

Висновки і напрямок подальших досліджень. Завдяки сучасним методам виявлення подвійних зірок можливо з'ясувати безліч їх параметрів незалежно від їх типу. Відповідно до методу спостереження і виявлення тієї або іншої системи зірок, можна використовувати різні варіанти знаходження параметрів світил.

Зміна блиску тіла системи зазвичай викликана зміною взаємного положення тіл, внаслідок руху тіл по орбітах, а також обертанням тіла навколо власної осі. В останньому випадку крива блиску дозволяє встановити період обертання тіла на час спостереження.

У змінних зірок зміна блиску часто пов'язана з пульсаціями зірки, з рухом навколо неї менш яскравої зірки-компаньйона (затемнена змінність) та з іншими причинами. Крім того, порівняно слабкі зміни блиску зірки можуть свідчити про наявність у неї планет.

Зміни зсувів або роздвоєнь спектральних ліній спектрально-подвійних зірок дозволяють визначити променеву швидкість, яка є проекцією орбітальної швидкості на промінь зору. Криві променевих швидкостей – одного компонента або обох, якщо супутник не надто відрізняється за блиском від головної зірки – дають можливість обчислити елементи істинної орбіти.

У разі, коли подвійна зірка є затемненою, то стає можливим побудувати залежність інтегрального блиску від часу. Змінність блиску на цій кривій буде залежати від затемнень, ефектів еліпсоїдальності, ефектів відображення (перетворення випромінювання однієї зірки в атмосфері іншої).

Аналіз кривих блиску дає можливість визначити не тільки елементи орбіти затемненої подвійної зірки, але й деякі характеристики самих компонентів (наприклад, форму та розміри).

Список літератури

1. Киселев А. А. Двойные звезды и значение их наблюдений в астрономии / А. А. Киселев. - Соросовский образовательный журнал, 1996, №4, с. 69-73.
2. Паннекук А. История астрономии / А. Паннекук. - М: Наука, 1966 – 592с.
3. Кутто П. Наблюдение визуально-двойных звезд. - Пер. с фр. А. М. Черепащука. - М.: Мир, 1981. - 238 с.
4. Липунов В. М. В мире двойных звёзд / В. М. Липунов. - М.: Книжный дом "ЛИБРОКОМ", 2009. - 256 с.
5. Чинарова Л.Л. Двойные звезды и их эволюция: Метод. указания для школьников ст. кл., студ. физ.-мат. спец. ун-тов и любителей астрономии. - Одесса.: НИИ "Астрономическая обсерватория" ОНУ им. Мечникова, 2007.
6. Куликовский П. Г. Двойные звёзды / П. Г. Куликовский. - Физика космоса: Маленькая энциклопедия (2-е изд). - М.: Советская энциклопедия, 1986. - 783 с.
7. Бакулин П.И. Курс общей астрономии./ П.И. Бакулин, Э.В. Кононович, В.И. Мороз. - М.: Наука, 1983. - 560 с.
8. Мур П. Астрономия с Патриком Муром. / П. Мур. - Москва, Файр-Пресс, 2004, 364 с.
9. Климишин И. А. Элементарная астрономия / И. А. Климишин. - Москва: Наука, 1991. - 464 с.
10. Список подвійних зірок у Великій Ведмедиці. [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <https://tls-urist.ru/uk/seven-stars-of-the-big-bear-the-constellation-of-a-large-bear.html>

Рукопис подано до редакції 30.03.2021

УДК 621.311

О.В. ЗАМИЦЬКИЙ, д-р техн. наук, проф., О.В. ГРИЦЕНКО, асист.
Криворізький національний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ З СИСТЕМОЮ ОХОЛОДЖЕННЯ

Мета роботи. Метою даної роботи є вибір найбільш ефективної системи охолодження для установки фотоелектричного перетворення з концентратором сонячного випромінювання.

Методи дослідження. У роботі використані чисельні методи, методи математичного аналізу, математичне моделювання, програмування.

Наукова новизна. Встановлено вперше, що залежності температури води на виході від ККД теплообмінника мають лінійний характер. Побудовано графік ККД систем охолодження.

Практичне значення. На сьогоднішній день в світі спостерігається стрімке зростання використання фотоелектричних перетворювачів. Тому підвищення ефективності перетворення сонячної енергії в електричну є актуальне наукове завдання. Використання системи охолодження підвищує стійкість фотоелектричного перетворювача до високих температур, що дозволяє не тільки збільшити генерацію електрики влітку, але і продовжити термін служби модулів.

Результати. Сонячна панель під дією світла виробляє не тільки електроенергію, але і тепло. У звичайній сонячній панелі в точці максимальної потужності лише 10-15% сонячної енергії, яка падає на неї, перетворюється в електрику; 4 % відбивається від лицьової поверхні сонячної панелі; більша частина решти перетворюється в тепло. Нормальною для роботи фотоелектричного перетворювача є температура 25 °С. З ростом температури потік електронів усередині елемента зростає, що викликає збільшення сили струму і падіння напруги. Падіння напруги при цьому більше, ніж збільшення сили струму. Тому загальна потужність зменшується, що призводить до того, що панель працює з меншою ефективністю. Для того щоб знизити температуру фотоелектричного перетворювача, необхідно передбачити систему охолодження. В роботі розглядаються системи охолодження водою, повітрям та туманом для установки фотоелектричного перетворення з концентратором сонячного випромінювання. Виконано моделювання процесу охолодження водою сонячної панелі з використанням теплообмінника прямотрубного типу в програмі SolidWorks. Також виконано розрахунок системи охолодження туманом та повітрям. Виявлено найбільш ефективну систему охолодження.

Ключові слова: фотоелектричний перетворювач, охолодження, теплообмінник, сонячна панель, температура панелі, тепло, сонячна радіація, температура води.

doi: 10.31721/2306-5451-2021-1-52-150-156

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Сонячна енергія є однією з вагомих серед альтернативних енергетичних джерел і найбільш перспективною з точки зору кількості ресурсів і високої екологічності. Як відомо, при експлуатації альтернативних джерел живлення на базі сонячних батарей з практичної точки зору може виникнути ряд проблем, однією з яких є забезпечення їх якісного охолодження.

Більшість компаній, виробники сонячних панелей, використовують кремній для перетворення сонячного світла в електрику. Але типові кремнієві елементи перетворюють тільки 10%-15% сонячної радіації, яка потрапляє в них. Інша частина перетворюється в тепло, яке нагріває панелі. З кожним градусом температури вище 25 °С ефективність панелі падає. Значне підвищення температури сонячної панелі може привести до теплових деформацій обладнання і навіть до виходу його з ладу. Вирішення проблеми поглинання надлишкової теплової енергії є актуальним та своєчасним завданням [1].

Аналіз досліджень і публікацій. У розвиток світової геліотехники - фотоелектричного і теплового способів перетворення сонячної енергії внесли великий вклад такі вчені: Бариков М.Я., Віссаріонов В.І., Дерюгін Г.В., Кузнецов В.А., Малінін Н.К., Умаров Г. Я., Єршов А.А., Васильєв А.М., Ландсман А.П., Фаренбрух А., Бьюба Р., Баум В.А., Алфьоров Ж.І., Андрєєв В.М., Баранов В.К. Васильєв А.М., Греліхес В.А., Євдокимов В.М., Вавилов В.С., Каган М.Б., Колтун М.М., Кондратьєв К.Я., Лідоренко Н.С., Ландсман А.П., Пивоварова З.І. та ін.

В [2] розглянуто можливості підвищення ефективності сонячних когенераційних установок на базі фотоелектричних теплових модулів. Запропоновано конструкцію установки, яка забезпечує отримання гарячої води із заданою температурою при збереженні високих значень ККД фотоелектричного перетворення. Фотоелектричний тепловий модуль був досліджений в натурних умовах при різних умовах експлуатації. Для цього була розроблена спеціальна система одночасного моніторингу метеопараметрів, контролю електричних і теплових параметрів фотоелектричного теплового модуля і температури різних точок модуля. Було проведено комплекс досліджень характеристик фотоелектричного теплового модуля в різних умовах експлуатації, рівні сонячної радіації і метеопараметрів. Було показано, що зміни рівня сонячної радіації протягом дня істотно впливають на вихідні параметри фотоелектричного теплового модуля.

У дослідженні [3] автори представляють набір тестових вимірювань для вибору схеми охолодження фотоелектричного модуля, щоб забезпечити найкращу раціональність в однорідності водної плівки, знизити температуру модуля, знизити споживання води і, нарешті, максимізувати вихідну потужність модуля. Експерименти проводилися з фотоелектричним модулем потужністю 230 Вт в лабораторії рідинних машин і енергетичних систем на кафедрі промислової інженерії Падуйського Університету, Італія. Після проведення експериментів результати показують, що система охолодження обладнана трьома характерними форсунками з кутом уприскування 90°, які працюють при вхідному тиску 1,5 бар протягом 30 секунд і вимкненими протягом 20 секунд, можливо, для зменшення модуля температури до 28 °С, що підвищує ефективність модуля приблизно на 14%.

Краутер [4] розробив активний метод охолодження водою на поверхні фотоелектричного модуля потоком плівки. Автор використав плівку зовнішнього потоку, утворену водою на по-

верхні модуля, яка витикає з сопла, розташованого у верхній частині модуля. Експериментальні результати показали, що поточна плівка сприяє підтримці чистоти поверхні модуля і зниження втрат на відбиття на 2-3,6%. Температура поверхні фотоелектричного модуля впала до 40° С, а вихід електроенергії за весь день збільшився на 10,3%.

Також у роботах [5-9] доказана ефективність охолодження фотоелектричного перетворювача.

Аналіз наукових досліджень на тему фотоелектричного перетворення з системою охолодження показав, що в даний час сформована певна теоретична і експериментальна база.

Постановка задачі. Вартість сонячних батарей можна істотно знизити за допомогою концентрації сонячного випромінювання. У цьому випадку забезпечується різке зменшення площі фотоелектричного перетворювача, і якщо вартість одиниці площі концентратора багато менше, ніж у сонячного елемента, то при збереженні загального ККД перетворення можна знизити вартість одиниці потужності. Через використання концентраторів сонячної енергії збільшується температура настільки, що може вивести з ладу фотоелектричний перетворювач [10,11]. Таким чином пошук способів зниження температури є актуальним завданням. Для вирішення цього завдання необхідно дослідити декілька систем охолодження та вибрати найефективнішу.

Викладення матеріалу та результати. Для системи охолодження водою підібрано теплообмінник прямої типу (рис.1).

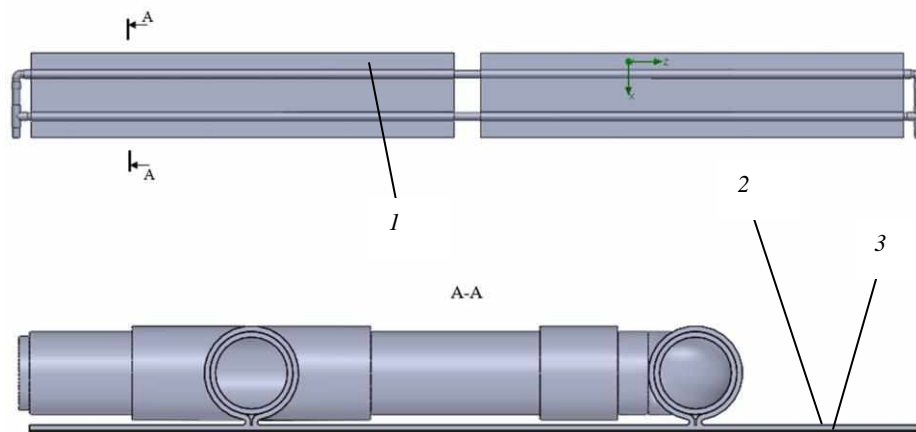


Рис. 1. Вид прямої теплообмінника спереду та в розрізі: 1 – мідна труба $D = 15 \times 1 \text{ мм}$; 2 – мідна пластина; 3 – фотоелементи з пластиковою EVA плівкою

Виконано моделювання процесу охолодження сонячної панелі з використанням теплообмінника прямої типу в програмі SolidWorks. Для перевірки працездатності розрахованого теплообмінника виконано моделювання процесу охолодження при різних температурах рідини на вході в теплообмінник 15, 30, 45 та 60 °С і сонячній радіації 1000 Вт/м². Результати моделювання представлені у табл. 1. Значення середніх температур навколишнього середовища взяті для Дніпропетровської області. Коефіцієнт концентрації сонячної радіації для установки - 5. Коефіцієнт альbedo - 0,6.

Також нижче представлена картина температури на поверхні сонячної радіації при температурі води на вході в теплообмінник 30°С (рис. 2) і без охолодження (рис. 3).

Таблиця 1

Результати моделювання прямої теплообмінника в SolidWorks

Температура середовища, °С	Сонячна радіація q , Вт/м ²	Температура рідини на вході, °С	Температура рідини на виході, °С	ККД теплообмінника	Температура панелі з охолодженням, °С		Температура панелі без охолодження, °С		Швидкість рідини в теплообміннику, м/с
					середня температура, °С	максимальна температура, °С	середня температура, °С	максимальна температура, °С	
21,4	1000	15	18,79	0,93	28,37	31,35	348,62	352,22	0,7
		30	33,22	0,79	40,43	43,39			
		45	47,58	0,63	53,51	56,03			
		60	61,94	0,47	66,76	68,81			

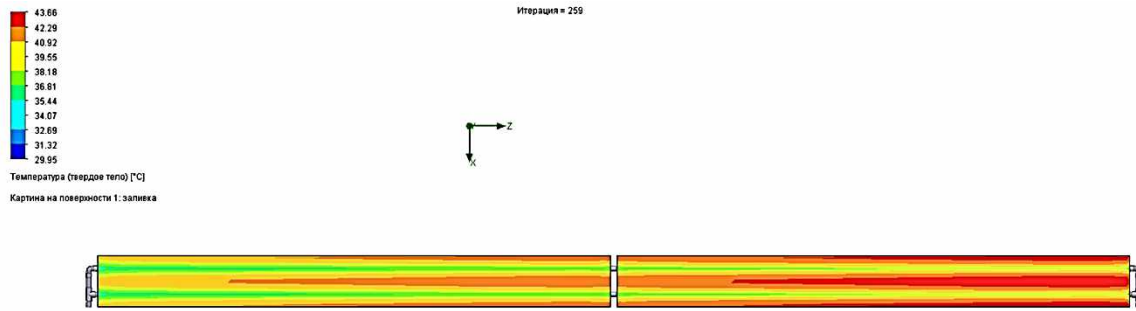


Рис. 2. Картина температури на поверхні сонячної панелі з охолодженням при сонячній радіації 1000 Вт/м^2 і температурі рідини на вході $30 \text{ }^\circ\text{C}$

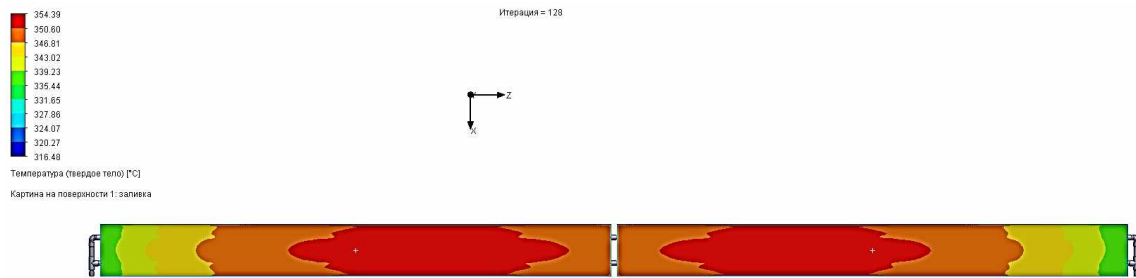


Рис. 3. Картина температури на поверхні сонячної панелі без охолодження при сонячній радіації 1000 Вт/м^2

На рис. 4 представлено графік залежності температури води на виході від ККД теплообмінника для $1000, 800, 500 \text{ Вт/м}^2$.

Система охолодження повітрям заснована на відводі тепла від сонячної панелі потоком повітря від вентилятора. Охолодження сонячної панелі за допомогою вентилятора здійснюється за рахунок вимушеної конвекції. Для охолодження повітрям обираємо вентилятор VENTS VKF 4D 450 з об'ємною витратою повітря $V = 1,47 \text{ м}^3/\text{с}$. Сонячну батарею з системою охолодження повітрям показано на рис.5.

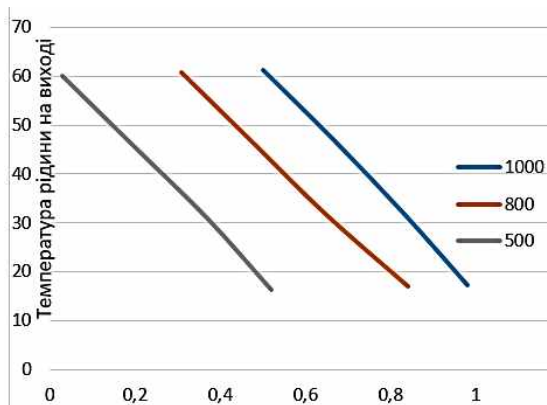


Рис. 4. Графік залежності температури води на виході від ККД теплообмінника для $1000, 800, 500 \text{ Вт/м}^2$

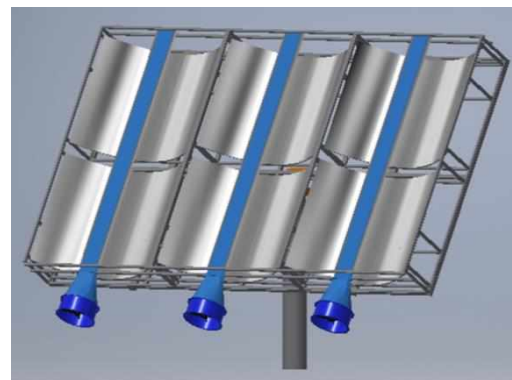


Рис. 5. Сонячна батарея з використанням повітряного охолодження

Виконано розрахунок даної системи. Метою розрахунку є перевірка здатності охолодити сонячну панель до температури $25 - 60 \text{ }^\circ\text{C}$.

Вхідні дані:

$Q_{\text{сон}} = 2574 \text{ Вт}$ – кількість сонячної радіації;

$b=0,156 \text{ м}$ – ширина панелі;

$a=3,3$ – довжина панелі;

$F=0,5148 \text{ м}^2$ – площа панелі;

$\lambda = 2,59 \cdot 10^{-2} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ коефіцієнт теплопровідності повітря;

$\nu=15,06 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ – кінематична в'язкість повітря;

$t = 21,4 \text{ }^\circ\text{C}$ – температура навколишнього середовища;

$S = 0,026 \text{ м}^2$ – площа перерізу теплообмінника;

$V = 1,47 \text{ м}^3/\text{с}$ об'ємна витрата повітря (продуктивність вентилятора);

$aa = 0,6$ – коефіцієнт Альbedo для сонячної панелі;

Наведемо результати розрахунків [12-14].

Швидкість потоку повітря від вентилятора, м/с

$$w = \frac{V}{S} = 56,5. \quad (1)$$

Число Рейнольдса

$$Re = \frac{w \cdot a}{\nu} = 1,24 \cdot 10^7. \quad (2)$$

При $Re < 10^5$

$$Nu_{\text{жл}} = 0,57 Re_{\text{жл}}^{0,5}. \quad (3)$$

При $Re > 10^5$

$$Nu_{\text{жл}} = 0,032 Re_{\text{жл}}^{0,8}. \quad (4)$$

Коефіцієнт тепловіддачі повітря, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$

$$\alpha = \frac{Nu_{\text{жл}} \cdot \lambda}{a} = 118,7. \quad (5)$$

Температура сонячної панелі, $^\circ\text{C}$

$$t_c = t + \frac{Q_{\text{сон}} \cdot aa}{\alpha \cdot F} = 46,7. \quad (6)$$

Охолодження сонячної панелі можливо шляхом охолодження сумішшю вологого повітря і дрібних крапель води. Використання такої суміші значно ефективніше, ніж сухого повітря [15].

По-перше, зовнішнє повітря після зволоження охолоджується до рівня психрометричної температури (температури "морого" термометра), тому набуває здатності знижувати температуру сонячної панелі. По-друге, краплі води, які знаходяться в повітрі, стикаючись з поверхнею нагрітої панелі, утворюють на поверхні тонку плівку, яка нагрівається і, інтенсивно випаровуючись, додатково, через прямий контакт, охолоджують її.

Високонапірна туманоутворююча система (рис.6), як випливає з назви, працює при високому тиску води. Для цього застосовується поршневий насос на 70-100 бар з продуктивністю 1-8 літрів в хвилину і вбудованим таймером.

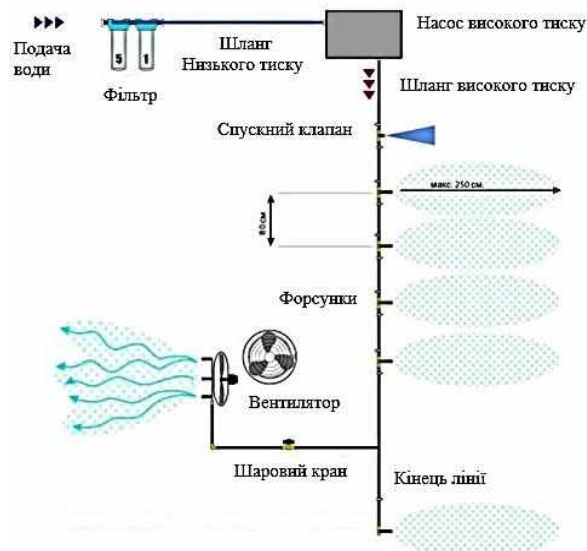


Рис.6. Схематичний приклад монтажу системи

Виконано розрахунок системи охолодження туманом. Приймаємо температуру панелі $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Метою цього розрахунку є перевірка здатності системи охолодити сонячну панель до заданої температури і знаходження витрати форсункою. Для охолодження туманом обираємо вентилятор VENTS VKF 4D 450 з об'ємною витратою повітря $V = 1,47 \text{ м}^3/\text{с}$.

Вхідні дані:

$Q_{\text{сон}} = 2574 \text{ Вт}$ – кількість сонячної радіації;

$b = 0,156 \text{ м}$ – ширина панелі;

$a = 3,3$ – довжина панелі;

$F = 0,5148 \text{ м}^2$ – площа панелі;

$\lambda = 2,59 \cdot 10^{-2} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ коефіцієнт теплопровідності повітря;

$\nu = 15,06 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ – кінематична в'язкість повітря;

$t_{\text{п}} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ – температура СП;

$t_c = 21,4 \text{ }^\circ\text{C}$ – температура сухого повітря;

$t_{\text{в}} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$ – температура перенасиченого вологого повітря;

$S = 0,026 \text{ м}^2$ – площа перерізу теплообмінника;

$V = 1,47 \text{ м}^3/\text{с}$ – об'ємна витрата повітря (продуктивність вентилятора);

$w = 56,5 \text{ м}/\text{с}$ – швидкість потоку повітря від вентилятора;

$aa = 0,6$ – коефіцієнт Альbedo для сонячної панелі;

Наведемо результати розрахунків.

Число Рейнольдса

$$Re = \frac{w \cdot a}{\nu} = 1,24 \cdot 10^7. \quad (7)$$

Коефіцієнт тепловіддачі повітря, Вт/(м²·К)

$$\alpha = \frac{Nu_{жл} \cdot \lambda}{a} = 118,7. \quad (8)$$

Коефіцієнт масовіддачі між мокрою поверхнею і середовищем, кг/(м²·с)

$$\alpha_T = \frac{2,5 \cdot 10^3 \cdot \alpha}{q_{вип}} = 0,131, \quad (9)$$

де $q_{вип} = 2258 \cdot 10^3$ Дж/кг – питома теплота випаровування води.

Кількість тепла, яке йде на випаровування, Вт

$$Q_{вип} = q_{вип} \cdot \alpha_T \cdot n \cdot F \cdot (d_n - d_e) = 610,9, \quad (10)$$

де $n = 0,4$ – коефіцієнт заповнення ділянки F об'єкта краплями, які випаровуються; $d_n = 0,02$ – коефіцієнт вмісту вологи насиченого повітря при температурі t_n ; $d_e = 0,01$ – коефіцієнт вмісту вологи насиченого повітря при температурі t_e .

Температура сонячної панелі, °С

$$t_{п} = t_{в} + \frac{Q_{солн} \cdot a \cdot \alpha - Q_{вип}}{\alpha \cdot F} = 30,3. \quad (11)$$

Витрата форсунок, кг/с

$$G = \frac{c \cdot \rho \cdot V \cdot (t_c - t_{в})}{q_{вип}} = 0,005, \quad (12)$$

де $c = 1005$ Дж/(кг·град) – питома ізобарна теплоємність повітря; $\rho = 1,2$ кг/м³ – щільність повітря.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Проаналізувавши отримані дані про охолодження водою, можна зробити висновок, що запропонований теплообмінник працездатний і охолоджує панель навіть при температурі води на вході 60 °С і сонячній радіації 1000 Вт/м². Охолодження потоком повітря зі швидкістю 56,5 м/с дозволяє знизити температуру сонячної панелі до 46,7°С при сонячній радіації 1000 Вт/м². Система охолодження туманом з заданими параметрами охолоджує сонячну панель до температури 30,3 °С. Порівнявши три системи охолодження, отримали, що найбільш ефективна система – система охолодження туманом. Її ККД (рис.7) близько до 1.

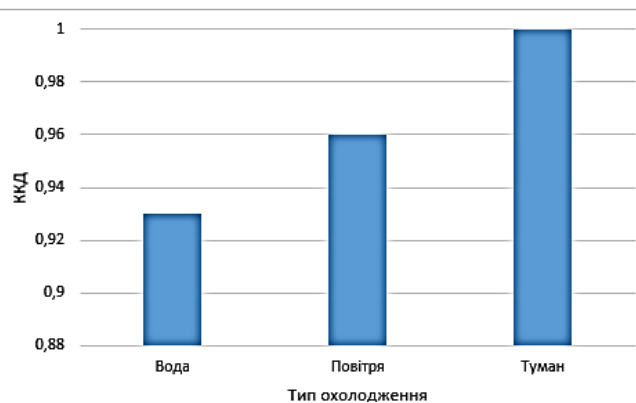


Рис.7. Діаграма ККД систем охолодження

Напрямок подальших досліджень полягає в удосконаленні запропонованих методів охолодження та пошук нових.

Список літератури

1. Арбузов Ю.Д., Евдокимов В.М. Основы фотоэлектричества. М.: ГНУ ВИЭСХ, 2007. 292 с.
2. Харченко В.В. Комплекс мониторинга основных параметров гелиоустановок с фотопреобразователями / В.В. Харченко, П.В. Тихонов // Альтернативная энергетика и экология. – 2013. – № 02 (119). – С.32–36.
3. Benato A., Stoppato A. An Experimental Investigation of a Novel LowCost Photovoltaic Panel Active Cooling System // Energies. 2019. vol 12.8. pp. 14- 48.
4. Krauter S. Increased electrical yield via water flow over the front of photovoltaic panels // Solar energy materials and solar cells. 2004. vol. 82.1-2. pp. 131-137.
5. Irwan Y. M., Leow W. Z., Irwanto M., Amelia A. R., Gomesh N., Safwati I. Indoor test performance of pv panel through water cooling method // Energy Procedia. 2015. vol. 79. pp. 604-611.
6. Zilli B.M., Lenz A.M., de Souza S.N.M., Secco D., Nogueira S.E.C., Junior O.H.A., Nadalite W.C., Siqueira J.A.C., Gurgacz F. Performance and effect of water-cooling on a microgeneration system of photovoltaic solar energy in Paraná, Brazil // Journal of Cleaner Production. 2018. vol. 192. pp. 477-485.
7. Д. Мак-Вейг Применение солнечной энергии. — М.: Энергоиздат, 1981. — Тираж 5 600 экз.
8. Bahaidarah H., Subhan A., Gandhidasan P., Rehman S. Performance evaluation of a PV (photovoltaic) module by back surface water cooling for hot climatic conditions // Energy. 2013. vol. 59. pp 445-453..
9. Hachicha A.A., Ghenai C., Hamid A.K. Int. J. Energy Power Eng. 2015. vol. 9.9. pp 1106-1109.
10. Стребков Д.С., Майоров В.А., Панченко В.А., Осьмаков М.И., Плохих С.А. Солнечная установка с матричными фотоэлементами и концентратором. Электро. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность, 2013, № 2, с. 50-52.

11. **Boxwell M.** Solar Electricity Handbook: A Simple, Practical Guide to Solar Energy - Designing and Installing Solar Photovoltaic Systems. 2019 Edition-е изд. internet linked, 2019.
12. **Суслов В.А.** Тепломасообмен: учеб. пособие / СПбГТУРП. СПб., 2016. Часть 1. – 98 с.
13. **Константинов С. М.** Тепломасообмін: Підручник. - К.:ВПІ ВПК "Політехніка": Інрес, 2005.
14. **Погорелов А.І.** Тепломасообмін (основи теорії та розрахунку): Навчальний посібник для вузів. - Львів: "Новий Світ-2000", 2006.
15. **Савосин С.И.** Тропический лес в центре столицы / Журн. Технология адиабатического увлажнения CAREL, 2016. Вып. 1.

Рукопис подано до редакції 30.03.2021

УДК 622.27

С.В. ПИСЬМЕННИЙ, канд. техн. наук, доц., В.О. БЛЮК, студ.
Криворізький національний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ТВЕРДЮЧИХ СУМІШЕЙ ПРИ ВІДПРАЦЮВАННІ КРИВОРІЗЬКОГО ЗАЛІЗОРУДНОГО РОДОВИЩА ІМ. КІРОВА ПРАТ «ЦГЗК»

Мета. Метою даної роботи є обґрунтування камерної системи розробки із подальшою закладкою виробленого простору і вибору закладального матеріалу для підземного видобутку магнетитових кварцитів в умовах шахти ім. Артема ПрАТ «ЦГЗК» для збереження земної поверхні, площа якої забудована житловими та промисловими спорудами і ускладнена зонами обвалення від розробки покладів багатих залізних руд.

Методи дослідження. В роботі використано комплексний метод досліджень, що включає в себе аналіз і узагальнення відомих розробок в досліджуваній області.

Наукова новизна. Новизна полягає в удосконаленні очисних камер шляхом надання їм склепінної форми при розробці родовища камерною системою із подальшою закладкою виробленого простору, що дозволить збільшити об'єм камер, а також сприятиме збереженню їх стійкості протягом усього строку експлуатації. В якості твердуючої закладки запропоновано використовувати суміш, до складу якої входять полімерні добавки, що сприяють покращенню властивостей готової закладки, а також дозволяють знизити її вартість за рахунок зменшення обсягу компонентів на 1 м^3 , а також дають змогу ширше використовувати відходи гірничо-видобувної галузі.

Практична значимість. В результаті використання камерних систем, що передбачають застосування твердуючої закладки, в 3-4 рази знижуються втрати і засмічення при видобутку руди, а при додаванні полімерних добавок до її складу дозволить у 2 рази зменшити вартість закладки, за рахунок чого забезпечується високий економічний ефект і з часом затрати на закладні роботи окупаються.

Результати. Досліджено, що для відпрацювання запасів магнетитових кварцитів залізорудним родовищем ім. Кірова доцільно застосовувати камерну систему розробки з закладкою виробленого простору, з метою збереження денної поверхні. Для відпрацювання запасів у поперсі 220-130 м, з метою збереження стійкості налягаючих порід, пропонується формувати очисну камеру склепінчастої форми у верхній частині очисного блоку. Згідно виконаних укрупнених техніко-економічних показників встановлено, що при забезпеченні однакових фізичних властивостей закладального матеріалу, закладка на основі полімерів дешевша в 2 – 3 рази у порівнянні з закладкою на основі цементного розчину.

Ключові слова: магнетитові кварцити, очисна камера, закладка, стійкість, міцність, камерна система розробки.

doi: 10.31721/2306-5451-2021-1-52-156-164

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Родовище залізних руд шахти ім. Артема ПрАТ «ЦГЗК» займає площу між гірськими відводами шахт «Родина» ПАТ «Кривбасзалізорудком» – на півночі і ш. «Гігант-Глибока» ПрАТ «ЦГЗК» – на півдні, нижче горизонту 1045 м шахтою Артем шахтоуправління ПАТ Арселор-Міттал ведеться відпрацювання багатих залізних руд підземним способом. Протяжність гірничого відводу рудника з південного заходу на північний схід 2,2 км [1].

В геологічній побудові родовище представлено метаморфічним комплексом порід Криворізької серії, гранітоїдні породи Дніпровсько-Токівської і Кіровоградсько-Житомирської серій. У лежачому боці відпрацьованих покладів багатих залізних руд знаходяться магнетитові кварцити у складі I і II залістистих пластів, які, в свою чергу, складені мартитовими, гетит-гематит-мартитовими, силікат-карбонат-магнетитовими, силікат-магнетитовими і магнетитовими кварцитами з прошарками сланців. Потужність залістистих пластів коливається в межах від 4 до 100 м. Сланцеві пласти представлені кварц-серіцит-хлоритовими і іншими сланцями з прошар-