

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ТА РЕЖИМІВ РОБОТИ ПОВІТРЯНО-ГРАВІЙНОГО АКУМУЛЯТОРА В КОНВЕКТИВНІЙ ГЕЛІОСУШАРЦІ

В. Гальчак, к. ф.-м. н., С. Коробка

Львівський національний аграрний університет

Постановка проблеми. Одним із способів розв'язання задачі енергозбереження в сушильній геліотехніці є використання надлишкової теплової енергії в нічний час для нагріву теплоносія, що дасть змогу продовжити процес сушіння і стабілізувати тепловологісні режими протягом доби. Проблема полягає в тому, що цю надлишкову теплову енергію складно акумулювати.

На сьогодні відомо багато різних теплових акумуляторів: із фазоперехідним теплоакumuлюючим матеріалом, рідинні й парові акумулятори теплоти тощо [1]. Проте недоліками цих систем є великі габарити, складність конструкції, експлуатації, дороге виготовлення, що перешкоджають їхньому поширенню. З огляду на це актуальним є створення нових систем акумулювання, що працюють з використанням насадного теплового акумулятора. У геліотехніці найчастіше є шар гальки приблизно однакової дисперсності (фракційності), в якому тепла енергія запасється в акумулюючій речовині, яка здатна у нічний час з великою швидкістю і теплопровідністю віддати акумульоване тепло теплоносію.

Теплопровідність насадних теплових акумуляторів може бути на порядок вищою, ніж акумуляторів із фазовим переходом. Перевагами насадних теплових акумуляторів є: необмежений термін зберігання теплової енергії, надійність в експлуатації, необмежений ресурс, нескладність конструкції, експлуатації, дешевизна у виготовленні [2].

Саме цей принцип покладено в основу роботи насадного теплового акумулятора (повітряно-гравійного акумулятора). Удень завдяки нагріванню акумулюючої маси в ньому відбувається накопичення теплової енергії, тоді як із 18:00 до 23:00 акумулятор віддає акумульовану енергію у вигляді теплоти сорбції [7].

Складність експериментальних досліджень із визначення оптимальних параметрів адсорбції й геометричних параметрів шару сорбенту потребує залучення методів математичного моделювання для розв'язання задачі. Більшість математичних моделей, зокрема наведених у працях [2; 3], описують кінетику адсорбції для окремої насадки сорбенту й динаміку сорбції під час продування шару теплоакumuлюючого матеріалу (ТАМ) атмосферним повітрям. При цьому вони мають загальний характер та є складними для інженерних застосувань.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз літературних джерел дає змогу простежити й розглянути різноманітні варіанти повітряно-гравійних акумуляторів, де розглянуто сучасний метод і перспективи зниження енерговитрат у процесі акумулювання теплової енергії, технологічних способів перетворення

сонячного випромінювання в теплову енергію, перспективи використання теплового акумулятора конвективної геліосушарки в процесі сушіння фруктів.

Дослідженню конструктивних, теплофізичних параметрів і технологічних способів перетворення сонячного випромінювання в теплову енергію у сонячних геліосушальних установках присвячені роботи таких вчених, як Т.В. Шлегун, В.Д. Брега, Г.К. Вагенас, Г.І. Карнегі, З.К. Таїров, Г.Я. Умаров, Ю.Г. Тюрін, Г.Г. Умаров, У.М. Хусаїнов [1 – 4].

Однак розробці й дослідженню технологічних процесів перетворення сонячного випромінювання в теплову енергію і способів її акумулювання в повітряно-гравійному акумуляторі конвективної геліосушарки приділено недостатньо уваги, що вимагає подальшого вирішення.

Постановка завдання. Наше завдання – обґрунтувати конструктивні й теплофізичні параметри повітряно-гравійного акумулятора конвективної геліосушарки.

Виклад основного матеріалу. На сьогодні існує велике різноманіття теплоакумулюючих матеріалів (ТАМ), видів і конструкцій теплових акумуляторів, зумовлене широким спектром сфер їх застосування [5]:

- теплові акумулятори з твердим ТАМ;
- теплові акумулятори з плавильним ТАМ;
- рідинні акумулятори тепла;
- парові акумулятори тепла;
- теплові акумулятори фазового переходу;
- термохімічні акумулятори.

Ми пропонуємо в конвективній геліосушарці застосувати теплові акумулятори з твердим ТАМ, а саме повітряно-гравійний акумулятор.

Для проведення експериментальних досліджень розроблено дослідний взірець повітряно-гравійного акумулятора (рис. 1). Повітряно-гравійний акумулятор має рамну конструкцію, на передній фронталі є повітряний колектор 4, виготовлений з світлопрозорого матеріалу (скла із складом 72% SiO₂, 13% (Na₂O+K₂O), 11% Са; 4% (R₂O₃+MgO) та абсорбера. Абсорбер виготовлений із листового алюмінію, покритого селективною фарбою з коефіцієнтами короткохвильового поглинання $\alpha \approx 0,92$, довгохвильового випромінювання $\varepsilon \approx 0,48$, товщиною шару покриття $\lambda \approx 4,40$ мкм.

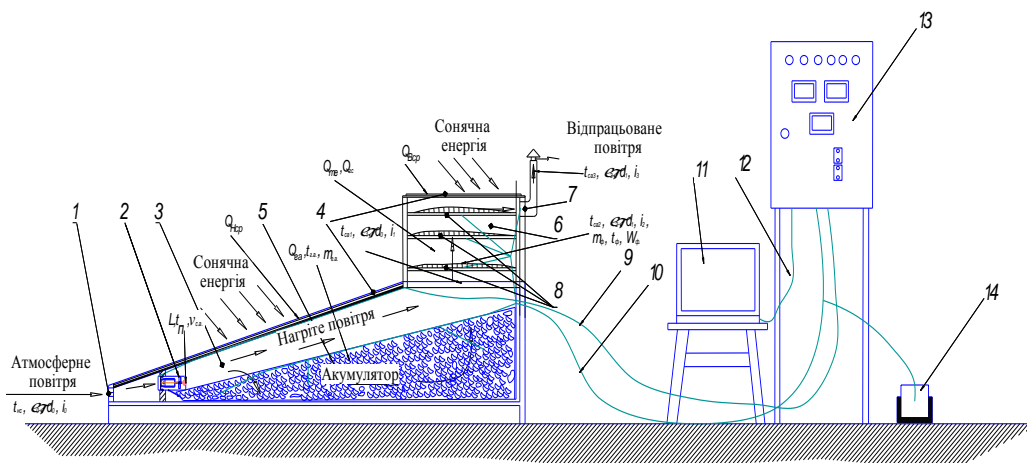


Рис. 1. Схема експериментальної установки: 1 – отвір, через який всмоктується атмосферне повітря; 2 – вентилятор; 3 – повітропровід; 4 – повітряний колектор; 5 – теплоакумуючий матеріал (ТАМ); 6 – сушильна камера; 7 – отвір, через який видаляється сушильний агент; 8 – решета; 9 – кабель живлення електродвигуна вентилятора; 10 – термоелектричні датчики (термоопори) типу (Pt 100); 11 – комп’ютер; 12 – комунікаційний кабель RS 232; 13 – електронний цифровий мікрвольтметр РТ-0102-8, термогігрометр РТ-0102, термоанемометр УТ 362; 14 – термостат.

На бічній стінці акумулятора зроблено круглі отвори 1 для подачі атмосферного повітря в геліосушарку. Циркуляція нагрітого повітря (теплоносія 1...2,17 м/с) забезпечується вентилятором 2. Між абсорбером і ТАМ розміщений повітропровід 3, який здійснює подачу теплоносія до сушильної камери 6. Як додаткове джерело акумулявання надлишкового тепла використовують ТАМ 5, верхній шар якого слугує теплосприймальною поверхнею і розміщений внизу камери. ТАМ має вигляд ємності з розміром 276×1360 мм (об’ємом 0,35 м³ на 0,5 м² площі колектора) і заповнюється гравієм (елементами насадки) розміром 20-10 мм.

Тепловий акумулятор заряджається гарячим повітрям, що рухається в повітропроводі з певною швидкістю, передаючи своє надлишкове тепло елементам насадки. Розряджається тепловий акумулятор холодним повітрям, що рухається в повітропроводі в нічний час, охолоджуючи елементи насадок.

Для вимірювання температури навколишнього середовища, теплоносія, теплоакумуючого матеріалу використовувалися вісім термоопорів Pt 100. Як реєструючий прилад використовували електронний цифровий мікрвольтметр РТ-0102-8. Індивідуальне градування кожного термоопору проводили за реперними точками й температурою кипіння води.

Находження інтенсивності сонячного випромінювання на сприймаючу поверхню повітряного колектора вимірювали цифровим піранометром ПЕЛЕНГ СФ – 06. Швидкість відпрацьованого теплоносія вимірювали чашковим

термоанемометром УТ 362. Вологість циркулюючого і відпрацьованого теплоносія вимірювали стаціонарним термогігрометром РТ-0102.

Методика проведення експериментів. Підготовка стенда до роботи:

1. Встановити сприймальну поверхню повітряного колектора відносно кута надходження сонячної радіації;
2. Під'єднати датчики стенда до вимірювальних приладів, а прилади через комунікаційний кабель RS 232 до ПК;
3. Підключити осьовий вентилятор і вимірювальні прилади до електромережі;
4. Обрати швидкість циркуляції теплоносія (1...2,17 м/с);
5. Запустити програмне забезпечення і зняти дані в процесі сушіння.

Температуру в контрольних точках визначають через кожні 60 хвилин, а швидкість руху теплоносія – на початку і в кінці теплового акумулятора. За швидкістю руху теплоносія і діаметром вихідного отвору визначають витрату відпрацьованого теплоносія.

Відносну вологість повітря (теплоносія) вимірюють стаціонарним термогігрометром через кожні 60 хвилин разом із вимірюванням температури.

Зміну надходження інтенсивності сонячного випромінювання, на сприймальну поверхню повітряного колектора визначають через кожні 60 хвилин.

Результати експериментальних досліджень. Теплоакумуючою речовиною насадного теплоакумулятора в геліотехніці найчастіше є шар гальки приблизно однакової дисперсності (фракційності).

Теплообмін між повітрям і елементами насадки відбувається на їх поверхні, площа якої визначається розмірними характеристиками гальки. Тому, досліджуючи теплообмін у повітряно-гравійному акумуляторі, зручно користуватися коефіцієнтом об'ємного теплообміну (теплопередачі), який враховує збільшення поверхні за рахунок дисперсності середовища [6]:

$$\alpha_v = 4,8 \frac{\lambda_n \cdot (1 - \varepsilon)}{\delta} \sqrt{\frac{2 \cdot \nu}{\sigma \cdot \nu}}, \text{ Вт/м}^3 \cdot \text{°C}, \quad (1)$$

де λ_n – коефіцієнт теплопровідності повітря, Вт/м-град; ν – коефіцієнт кінематичної в'язкості повітря, м²/с; ε – коефіцієнт порізності; σ – об'єм одного елемента насадки, м³; V – об'єм акумуляуючої маси, м³; ν – швидкість повітря при обтіканні елементів насадки, м/с.

Для елемента об'єму насадки $dV = S dx$ перерізом S товщиною dx (рис. 2) можна скласти балансове рівняння теплообміну за таких спрощень: температура насадки і повітря однакова по всьому перерізу; теплофізичні характеристики з температурою не змінюються; контактний теплообмін між елементами насадки практично відсутній. З урахуванням цих допущень тепловий процес в елементарному об'ємі з масами – насадки $dm = \rho S dx$ і повітря $dm = G S dt$ – описується відповідними рівняннями теплового балансу:

$$c_n \cdot \rho_n \cdot S \cdot dx \cdot \partial t_n = \alpha_n \cdot S \cdot dx \cdot (t - t_n) \cdot \partial \tau; \quad (2)$$

$$c_p \cdot G \cdot S \cdot \partial \tau \cdot \partial t_n = \alpha_n \cdot S \cdot dx \cdot (t - t_n) \cdot \partial \tau, \quad (3)$$

де c_n і c_p – питомі теплоємності насадки і повітря, Дж/кг·град; t_n і t – температури насадки і повітря, °С; S – площа поперечного перерізу, м²; τ – тривалість нагріву повітряно-гравійного акумулятора, год; G – витрата повітря, кг/м²·с.

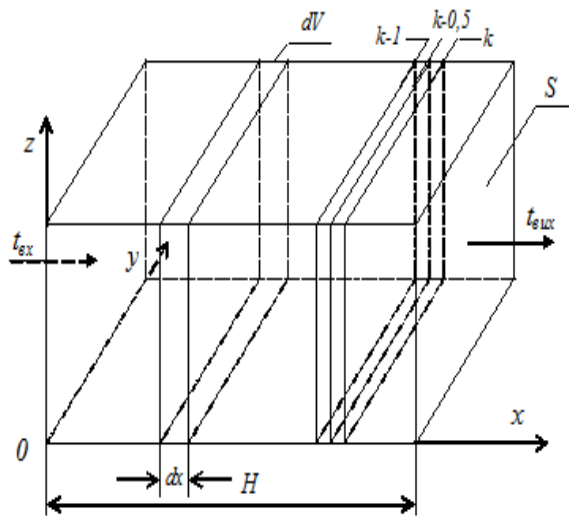


Рис. 2. Схема розрахунку процесу продування теплоносія в повітряно-гравійному акумуляторі.

Після перетворень отримаємо два диференціальні рівняння:

$$\frac{\partial t_n}{\partial \tau} = N_n (t - t_n); \quad (4)$$

$$\frac{\partial t}{\partial x} = N(t_n - t), \quad (5)$$

де $N_n = \frac{\alpha_v}{c_n \cdot \rho_n}$; $N = \frac{\alpha_v}{c_p \cdot G}$; c_n і c_p – питомі теплоємності насадки і повітря,

Дж/кг·град; t – температури насадки і повітря, °С; τ – час нагріву повітряно-гравійного акумулятора, год; G – витрата повітря, кг/м²·с; α_v – коефіцієнт тепловіддачі (об'ємного теплообміну) повітря, Вт/м·град; ρ_n – густини матеріалу (насадки), кг/м³; t_n і t – температури насадки і повітря, °С; G – витрата повітря, кг/м²·с.

Початковою умовою для розв'язку рівняння (4) є температура повітря в повітропроводі $t_n(\tau, x) = t_n(0, 0)$:

$$t_n(\tau, 0) = t_{cp} + t_m \cos \frac{2\pi}{24} (\tau_s + \tau - 15). \quad (6)$$

Перший доданок означає середню температуру повітря в повітропроводі, що продувається з певною швидкістю, передаючи своє надлишкове тепло, для

зарядки ТАМ. Температура ТАМ досягає максимального амплітудного t_m значення о 15 годині.

Якщо прийняти, що процес зарядки починається з $\tau_3 = 8$ год, а максимальна температура теплоносія в повітропроводі досягається о 15 годині (рис. 3), то вираз спроститься до вигляду:

$$t_n(\tau, 0) = t_{cp} + t_m \cdot \cos[15 \cdot (\tau - 6)]. \quad (7)$$

Нагрівання горизонтальної поверхні повітряного колектора починається з надходженням сонячного випромінювання. Теплові надходження на повітряний колектор від сонячного випромінювання змінюються за сонячним часом, їх можна описати виразом:

$$Q = Q_{Hcp} \cos \pi \frac{\tau - 12}{\tau_c}, \quad (8)$$

де Q_{Hcp} – інтенсивність сонячного випромінювання на сприймальній поверхні повітряного колектора, Вт/м².

Крайовою умовою для рівняння (5) є його розв'язок у початковий момент часу $\tau = 0$. Якщо початкову температуру повітря позначити t_{n0} , а насадки t_{n0} , то температура повітря вздовж насадки (координати x рис. 2) не спадатиме, початок процесу зарядки опишеться виразом:

$$t(0, x) = t_{n0} + (t_{n0} - t_{n0}) \exp\left(-\frac{\alpha_v \cdot x}{c_p \cdot G}\right). \quad (9)$$

Обидва рівняння (4) та (5) об'єднуються в одне другого порядку таким чином. Визначимо з рівняння (5) t_n і його частинну похідну за часом $\partial t_n / \partial \tau$:

$$t_n = \frac{1}{N} \frac{\partial t}{\partial x} + t; \quad \frac{\partial t_n}{\partial \tau} = \frac{1}{N} \frac{\partial^2 t}{\partial x \partial \tau} + \frac{\partial t}{\partial \tau}. \quad (10)$$

Отримані вирази підставимо в рівняння (4) і отримаємо:

$$\frac{1}{N} \frac{\partial^2 t}{\partial x \partial \tau} + \frac{\partial t}{\partial \tau} + N_n \left(t - \frac{1}{N} \frac{\partial t}{\partial x} + t \right) = -\frac{N_n}{N} \frac{\partial t}{\partial x}. \quad (11)$$

Відтак отримуємо одне рівняння другого порядку:

$$\frac{\partial^2 t}{\partial x \partial \tau} + N \frac{\partial t}{\partial \tau} + N_n \frac{\partial t}{\partial x} = 0. \quad (12)$$

Це рівняння може бути розв'язане чисельно, наприклад наближеним методом кінцевих різниць. Для цього розіб'ємо насадку вздовж осі x на k вузлів з кроком Δx , час зарядки – на часові періоди з кроком $\Delta \tau$, а диференціали замінимо відповідними приростами:

$$\frac{\hat{t}_k - \hat{t}_{k-1} - t_k + t_{k-1}}{\Delta x \cdot \Delta \tau} + N \frac{t_k - t_{k-1}}{\Delta \tau} + N_n \frac{\hat{t}_k - \hat{t}_{k-1}}{\Delta x} = 0. \quad (13)$$

Значком “ $\hat{}$ ” позначено температуру в кінці часового кроку, а нижнім індексом – вхід ($k-1$) і вихід (k) виділеного елемента об'єму dV_k .

Після введення позначень отримаємо:

$$\alpha = I + N\Delta x \text{ і } \beta = I + N_n\Delta\tau, \quad (14)$$

отримується вираз для біжучого розрахунку кінцевої температури \hat{t}_k виходу виділеного об'єму dV_k за відомими трьома температурами на його граничних перерізах – \hat{t}_{k-1} , t_k і t_{k-1} :

$$\hat{t}_k = \frac{\alpha}{\alpha + \beta - 1} \hat{t}_{k-1} + \frac{\beta}{\alpha + \beta - 1} t_k - \frac{1}{\alpha + \beta - 1} t_{k-1}. \quad (15)$$

Розподіл температури повітря по довжині (глибині) насадки x розраховується за рівнянням (5). У початковий момент зарядки він розраховується за рівнянням крайової умови (9).

На початок зарядки ($\tau_3 = 0$) приймаємо рівномірний розподіл температури в ТАМ для всіх перетинів теплового акумулятора та рівним $t_m = 20$ °С.

У кінці першого часового інтервалу температура повітря на початку ТАМ становить t_n , а її розподіл \hat{t}_k вздовж ТАМ також розраховується за рівнянням (15). Для його розрахунку використовуються значення попередньої за часом температури вхідного перерізу \hat{t}_{k-1} , його наступної температури t_{k-1} та температури протилежного до входу перерізу t_k .

Схема перерізів ТАМ і їх температурних рівнів наведена на рис. 2.

Приріст температури повітря і насадки посередині між двома послідовними перерізами описується рівнянням

$$\Delta \hat{t}_{n,k-0,5} = \frac{N_n}{N} \cdot \frac{\Delta\tau}{\Delta x} \cdot \frac{|\hat{t}_k + t_k| - |\hat{t}_{k-1} + t_{k-1}|}{2}. \quad (17)$$

Зміна температури теплоізолюваного об'єму ТАМ відбувається за рахунок тепловтрат через його поверхню. Якщо попередньо розраховано опір теплопередачі R , то поточна швидкість нагрівання чи охолодження $dQ/d\tau$ пропорційна різниці температур: ТАМ t_0 і навколишнього середовища t_{nc} , у якому знак “–” відповідає випадку охолодження ТАМ.

Процес охолодження описується таким диференціальним рівнянням [7]:

$$\frac{dQ}{d\tau} = - \frac{S \cdot (t_0 - t_{nc})}{R}, \quad (18)$$

де R – опір теплопередачі, Вт/м³·°С; Q – теплова потужність повітряно-гравійного акумулятора, Вт/м³; t_0 і t_{nc} – температура ТАМ, навколишнього середовища, °С; τ – тривалість охолодження повітряно-гравійного акумулятора, год.

Якщо зміну теплової енергії виразити через приріст температури, отримуємо вираз:

$$dQ = c \cdot m \cdot dt, \quad (19)$$

де m – маса акумулюючої речовини, кг; c – теплоємність акумулюючої речовини, Дж (кг °С); t – температура акумулюючої речовини, °С.

З порівняння обох рівнянь процес охолодження (розрядки повітряно-гравійного акумулятора) опишеться диференціальним рівнянням з розділюваними змінними:

$$c \cdot m \cdot dt = -\frac{S \cdot (t_0 - t_{nc})}{R} \quad (20)$$

Розділимо змінні і проінтегруємо це рівняння в межах від початкової температури ТАМ t_0 до поточної t :

$$\frac{dt}{t - t_{nc}} = -\frac{S}{R \cdot c \cdot m} \cdot d\tau; \quad (21)$$

$$\int_{t_0}^t \frac{dt}{t - t_{nc}} = -\int_0^\tau \frac{k \cdot S}{c \cdot m} \cdot d\tau; \quad (22)$$

де k – коефіцієнт, що враховує інтенсивність циркуляції теплоносія в тепловому акумуляторі, може набувати значень $k = 0,5 \dots 0,7$.

Розв'язок має вигляд:

$$\ln(t - t_{nc}) \Big|_{t_0}^t = -\frac{S}{R \cdot c \cdot m} \cdot \tau \quad \text{або} \quad \frac{t - t_{nc}}{t_0 - t_{nc}} = e^{-\frac{S}{R \cdot c \cdot m} \cdot \tau}$$

Поточна температура ТАМ зменшується відповідно з виразом:

$$t = t_{nc} + (t_0 - t_{nc}) \cdot e^{-\frac{S}{R \cdot c \cdot m} \cdot \tau} \quad (23)$$

Ефективність роботи повітряно-гравійного акумулятора залежить від факторів: орієнтації повітряного колектора, кута нахилу його поверхні, географічної широти (для м. Корця Рівненської області – $50,61^\circ$), а також забруднення повітря. У період проведення дослідження середнє значення інтенсивності сонячного випромінювання було в межах $910-400 \text{ Вт/м}^2$ на годину, проте варто зазначити, що максимум зафіксовано 15 липня о 13:00 ($945,5 \text{ Вт/м}^2$).

На рис. 3 показано зміну температури повітряно-гравійного акумулятора, за результатами досліджень впродовж доби 15, 16 липня 2013 р. Наслідком більшої інтенсивності сонячного випромінювання є підвищення температури теплоносія, що протікає через повітряно-гравійний акумулятор. Так, 15 липня від 10:00 до 17:00 год. тепловий акумулятор нагрівався з $26,8 \text{ }^\circ\text{C}$ до $48,3 \text{ }^\circ\text{C}$, тоді як 16 липня з 9:00 до 15:00 год. температура теплового акумулятора змінювалася з $27,9 \text{ }^\circ\text{C}$ до $48,6 \text{ }^\circ\text{C}$.

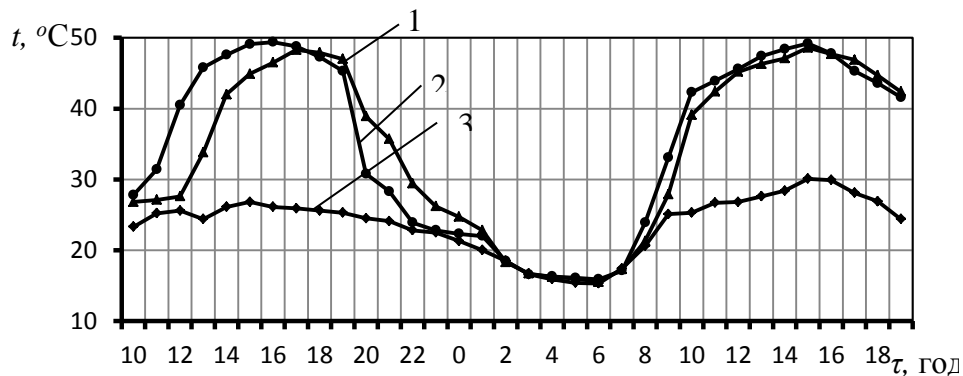


Рис. 3. Зміна температури повітряно-гравійного акумулятора на виході з шару насадки (гальки) впродовж доби 15, 16 липня 2013 р.: 1 – температура теплоносія; 2 – температура повітряно-гравійного акумулятора; 3 – температура навколишнього середовища.

Подібним чином змінювалась температура теплоносія в сонячному колекторі. 15 липня о 10:00 температура теплоносія становила 27,6 °С, від 13:00 до 15:00 теплоносій нагрівся до максимальної температури 49,4 °С, після чого з 15:00 до 19:00 температура теплоносія знизилась до 45,3 °С.

16 липня теплоносій з 9:00 до 14:00 год. нагрівався від температури 33,1 °С до температури 48,4 °С та о 15:00 год. досяг температури 49,2 °С.

15 липня в денний період від 10:00 до 18:00 год. навколишнє середовище нагрілось з 23,3 до 25,6 °С, тоді як у нічний період з 15 на 16 липня від 22:00 до 9:00 год. температура навколишнього середовища змінювалась з 22,8 до 25,1 °С.

У режимі зарядки (рис. 4) температура гравійної акумулюючої поверхні, розташованої в центрі теплового акумулятора, досягне значення 44,1 °С в 11.00 год., а з 11.30 до 15.00 зарядка дорівнює 48,9 °С. ТАМ, що перебуває поблизу виходу, після однієї години зарядки з 10.00 до 11.15 год. має температуру 42 °С, а після п'яти годин з 11.20 до 15.00 — 52 °С.

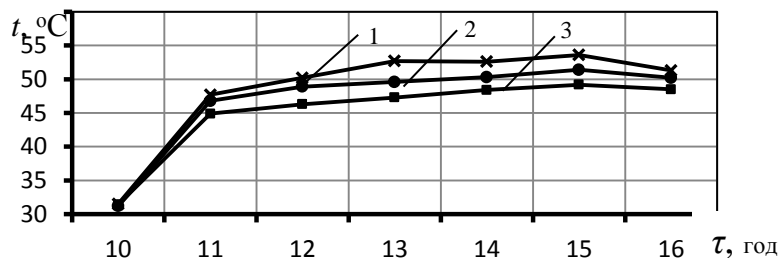


Рис. 4. Залежності температури в окремих точках акумулятора теплоти від часу в режимі зарядки, температура теплоносія на вході (1), у центрі (2) і на виході (3) з акумулятора.

У режимі розрядки (рис. 5) протягом 16 годин з 17.00 до 7.00 температура ТАМ на вході коливається від 46,5 до 20,6 °С, у центрі – від 47,3 до 20,9 °С, а на виході – від 48,1 до 21,1 °С.

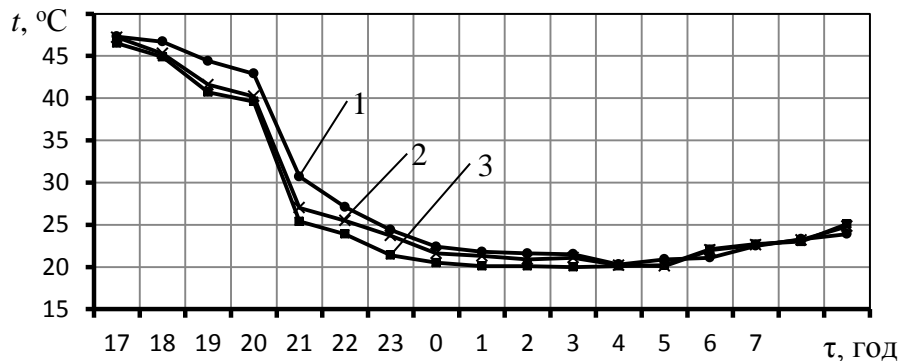


Рис. 5. Зміна температури в окремих точках акумулятора теплоти від часу в режимі розрядки, температура теплоносія на вході (1) у центрі (2) і на виході (3) з акумулятора.

Висновки. Рівність критеріальних рівнянь (2) – (3) говорить про аналогію між теплопередачею і теплообміном, що дає змогу визначити тепловий баланс, коли відомий коефіцієнт тепловіддачі.

Отримані залежності (17) – (23) дають змогу описати роботу повітряно-гравійного акумулятора в режимі зарядки й розрядки.

Одержано оптимальні теплофізичні параметри теплового акумулятора, у процесі нагромадження й передачі теплової енергії в режимі зарядки температура t – 30,5 – 45,6 °С не менш 6 годин, а в режимі розрядки t – 45,6 – 20,9 °С — не більше 12 годин; теплова потужність акумулятора Q – 270 – 34 Вт/м³.

Тепловий акумулятор характеризується розмірами 276 x 1360 мм (об'ємом 0,35 м³ на 0,5 м² площі колектора); маса акумулюючої речовини – 50 кг/м³.

Бібліографічний список

1. Гольдштик М. А. Процессы переноса в зернистом слое / М. А. Гольдштик. – Новосибирск : ИТФ СО АН СССР, 1984. – 163 с.
2. Хатамов С. О. Определение продолжительности и времени зарядки и разрядки галечного (насадочного) аккумулятора солнечного тепла / С. О. Хатамов, О. П. Азимов // Гелиотехника. – 1980. – № 3. – С. 48-52.
3. Коган Д. Я. Расчет аккумуляторов с твердым наполнителем / Д. Я. Коган, О. А. Аvezов. // Гелиотехника. – 1983. – № 2. – С. 53-55.
4. Вардиашвили А. Б. Гидравлическая и теплообменная характеристика подпочвенного аккумулятора тепла с галечной насадкой / А. Б. Вардиашвили, В. Д. Ким, М. Д. Ким // Гелиотехника. – 1986 – № 5. - С. 56-59.
5. Вардиашвили А. Б. Математическая модель галечного аккумулятора тепла и метод его теплотехнического расчета / А. Б. Вардиашвили, В. Д. Мурадов, В. Д. Ким // Гелиотехника. – 1987. – № 2. – С. 38-43.
6. Кирсанов И. Н. Тепловые аккумуляторы / И. Н. Кирсанов. – М., Л. : Объединенное

- науч.-техн. изд-во, 1976. – 211 с.
7. Бекман Г. В. Теловые аккумулярование энергии / Г. В. Бекман, И. А. Гилли. – М. : Мир, 1987. – 272 с.

Гальчак В., Коробка С. Дослідження параметрів та режимів роботи повітряно-гравійного акумулятора в конвективній геліосушарці

Наводяться опис, принцип дії та розрахунок основних параметрів, конструкції повітряно-гравійного акумулятора, що нагрівається сонячним випромінюванням, який дає змогу в денний час стабілізувати теплофізичні параметри сушильного агента, а в нічний час забезпечує процес сушіння фруктів у конвективній геліосушарці.

Ключові слова: повітряно-гравійний акумулятор, експериментальні дослідження, ступінчасті режими зарядки, розрядки, теплоакumuлюючий матеріал.

Gal'chak V., Korobka S. Study setting and modes of air-battery gravel in the convective heliumdryer

Description is given, and the principle of the calculation of the basic parameters, design of air-gravel battery, heated by solar radiation, which allows daylight to stabilize the thermal parameters of the drying agent, and at night provides the process of drying fruit in the convective heliumdryer.

Key words: air-gravel battery, experimental studies, step modes charge, discharge, heat accumulators material.

Гальчак В., Коробка С. Исследование параметров и режимов работы воздушно-гравийного аккумулятора в конвективной гелиосушилке

Приводятся описание, принцип действия и расчет основных параметров, конструкции воздушно-гравийного аккумулятора, который нагревается солнечным излучением и позволяет в дневное время стабилизировать теплофизические параметры сушильного агента, а в ночное время обеспечивает процесс сушки фруктов в конвективной гелиосушилке.

Ключевые слова: воздушно-гравийный аккумулятор, экспериментальные исследования, ступенчатые режимы зарядки, разрядки, теплоакumuлирующий материал.