

УДК 621.311.4.031

DOI: 10.25140/2411-5363-2020-1(19)-168-176

Олег Сінчук, Сергій Бойко, Олексій Городній,
Андрій Некрасов, Андрій Онищенко, Марина Ножнова

АСПЕКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ В УМОВАХ ГІРНИЧОРУДНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Актуальність теми дослідження. Перспектива розвитку залізничної галузі зумовлюється перспективою розвитку металургійного виробництва й експорту сировини. Нині проведено реформування гірничо-металургійного комплексу. У зв'язку із загостренням енергетичних проблем та необхідністю енергозбереження, останніми роками дедалі більше уваги у світі приділяється використанню відновлюваної енергії. Серед лідерів є використання сонячної енергії. Сонячну енергію використовують для отримання гарячої води, тепла та електроенергії. Завдяки впровадженню сонячних колекторів з'явилися значні можливості енергозабезпечення будівель для систем гарячого водопостачання та опалення. Сонячні установки екологічно чисті, за їх допомогою можна отримувати енергію, що не шкодить навколишньому середовищу.

Постановка проблеми. Проблемою цієї роботи є визначення основних аспектів впровадження сонячних електростанцій в умовах гірничорудних підприємств.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Багато авторів досліджували питання експлуатації та проектування сонячних електростанцій. Обґрунтовано позитивний ефект від впровадження системи очищення сонячних панелей від пилу та від впровадження системи нахилу сонячної панелі. Дослідження, які були проведені раніше, вказують на те, що енергетичні характеристики сонячних панелей при роботі в умовах гірничих підприємств будуть на достатньо ефективному рівні, враховуючи природні вентиляційні потоки, що будуть їх охолоджувати. Між тим, залишаються недослідженими питання впровадження сонячних електростанцій в умовах гірничорудних підприємств. У попередніх дослідженнях нами обґрунтовано позитивний ефект від впровадження сонячних електростанцій в умовах гірничорудних підприємств, а саме модульність, надійність, зменшення негативного впливу на екологію.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Враховуючи нові, раніше не досліджені фактори, що в умовах гірничорудних підприємств впливають на енергетичні характеристики сонячних електростанцій, актуальним науково-практичним завданням є дослідження потенціалу сонячної енергії в умовах цих підприємств, та особливості експлуатації сонячних електростанцій.

Постановка завдання. Отже, актуальним науково-практичним завданням є дослідження потенціалу сонячної енергії в умовах цих підприємств та особливості експлуатації сонячних електростанцій, враховуючи фактори, що впливають на їхні енергетичні показники.

Виклад основного матеріалу. Гірничорудні підприємства України розташовані на території, що сприятлива для впровадження сонячної енергетики. Використання системи очистки та системи нахилу панелі генерована потужність становила 2000 кВт, при використанні системи очистки генерована потужність зросла на 300 кВт. Тобто можна зробити висновок і зазначити що застосування системи очистки та нахилу сонячних панелей має кращий ефект на роботу сонячної електростанції.

Висновки відповідно до статті. На гірничорудних підприємствах актуальним та можливим є впровадження в загальну структуру систем електроживлення сонячних електростанцій, враховуючи специфіку їх експлуатації. Сонячні панелі при експлуатації в умовах гірничорудних підприємств, повинні мати систему очищення та орієнтації з метою підвищення ефективності їх функціонування в розподільчих мережах цих підприємств.

Ключові слова: розосереджена генерація; електропостачання підприємств; потенціал сонячної енергії; гірничорудні підприємства.

Рис.: 4. Табл.: 3. Бібл.: 9.

Актуальність теми дослідження. На даний час проведено реформування гірничорудної галузі, що було зумовлено перспективою розвитку металургійного виробництва і експорту сировини [1].

Між тим, у зв'язку з необхідністю енергозбереження, новітні технології у сфері енергетики в останні роки все більш направлені на використання джерел розосередженої генерації, а саме джерел відновлюваної енергії. Серед джерел відновлюваної енергії наразі пріоритет надається використанню сонячної енергії. Завдяки впровадженню новітніх технологій у сфері сонячної енергетики з'являються можливості енергозабезпечення як побутових так і промислових споживачів електроенергії. Сонячні фотоенергетичні установки вважаються умовно екологічно чистими, за їх допомогою можна отримувати електричну енергію, не завдаючи шкідливого впливу навколишньому середовищу [2].

Постановка проблеми. Проблемою цієї роботи є визначення основних аспектів впровадження сонячних електростанцій в умовах гірничорудних підприємств, що зумовлено запиленістю середовища експлуатації фотоелектричних установок, внаслідок чого погіршуються їх енергетичні характеристики.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Багато авторів досліджували питання експлуатації та проектування сонячних електростанцій. Обґрунтовано позитивний ефект від впровадження системи очищення сонячних панелей від пилу та від впровадження системи нахилу сонячної панелі. Дослідження, які були проведені раніше, вказують на те, що енергетичні характеристики сонячних панелей при роботі в умовах гірничих підприємств будуть на достатньо ефективному рівні, враховуючи природні вентиляційні потоки, що будуть їх охолоджувати. Між тим, залишаються недослідженими питання впровадження сонячних електростанцій в умовах гірничорудних підприємств [1-9].

У попередніх дослідженнях нами обґрунтовано позитивний ефект від впровадження сонячних електростанцій в умовах гірничорудних підприємств, а саме модульність, надійність, зменшення негативного впливу на екологію [1].

Визначення недосліджених частин загальної проблеми. Отже, актуальним науково-практичним завданням є вивчення питань щодо впровадження сонячних електростанцій в умовах гірничорудних підприємств, враховуючи специфіку їх експлуатації.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є визначення основних аспектів впровадження сонячних електростанцій в умовах гірничорудних підприємств.

Виклад основного матеріалу. Територія України відноситься до зон із середньою інтенсивністю сонячної радіації. Густина сонячної радіації залежить від часу доби та пори року, а також від характеристик земної поверхні, широти місцевості та прозорості атмосфери. З цієї причини для різних регіонів України, величина річного потрапляння сонячної радіації на 1 м^2 з поверхні землі суттєво змінюється та має статичний характер розподілу. У напрямку з Півночі на Південь основною тенденцією є збільшення густини сонячної радіації та кількості сонячних днів, з відповідним збільшенням річного значення сонячної радіації, що потрапляє на 1 м^2 поверхні Землі.

Більша частина території України лежить у другій та в третій зоні. Четверта зона найменше придатна для використання сонячної енергії. Усі південні області країни – у першій та другій зонах. Саме в першій зоні надходження сонячного проміння є найбільшим і становить $1350 \text{ кВт год/км}^2$ на рік, а найменша – в четвертій $1000 \text{ кВт год/км}^2$. Для другої зони ця величина становить $1250 \text{ кВт год/км}^2$ та для третьої – $1150 \text{ кВт год/км}^2$ на рік.

Отже, ми маємо достатні можливості для ефективного використання теплоенергетичного обладнання на території України. Термін «ефективне використання» означає, що геліоустановка може працювати з віддачею в 50 % і більше, а це 9 місяців у південних областях України (з березня по листопад), і 7 місяців – у північних областях (з квітня по жовтень). Взимку ефективність роботи знижується, але не зникає.

Отже, і в умовах нашого клімату сонячні системи працюють круглий рік, правда тільки зі змінною ефективністю. Тому варто розглянути сумарний річний потенціал сонячної енергії на території України, де розташовані гірничорудні підприємства, який представлено в табл. 1 [1].

Таблиця 1

Річний потенціал сонячної енергії на території Полтавської і Дніпропетровської областей

Області	Потенціал сонячної енергії МВт год/рік		
	Загальний потенціал ($\cdot 10^9$)	Технічний потенціал ($\cdot 10^7$)	Доцільно-економічний потенціал ($\cdot 10^5$)
Дніпропетровська	37,6	18	2,8
Полтавська	31,9	15,3	2,4

Під час розробки деяких місцєродовищ в атмосферу кар'єру можуть виділятися газоподібні речовини, основним із яких є радон.

При розробці корисних копалин в атмосферу кар'єрів виділяється також пил, що являє собою дрібні тверді частинки розміром менше 0,1–0,5 мм. Він може бути ядовитим (кварцовий пил) та радіоактивний пил.

Фізика процесу поширення пилу дозволяє виявити три основних фактори, що визначають пилову обстановку на будь-якому об'єкті, – це вміст пилу в повітрі, винос (викид) пилу потоками, що рухаються, і відкладення пилу на прилеглих до її джерел територіях. Цілком логічно досліджувати ці чинники у взаємному зв'язку, причому головним з них є вміст пилу в повітрі, а наступні два залежать від нього і від параметрів аерозольної системи, зокрема, від швидкості газоповітряного потоку, маси пилових частинок і параметрів показників, що характеризують дифузію цих частинок.

Наша рекомендація щодо очищення фотогальванічних енергетичних установок: апарат високого тиску з підігрівом води HDS 10 / 20-4 M або без підігріву води HD 10 / 23-4 S в комбінації з водопомякчувачем і приладдям системи iSolar - дискової щіткою (або щіткової складанням) і телескопічною штангою.

Для розрахунків енергетичних характеристик, при проектуванні сонячних електростанцій, необхідно задатися такими вихідними даними (для прикладу взято м. Кременчук, Україна):

1) *координати розташування сонячної батареї*: місто Кременчук із широтою $\varphi = 49,33^\circ$;

2) *день року*: розрахунок проводиться для 15 дня 3, 6, 9 і 12 місяців;

3) *година дня*: дані обчислюються на кожну годину дня;

4) *позиціонування* проводиться безперервно з постійним суміщенням нормалі до поверхні сонячної батареї і напрямку на Сонце.

Визначення схилення Сонця для зазначених днів (табл. 2) у році проведено за допомогою формули (1) [3].

Таблиця 2

Порядкові номери днів 2014 року та схилення Сонця

	15 березня	15 червня	15 вересня	15 грудня
m	74	166	257	349
δ	-2,82	23,36	2,62	-23,38

$$\delta = 23,45 \cdot \sin\left(360 \cdot \frac{284 + m}{365}\right), \quad (1)$$

де δ – схилення Сонця; град; m – порядковий номер дня в році.

Розрахунок тривалості дня 15 березня, 15 червня, 15 вересня і 15 грудня проведено згідно з формулою (2), а також визначено час сходу і заходу Сонця.

$$T_{\delta} = \frac{24}{\pi} \arccos(-\operatorname{tg}\varphi \cdot \operatorname{tg}\delta), \quad (2)$$

де φ – географічна широта місцевості.

Відповідно до цього прийнято за початкову годину розрахунків найменше значення часу сходу Сонця – це 4 година ранку, а за кінцеву – найбільше – це 20 година.

Для розрахунку інтенсивності потоку сонячного випромінювання, яке поступає на похилу поверхню сонячної батареї, необхідно знати кути падіння сонячних променів на неї.

Нами проведено розрахунок кутів падіння сонячних променів на поверхню з однаковими азимутами, користуючись формулою (2). При цьому годинний кут ω розраховано згідно з формулою (3) від 4 до 20 години і кроком 1 година.

$$\cos\theta_1 = \cos(\varphi - \beta) \cdot \cos\delta \cdot \cos\omega + \sin\delta \cdot (\varphi - \beta); \quad (3)$$

$$\omega = 15 \cdot (12 - \tau), \tag{4}$$

де β – кут нахилу поверхні сонячної батареї відносно поверхні Землі.

Коефіцієнт відбивання для прямовисного падіння променів у випадку використання систем позиціонування сонячних батарей визначено за формулою (5)

$$\rho = \left[\frac{(n-1)}{(n+1)} \right]^2. \tag{5}$$

При цьому що коефіцієнт заломлення скла становить $n = 1,526$.

Знаючи кут падіння променів θ_1 (рис. 1), кут заломлення падіння θ_2 визначимо за співвідношенням:

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin(\theta_2)}{\sin(\theta_1)}. \tag{6}$$

Враховуючи, що для повітря $n = 1$, отримаємо:

$$\theta_2 = \arcsin\left(\frac{\sin(\theta_1)}{n_2}\right). \tag{7}$$

Здатність скла відбивати промені, які падають на нього під кутом θ_1 , розраховано за формулою (8).

$$\rho(\theta_1) = (1/2) \left[\frac{\sin^2(\theta_2 - \theta_1) / \sin^2(\theta_2 + \theta_1) + \text{tg}^2(\theta_2 - \theta_1) + \text{tg}^2(\theta_2 + \theta_1)}{\dots} \right]. \tag{8}$$

Прийнявши, що для механічного захисту сонячної батареї використано лише одне чисте скло завтовшки 3 мм, розраховано його пропускну τ_{np} та поглинальну τ_{noz} здатність за формулами (5) і (6) відповідно.

$$\tau_{np} = (1 - \rho) / [1 + (2 \cdot i - 1) \cdot \rho]; \tag{9}$$

$$\tau_{noz} = \exp\left(-\frac{k \cdot L}{\cos(\theta_2)}\right). \tag{10}$$

Розрахунок надходження сонячної енергії здійснено для двох вищезазначених випадків монтажу сонячних панелей.

На будь-яку поверхню попадає сонячне випромінювання із двох джерел: безпосередньо від сонця – *пряме* та *розсіяне* через атмосферу. Для розрахунку залежності розсіяного сонячного випромінювання E_p від кута висоти сонця h дані табл. 3 взяті із [3] апроксимовано неперервною функцією із середньоквадратичним відхиленням 0,29 Вт/м², яку використано для розрахунків.

Таблиця 3

Інтенсивність розсіяної сонячної радіації

h , град	10	20	30	40	50	60	70
E_p , Вт/м ²	31,4	43,1	52,4	60,5	65,2	67,5	68,6

$$E_p = -0,011 \cdot h^2 + 1,25 \cdot h + 17,24, \tag{11}$$

де h – кут висоти Сонця (3.45)

$$h = \arccos(\sin \varphi \cdot \sin \delta \cdot \sin \omega + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \omega). \tag{12}$$

Розрахунок надходження прямого сонячного випромінювання виконано за формулою

$$E_{cp} = 1360 \cdot \sin(h) / \left[\sin(h) + (1 - P_{np}) / P_{np} \right]. \tag{13}$$

При розрахунку сумарної сонячної енергії на перпендикулярну поверхню враховано коефіцієнти пропускання та поглинання захисного скла для кута падіння проміння 0° ($\tau_{np} = 0,917$, $\tau_{noz} = 0,988$).

Результати розрахунків використано при моделюванні роботи фотоелектричного перетворювача.

На рис. 1 зображено запроповану функціональну схему системи очистки та системи нахилу.

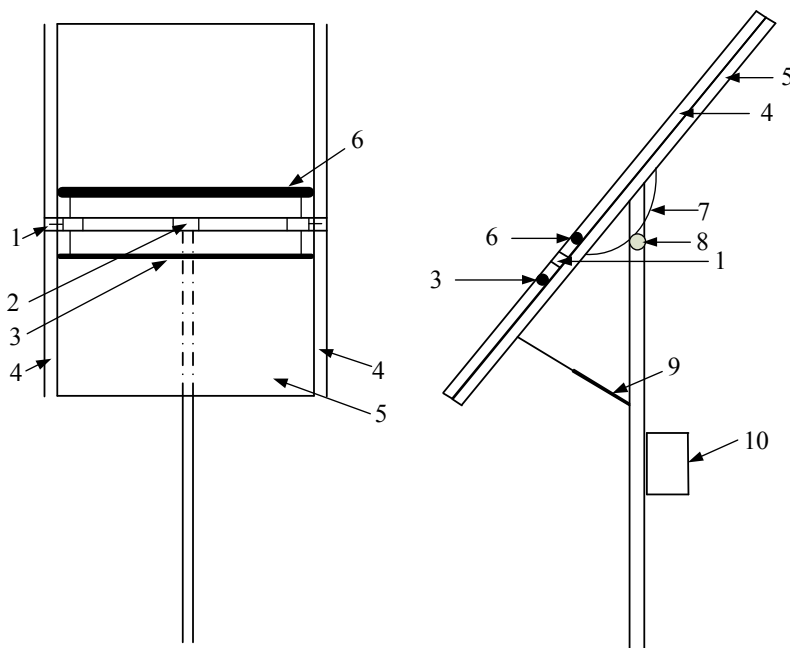


Рис. 1. Функціональна схема системи очистки та системи нахилу сонячної панелі:

- 1 – блок переміщення системи очистки; 2 – блок керування переміщенням системи очистки;
 3 – блок магнітної очистки; 4 – направляюча рейка; 5 – сонячна панель; 6 – блок сухої очистки;
 7-8 – система нахилу; 7 – направляюча рейка; 8 – рухомий ролик; 9 – привод системи нахилу;
 10 – блок керування сонячної панелі

Система очистки сонячних панелей в умовах залізорудних підприємств працює таким чином: система керування сонячною панеллю 10 подає сигнал на систему керування очисткою 2, система керування очисткою 2 подає сигнал на блок переміщення 1, переміщення здійснюється завдяки направляючій рейці 4, в верхньому положенні починає працювати магнітна очистка 3, після магнітної очистки 3 починає працювати система сухої очистки 6, система керування сонячною панеллю 10 подає сигнал на систему нахилу 9, сонячна панель змінює кут нахилу завдяки рухомому ролику 8 і направляючій рейці 7.

Моделювання роботи СЕС покаже, як її можна бути використати для моделювання продуктивності роботи фотоелектричного перетворювача. Поступово проводячи тестування моделі, шляхом зміни інтенсивності опромінення в моделюванні, що приблизно моделює вплив навколишнього середовища. Також при генерації враховується температура фотоелектричного перетворювача, що своєю чергою відображається на ефективності роботи фотоелектричного перетворювача. Ефективність інвертора вважається фіксованою 97 %, це значення було визначено з моделі *examplec solar converter*. Модель представлена на рис. 2.

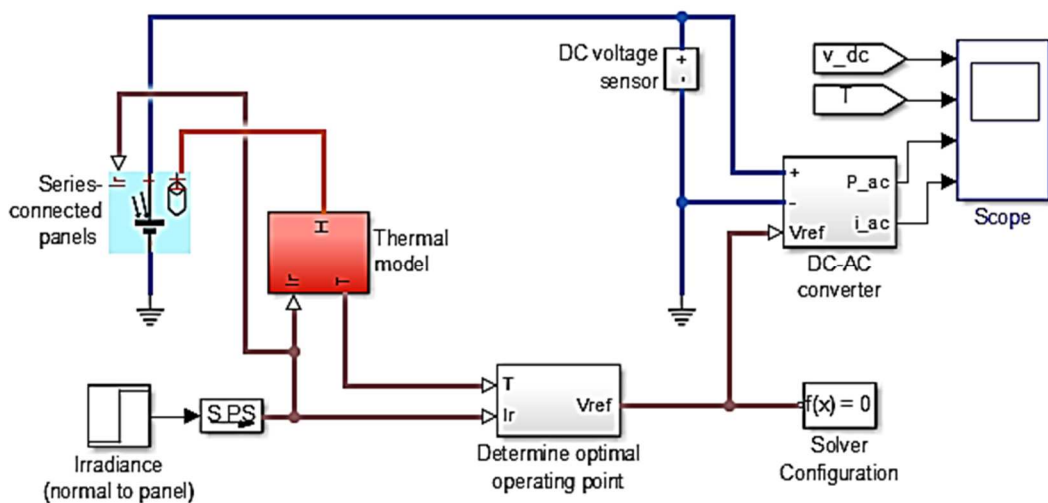


Рис. 2. Загальний вигляд моделі фотоелектричного перетворювача

Наведені нижче графіки показують характеристики сонячної панелі без системи очистки (рис. 3).

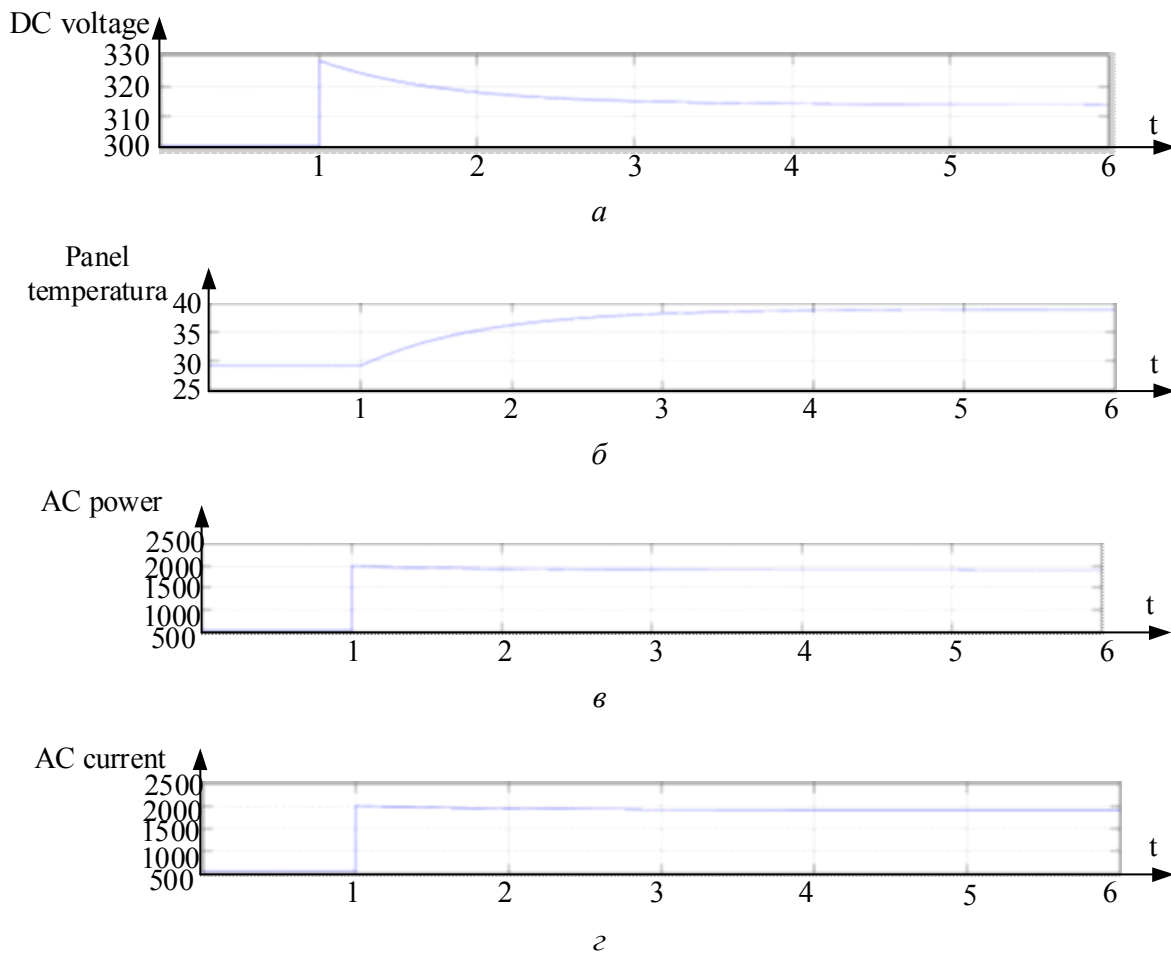


Рис. 3. Енергетичні характеристики представленої моделі:
 а – характеристика напруги постійного характеру; б – температура фотоелектричного перетворювача; в – змінна потужність фотоелектричного перетворювача;
 з – графік змінного струму

Після впровадження системи очистки та системи нахилу панелі було повторено експеримент і отримані такі графіки (рис. 4).

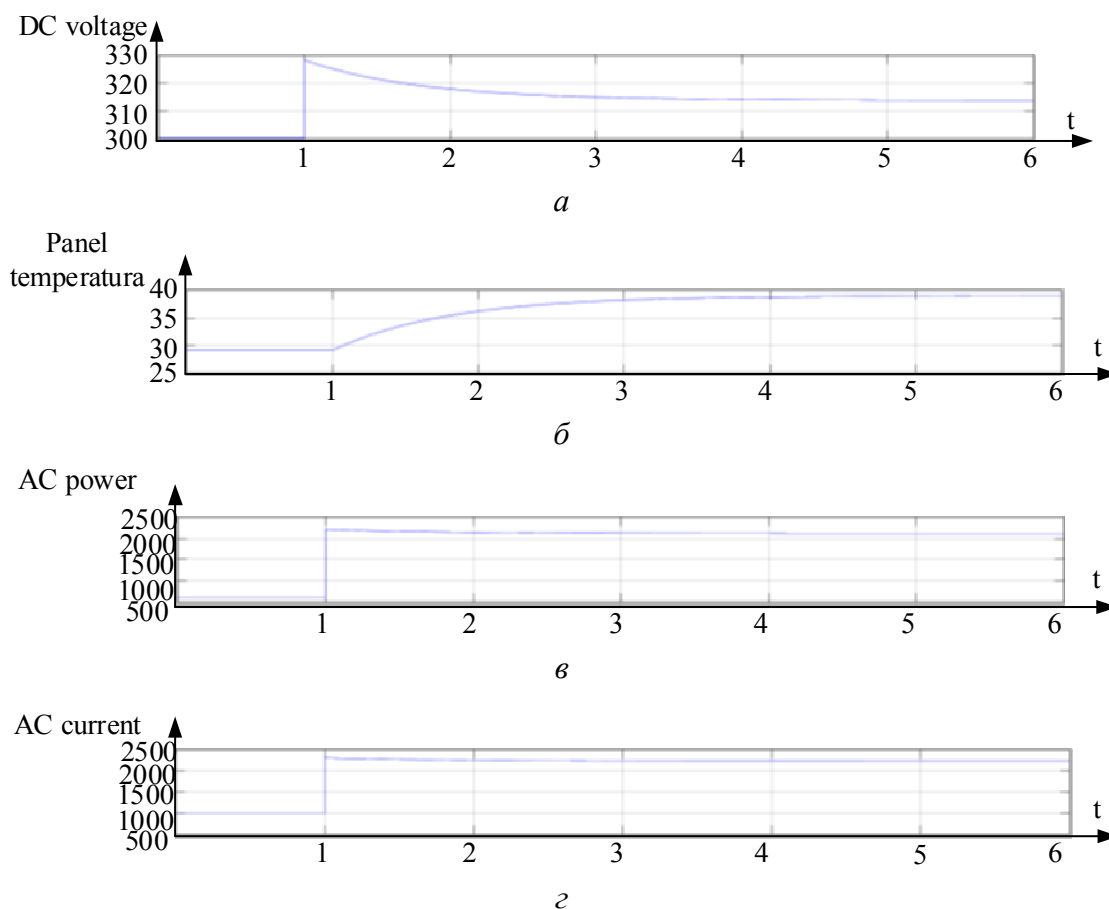


Рис. 4. Енергетичні характеристики представленої моделі після впровадження системи очистки:

a – характеристика напруги постійного характеру; *б* – температура фотоелектричного перетворювача; *в* – змінна потужність фотоелектричного перетворювача; *з* – графік змінного струму

Згідно з графіками (рис. 3, 4) можна зробити висновки, що до використання системи очистки та системи нахилу панелі генерована потужність становила 2000 кВт, при використанні системи очистки генерована потужність зросла до 2300 кВт. Тобто можна зробити висновок, що застосування системи очистки має кращий ефект на роботу СЕС.

Висновки відповідно до статті. 1. На гірничорудних підприємствах актуальним та можливим є впровадження в загальну структуру систем електроживлення сонячних електростанцій, враховуючи специфіку їх експлуатації.

2. Сонячні панелі при експлуатації в умовах гірничорудних підприємств повинні мати систему очищення та орієнтації з метою підвищення ефективності їх функціонування в розподільчих мережах цих підприємств.

Список використаних джерел

1. Сінчук О. М., Сінчук І. О., Бойко С. М., Караманиць Ф. І., Ялова О. М., Пархоменко Р. О. Відновлювані джерела електричної енергії в структурах систем електропостачання залізрудних підприємств. (Аналіз, перспективи, проекти): монографія. Кривий Ріг: Видавництво ІІІ Щербатих О. В., 2017. 152 с.

2. Кудря С. О., Морозов Ю. П., Кузнецов М. П. Дослідження ефективності комбінованого використання енергії вітру, сонця і теплоти землі для отримання водню при електролізі води. *Водень в альтернативній енергетиці та новітніх технологіях*: тези доп. наукової звітної сесії НАН України. Київ, 2013. С. 30.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

3. Головка В. М., Денисюк П. Л., Кириленко В. М. Аналіз принципів побудови локальних систем енергозабезпечення на базі відновлювальних джерел енергії. *Відновлювана енергетика XXI століття: IX Міжнар. конф.*, 15–19 вересня 2008 р.: тези доп. Крим, 2008. С. 124–125.
4. World Energy Outlook –2019, OECD/IEA, Paris.
5. Michael Forst. Germany's module industry poised for growth. *SUN & Wind Energy*. 2011. Vol. 5. P. 256-263.
6. Clean electricity from photovoltaics / by Archer M.D., Hill R. London: Imperial College Press, 2001. 868 p.
7. Harkonen J. Processing of high efficiency silicon solar cells. 2001. 115 p.
8. Eckart von Malsen. Opportunities for large-scale projects. *SUN & Wind Energy*. 2011. Vol. 5. P. 254-255.
9. Luque A., Hegedus S. Handbook of Photovoltaic Science and Engineering. John Wiley&Sons, 2003. 1179 p.

References

1. Sinchuk, O. M., Sinchuk, I. O., Boyko, S. M., Karamanitsy, F. I., Yalova, O. M., Parkhomenko, R. O. (2017). *Renewable sources of electricity in structures of power supply systems of iron ore enterprises. (Analysis, prospects, projects) [Vidnovliuvani dzherela elektrychnoi enerhii v strukturakh system elektropostachannia zalizorudnykh pidpriemstv. (Analiz, perspektyvy, proekty)]*. Kryvyi Rih: Publishing House PE Shcherbatyh O. V. [in Ukrainian].
2. Kudrya, S. O., Morozov, Yu. P., Kuznetsov M. P. (2013). Doslidzhennia efektyvnosti kombinovanoho vykorystannia enerhii vitru, sontsia i teploty zemli dlia otrymannia vodniu pry elektrolizi vody [Investigation of the Efficiency of Combined Use of Wind Energy, Sun and Earth Heat for Hydrogen Production at Water Electrolysis]. Proceeding from *Voden v alternatyvni enerhetytsi ta novitnikh tekhnolohiiakh: tezy dop. naukovoї zvitnoi sesii NAN Ukrainy – Hydrogen in Alternative Energy and the Newest Technologies: Abstracts. Scientific Reporting Session of NAS of Ukraine* (p. 30), Kyiv [in Ukrainian].
3. Golovko, V. M., Denysyuk, P. L., Kirilenko, V. M. (2008). Analiz pryntsyypiv pobudovy lokalnykh system enerho-zabezpechennia na bazi vidnovliuvalnykh dzherel enerhii [Analysis of the principles of construction of local systems of energy supply on the basis of renewable energy sources]. Proceeding from *Vidnovliuvana enerhetyka KhKhI stolittia: IX Mizhnar. konf. – Renewable energy of the 21st century: IX International. Conf.* (September 15-19, 2008, pp. 124–125). Crimea [in Ukrainian].
4. World Energy Outlook 2019, OECD/IEA, Paris.
5. Michael Forst. Germany's module industry poised for growth. *SUN & Wind Energy*. 2011. Vol. 5. P. 256-263.
6. Clean electricity from photovoltaics / by Archer M.D., Hill R. London: Imperial College Press, 2001. 868 p.
7. Harkonen J. Processing of high efficiency silicon solar cells. 2001. 115 p.
8. Eckart von Malsen. Opportunities for large-scale projects. *SUN & Wind Energy*. 2011. Vol. 5. P. 254-255.
9. Luque A., Hegedus S. Handbook of Photovoltaic Science and Engineering. John Wiley&Sons, 2003. 1179 p.

UDC 621.311.4.031

*Oleg Sinchuk, Sergii Boiko, Oleksiy Gorodny,
Andrey Nekrasov, Andrey Onishchenko, Maryna Nozhnova*

**ASPECTS OF IMPLEMENTATION OF SOLAR POWER PLANTS
IN THE CONDITIONS OF MINING ENTERPRISES**

Urgency of the research. *The prospect of development of the iron ore industry is determined by the prospect of development of metallurgical production and export of raw materials. At present, the mining and metallurgical complex has been reformed. Due to the exacerbation of energy problems and the need for energy conservation, the use of renewable energy in the world has increased in recent years. The use of solar energy is among the leaders. Solar energy is used to produce hot water, heat and electricity. Due to the introduction of solar collectors, significant opportunities for the energy supply of buildings for hot water supply and heating systems have emerged. Solar installations are environmentally friendly, with the help of which you can get energy that is not harmful to the environment.*

Target setting. *The issue of this work is to identify the main aspects of the introduction of solar power plants in the conditions of mining enterprises.*

Actual scientific researches and issues analysis. A number of authors have explored the issues of operation and design of solar power plants. Positive effects from the introduction of the solar panel cleaning system from dust and from the inclination of the solar panel tilt system are substantiated. Previous studies have shown that the energy performance of solar panels when operating in mining companies will be at a sufficiently efficient level, taking into account the natural ventilation flows that will cool them. Meanwhile, the question of the introduction of solar power plants in the conditions of mining enterprises remains unexplored. In previous studies, we have substantiated the positive effect of the introduction of solar power plants in the conditions of mining enterprises, namely modularity, reliability, reducing the negative impact on the environment.

Uninvestigated parts of general matters defining. Taking into account a number of new, previously unexplored factors that in the languages of mining enterprises are floating the energy characteristics of solar power plants, an urgent scientific and practical task is to study the potential of solar energy in the conditions of these enterprises, and especially the operation of solar power plants.

The research objective. Therefore, an urgent scientific and practical task is to study the potential of solar energy in the conditions of these enterprises, and the peculiarities of the operation of solar power plants, taking into account the factors that affect their energy performance.

The statement of basic materials. Mining enterprises of Ukraine are located in the territory that is favorable for the introduction of solar energy. Using the cleaning system and the tilting system, the generated power was 2000 kW, while using the cleaning system, the generated power increased by 300 kW. That is, one can conclude and say that the use of a system of cleaning and tilting solar panels has a better effect on the operation of a solar power plant.

Conclusions. At mining enterprises, it is relevant and possible to introduce solar power plants into the general structure of power systems, taking into account the specifics of their operation. Solar panels, when operated in mining enterprises, must have a cleaning and orientation system in order to increase their efficiency in the distribution networks of these enterprises.

Keywords: distributed generation; power supply of enterprises; potential of solar energy sources; mining enterprises.

Fig.: 4. Table: 3. References: 9.

Сінчук Олег Миколайович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматизованих електромеханічних систем в промисловості та транспорті, Криворізький національний університет (вул. Віталія Матусевича, 11, м. Кривий Ріг, 50027, Україна).

Sinchuk Oleg – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Chair of the Department of Automated Electromechanical Systems in Industry and Transport, Kryvyi Rih National University (11 Vitaliy Matusevich Str., 50027 Kryvyi Rih, Ukraine).

E-mail: speet@ukr.net

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7621-9979>

ResearcherID: https://www.researchgate.net/profile/Oleg_Sinchuk

Бойко Сергій Миколайович – кандидат технічних наук, завідувач відділення авіаційного транспорту, електроенергетики і управління, Кременчуцький льотний коледж Харківського національного університету внутрішніх справ (вул. Перемоги, 17/6, м. Кременчук, 39605, Україна).

Boiko Serhii - PhD in Technical Sciences, Head of the Air Transport, Power and Control Department, Kremenchuk Flight College of Kharkiv National University of Internal Affairs (17/6 Peremohy Str., Kremenchuk, 39605, Ukraine).

E-mail: bsn1987@i.ua

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9778-2202>

Scopus: ID 56417478200

Городній Олексій Миколайович - кандидат технічних наук, старший викладач кафедри промислової електроніки, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, Чернігів, 14035, Україна).

Gorodny Olexsiy – PhD in Technical Sciences, senior lecturer of the Industrial Electronics Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: aleksey.gorodny@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5303-9564>

Web of Science: H-1425-2016

Scopus: ID 56338229500

Некрасов Андрій Вікторович – кандидат технічних наук, доцент, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського (вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна).

Nekrasov Andrey – PhD in Technical Sciences, Kremenchuk National University of Michaylo Jstrogradskiy (17/6, Perchotravneva Str., 39600 Kremenchuk, Ukraine).

E-mail: boikosn2017@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3507-1987>

Онищенко Андрій Олександрович – аспірант, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського (вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна).

Onishchenko Andrey – PhD Student, Kremenchuk National University of Michaylo Jstrogradskiy (Perchotravneva Str., 20, 39600 Kremenchuk, Ukraine).

Ножнова Марина Олександрівна – викладач, Кременчуцький льотний коледж Харківського національного університету внутрішніх справ (вул. Перемоги, 17/6, м. Кременчук, 39605, Україна).

Nozhnova Maryna – lecturer, Kremenchuk Flight College of Kharkiv National University of Internal Affairs (17/6, Peremohy Str., 39605 Kremenchuk, Ukraine).

E-mail: marina.nozhnova@yahoo.com