

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Пирометрическая система контроля температуры/ Шлыков В. В., Данилова В. А., Диденко М. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – No 20(1242). – С.11–19. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459.

Пірометрична система контролю температури/ Шликов В. В., Данілова В. А., Діденко М. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – No 20(1242). – С.11–19. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459.

Pyrometric system of temperature control/ Shlykov V., Danilova V., Didenko M. //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 20 (1242). – P.11–19. – Bibliogr.:11. – ISSN 2079-5459.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Шликов Владислав Валентинович – кандидат технічних наук, доцент кафедри біомедичної інженерії ФБМІ, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056; e-mail: v.shlykov@kpi.ua.

Данілова Валентина Анатоліївна – асистент кафедри біомедичної інженерії ФБМІ, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», пр. Перемоги, 37, Київ, Україна, 03056; e-mail: valnaa@ukr.net.

Діденко Мирослав – студент кафедри біомедичної інженерії ФБМІ, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», пр. Перемоги, 37, Київ, Україна, 03056;

Шлыков Владислав Валентинович – кандидат технических наук, доцент кафедры биомедицинской инженерии ФБМИ, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», пр. Победы, 37, Киев, Украина, 03056, e-mail: v.shlykov@kpi.ua.

Данилова Валентина Анатольевна – ассистент кафедры биомедицинской инженерии ФБМИ, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», проспект Победы, 37, Киев, Украина, 03056, тел.: +380(44) 204-96-83, e-mail: valnaa@ukr.net.

Диденко Мирослав – студент кафедры биомедицинской инженерии ФБМИ, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», проспект Победы, 37, Киев, Украина, 03056.

Shlykov Vladyslav – PhD, associate Professor of Biomedical Engineering, Department of BME, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Peremogy ave., 37, Kyiv, Ukraine, 03056,

Danilova Valentyna – assistant of Biomedical engineering, Department of BME, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Peremogy ave., 37, Kyiv, Ukraine, 03056, e-mail: valnaa@ukr.net.

Didenko Miroslav –student of Biomedical engineering, Department of BME, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Peremogy ave., 37, Kyiv, Ukraine, 03056.

УДК 681.513.3

Я. А. КУЛИК, Б. П. КНИШ, М. В. ШКУРАН, О. В. ЧЕРНОВОЛИК

РОЗРОБКА СИСТЕМИ СТЕЖЕННЯ ЗА РУХОМ СОНЦЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ККД СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

Обґрунтовано вибір типу реалізації структурної схеми для 2-хосьового поворотного механізму для сонячної панелі. Розроблено функціональну схему слідкування за рухом сонця через фотодатчики на цифровій елементній базі та програмне забезпечення на базі пристрою Arduino. Обґрунтоване розміщення фотодатчиків, яке дозволяє виконувати незалежне спостереження по 2-м осям. Розроблений пристрій збільшує вартість лише на 10 %, дозволяє підвищити ККД з 10–15 % до 40–55 % і має термін окупності 5–6 років.

Ключові слова. 2-хосьвий сонячний трекер, схема стеження за рухом сонця через фотодатчики.

Обоснован выбор типа реализации структурной схемы для 2-хосьового поворотного механизма для солнечной панели. Разработана функциональная схема слежения за движением солнца через фотодатчики на цифровой элементной базе и программное обеспечение на базе устройства Arduino. Обоснованное размещение фотодатчиков, которое позволяет выполнять независимое наблюдение по 2-м осям. Разработанное устройство увеличивает стоимость всего на 10%, позволяет повысить КПД с 10–15% до 40–55% и имеет срок окупаемости 5–6 лет.

Ключевые слова. 2-хосьвий солнечный трекер, схема слежения за движением солнца через фотодатчики.

Solar energy is environmentally friendly, independent of fossil sources, autonomous, does not require high cost for development and maintenance. The choice of the type of implementation of the structural scheme for the 2-hand rotary mechanism for the solar panel is substantiated. The functional scheme of monitoring the motion of the sun through photoconductors on a digital element base and software on the basis of the Arduino device, which controls 2 servo drives depending on the angle of inclination of the sun relative to the solar panel, is developed. Grounded posting of photo sensors, which allows you to perform independent observation on the 2nd axes. The developed device increases the cost by only 10%, allows you to increase the efficiency of 10–15% to 40–55% and has a payback period of 5–6 years when using the "green tariff".

Keywords. 2-track solar tracker, tracking the sun's motion through photosensors.

© Я. А. Кулик, Б. П. Книш, М. В. Шкуран, О. В. Черноволик. 2017

Вступ. Оскільки викопні ресурси, через свою обмеженість, стають все дорожчими, а відновлювальні джерела, через свою популярність, стають все доступнішими, то очевидно, що перехід від традиційних джерел енергії до відновлювальних є неминучим [1]. Підвищення ефективності відновлювальних джерел енергії робить їх більш популярними та затребуваними [2].

Сонячна система енергопостачання складається з таких елементів:

- сонячної батареї (фотоелектричного сонячного модуля);
- контролера заряду;
- накопичувача енергії (акумулятора);

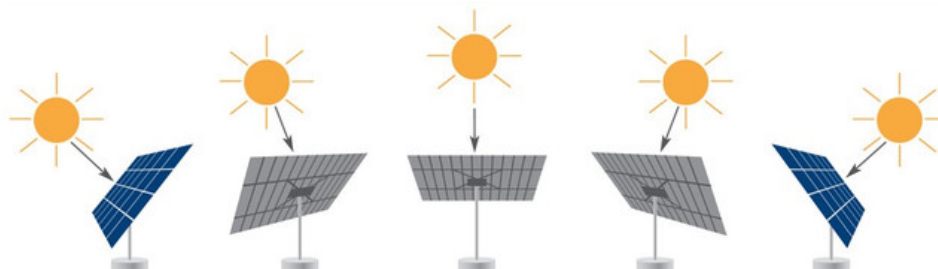


Рис. 1 – Сонячний трекер

Постановка проблеми та мета даної роботи.

Як відомо, для отримання максимальної потужності від сонячних батарей необхідно, щоб сонячні промені потрапляли на площину батарей перпендикулярно. При такому напрямку променів ККД сонячних батарей може досягати 50–55 %. Для стаціонарно встановлених батарей цей показник може знижуватися до 10–15 % з-за зміни кута падіння сонячних променів [3].

Трекери можуть бути реалізовані на основі різних принципів:

1. Управління двигунами за допомогою декількох фотоприймачів. Такий пристрій має два або більше фоторезисторів. При русі сонця освітленість фоторезисторів стає різною; пристрій аналізує освітленість і передає керуючі сигнали на двигуни до моменту, коли потік світла на всіх фотоелементах буде однаковий і електродвигун повертає сонячну панель.

2. Управління рухом трекера по азимутальних і зенітних кутах. Для правильного позиціонування сонячних панелей, потрібно компенсувати два переміщення Землі [4]:

- добове переміщення, пов'язане з обертання Землі навколо своєї осі;
- річне переміщення, пов'язане з обертання Землі навколо Сонця.

Недоліком такого варіанту є те, що Сонце в різних точках планети рухається по різному і такі системи потребують унікальних налаштувань. Сонячні трекери вигідні в першу чергу для невеликих сонячних електростанцій, які не розташовані в місцях з високою штормовою активністю [5].

Апаратна реалізація системи стеження за рухом сонця. Системи стеження за сонцем можна розділити на два види: ті, які рухаються за програмою, в якій прописані зенітні і азимутальні кути для конкретної місцевості та ті, які використовують світлочутливі

– інвертора.

Переважна більшість сонячних панелей встановлюється на нерухому опорі та орієнтується рівно на південь. Таке встановлення найбільш надійне, має мінімальну вартість та прискорює монтаж. Але при зміні кута між сонячними променями і площиною фотоелектричної панелі змінюватиметься і кількість сонячної енергії, що потрапляє на площину з фотоелементами, відповідно і кількість виробленої електроенергії буде змінюватись на протязі доби та при зміні пори року [3].

Джерелом живлення для роботи трекера є сама сонячна панель, тому він є повністю автономним (рис. 1).

датчики для безпосереднього слідкування за сонцем. Другі, в свою чергу, можна побудувати як на аналогових елементах так і з використанням програмованих контролерів, що збільшує функціонал. Структурна схема реалізації системи стеження за сонцем на базі аналогових та цифрових елементів, і за календарем показано на рис. 2, 3 та 4 відповідно.

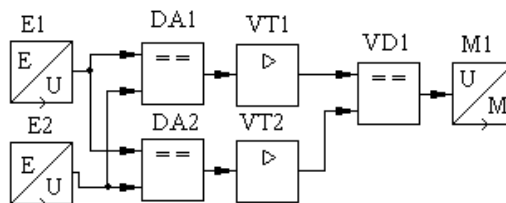


Рис. 2 – Структурна схема реалізації системи стеження за сонцем на базі аналогових елементів

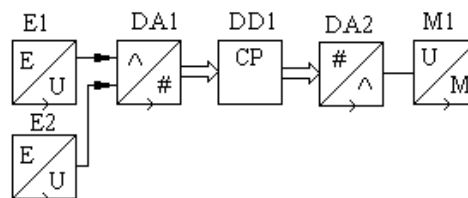


Рис. 3 – Структурна схема реалізації системи стеження за сонцем на базі цифрових елементів

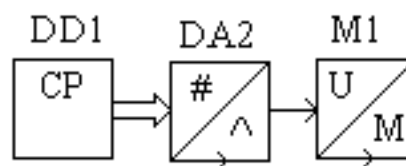


Рис. 4 – Структурна схема реалізації системи стеження за сонцем по відомих кутах на базі цифрових елементів

Електрична функціональна схема сонячного трека на основі аналогових елементів зображено на рис. 5.

В даному випадку прототип сонячного трека збирався на базі Arduino. Для обертання платформи в горизонтальній і вертикальній осі використовуються сервоприводи, кут повороту яких залежить від потужності падаючого на фоторезистори світла. Для реалізації знадобляться наступні елементи:

- Arduino UNO;
- сервопривід – 2х;
- фоторезистор – 4х;
- резистор 10 kOhm – 4х.

Головним завданням розміщення фотодатчиків є забезпечення рівного розподілу світла для кожного з чотирьох елементів. Це можна досягти двома способами: розмістити фоторезистори під прямим кутом один відносно одного, або встановити між ними світлонепроникну перегородку. Фоторезистори без перегородок будуть давати приблизно однакові. Для реалізації був обраний другий варіант (рис. 6).

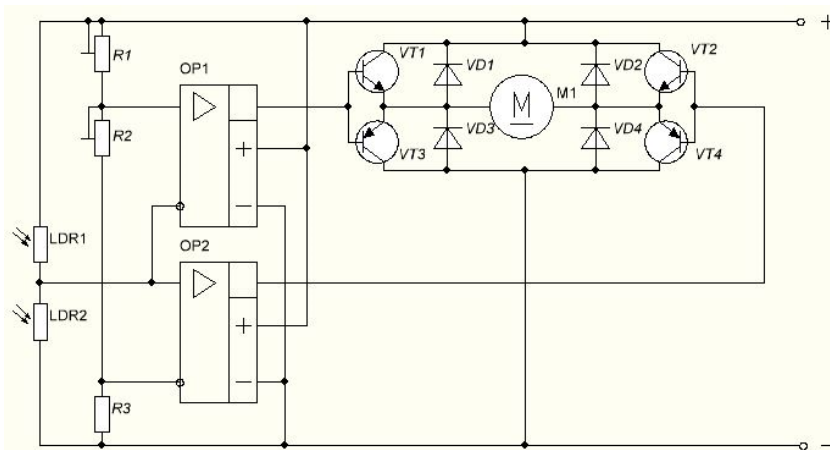


Рис. 5 – Електрична функціональна схема сонячного трека на основі аналогових елементів

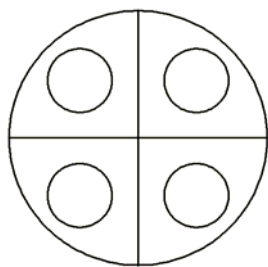


Рис. 6 – Розміщення фоторезисторів

Підключення світлочутливих елементів здійснюється за схемою подільника напруги. До Arduino фоторезистори підключаються наступним чином: один контакт підключається до джерела живлення, другий – до землі через понижуючий резистор, і точка між постійним резистором і змінним резистором – фоторезистором – підключається до аналогового входу мікроконтролера. На рис. 7 показана схема підключення фоторезистора до Arduino [4].

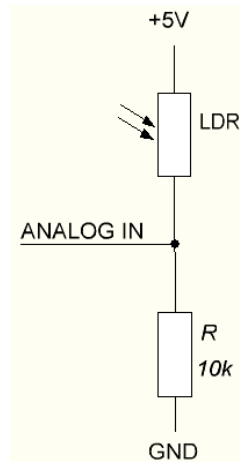


Рис. 7 – Схема підключення фоторезистора до Arduino

Для того щоб положення контролювалося пристроєм, необхідний датчик зворотного зв'язку – енкодер, який буде перетворювати кут повороту в електричний сигнал [5]. Для цього часто використовується потенціометр. При повороті бігунка потенціометра відбувається зміна його опору, пропорційно куту повороту. Таким чином, з його допомогою можна визначити поточний стан механізму. До сервоприводу під'єднується три дроти. Два з них відповідають за живлення мотора, третім подається керуючий сигнал, який використовується для встановлення положення пристрою.

Щоб задати сервоприводу бажане положення, необхідно надіслати керуючий сигнал. Керуючий сигнал – імпульси постійної частоти і змінної ширини. Положення сервоприводу, залежить від довжини імпульсів. Коли сигнал надходить в керуючу схему, наявний в ній генератор імпульсів виробляє свій імпульс, тривалість якого визначається через потенціометр. Інша частина схеми порівнює тривалість двох імпульсів. Якщо тривалість різна, включається електромотор. Напрямок обертання визначається тим, який з імпульсів коротше. Якщо довжини імпульсів рівні, електромотор не рухається.

Найчастіше імпульси виробляються з частотою 50 Гц. Це означає, що імпульс випускається і приймається раз в 20 мс. Зазвичай при цьому тривалість імпульсу в 1520 мкс означає, що сервопривід повинен зайняти середнє положення. Збільшення або зменшення довжини імпульсу змусить сервопривід повернутися за годинниковою або проти годинникової стрілки відповідно. При цьому існують верхня і нижня межі тривалості імпульсу. У бібліотеці Servo для Arduino за замовчуванням виставлені наступні значення довжин імпульсу: 544 мкс – для 0° і 2400 мкс – для 180° .

Результати моделювання, показані в даній статті, зроблені з допомогою середовища Arduino IO [6], показані на рис. 8.

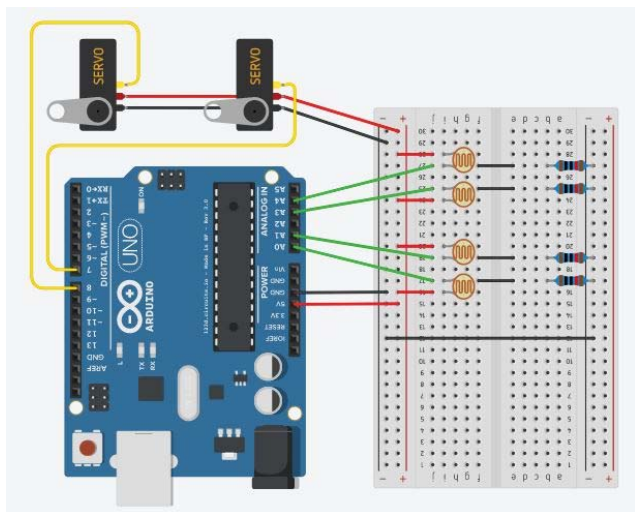


Рис. 8 – Модель електричної схеми для реалізації сонячного трекера у середовищі Arduino IO

Програмна реалізація системи стеження за рухом сонця. Загальний алгоритм роботи (рис. 9) полягає в обробці даних з фоторезисторів за допомогою АЦП. 4 елементи, тобто 4 показники, знаходимо середнє значення по лівій стороні ((верхній лівий + нижній лівий) / 2), аналогічно по правій, верхній та нижній сторонам. Якщо різниця по модулю між лівою і правою стороною більше деякого порога, то здійснюємо поворот в сторону з більшим середнім значенням (рис. 10).

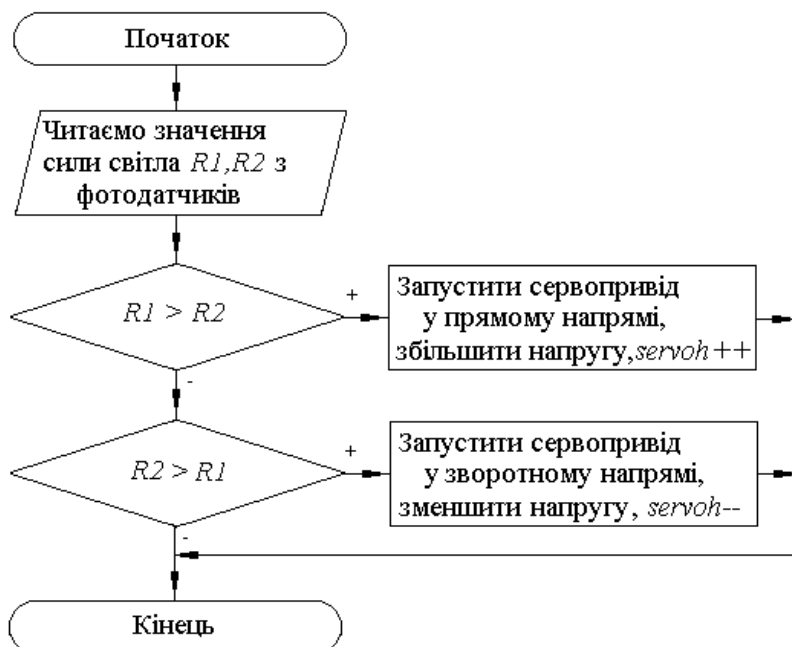


Рис. 9 – Схема програми для реалізації сонячного трекера на основі Arduino

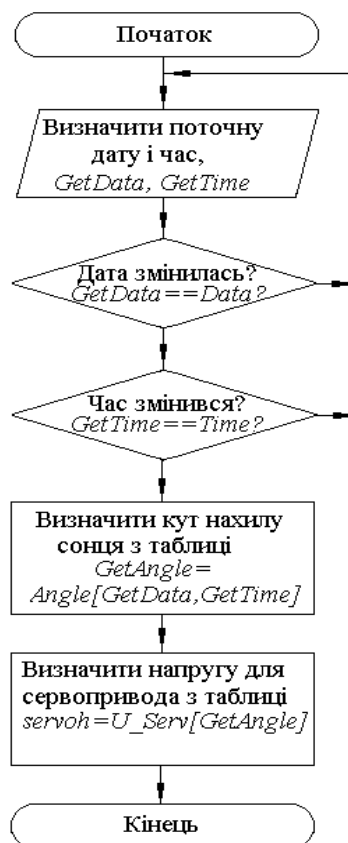


Рис. 10 – Схема програми для реалізації сонячного трекера за календарем

Для запобігання надмірного повороту платформи присутні програмні ліміти повороту, які в разі потреби можна відключити. Також, в кодї програми передбачена константа deadband, при різниці показників з датчиків менше значення цієї константи, контролер не даватиме команду на сервопривід. Таким чином усувається смикання привода. Результати моделювання роботи програмного забезпечення, показані в даній статті, зроблені з допомогою середовища Arduino IO (рис. 8). Схеми програми для реалізації керування сервоприводом, показані на рис. 9 та 10.

Економічна ефективність розробленої системи. При послідовно-паралельних з'єднаннях сонячні елементи утворюють сонячну (фотоелектричну) батарею. Потужність сонячних батарей, що серійно випускаються промисловістю, складає 50–300 Вт. На сонячних фотоелектричних станціях сонячні батареї використовуються

для створення фотоелектричних генераторів. Термін ефективної роботи таких станцій становить 20–30 років, а експлуатаційні витрати мінімальні [7].

Недоліком плоских фотоелементів для отримання електричної енергії є їх висока вартість (близько 0.75 дол. США/Вт) і значні площі, необхідні для розміщення фотоелектростанції [8].

Вартість сонячної станції потужністю 15 кВт приблизно 15000 у.о., заробіток від неї – 2700 у.о. в рік. Окупність – $15000/2700 = 5,6$ років. Чистий заробіток до 2030 року = $(13 - 5,6) * 2700 = 19980$ у.о.

Вартість такої ж станції встановленої на трекері приблизно 19500 у.о. Заробіток від неї 3780 у.о. в рік. Окупність – $19500/3780 = 5,2$ років. Чистий заробіток до 2030 року = $(13 - 5,2) * 3780 = 29484$ у.о. [9; 10].

Тепер для порівняння розрахуємо вартість стаціонарної сонячної станції на 21 кВт. Вартість такої станції встановленої приблизно 21000 у.о. Заробіток від неї 3780 у.о. в рік. Окупність – $21000/3780 = 5,6$ років. Чистий заробіток до 2030 року = $(13 - 5,6) * 3780 = 27972$ у.о.

Як видно з розрахунків, різниця у вартості стаціонарної станції та станції з трекерами близько 10 % на користь трекерів. Також трекер має наступні переваги:

– дозволена потужність сонячної станції для приватного домогосподарства обмежена цифрою в 30 кВт. Розмістивши ці ж панелі на трекері можна буде отримувати дохід як від 45 кіловатної станції;

– взимку сонячні панелі будуть розміщені під дуже гострим кутом до землі ($60-65^\circ$) на них практично не буде затримуватись сніг;

– для мережевих станцій, де присутні елементи українського виробництва, тариф вищий на 30 % [11].

– менша площа, яку займає станція.

Висновки. Встановлення сонячних панелей на рухомих платформах, які повертаються за сонцем, дає змогу значно підвищити ефективність використання сонячної енергії. Розроблений сонячний трекер дозволяє підвищити ККД сонячних панелей з 10–15 % до 40–55 %. Сонячні трекери більш доцільно робити для автономних сонячних електростанцій. Термін окупності при використанні «зеленого тарифу» складає 5–6 років. Результати були апробовані на науковій конференції [12].

Список літератури:

1. Sukhov, V. Analysis of mass-energy balance of unmanned aircraft fueled by solar energy [Text] / V. Sukhov, Y. Kozel // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – Vol. 3, Issue 9 (87). – P. 10–18. doi: [10.15587/1729-4061.2017.101974](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.101974).
2. Лимаренко, А. Н. Потенциал и необходимость развития нетрадиционных возобновляемых источников энергии в Украине [Текст] / А. Н. Лимаренко // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2013. – Т. 5, № 8 (65). – С. 14–19. – Режим доступу: <http://journals.urau.ua/eejet/article/view/18120/15868>
3. Боблях, С. Р. Відновлювальні джерела енергії [Текст]: монографія / С. Р. Боблях, М. М. Мельничук, В. С. Мельник, Р. М. Ігнатюк. – Луцьк: Волинський національний університет ім. Лесі Українки, 2012. – 227 с.
4. Чернобровкин, А. В. Фотоэлектричные системы живления автономной аппаратуры: солнечные батареи [Текст] / А. В. Чернобровкин // Вісник Держгидрографії. – 2010. – С. 6–8.
5. Титко, Р. Відновлювальні Джерела Енергії (досвід Польщі для України) [Текст]: навч. пос. / Р. Титко, В. М. Калініченко. – Варшава: OWG, 2010. – 530 с.
6. Autodesk Circuits [Electronic resource]. – Available at: <https://circuits.io/>
7. Швець, Е. Я. Технології і матеріали сонячної енергетики [Текст]: монографія / Е. Я. Швець. – Запоріжжя: ЗДІА, 2007. – 239 с.
8. Відновлювана енергетика – одна з глобальних та ключових цілей людства [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://uare.com.ua/novyny/471-vidnovlyuvana-energetika-odna-z-globalnikh-ta-klyuchovikh-tsilej-lyudstva.html>
9. Інститут відновлюваної енергетики НАН України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ive.org.ua/>
10. Держенергоєфективності України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://sae.gov.ua/uk>
11. Зелений тариф, впровадження проєктів для фізичних та юридичних осіб. Заробіток на альтернативній енергетиці [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ecosvit.net/ua/zeleniy-tarif>
12. Кулик, Я. А. Система стеження за рухом сонця [Електронний ресурс] / Я. А. Кулик, М. В. Шкуран // Матеріали XLVI Науково-технічної конференції факультету комп'ютерних систем і автоматики (2017). – Вінниця, 2017. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fksa/all-fksa-2017/paper/view/2402/2618>

Bibliography (transliterated):

1. Sukhov, V., Kozel, Y. (2017). Analysis of mass-energy balance of unmanned aircraft fueled by solar energy. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3 (9 (87)), 10–18. doi: [10.15587/1729-4061.2017.101974](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.101974).
2. Limarenko, A. N. (2013). Potential and necessity to develop nontraditional renewable energy in Ukraine. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5 (8 (65)), 14–19. Available at: <http://journals.urau.ua/eejet/article/view/18120/15868>
3. Bobliakh, S. R., Melnichuk, M. M., Melnyk, V. S., Ihnatiuk, R. M. (2012). Vidnovliuvalni dzhherela enerhii. Lutsk: Volynskiy natsionalnyi universytet im. Lesi Ukrainky, 227.
4. Chernobrovkin, A. V. (2010). Fotoelektrychni systemy zhyvleniya avtonomnoi apparatury: soniachni batarei. Visnyk Derzhhidrografii, 6–8.
5. Tytko, R., Kalinichenko, V. M. (2010). Vidnovliuvalni Dzhherela Enerhii (dosvid Polshchi dlia Ukrainy). Varshava: OWG, 530.
6. Autodesk Circuits. Available at: <https://circuits.io/>
7. Shvets, E. Ya. (2007). Tekhnolohii i materialy soniachnoi enerhetyky. Zaporizhzhia: ZDIA, 239.
8. Vidnovliuvana enerhetyka – odna z hlobalnykh ta kliuchovykh tsilej lyudstva. Available at: <http://uare.com.ua/novyny/471-vidnovlyuvana-energetika-odna-z-globalnikh-ta-klyuchovikh-tsilej-lyudstva.html>
9. Instytut vidnovliuvanoi enerhetyky NAN Ukrainy. Available at: <http://www.ive.org.ua/>
10. Derzhenergoefektyvnosti Ukrainy. Available at: <http://sae.gov.ua/uk>
11. Zeleniy taryf, vprovadzhennia proektiv dlia fizychnykh ta yurydychnykh osib. Zarobitok na alternatyvni enerhetytsi. Available at: <http://www.ecosvit.net/ua/zeleniy-tarif>
12. Kulyk, Ya. A., Shkuran, M. V. (2017). Systema stezhennia za rukhom sontsia. Materialy XLVI Naukovo-tekhnichnoi konferentsii fakultetu kompiuternykh system i avtomatyky (2017). Vinnytsia. Available at: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fksa/all-fksa-2017/paper/view/2402/2618>

Надійшла (received) 30.06.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Розробка системи стеження за рухом сонця для підвищення ККД сонячних електростанцій/ Кулик Я. А., Книш Б. П., Шкуран М. В., Черноволик О. В. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 20(1242). – С.19–24. – Бібліогр.: 12 назв. – ISSN 2079-5459.

Разработка системы слежения за движением солнца для повышения КПД солнечных электростанций/ Кулик Я. А., Книш Б. П., Шкуран М. В., Черноволик О. В. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 20(1242). – С.19–24. – Бібліогр.: 12 назв. – ISSN 2079-5459.

Development of the solar tracking system to increase the efficiency of solar power plants/ Kulik Y. A., Knysh B. P., Shkuran M. V., Chernovolik O. V. // Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 20 (1242). – P.19–24. – Bibliogr.:12. – ISSN 2079-5459

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Кулик Ярослав Анатолійович – кандидат технічних наук, Вінницький національний технічний університет, асистент кафедри автоматики та інформаційно-виміральної техніки, вул. Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, Україна, 21021, e-mail: Yaroslav_Kulik@i.ua.

Книш Богдан Петрович – кандидат технічних наук, Вінницький національний технічний університет, асистент кафедри електроніки та наносистем, вул. Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, Україна, 21021, e-mail: tutmos-3@i.ua.

Шкуран Михайло Володимирович – Вінницький національний технічний університет, вул. Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, Україна, 21021, e-mail: misha.shkuran@gmail.com.

Черноволик Олена Володимирівна – Вінницький національний технічний університет, студент 4-го курсу, вул. Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, Україна, 21021, e-mail: olena.chernovolyk@gmail.com.

Кулик Ярослав Анатольевич – кандидат технических наук, Винницкий национальный технический университет, ассистент кафедры автоматики и информационно-измерительной техники, ул. Хмельницкое шоссе, 95, г. Винница, Украина, 21021, e-mail: Yaroslav_Kulik@i.ua.

Кныш Богдан Петрович – кандидат технических наук, Винницкий национальный технический университет, ассистент кафедры электроники и наносистем, ул. Хмельницкое шоссе, 95, г. Винница, Украина, 21021, e-mail: tutmos-3@i.ua.

Шкуран Михаил Владимирович – Винницкий национальный технический университет, ул. Хмельницкое шоссе, 95, г. Винница, Украина, 21021, e-mail: misha.shkuran@gmail.com.

Черноволик Елена Владимировна – Винницкий национальный технический университет, студент 4-го курса, ул. Хмельницкое шоссе, 95, г. Винница, Украина, 21021, e-mail: olena.chernovolyk@gmail.com.

Kulyk Yaroslav Anatoliyovych – PhD., Vinnytsia National Technical University, assistant of the Department of Automation and Information and Measuring Equipment, st. Khmelnytsky highway, 95, Vinnitsa, Ukraine, 21021, e-mail: Yaroslav_Kulik@i.ua.

Knysh Bogdan Petrovych – PhD., Vinnytsia National Technical University, assistant of electronics and nanosystems, st. Khmelnytsky highway, 95, Vinnitsa, Ukraine, 21021, e-mail: tutmos-3@i.ua.

Shkuran Mykhail Volodymyrovych – Vinnytsia National Technical University, st. Khmelnytsky highway, 95, Vinnitsa, Ukraine, 21021, e-mail: misha.shkuran@gmail.com.

Chernovolyk Olena Volodymyrivna – Vinnytsia National Technical University, 4th year student, Khmelnytsky highway, 95, Vinnitsa, Ukraine, 21021, e-mail: olena.chernovolyk@gmail.com.