багато переваг: розповсюдженість знаходження, невичерпність, безкоштовність, безпека експлуатації, мінімальний вплив на навколишнє середовище і досить висока естетичність.

Однак цим системам властиві і недоліки, серед яких, перш за все, мінливість у часі. Цей недолік може бути знижений при використанні акумуляторів енергії.

Надійні та ефективні системи акумуляування енергії не тільки забезпечать стабільне енергопостачання споживачів, але й підвищать коефіцієнт використання енергії за рахунок накопичення пікової і низькопотенційної енергії, яка не може бути заснована без відповідних її перетворень. Тому проблема найефективного акумуляування є, безсумнівно, актуальною. Застосування теплових акумуляторів дозволяє підвищити на 30...50 % ефективність використання поновлювальних джерел енергії і, в першу чергу, сонячної енергії.

Мета досліджень полягає у використанні методів математичного моделювання, теорії графів і методів оптимізації.

Результати досліджень. У геліоустановках найчастіше використовують рідинні акумулятори теплоти.

При формулюванні задачі приймаються допущення: в акумуляторі відсутня вимушена течія рідини; використовується одномірна модель, тобто температура вважається постійною в межах горизонтального шару в баку-акумуляторі; коефіцієнти теплопровідності рідини і стінок бака постійні.

Рідина знаходиться у баку у точці, температура якої ближче усього до власної температури рідини. Течія у баку, викликана дією градієнтних сил, відсутня; отже, не відбувається вертикальне перемішування. У системі немає внутрішніх джерел тепла.

Рівняння, що описує акумулюючу систему, має вигляд:

$$\frac{(Mc_p)_s}{H} \frac{\partial T_s}{\partial t} = k_p A_s \frac{\partial^2 T_s}{\partial x^2} - \frac{(UA)_s}{H} (T_s - T_{об}). \quad (1)$$

Вводимо такі безрозмірні перемінні:

$$\xi / H; t = \alpha t / H^2, \quad (2)$$

де $\alpha = k_p / (\rho c_p)$.

Тоді рівняння (1) матиме вигляд:

$$\frac{\partial T_s}{\partial t} - \frac{\partial^2 T_s}{\partial \xi^2} + [UA]_p (T_s - T_{ia}) = 0, \quad (3)$$

де $[UA]_p = [UA]_s H / (\gamma_p A_x)$ – безрозмірний коефіцієнт теплових втрат акумулятора в умовах відсутності течії. Цьому випадку відповідають такі граничні і початкові умови:

$$\frac{\partial T_s}{\partial \xi} (\xi = 0, t) = 0; \quad (4)$$

$$\frac{\partial T_s}{\partial \xi} (\xi = 1, t) = 0; \quad (5)$$

$$T_s(\xi, 0) - \text{ задана функція } \xi. \quad (6)$$

У цих рівняннях прийняті позначення: M – масова витрата, кг/с; c_p – питома теплоємність рідини в акумуляторі; H – висота баку-акумулятора, м²; $U = (UA)_s / W_\tau$; W_τ – водяний еквівалент для теплообмінника контуру колектора; A – площа, м²; U – безрозмірний коефіцієнт теплових втрат в акумуляторі; t – час, с; λ_p – коефіцієнт теплопровідності; індекс s означає акумулятор; x – поперечний переріз; $об$ – оболонка; p – рідина.

Рівняння (3) з урахуванням граничних і початкових умов розв'язується методами теорії нестационарної теплопровідності [4].

Наведемо розв'язок задачі визначення температурного поля в рідинному акумуляторі.

Акумулятор з рідинним ТАМ являє собою бак з гарячою водою. У баці розміщено змійовик, що є джерелом тепла. Акумулятор зазвичай являє собою вертикальний циліндричний бак при співвідношенні його висоти до діаметра $h/d = 3...5$.

Задача полягає у визначенні температурного поля обмеженого циліндра за наявності внутрішнього джерела тепла. Можна прийняти, що переміщення рідини в баці незначне і тому основним процесом передачі тепла є теплопровідність. Отже, задача формулюється так: дано обмежений циліндр ($-h < z < h, \omega < r < R$), що спочатку має температуру, рівну температурі навколишнього середовища T_0 . У початковий момент часу бічна поверхня циліндра і поверхні торців починають нагріватися з постійною швидкістю b , град/с, де $b \leq \lambda/\sqrt{a}$ – коефіцієнт теплової активності (λ – теплопровідність; a – температуропровідність).

Відповідно до формулювання задачі математична модель формується у вигляді двомірного рівняння теплопровідності в циліндричних координатах:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 T}{\partial Z^2} \right]. \quad (7)$$

Крайові умови записуються так:

$$T(r, z, 0) = T_0; \quad (8)$$

$$T(r, h, \tau) = T(R, z, \tau) = T_0 + b\tau; \quad (9)$$

$$\frac{\partial T(r, 0, \tau)}{\partial z} = 0; \quad (10)$$

$$\frac{\partial T(0, z, r)}{\partial r} = 0. \quad (11)$$

Загальний розв'язок сформульованої задачі ґрунтується на методі інтегральних перетворень Ханкеля і Лапласа [5]:

$$T(r, z, t) - T_0 = b\tau - \frac{bR^2}{4a} \left[1 - \frac{r^2}{R^2} - 8 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{J_0(\mu_n \frac{r}{R}) ch \mu_n \frac{z}{R}}{\mu_n^3 J_1(\mu_n) ch \mu_n k} \right] + \frac{4bh^2}{a} \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{(-1)^{m+1} J_0(\mu_n \frac{r}{R}) \cos \lambda_m \frac{z}{h}}{\mu_n J_1(\mu_n) \lambda_m (\lambda_m^2 + \mu_n^2 k^2)} \times \exp[-(\lambda_m^2 + \mu_n^2 k^2) Fo_h]. \quad (12)$$

У цьому рівнянні, крім вищезазначених, прийняті позначення: J_0, J_1 – функції Беселя нульового і першого порядку першого роду; $\lambda_m = (2m-1)\pi/2$ – теплопровідність; m – темп зміни температури; $k = h/R$; $Fo = a\tau/h$ – критерій Фур'є; μ_n – корені характеристичного рівняння:

$$J_0(\mu) = 0. \quad (13)$$

З рівняння (12) можна одержати безрозмірні залежності для аналізованого процесу:

$$\frac{\theta}{PdFo} = f\left(k, \frac{r}{R}, \frac{z}{h}, Fo\right), \quad (14)$$

де $Pd = \left(\frac{d\theta}{dFo}\right)_{\max}$ – критерій Предводителєва; $\theta = \frac{T(r, z, \tau) - T_0}{T_0}$ – відносна надлишкова температура в довільній точці тіла.

Наведене критеріальне рівняння може бути використано для обробки досліджуваних параметрів у безрозмірних координатах.

Метод оптимізації проілюструємо на прикладі акумулятора, що забезпечує одночасне акумуляування і споживання енергії.

Він являє собою дві теплообмінні поверхні, розташовані в середовищі, що акумулює тепло. У цьому випадку тепловий потік від джерела тепла передається споживачеві через акумулююче середовище. Фази роботи акумулятора для добового акумуляування такі:

- зарядка при відключенні споживача

$$Q_D = Q_A; \quad (15)$$

- зарядка при включеному споживачу

$$Q_D = Q_A + Q_C; \quad (16)$$

- робота при повній зарядці акумулятора

$$Q_A = Q_C; \quad (17)$$

- розрядка при «пікових» навантаженнях

$$Q_D + Q_A = Q_C; \quad (18)$$

- розрядка при включеному джерелі

$$Q_A = Q_C. \quad (19)$$

Сезонний акумулятор може бути розглянутий як окремий випадок із двома фазами роботи, описуваними рівняннями (15) – (19). У цих рівняннях Q – тепловий потік, де індекси означають: A – акумулятор; D – джерело тепла; C – споживач.

В акумуляторі присутні три теплових потоки. Розрахунок трьох потокових акумулятора проводиться на основі математичних моделей багатопотокових теплообмінних апаратів.

При розгляді комплексної системи теплохолодопостачання питання оптимізації також повинні носити комплексний характер і враховувати всі перетворення енергії усередині системи, включаючи повний набір периферійного устаткування.

Робота акумулятора теплоти ґрунтується на двох графіках:

- надходження теплоти (в нашому випадку – сонячної енергії).
- споживання теплоти (опалення і гаряче водопостачання).

Додатковою інформацією є статистичні дані про інтенсивність сонячної радіації в місцевості, тобто графік споживання теплоти приймаємо таким, що температура теплоносія на виході з акумулятора теплоти завжди постійна, тобто $dQ_D = f(G_D)$.

У загальному випадку умови теплообміну мають вигляд

$$DQ_{\dot{A}} = \alpha_{\dot{A}} (\dot{O}_{\dot{A}} - \dot{O}_{\dot{N}\dot{O}}) dF_{\dot{A}}; \quad (20)$$

$$DQ_{\dot{N}} = \alpha_{\dot{N}} (\dot{O}_{\dot{N}\dot{O}} - \dot{O}_{\dot{N}}) dF_{\dot{N}}; \quad (21)$$

$$DQ_{\dot{A}} = \alpha_{\dot{A}} (\dot{O}_{\dot{N}\dot{O}} - \dot{O}_{\dot{A}}) dF_{\dot{A}}. \quad (22)$$

Математична модель системи в цілому представлена моделями кожного окремого елемента у вигляді набору функціональних операторів (теорія, моделювання, розрахунок і апробація) [3]:

$$Y_i = f_{Y_i}(X_i, U_i, K_i, \Gamma_i);$$

$$\hat{O}_i = f_{\hat{O}_i}(X_i, U_i, K_i, \tilde{A}_i); \quad (23)$$

$$\psi_i = f_{\psi_i}(X_i, U_i, K_i, \tilde{A}_i).$$

На основі узагальненої математичної моделі (23) пропонується така модель трьохпотокового акумулятора теплоти

$$X_A = \{p_A, h_A, G_A, \xi_A, p_D, h_D, G_D, \xi_D, p_C, h_C, G_C, \xi_C\};$$

$$Y_A = \{T_A, s, \rho_A, \xi_A\};$$

$$U_A = \{\theta_A\} \text{ – при повній зарядці акумулятора}; \quad (24)$$

$$U_A = \{T_A\} \text{ – для всіх інших випадків};$$

$$\varphi_A = \{Q_A, \eta_A\};$$

$$K_A = \{F_D, V_A, F_C\}. \quad (25)$$

У рівняннях (20) – (25) прийняті позначення: α – коефіцієнт тепловіддачі; T – температура, °C; F – площа теплообміну, м²; Y – вихідні параметри; Φ – функціональні характеристики; ψ – вид функції рівняння стану; f_γ, f_Φ, f_ψ – нелінійні функції; X – вхідні внутрішні параметри; U – вихідні внутрішні параметри; K – конструктивні параметри; Γ – топологія елемента в схемі; p – тиск, Па; h – питома ентальпія, Дж/м³; ρ – густина, кг/м³; s – питома ентропія, Дж/кг; ξ – концентрація; G – масова витрата теплоносія; θ_α – сумарний температурний напір в апаратах абсорбційного теплового насоса; φ – коефіцієнт техніко-економічної досконалості; V_A – об'єм акумуляючої речовини; індекс i означає довільний елемент, СТ – стінка теплообмінника.

Джерелом тепла розглянутої установки з трьохпотоковим акумулятором є сонячна енергія. Для підвищення ефективності системи тепlopостачання в схему включений абсорбційний тепловий насос.

Якщо аналізується сезонний (двопотоковий) акумулятор теплоти в системі (24) відсутні потоки прирівнюються нулю.

Конкретизація зв'язків системи (24) виконана за залежностями, наведеними у [3, 6]. Рішення конкретизованих зв'язків замикається набором балансових рівнянь першого елемента: витрат, енергії, гідравлічних напорів, зміни ентальпії, ентропії.

Висновки

Основний шлях підвищення ефективності базується на сучасних методах моделювання процесів теплообміну і концентрації енергоекономічної оптимізації. Енергетичну систему рекомендується доповнити тепловим насосом.

Список літератури

1. Драганов Б.Х. Теплонасосные системы с аккумуляторами теплоты / Б.Х. Драганов, Т.В. Морозюк, Р.К. Никульшин // Пром. теплотехніка. – 2000. – Т. 22. – №5–6. – С. 46–49.
2. Драганов Б.Х. Термодинамическая оптимизация энергетических систем при эксплуатационном и экологическом режиме работы / Б.Х. Драганов // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2006. – № 2. – С. 8–10.
3. Драганов Б. Повышение эффективности систем солнечного тепло- и хладоснабжения / Б. Драганов, В. Фара, Т. Гулько // Международный сельскохозяйственный журнал. – 1994. – №5. – С. 47–49.
4. Коздоба Л.А. Решение нелинейных задач теплопроводности / Коздоба Л.А. / – К.: Наук. думка, 1976. – 136 с.
5. Тихонов А.Н. Уравнения математической физики / А.Н. Тихонов, А.А. Самарский. – М.: Наука, 1966. – 724 с.
6. Draganov B., Fara L. Enhancement of heliothermal systems efficiency // Solar Energy for Sustainable Development. – 1994. – Vol. 3. – № 1–2. p. 63–66.

Изложены методы повышения эффективности аккумуляторов теплоты. Показано, что основные пути решения указанного вопроса состоят в применении методов математического моделирования и оптимизации энергосберегающих систем.

Математические методы, безразмерные параметры, графовые построения, нелинейные функции.

Methods of effectiveness increase of heat accumulator have been given. It was shown that main ways of question solution are in mathematical modeling methods using and energy-saving systems optimization.

Mathematical methods, dimensionless parameters, graph construction, non-linear functions.