

**ЗАСТОСУВАННЯ СЕРЕДОВИЩА ARDUINO ДЛЯ ТРЕКЕРНИХ СИСТЕМ ФОТОПАНЕЛЕЙ****Я. В. Бацала, І. І. Яремак, В. Я. Феденько**Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу  
вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, Україна. E-mail: batsala2012@gmail.com

В роботі розглянуто особливості реалізації фотоелектричних станцій з трекерною системою, яка спроектована з використанням мікроконтролерів на базі плат Arduino. Застосовано сервопривод для повороту фотопанелі, який має ручне та автоматичне регулювання відповідно до сигналу сенсорів. Спроектовано мікропроцесорну систему, яка поєднує основні функції керування сервоприводом та кутом повороту фотопанелі з поєднанням вимірювання енергетичних параметрів, освітленості та кута повороту фотопанелі. Визначено оптимальний кут повороту фотопанелі для ефективного генерування. Отримана імітаційна модель, яка дозволяє реалізувати побудову вольтамперних характеристик фотопанелі з змінним навантаженням. Проаналізовано сучасні автоматизовані системи регулювання режимів роботи фотоелектричних станцій в локальних системах. Здійснено порівняння ефективності використання трекерних систем в програмному середовищі PVWatts і PV SYST. Продемонстровано результати моделювання для міста Івано-Франківськ. Сформульовано завдання подальших наукових досліджень.

**Ключові слова:** фотопанель, ефективність, сонячний трекер, сервопривод, середовище Arduino, моделювання.

**ПРИМЕНЕНИЕ СРЕДЫ ARDUINO ДЛЯ ТРЕКЕРНЫХ СИСТЕМ ФОТОПАНЕЛЕЙ****Я. В. Бацала, И. И. Яремак, В. Я. Феденько**Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу  
вул. Карпатська, 15, г. Івано-Франківськ, Україна. E-mail: batsala2012@gmail.com

В работе рассмотрены особенности реализации фотоэлектрических станций с трекерной системой, которая спроектирована с использованием микроконтроллеров на базе плат Arduino. Применено сервопривод для поворота фотопанели, который имеет ручное и автоматическое регулирование в соответствии с сигналом сенсоров. Спроектирована микропроцессорная система, которая объединяет основные функции управления сервоприводом и углом поворота фотопанели с сочетанием измерения энергетических параметров, освещенности и угла поворота фотопанели. Определен оптимальный угол поворота фотопанели для эффективного генерирования. Полученная имитационная модель, которая позволяет реализовать построение вольт-амперных характеристик фотопанели с переменной нагрузкой. Проанализированы современные автоматизированные системы регулирования режимов работы фотоэлектрических станций в локальных системах. Проведено сравнение эффективности использования трекерных систем в программной среде PVWatts и PV SYST. Продемонстрированы результаты моделирования для города Ивано-Франковск. Сформулированы задачи дальнейших научных исследований.

**Ключевые слова:** фотопанель, эффективность, солнечный трекер, сервопривод, среда Arduino моделирования.

**АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.** Збільшення кількості сонячних електростанцій в енергосистемі України зумовлює розгляд питань маневреності та продуктивності таких джерел генерування. Підвищення ефективності фотоелектричних станцій досягають шляхом застосування сучасних ефективних фотопанелей та інверторів з поєднанням трекерних систем, які змінюють кут падіння сонячних променів на поверхню фотопанелей згідно заданого алгоритму. Перспективною є також робота в напрямку регулювання величини електроенергії, фотоелектричною станцією, з метою зменшення значення небалансу в електричній мережі. Розгалуженість локальних електричних систем з фотоелектричними станціями зумовлює необхідність використання інтелектуальних систем керування, які залежно від кута падіння сонячних променів та режиму генерації впливатимуть на вихідні параметри.

Мета роботи – дослідження перспектив використання програмно-апаратного комплексу для підвищення продуктивності фотоелектричних систем та розроблення експериментальної установки на основі інтегрованого середовища Arduino.

**МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.** В фотоелектричних станціях режим генерування залежить від метеорологічних чинників (температура,

величина сонячної інсоляції, тривалість сонячного дня, хмарність, тощо), які впливають на їхню роботу в мережі і зумовлюють необхідність використання інтелектуальних функцій моніторингу, таких як «Smart Inverters». Завдяки цьому локальні мережі стають «розумними мережами» (Smart Grid), тобто використовують технології інтелектуальних інверторів (ввімкнення чи вимкнення від мережі при значеннях параметрів, близьких до аварійних, регулювання реактивної потужності, використання систем акумуляування). Варто зазначити, що генерування реактивної потужності інверторами такого типу використовують здебільшого в нічні години, як джерело компенсації реактивної потужності та для регулювання напруги в мережі [1]. Іншим варіантом реалізації сучасних систем моніторингу для підвищення продуктивності ФЕС є удосконалення засобів контролю параметрів електроенергії шляхом використанням апаратно-програмних комплексів, середовища LabView [2] та сенсорів струму, напруги, температури, освітленості, положення. Використання переліченого обладнання дозволить створити систему автоматизації регулювання положення фотомодулів та запрограмувати необхідний сценарій роботи.

В роботах [3, 4] висвітлено перспективи використання інтелектуальних систем слідування за по-

ложенням Сонця різних конструктивних особливостей трекера (одно- та двоосьовий), способом орієнтації за Сонцем (за математичною моделлю без зворотного зв'язку або за допомогою сенсорів) та приводу (двигун постійного струму, сервопривід, крокові двигуни). Особливо важливим чинником провідні вітчизняні та закордонні вчені вважають вибір системи управління, яке можна здійснити на базі мікроконтролерів або за допомогою середовища Arduino [5, 6, 7]. На основі цих робіт робимо висновки, що найбільш ефективним є одноосьовий трекер із слідкуванням за положенням Сонця, але оскільки поєднання автоматичного та ручного режимів керування в одному проєкті з відстеженням освітленості є невирішеною задачею, то дана праця буде присвячена цьому завданню. Не зрозуміло думку авторів.

Невисока вартість та ефективність мікропроцесорних систем зумовила можливість застосування системи слідкування за переміщенням Сонця за допомогою інтегрованого середовища розробки Arduino. В роботі [3] визначено та описано критерії вибору Arduino Uno для проєктування систем слідкування за положенням Сонця. Оскільки, платформа дозволяє застосовувати різні типи сенсорів, пускачів та двигунів і має можливість редагування відкритого програмного коду, то її доцільно використовувати в різних проєктах. Велику увагу в середовищі Arduino приділено безпеці системи через можливість зовнішнього втручання. При необхідності здійснення ідентифікації можна використати організацію доступу з підтримкою RFID-модуля (Radio Frequency Identification). Автоматична безконтактна ідентифікація об'єктів за допомогою радіочастотного каналу зв'язку має шифрування секретного коду, який запобігає копіюванню та клонуванню.

Для досягнення поставлених завдань розроблено систему з апаратно-програмним забезпеченням та використанням мікроконтролерів на базі плат Arduino, яка складається з кількох простіших підсистем, які здійснюють ручне регулювання кута сервоприводу, автоматичне регулювання залежно від оптимальної освітленості, визначення енергетичних параметрів. Трекер сонячної панелі призначений для збільшення продуктивності панелей, тобто збільшення кількості генерованої електроенергії.

В даній роботі застосовано плату типу Arduino Nano (обґрунтовано іншу) v3.0 board Atmega168, яка має можливість передачі даних на комп'ютер або інші мікроконтролери. В табл. 1 наведено її технічні характеристики.

Установка являє собою одновісний трекер, який протягом дня може змінювати кут тільки в горизонтальній площині. Перевагою вибраної системи є просте і зручне середовище програмування, гнучкість відкритих вихідних кодів, відкритість апаратного забезпечення для створення нових пристроїв та відносно низька вартість для готових модулів. Середовище розробки використовує мову програмування Processing. [8, 9]. Вид підпрограм, що формуються у середовищі Arduino – так звані скетчі (sketch), представлено на рис. 1.

Таблиця 1 – Технічні характеристики плати Arduino Nano v3.0 board Atmega168

Мікроконтролер	Atmega168
Рекомендована напруга живлення, В	7-12
Робоча напруга (логічний рівень), В	5
Цифрові входи / виходи	14 (з них 6 можуть використовуватися як ШІМ)
Аналогові входи	8
Максимальний струм одного виведення, мА	40
Тактова частота, мГц	16
Flash-пам'ять, кБ	16
SRAM, кБ	1
EEPROM, кБ	512
Розміри плати,	1,85 см x 4,3 см

```

tracker.txt x
1 #include <Servo.h>
2 #include <LiquidCrystal_I2C.h>
3 #include <Wire.h>
4 #include <BH1750.h>
5
6 BH1750 lightMeter;
7
8 LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2);
9 Servo myservo;
10
11
12
13 unsigned long last_time;
14 const int buttonPin = 6;
15
16
17 int buttonState = 0;
18
19 int potpin = 0;
20 int val;
21 int pos = 0;
22
23
24
25
26 int pinL = 3;
27 int pinR = 2;
28 int leftValue = 0;
29 int rightValue = 0;
30 int error = 0;
    
```

Рисунок 1 – Фрагмент коду для програмування трекера в середовищі Arduino

Для проведення досліджень в проєкті використано контролер Arduino, який періодично зчитує значення параметрів з фоторезисторів та порівнює їх між собою. Якщо значення відрізняються, контролер подає команду на сервопривод для повороту панелі в потрібному напрямку. Фоторезистори використано для визначення інтенсивності сонячного світла, оскільки в них змінюється опір при зміні освітленості, відповідно, сигнал поступає на дільник напруги і надсилається на мікроконтролер [6].

В режимі ручного керування за допомогою потенціометра змінюють значення довжини імпульсу і при цьому Arduino змінює кут повороту сервоприводу. В обох режимах кут повороту не перевищує 60°. Люксметр працює незалежно від системи керування. Виміряні значення освітленості виведено на дисплей, частота оновлень кожні 0,5 секунди.

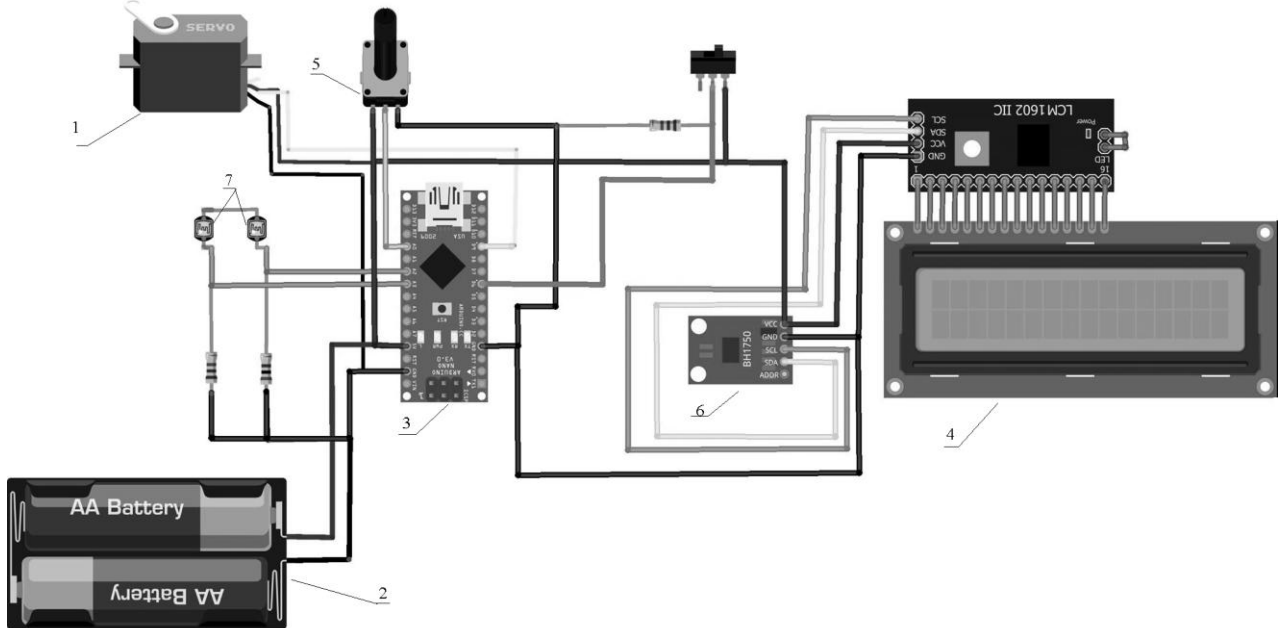


Рисунок 2 – Структурна схема трекерної системи фотомодуля на базі плат Arduino

Живлення елементів схеми (рис. 2) здійснюється від одного джерела живлення напругою 5 В (блок живлення). В якості дисплею застосовано адаптер I2C на базі мікроконтролера PCF8574. Переваги встановленого адаптера:

- для роботи достатньо тільки двох ліній (SDL – лінія синхронізації та SDA – лінія даних), що суттєво зменшує кількість провідників, підключених до дисплея;
- в адаптері вмонтовано регулятор контрасту дисплея, який дає можливість регулювати його яскравість;
- збільшено кількість одночасно підключених сенсорів до апаратно-програмного комплексу Arduino.

На рис. 3 наведено розроблену схему підключення системи до плат Arduino з використанням сервоприводу, сенсора освітленості та фоторезисторів.

На рис. 2 наведено структурну схему трекерної системи фотомодуля, яка містить сервопривод (1), блок живлення (2), мікроконтролери (3), дисплей (4), перемикач автоматичного та ручного режимів (5), сенсор освітленості BH1750 (6), фоторезистори (7).

Дисплей та люксметр підключено до плати Arduino, а саме до контактів A4 (SDA) та A5 (SDL).

Сервопривод під'єднано до цифрового виводу D9 та джерела живлення. Зміну кута повороту здійснюють за допомогою ШІМ, яке задає імпульси на Arduino на основі отриманих даних від потенціометра (ручне керування) або різницею потенціалів фоторезисторів (автоматичне керування). Якщо наявна різниця між даними, отриманими з фоторезисторів, то подається сигнал на сервопривод для повороту в бік більшої освітленості.

Для проекту застосовано сервопривод SG90 [5], який через незначну вартість, компактність та можливість прямого підключення до контролера дає можливість здійснювати керування через створену бібліотеку в Arduino IDE [6]. Такі сервоприводи доцільно застосовувати для фотомодулів вагою до 2 кг (потужністю до 20 Вт).

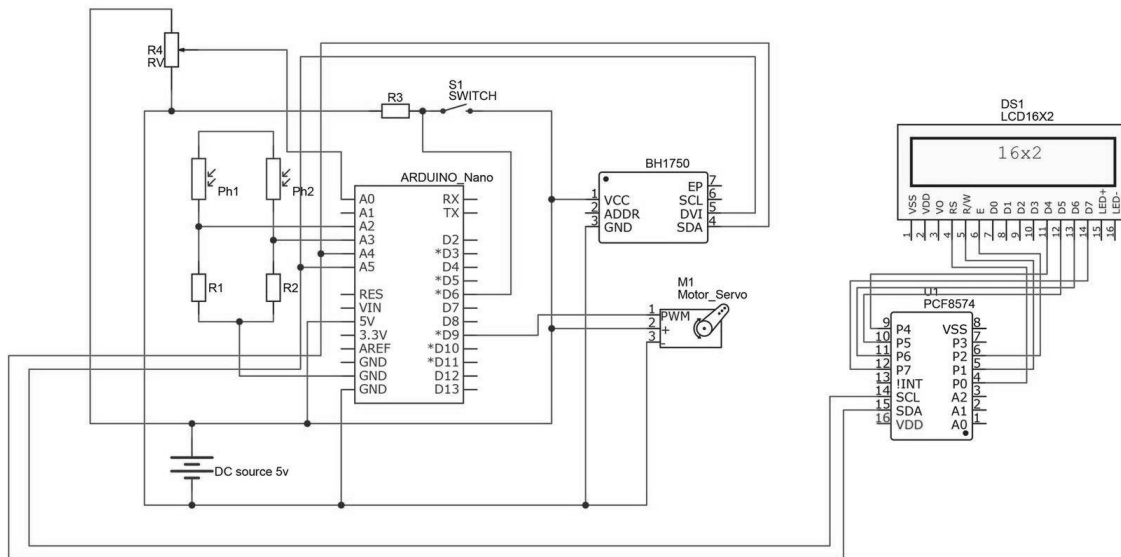


Рисунок 3 – Схема підключення системи фотомодуля до плат Arduino

Перемикач режимів роботи здійснюють за допомогою перемикача 5 (рис. 4). Для цього в Arduino встановлено алгоритм регулювання режиму (якщо перемикач ввімкнений на контакт D6 передається високий логічний рівень 5В і виконується певна команда, якщо перемикач вимкнений, на контакт передається низький логічний рівень GND і тоді згідно з алгоритмом режим перемикається. Люксметр, в даному випадку, працює незалежно від положення кнопки та виводить значення освітленості на дисплей з частотою оновлення 0,5 с. Також на дисплей виведено кут повороту фотопанелі.

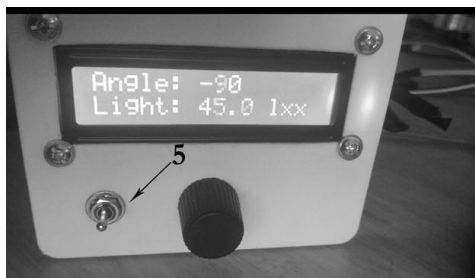


Рисунок 4 – Фронтальна панель приладу з екраном, перемикачем та регулятором кута фотопанелі

Ручний режим керування положенням фотопанелей фотоелектричних станцій дозволить регулювати їх потужність для зниження небалансу генерування та споживання електроенергії в системі, що дасть можливість зменшити штрафні санкції на виробника електроенергії відповідно до чинного законодавства (з виробника електроенергії стягують/зараховують вартість небалансу, яку визначають як різницю між власним погодинним прогнозом на добу наперед і реальними обсягами генерування) [10].

На рис. 5 та рис. 6 наведено залежності зміни напруги та струму від кута повороту сервопривода з фотомодулем. Дослідження проведено в ручному режимі при встановленні нерухомого штучного

джерела освітлення на куті повороту  $0^{\circ}$ . При зміні кута від заданого значення зменшується освітленість, а відповідно струм, напруга та потужність фотомодуля.

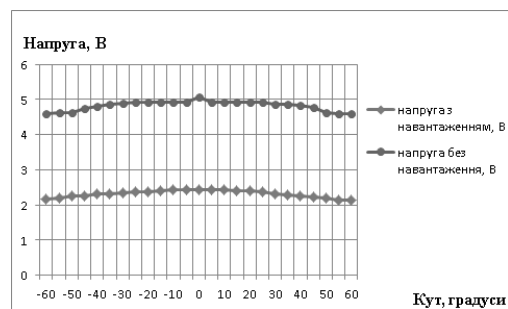


Рисунок 5 – Динаміка зміни напруги залежно від кута повороту фотомодуля

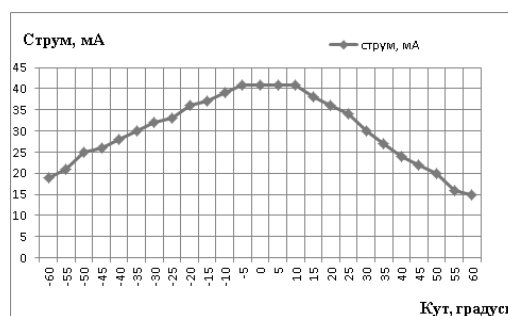


Рисунок 6 – Динаміка зміни струму в залежності від кута повороту фотомодуля

Для розрахунку ефективності трекерних систем застосовують програмне забезпечення PVWatts [11] та PV SYST [12], яке дозволяє отримати результати прогнозу кількості генерованої електроенергії за добу з використанням існуючих баз даних, що враховують реальну інсоляцію на конкретній території за допомогою даних NASA або багаторічних погодних даних з метеосерверів. Такі інструменти застосовують для техніко-економічного обґрунтування вибраної системи з фотоелектричною станцією.

Однією з доступних функцій програми є обчислення кількості виробленої електроенергії в нерухомих, одновісних та двовісних системах стеження. Фіксовані системи реалізують стандартні геометричні обчислення кута падіння з урахуванням нахилу поверхні, поверхневого азимута, сонячного азимута та кута зеніту. Алгоритм одновісного слідування за положенням Сонця передбачає відстеження кута  $\pm 45$  градусів від горизонталі. Моделі враховують затінення, втрачає через опади та багато інших припущень, які підвищують точність. Задекларована точність розрахунків не перевищує 10 %. Згідно методики [12] кількість електроенергії, яку генеруватиме фотопанель за місяць залежить від статичних даних, внесених в програму PV SYST.

$$W = nW_{24}, \quad (1)$$

$$W_{24} = \sum_{i=0}^{23} P_i, \quad (2)$$

$$P_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n P_{ij}. \quad (3)$$

де  $n$  – кількість днів в місяці;  $W_{24}$  – сумарна енергії, яка генерується за добу;  $P_i$  – потужність фотопанелі кожної  $i$ -ї години з розрахованою сонячною інсоляцією;  $P_{ij}$  – погодинна потужність фотопанелі кожного  $j$ -го дня місяця з розрахованою сонячною інсоляцією.

Збільшення продуктивності фотоелектричної системи з сонячним трекером залежить від місця розміщення, погодних умов, затінення, конструктивних особливостей трекера [13] і може коливатися в межах 5-50 % [14]. Окрім збільшення загального річного виробітку електроенергії, системи стеження також допомагають зменшити добову та сезонну нерівномірність генерування сонячної енергії. На рис. 7 показано зміну потужності фотомодуля для різних систем слідування за Сонцем для м. Івано-Франківськ в липні та січні.

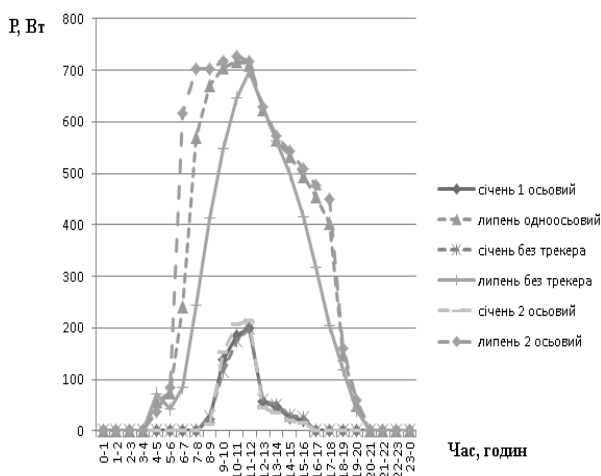


Рисунок 7 – Графіки зміни потужності фотомодуля для різних систем слідування за Сонцем

Розвиток технологій дозволяє прискорити модернізацію, а впровадження «інтелектуальних технологій» є основою майбутнього розвитку енергетики України та світу. Застосування системи слідування за Сонцем в літні місяці збільшує продуктивність локальних фотоелектричних джерел в низьковольтних електричних мережах, проте потребує вирішення проблем пов'язаних з якістю електроенергії [15] та використанням систем акумулювання електроенергії [16, 17].

ВИСНОВКИ. 1. Перспективним напрямком використання програмно-апаратного комплексу для підвищення продуктивності фотоелектричних систем є поєднання інтелектуальних функцій керування положення та прогнозних моделей генерування електроенергії для зменшення небалансу в системі.

2. В роботі встановлено, що розробка інтелектуальної системи керування положенням фотопанелей на базі контролера Arduino дає можливість підвищити продуктивність та знизить термін окупності фотоелектричних станцій, використовує доступне для редагування програмне забезпечення, дозволяє реалізувати новітні технології та додаткові функціональні можливості.

3. Розроблено експериментальну установку на основі інтегрованого середовища Arduino, використано сервопривод для регулювання положення фотопанелі в ручному та автоматичних режимах та визначено ефективність фотоелектричних систем в м. Івано-Франківськ.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Lulbadda K. T., Nemapala K. T. M. U. (2019), "The additional functions of smart inverters", *AIMS Energy*, Vol. 7, № 6, pp. 971–988.
2. Бацала Я. В., Гладь І. В., Кіянюк О. І. Удосконалення засобів контролю параметрів електроенергії відновлювальних джерел енергії. *Oil and Gas Power Engineering*, 2015. № 1(23), С. 52–60.
3. Juang J. N., Radharamanan R. "Design of a solar tracking system for renewable energy", *Proceedings of the 2014 Zone 1 Conference of the American Society for Engineering Education. IEEE*, pp. 1–8.
4. Велігорський О. А. Оцінка ефективності алгоритмів орієнтації фотоелектричних перетворювачів. *Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2012. № 2(57), С. 206–215.
5. Ramya P., Ananth R. The Implementation of Solar Tracker Using Arduino With Servomotor. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*. 2016. № 3. Pp. 969–972.
6. Белінський Я. О., Злотенко Б. М. Розробка інтелектуальної системи управління сервоприводом. *Технології та дизайн. Мехатронні системи та комп'ютерні технології*. 2015. 2 (15). С. 1–7.
7. Ключіко Ю. І., Злотенко Б. М. Розробка інтелектуальної системи керування освітленням «розумного будинку». *Технології та дизайн. Мехатронні системи та комп'ютерні технології*. 2015. 2 (15). С. 36–42.

8. Thin Thin Htwe, Dr. Kyaw Kyaw Hlaing (2019). "Arduino based tracking system using GPS and GSM". *International Journal of Advance Research, Ideas and Innovations in Technology*, № 4(8), pp. 11–15.
9. Thin Thin Htwe, Dr. Kyaw Kyaw Hlaing (2019). "Automatic Solar Tracking Using LDR and Stepper Motor Based on Arduino". *International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR)*, Vol. 8, Issue 8, pp. 363–367.
10. Лежнюк П. Д., Комар В. О., Кравчук С. В., Дідіченко Є. С. Аналіз метеопараметрів для погодинного прогнозування виробітку електроенергії фотовольтаїчними електростанціями на добу наперед. *Енергетика та комп'ютерно-інтегровані технології в АПК*. 2017. № 1 (6). С. 27–31.
11. NREL's PVWatts Calculator. URL: <https://pvwatts.nrel.gov/pvwatts.php>
12. 'PVsyst: Software for the Study and Simulation of Photovoltaic Systems', PVsyst SA Geneva, Switzerland, URL: [www.pvsyst.com](http://www.pvsyst.com)
13. Михайлів М. І., Кушнір І. М., Михайлів І. М. Пристрій автоматичного орієнтування сонячних панелей. Патент на корисну модель. Пат. 126082 У Україна, МПК H01L 31/053, F24S 20/00 URL: <http://elar.nung.edu.ua/handle/123456789/6894>
14. Хомутов С. О., Полищук В. Й., Сташко В. И., Исследование основных режимов работы и элементов конструкции фотоэлектрических систем для построения микромощной солнечной электростанции. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2019. Т. 330. № 1. С. 153–164.
15. Гладь І. В., Бацала Я. В. Експериментальні дослідження несиметричного режиму низьковольтної мережі при однофазному генеруванні електроенергії сонячною електростанцією *Нафтогазова енергетика*, 2017, № 1, С. 123–131.
16. Яндутьський О. С., Труніна Г. О., Настенко Д. В., Лисак К. М. Керування роботою електростанції з фотоелектричною та вітровою установками з накопичувачем електроенергії в електричній мережі. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. 2019. № 6(119). С. 146–151.
17. Оцінка стану та реалізації концепцій розвитку «інтелектуальних» електромереж у світовій практиці. URL: <https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/01/3.-Smart-Grid.pdf>

#### APPLYING THE ARDUINO ENVIRONMENT FOR SOLAR TRACKING SYSTEMS

Y. Batsala, I. Yaremak, V. Fedenko

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

vul. Karpat'ska, 15, Ivano-Frankivsk, 76019, Ukraine. Email: [batsala2012@gmail.com](mailto:batsala2012@gmail.com)

**Purpose.** Development of a complex of hardware and software to increase the efficiency of photovoltaic systems using a tracking system and experimental setup based on the Arduino integrated environment. **Methodology.** There were some peculiarities being considered as to implementation of photovoltaic stations with a tracking system, which is developed using microcontrollers based on Arduino boards. The servomotor SG90 is used to rotate the photopanel, which has manual and automatic adjustment according to the sensor signals. Light sensor BH1750 and two photoresistors were used to determine the intensity of solar insolation. The rotation angle is changed using PWM, which sets the pulses on the Arduino based on the data obtained from the potentiometer (manual control) or the potential difference of the photoresistors (automatic control). **Results.** Modern automated control systems for photovoltaic power plants in local systems were analyzed. An experimental setup has been developed to increase the efficiency of photovoltaic stations using a tracking system based on the Arduino integrated environment. **Originality.** The efficiency of using tracking systems in the PVWatts and PVSYST software environment is determined. A microprocessor system has been developed that combines the main functions for controlling the drive and the angle of photopanel rotation with the ability to measure energy parameters, illuminance and angle of photopanel rotation. With the help of developed experimental installation the volt-ampere characteristics of the photovoltaic panel with variable loading were constructed. **Practical value.** A complex has been developed to increase the efficiency of photovoltaic systems with hardware and software and the use of microcontrollers based on Arduino boards, consisting of several simple subsystems and manually adjusting of the angle of servomotor rotation, automatic adjustment depending on optimal lighting, determination of energy parameters. The developed simulation model was tested for the city of Ivano-Frankivsk. The tasks of further scientific research are formulated.

**Key words:** Photovoltaic power plant, efficiency, solar tracker, servomotor, Arduino environment, simulation.

#### REFERENCES

1. Lulbadda, K. T., Hemapala, K. T. M. U. (2019), The additional functions of smart inverters, *AIMS Energy*, Volume 7, № 6, pp. 971-988.
2. Batsala, Y. V. (2015), Improvement of means of control of the parameters of electricity of renewable energy sources, *Oil and Gas Power Engineering*, no. 1(23), pp. 52–60.
3. Juang, J. N., Radharamanan, R. (2014), Design of a solar tracking system for renewable energy, *Proceedings of the 2014 Zone 1 Conference of the American Society for Engineering Education. IEEE*, pp. 1-8.
4. Velihorskyi, O. A. (2012), Evaluation of efficiency of algorithms of reliable photoelectric transformations, *Bulletin of Chernihiv State Technological University. Series: Technical Sciences*, № 2(57), pp. 206-215.
5. Ramya, P., Ananth, R. (2016), The Implementation of Solar Tracker Using Arduino

With Servomotor, *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, no. № 3. pp. 969-972

6. Belinskyi, Y. O., Zlotenko, B. M. (2015), Development of the intellectual servo control system, *Technology and design. Mechatronic systems and computer technologies*, no. 2 (15), pp. 1–7.

7. Klyuyko, Y. I., Zlotenko, B. M. (2015), Development of the intelligent lighting control system «smart house», *Technology and design. Mechatronic systems*, no. 2(15), pp.36-42.

8. Thin Thin Htwe, Dr. Kyaw Kyaw Hlaing (2019). Arduino based tracking system using GPS and GSM, *International Journal of Advance Research, Ideas and Innovations in Technology*, № 4(8), pp. 11-15.

9. Thin Thin Htwe, Dr. Kyaw Kyaw Hlaing (2019), Automatic Solar Tracking Using LDR and Stepper Motor Based on Arduino, *International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR)*, Volume 8, Issue 8, pp. 363-367.

10. Lezhniuk, P. D., Komar, V. O., Kravchuk, S. V., Didichenko, Y. S. (2017), Meteoroparametr Analysis for Prognosis of Electricity Development of Photo-Voltage Electrical Power Plant Day Ahead, *Energy and computer-integrated technologies in agribusiness*, № 1 (6), pp. 27–31.

11. NREL's PVWatts Calculator, available at: <https://pvwatts.nrel.gov/pvwatts.php>

12. 'PVsyst: Software for the Study and Simulation

of Photovoltaic Systems', PVsyst SA Geneva, Switzerland, available at: [www.pvsyst.com](http://www.pvsyst.com)

13. Mykhailiv, M., Kushnir, I., Mykhailiv, I. (2018), Device for automatic orientation of solar panels, available at: <http://elar.nung.edu.ua/handle/123456789/6894>

14. Khomutov, S. O., Polishchuk, V. J., Stashko, V. I. (2019), Study of the Basic Operation Modes and Structural Components of Photovoltaic System to Construct a Micropower Solar Power Plant, *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, V. 330, pp. 153–164.

15. Hlad, I. V., Batsala, Y. V. (2017), Experimental tests asymmetric mode in the single-phase network of low power generation solar power, *Oil and gas energy*, № 1, pp. 123–131.

16. Yandulskyy, O., Trunina, H., Nastenka, D., Lysak, K. (2019), Control of Photovoltaic and Wind Power Plant with Electricity Storage Operation in Distribution Electrical Network, *Visnyk Kremenchutskoho natsionalnoho universytetu imeni Mykhaila Ostrohradskoho* [Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University], № 6, pp. 146–151.

17. Assessment of the state and implementation of concepts for the development of "intelligent" power grids in world practice, available at: <https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/01/3.-Smart-Grid.pdf>

Стаття надійшла 22.05.2020.