

УДК 53.05

І. Ш. НЕВЛЮДОВ, В. О. ПИСЬМЕНЕЦЬКИЙ, О. В. ГРИГОР'ЄВА, О. С. СІКАЛО, Д. О. СУК**ТРЕКЕРНА СИСТЕМА СТЕЖЕННЯ ЗА СОНЦЕМ**

В процесі роботи було виконано обґрунтування апаратної частини керування сонячною електростанцією з використанням активної трекерної системи. Розроблено макет плати керування на основі контролера Arduino Unoі, створена демонстраційна програма у середовищі Arduino IDE. Встановлено, що найбільш гнучкими і ефективними системами управління трекерними установками є активні та гібридні системи, з причини відсутності недоліків, властивих іншим системам управління. Єдиним недоліком гібридної системи можна вважати підвищену енергоємність системи управління.

Ключові слова: трекерная система, фотодатчик, електродвигун, мікроконтролер, сервопривід, фоторезистор.

І. Ш. НЕВЛЮДОВ, В. А. ПИСЬМЕНЕЦЬКИЙ, О. В. ГРИГОРЬЕВА, А. С. СІКАЛО, Д. А. СУК**ТРЕКЕРНАЯ СИСТЕМА СЛЕЖЕНИЯ ЗА СОЛНЦЕМ**

В процессе работы было выполнено обоснование аппаратной части управления солнечной электростанцией с использованием активной трекерной системы. Разработан макет платы управления на основе контроллера Arduino Unoі, создана демонстрационная программа в среде Arduino IDE. Установлено, что наиболее гибкими и эффективными системами управления трекерными установками являются активные и гибридные системы, по причине отсутствия недостатков, присущих другим системам управления. Единственным недостатком гибридной системы можно считать повышенную энергоёмкость системы управления.

Ключевые слова: трекерная система, фотодатчик, электродвигатель, микроконтроллер, сервопривод, фоторезистор.

I. NEVLYUDOV, V. PISMENETSKY, O. GRIGORIEVA, O. SIKALO, D. SUK**TRACKING SYSTEM FOR TRACKING THE SUN**

In the course of the work, the justification of the hardware of the control of the solar power plant was performed using an active tracker system. Layout of control board based on Arduino Uno controller and demo program created in Arduino IDE. Calculations show that the tracking system produces 57% more energy than static. The sun's rays reaching the earth's surface pass through a thick layer of the atmosphere. Taking into account the influence of the atmosphere, the insolation on the Earth's surface will be less. Trackers do not have to point directly in the sun to be effective. Comparisons between different solar tracking systems showed that the increase in annual energy production using a biaxial tracker and a uniaxial vertical tracking tracker was 30% and 18%, respectively. The most flexible and efficient control systems for tracker systems are active and hybrid systems, due to the lack of disadvantages inherent in other control systems. The only disadvantage of the hybrid system can be considered the increased energy consumption of the control system.

Keywords: tracker system, photo sensor, electric motor, microcontroller, servomotor, photoresistor.

Вступ. Україна є енергодефіцитною країною та імпортує близько 75% енергоносіїв. Також українська промисловість є досить енергоємною, оскільки в 3 – 5 рази перевищує відповідні показники економічно розвинутих країн, тому Україна є надзвичайно чутлива до умов імпортування природних енергоносіїв.

Використання відновлювальних джерел енергії є одним із найбільш важливих напрямів енергетичної політики України. Збільшення частки використання відновлювальних джерел енергії в енергетичній системі України сприятиме підвищенню диверсифікації джерел енергоносіїв, що, в свою чергу, сприятиме зміцненню енергетичної незалежності країни.

На сьогодні залишається актуальним питання виробництва електроенергії за допомогою відновлювальних джерел енергії, одним з найперспективнішим напрямком якого є ефективне використання сонячної інсоляції.

Географічне розташування України дає потенціал сонячного випромінювання, що може досягати до 1400 кВт · год / м², однак, слід зазначити, що найефективніше використання сонячних систем є можливим протягом 5–7 місяців, в залежності від місяця розташування самої СЕС.

Таким чином, дослідження в галузі систем керування та оптимізації сонячних електростанцій є актуальними.

Досягнення мети здійснюється розв'язанням комплексу задач:

- проведенням аналізу сучасного стану проблеми сонячної енергетики України;
- розрахунків ефективності активних стежачих систем;
- проведенням експериментів щодо реальних оцінок ефективності методу керування та визначення його оптимального алгоритму;
- проведенням експериментальних досліджень створеної системи.

Падаюче випромінювання на поверхню Землі. Земля обертається навколо Сонця по еліптичній орбіті з Сонцем в якості одного з фокусів. Площина цієї орбіти називається екліптикою. Час, необхідний Землі для завершення цієї орбіти, визначається в рік. Відносне положення Сонця і Землі зручно представити за допомогою небесної сфери навколо Землі.

Екваторіальна площина перетинає небесну сферу у небесному екваторі і полярну вісь в небесних полюсах. Рух Землі навколо Сонця потім зображується видимим рухом Сонця в еліптичній площині, що нахилена в 23.45° навколо небесного екватора. Кут між лінією, що з'єднує центри Сонця і Землі, і її проекцією на екваторіальну площину називається кутом схилення Сонця (δ).

Цей кут дорівнює нулю весною (20/21 березня) та восени (22/23 вересня).

Земля сама обертається зі швидкістю один оборот в день навколо полярної осі. Щоденне

обертання Землі зображується обертанням небесної сфери навколо полярної осі, а миттєве положення сонця описується годинним кутом ν , (кут між меридіаном, що проходить через сонце, і меридіаном площадки). Часовий кут дорівнює нулю в полудень і збільшується на схід. Для спостерігачів на земній поверхні на місце розташування з географічною широтою w , зручна координата визначається вертикальною лінією на ділянці, що перетинає небесну сферу у двох точках - зеніті і надирі і становить кут w з полярною віссю (рисунок 1). Велике коло, перпендикулярне вертикальній осі є горизонтом.

Широта (w) точки або місце знаходження – це кут, створюваний радіальною лінією, що з'єднує місце розташування з центром Землі з проекцією лінії на екваторіальну площину. Вісь обертання Землі перетинає земну поверхню на широті 90° (Північний полюс) і на широті -90° (Південний полюс).

Будь-яке місце розташування на поверхні Землі може бути визначено перетином кута довготи і кута широти.

Кут висоти Сонця (α) визначається, як вертикальний кут між проекцією сонячних променів на горизонтальну площину і напрямком сонячних променів, що проходять через точку, як показано на рисунку 1. В якості альтернативи, висота Сонця може бути описана в термінах сонячний зенітний кут (θ_z), який є вертикальним кутом між сонячними променями і лінією, що перпендикулярна горизонтальній площині через точку ($\theta_z = 90 - \alpha$). Сонячний азимутальний кут (γ_s) – це горизонтальний кут, що від півдня (в північній півкулі) до горизонтальної проекції сонячних променів.

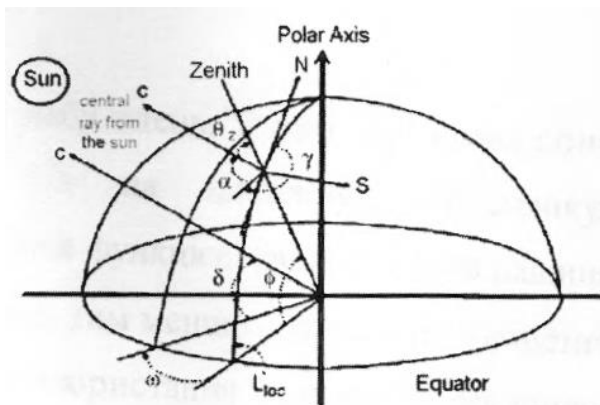


Рис.1 – Схематичне зображення сонячних кутів

Сонце рухається по небу вдень. У разі нерухомих сонячних колекторів, проекція площі колектора на площину, перпендикулярна напрямку випромінювання, визначається функцією косинуса кута падіння (рисунок 2).

Чим вище кут падіння θ , тим менше потужність (рисунок 3). Теоретичний розрахунок витягнутої енергії, в разі використання стежачою площиною, здійснюється виходячи з припущення, що

максимальна інтенсивність випромінювання $I = 1000 \text{ Вт} \cdot \text{м}^2$ падає на область, орієнтовану перпендикулярно напрямку випромінювання. Якщо взяти тривалість дня $t = 12 \text{ год} = 43200 \text{ с}$, то інтенсивність стеження площини, яка завжди оптимально орієнтована щодо сонця, порівнюється з інтенсивністю фіксованого колектора, який орієнтований перпендикулярно напрямку випромінювання тільки в полудень. Область колектора позначена як S_0 .

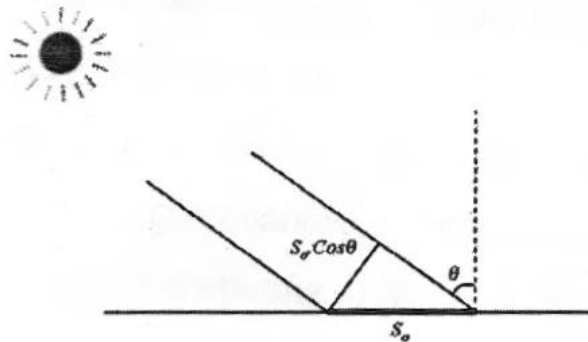


Рис. 2 – Кут падіння сонячного випромінювання

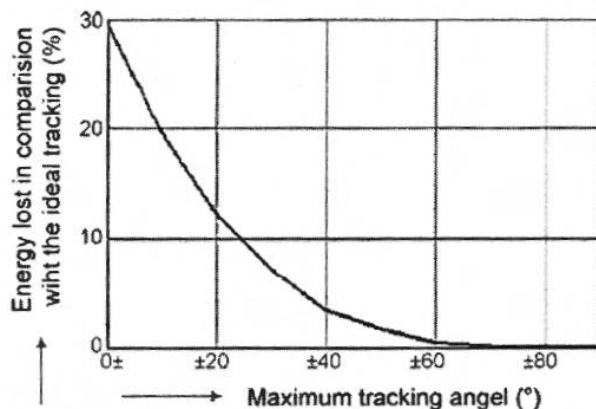


Рис. 3 – Енергія втрачається в залежності від максимального кута відстеження в порівнянні з ідеальним

Для фіксованої площини площа проекції в області орієнтованої перпендикулярно напрямку випромінювання, дорівнює

$$S = S_0 \cdot \cos \theta,$$

де θ змінюється в інтервалі $(-\pi/2; +\pi/2)$ протягом дня.

Збільшення енергії в системах стеження.

Стеження за сонцем може бути реалізоване з використанням одноосової, для більш високої точності, і двохосової системами стеження. Для двохосової системи потрібні дві координати позиціонування: полярне (екваторіальне) стеження і азимутальне (вертикальне). Сонячний трекер підтримує фотоелектричні панелі в оптимальному положенні – перпендикулярно сонячним променям в денний час і, таким чином, збільшує кількість зібраної енергії. Перший трекер, представлений К. Финстером в 1962 році, був повністю механічним. Через рік Сааведра представила механізм з автоматичним електронним управлінням, який використовувався для орієнтації піргеліометра Eppley [12].

Розробка оптимального методу управління та системи керування сонячної електростанції. Обґрунтування вибору апаратної частини. Активні трекерні системи, у відмінності від пасивних, вимагають живлення електричною енергією для пересування опорного майданчика. Тому саме така система потребує оптимального методу управління.

Для більш точного уявлення створений експериментальний макет системи, що працює по принципу управління за допомогою фотоелектричних датчиків і гібридної системи. Макет є зменшеним варіантом існуючої системи управління сонячної електростанції; до якої буде застосований оптимальний метод управління та розрахунок усіх вихідних показників та витрат енергії на пересування опорного майданчика порівняно із стаціонарною сонячною електростанцією.

Розглянемо принцип роботи системи з управлінням за допомогою фотоелектричних датчиків. Робота такої системи базується на принцип порівняння показників фотоелектричних датчиків за допомогою мікроконтролера, який у свою чергу формує сигнал, що відправляється до виконавчих пристроїв. Виконавчими пристроями в трекерній системі є електродвигуни, пов'язані з редукторами. Принцип роботи системи стеження, оснований на порівнянні показників фотоелектричних датчиків, зображено на рисунку 4.

Для правильної роботи стежачої системи, принцип роботи якої побудований на порівнянні показників фотоелектричних датчиків, необхідно забезпечити дві основні умови: правильна установка фотодатчиків і коректний програмний код для мікроконтролера.



Рис.4 – Принцип роботи системи стеження, що базується на порівнянні показників фотоелектричних датчиків

Для різних типів мікроконтролерів потрібний код на різних мовах програмування, наприклад, C, C++, C#, Basic, Assembler. Незалежно від мови програмування, до коду програми пред'являється

наступна вимога: алгоритм програми повинен забезпечувати високу точність прочитування даних і позиціонування, при цьому він повинен відсікати коливання, викликані похибкою виміру або перешкодами в сигнал~ що приймається.

Завдання програми мікроконтролера полягає в тому, щоб подавати керуючі сигнали, на виконавчі пристрої при дотриманні одних умов (різниця показників фотоелектричних датчиків) і відключити сигнал, що управляє, у момент дотримання іншої умови (різниця показників відсутня). Правильна установка фотодатчиків повинна забезпечити необхідну різницю показників однієї або двох пар фотоелектричних сенсорів. Існує три основні способи установки фотоелектричних датчиків.

Перший спосіб установки припускає розташування двох датчиків на одній площині паралельній стежачій площині. Строго по середині між двома датчиками розташовується затінюючий пристрій. Цей затінюючий пристрій обмежує рівень освітленості одного з датчиків, за умови, що увесь пристрій повернено відносно сонячних променів на деякий градус. При цьому, різниця рівня освітленості фотодатчиків буде прямо пропорційна куту між площиною і сонячними променями. У разі, коли стежача площадка повернена до Сонця під кутом в 90° , рівень освітленості фотоелектричних датчиків по обидві сторони від затінюючого пристрою буде однаковий. Ця умова відповідає моменту відключення сигналу, що управляє, з виконавчих пристроїв.

Другий спосіб установки припускає розташування фотоелектричних датчиків на двох гранях трикутної призми, або на чотирьох гранях піраміди з квадратом в основі. У разі такого розташування різниця рівня освітленості забезпечується самим розташуванням датчиків.

Третій спосіб установки забезпечує найбільшу точність показників датчиків. Проте, вимагає високоточних датчиків і наявності коліаторної трубки. Коліаторна трубка - цей пристрій, який має в центрі вузький проріз, який обмежує попадання на датчики відбитих і заломлених сонячних променів і пропускає тільки прямі сонячні промені.

Такий спосіб визначення положення Сонця застосовується досить не часто, оскільки пристрій з таким принципом має значно більш високу вартість відносно аналогів.

Перевагою систем, що використовують для орієнтації на Сонце принцип порівняння показників фотоелектричних датчиків, є відносна простота алгоритму роботи.

Загальний недолік таких систем проявляється в хмарні дні. У разі, коли хмара затінює трекерну систему з фотоелектричними датчиками, останні фіксують близькі значення освітленості з обох боків затінюючого пристрою, або граней піраміди. Це пов'язано з тим, що водяна пара в хмарі відносно рівномірно розсіює сонячне світло, забезпечуючи майже однакову освітленість усіх фотодатчиків з уявним джерелом світла, що знаходиться перпендикулярно до поверхні Землі. У наслідку цього

мікроконтролер подає такі управляючі сигнали, що стежача платформа орієнтується паралельно поверхні Землі. Після закінчення часу затінення хмарою, система починає здійснювати рух в пошуку нового положення Сонця. Подібна поведінка системи призводить до підвищених витрат енергії на поворот конструкції під час хмарності і після закінчення цього часу – під час пошуку нового положення. При цьому підвищення вироблення сонячними панелями електроенергії не спостерігається.

Активні трекерні системи мають недолік перед пасивними в тому, що для їх роботи потрібне постійне електроживлення. Проте, активні стежачі пристрої мають ряд переваг:

- висока точність позиціонування;
- велика рухома здатність системи;
- гнучкість в управлінні.

Склад компонентів макету та їх підключення.

Проаналізувавши існуючі методи управління і визначившись з необхідним для оптимізації методом, оберемо та обгрунтуємо підбір необхідних компонентів для макету.

Для початку необхідно обрати плату управління, а саме той необхідний для реалізації нашого методу стеження мікроконтролер, алгоритм програми якого повинен забезпечувати високу точність зчитування даних і позиціонування, при цьому він повинен відсікати коливання, викликані похибкою виміру або перешкодами в сигналі, що приймається.

На вибір було 4 варіанта плати керування, а саме Arduino Nano, Arduino Mega, Arduino Uno та Ардуно Due.

Для реалізації нашого методу було обрано Arduino Uno. Плату керування Arduino UNO наведено на рисунку 5.

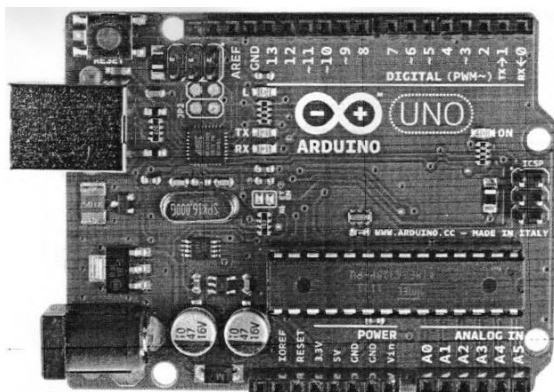


Рис. 5 – Плата управління Arduino UNO

Після того, як визначилися з мікроконтролером, треба підібрати інші компоненти системи для реалізації сонячного трекера.

Для обертання платформи в горизонтальній і вертикальній площинах використовуються сервоприводи, кут повороту яких залежить від потужності світла, що падає на фоторезистори.

Легкий, якісний міні серво SG90 з пусковим моментом 2 кг/см (рисунк 6).

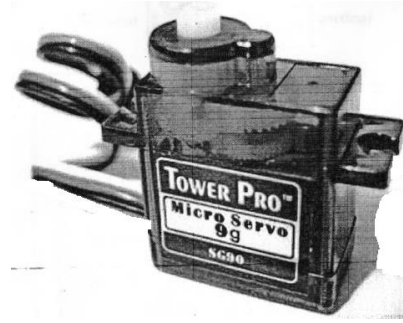


Рис. 6 – Сервопривід SG90 з пусковим моментом 2 кг/см

Оскільки сервоприводи можуть обертатися тільки на 180 градусів, потрібно два таких для макету. Для відстеження сонячних променів використаємо чотири фоторезистора LDS 20-30K.

Пристрій було виконано на макетній платі, розміром 5 см на 5 см, а з'єднання усіх елементів виконано дротами МГТФ.

Обравши усі необхідні компоненти необхідно виконати схему підключення. Це є важливою частиною, якою не можна нехтувати. Принципова схема підключення елементів наведена на рисунку 7.

Отже, розробивши схеми підключення компонентів системи керування, необхідно підключити до них живлення (рисунк 8). Для цього необхідний понижуючий модуль Amigo AMS-47-0501000FV DC-DC постійного струму.

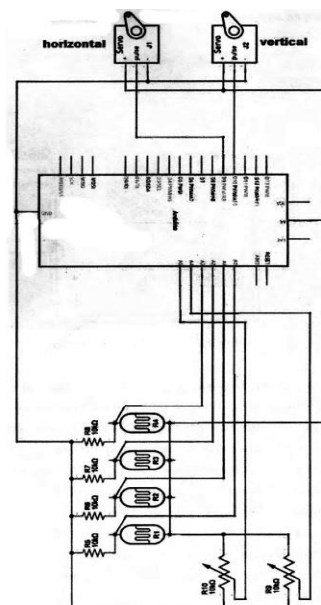


Рис.7 – Принципова схема підключення елементів

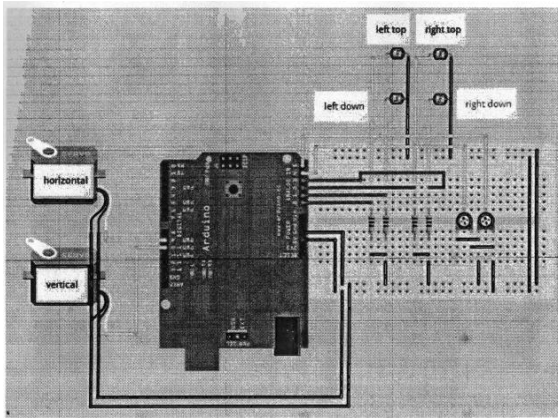


Рис. 8 – Макетна схема підключення компонентів

Після того, як було розроблено схему підключення усіх елементів макету, необхідно виконати з'єднання усіх компонентів та закріпити їх на корпусі. Узятю за основу саморобну щоглу та корпус з ніжками. На мачту прикріплено 4 фоторезистора, що виконують найважливішу роль цього макета (рисунок 9). Вони з'єднані з сервоприводами, які надійно зафіксовані болтами, для міцності макета. Сервоприводи виконують обертання щогли, в залежності від показань датчиків.

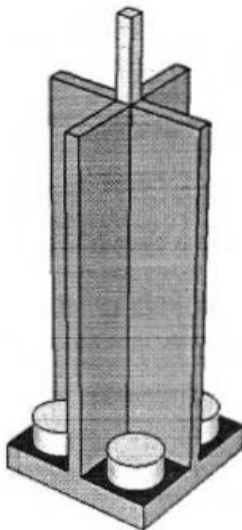


Рис. 9 – Спроектвана модель щогли з фоторезисторами

Розробка алгоритму та програми трекера.

Після того, як схема була повністю зібрана, можна приступити до розробки демонстраційної програми. Розробка ведеться у середовищі Arduino IDE, яка створена спеціально для розробки програм для платформи Arduino.

Робота розпочинається з налаштування сонячної панелі, її положення відносно сонця.

```
#include <Servo.h> // include Servo library
Servo horizontal; // horizontal servo
int servoh = 90; // stand horizontal servo
Servo vertical // vertical servo
int servov = 90; // stand vertical servo
```

Далі необхідно налаштувати 4 фоторезистора для подальшого використання.

```
// LDR pin connections
// name = analogpin;
int ldr1 = 0; //LDR top left
int ldr2 = 1; //LDR top right
int ldr3 = 2; //LDR down left
int ldr4 = 3; //LDR down right
```

Тепер, коли фоторезистори налаштовані, необхідно задати алгоритм для найефективнішого знаходження сонячних променів.

Знаходимо середнє значення по лівій стороні (верхній лівий + нижній лівий) та ділимо навпіл ці значення, аналогічно по правій (верхній та нижній сторонам). Якщо різниця по модулю між лівою і правою стороною більше максимального, то здійснюємо поворот в сторону з великим середнім значенням.

Аналогічно для верхньої та нижньої частини.

```
int avt = (lt + rt) / 2; // average value top
int avd = (ld + rd) / 2; // average value down
int avl = (lt + ld) / 2; // average value left
int avr = (rt + rd) / 2; // average value right
int dvert = avt - avd; // check the difference of top
and down
int dhoriz = avl - avr; // check the difference of left
and right
if (-1*tol > dvert || dvert > tol) // check if the
difference is in the tolerance else change vertical angle
{
  If (avt > avd)
  {
    Servov = ++servov;
    If (servov > 180)
    {
      Servov = 180; }
    Else if (avt < avd)
    {
      Servov = --servov;
      If (servov < 0)
      {
        Servov = 0; }
      Vertical.write (servov); }
    If (-1*tol > dhoriz || dhoriz > tol) // check if the
difference is in the tolerance else change horizontal angle
    {
      If (avl > avr)
      {
        Servoh = --servoh;
        If (servoh < 0);
        {
          Servoh = 0; }
        Else if (avl < avr)
        {
          Servoh = ++servoh;
          If (servoh > 180)
          {
            Servoh = 180; }
          }
```

```

Else if (avl == avr)
{
// nothing
}
Horizontal.write (servoh); }
Delay (dtime); }

```

Висновки. Наведені вище розрахунки показують, що система стеження виробляє на 57% більше енергії ніж статична. Ця кількість енергії може бути отримана, наприклад, на поверхні Місяця. Сонячні промені, що досягають земної поверхні проходять через товстий шар атмосфери. При урахуванні впливу атмосфери, інсоляція на поверхні Землі виявиться менше.

Трекери не повинні вказувати прямо на сонце, щоб бути ефективними.

Якщо сонячна панель відхилена на 10°, отримана потужність залишається на рівні 98,5% від максимальної можливої. У дуже хмарних місцях збільшення в річному об'ємі від трекерів може бути нижче 20%. У загальному випадку, річний приріст складає від 30 до 40%.

Порівняння між різними системами стеження за сонцем [13, 14, 15] показали, що збільшення річного вироблення енергії за допомогою двохосового трекера і одноосового трекера вертикального стеження складало 30% і 18% відповідно. Споживана потужність, обумовлена мікропроцесорами, електроустаткуванням, датчиками, електричними перемикачами і приводами складала 50 Вт·год / добу і 22 Вт·год / добу, при помилці відстежування, що складає $\pm 0,56^\circ$ і $\pm 10^\circ$ відповідно.

Найбільш гнучкими і ефективними системами управління трекерними установками є активні та гібридні системи, з причини відсутності недоліків, властивих іншим системам управління. Єдиним недоліком гібридної системи можна вважати підвищену енергоємність системи управління.

Список літератури

- Гнедой Н. В. Энергетическая ситуация в Украине / Н. В. Гнедой. // Промышленная энергетика. – 1998. – №5. – С. 10–14, 23.
- Карп И. Н. Эффективность и перспективы использования природного газа в энергетике Украины. / И. Н. Карп, А. В. Степанов. // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 1999. – №1. – С. 3–9.
- Тонкаль В. Е. Анализ состояния и перспективы развития электроэнергетики Украины / В. Е. Тонкаль, М. Н. Кулик // Анализ Проблемы энергосбережения. – 1995. – №1. – С. 23–32.
- Про національний план дій з відновлювальної енергетики на період до 2020 року [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/902-2014-%D1%80> (дата звернення 29.10.2019). – Загл. з екрану.
- Звіт з оцінки відповідності (достатності) генеруючих потужностей [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://ua.energy/wpcontent/uploads/2017/10/Zvit-z-otsinky-vidpovidnosti-dostatnosti-generuyuchyh-potuzhnostej.pdf> (дата звернення 29.10.2019). – Загл. з екрану.
- California Institute of Technology. Basic research needs for solar energy utilization. Report of the basic energy sciences workshop on solar energy utilization; April 18 – 21, 2005.
- Markvart T. Solar electricity, 2nd ed., New York: John Wiley and Sons Inc.; 1996.
- Khlaichom P., Sonthipermpoon K.. Optimization of solar tracking system based on genetic algorithms; 2006.
- Walraven R. Calculating the position of the sun. Solar Energy 1977; 20:393
- Roth P., Georgiev A., Boudinov H. Cheap two-axis sun following device. Energy Conversion and Management 2005;46: 1179-92.
- Should you install a solar tracker? [Електронний ресурс] // Tracstar – Режим доступу: <http://www.helmholz.us/smallpowersystems/> (Дата звернення 29.10.2019).: Загл. з екрану.
- Tomson T.. Discrete two-positional tracking of solar collectors. Renewable Energy 2008;33:400-5.
- Mamlook R., Nijmeh S., Abdallah S.M. A programmable logic controller to control two axis sun tracking system. Information Technology Journal 2006;5(6): 1083-7.
- JKM250M-60 MONO CRYSTALLINE MODULE [Електронний ресурс] Jinko Solar I Your Best Supplier of Modules, Cells & Wafers – Режим доступу: https://www.jinkosolar.com/product_592.html (Дата звернення 29.10.2019). – Загл. з екрану.
- Солнечное излучение на наклонной поверхности [Електронний ресурс] PVCDDROM Christiana Honsberg и Stuart Bowden – Режим доступу: <http://pvcddrom.pveducation.org/ru/sunlight/modtilt.htm> (дата звернення 29.10.2019). – Загл. з екрану.
- NASA Prediction of Worldwide Energy Resource [Електронний ресурс] // NASA – POWER – Режим доступу: <https://power.larc.nasa.gov/cgi-bin/hirestimeser.cgi> (дата звернення 29.10.2019). – Загл. з екрану
- SUNNY BOY 9000TL-US I 10000TL-US I 1 I 1000TL-US [Електронний ресурс] // SMA Solar Technology AG – Inverter, Photovoltaics solutions – Режим доступу: <https://www.sma.de/en/products/solarinverters/sunnyboy-9000tl-us-10000tl-us-1000tl-us.html> (Дата звернення 29.10.2019). – Загл. з екрану.
- Software [Електронний ресурс] // PVsyst. Photovoltaic software – Режим доступу: <http://www.pvsyst.com/en/software> (Дата звернення 29.10.2019). Загл. з екрану.
- Приложение II. Высота солнца над горизонтом [Електронний ресурс] // Книга «Земные ландшафты» – Режим доступу: <https://landshafty.jimdo.com/приложение-ii-высота-солнца-над-горизонтом/> (дата звернення 29.10.2019). – Загл. з екрану.
- Восход и закат солнца в Харькове / Продолжительность светового дня / Данные за весь год [Електронний ресурс] Погода для туристов. Прогнозы, статистика, анализ – Режим доступу: <https://pogoda.turtella.ru/Ukraine/Kharkov/sun/> (дата звернення 29.10.2019). – Загл. з екрану.

References (transliterated)

- Gnedoy N.V. Energy situation in Ukraine / N.V. Gnedoy. // Industrial energy. - 1998. - No. 5. - P. 10–14, 23.
- Karp I. N. The effectiveness and prospects of using natural gas in the energy sector of Ukraine. / I.N. Karp, A.V. Stepanov. // Ecotechnologies and resource saving. - 1999. - No. 1. - P. 3–9.
- Tonkal V. Ye. Analysis of the state and prospects of development of electric energy of Ukraine / V. E. Tonkal, MN Kulik // Analysis of the problems of energy conservation. -1995. - No. 1. - P. 23–32.
- About the national plan of diverted energy for the period until 2020 [Electronic resource]. Access mode: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/902-2014-%D1%80> (the date of the beast October 29, 2019). – screen title.
- Sound of evaluation of the availability (adequacy) of generative needs [Electronic resource]. Access mode: <https://ua.energy/wpcontent/uploads/2017/10/Zvit-z-otsinky-vidpovidnosti-dostatnosti-generuyuchyh-potuzhnostej.pdf> (Corn-up date 10/29/2019). – screen title.
- California Institute of Technology. Basic research needs for solar energy utilization. Report of the basic energy sciences workshop on solar energy utilization; April 18 – 21, 2005.
- Markvart T. Solar electricity, 2nd ed., New York: John Wiley and Sons Inc.; 1996.
- Khlaichom P., Sonthipermpoon K.. Optimization of solar tracking system based on genetic algorithms; 2006.
- Walraven R. Calculating the position of the sun. Solar Energy 1977; 20:393

10. Roth P., Georgiev A., Boudinov H. Cheap two-axis sun following device. *Energy Conversion and Management* 2005;46: 1179-92.
11. Should you install a solar tracker [Electron resource] // Tracstar – Access mode: <http://www.helmholz.us/smallpowersystems/> (the date of the beast 29.10.2019). : screen title..
12. Tomson T.. Discrete two-positional tracking of solar collectors. *Renewable Energy* 2008;33:400-5.
13. Mamlook R., Nijmeh S., Abdallah S.M. A programmable logic controller to control two axis sun tracking system. *Information Technology Journal* 2006;5(6): 1083-7.
14. JKM250M-60 MONO CRYSTALLINE MODULE [Electron resource] Jinko Solar I Your Best Supplier of Modules, Cells & Wafers – Access mode: https://www.jinkosolar.com/product_592.html (the date of the beast 29.10.2019). - screen title.
15. Solar radiation on an inclined surface [Electron resource] PVCROM Christiana Honsberg and Stuart Bowden - Access mode: <http://pvcrom.pveducation.org/en/sunlight/modtilt.htm> (the date of the beast 29.10.2019). - screen title.
16. NASA Prediction of Worldwide Energy Resource [Electron resource] // NASA – POWER – Access mode: <https://power.larc.nasa.gov/cgi-bin/hirestimeser.cgi> (the date of the beast 29.10.2019). – screen title
17. SUNNY BOY 9000TL-US I 10000TL-US I 1 1000TL-US [Electron resource] // SMA Solar Technology AG – Inverter, Photovoltaics solutions Access mode: <https://www.sma.de/en/products/solarinverters/sunnyboy-9000tl-us-10000tl-us-11000tl-us.html> (the date of the beast 29.10.2019). – screen title.
18. Software [Electron resource] // PVsyst. Photovoltaic software – Electron resource: <http://www.pvsyst.com/en/software> (the date of the beast 29.10.2019). screen title.
19. Appendix II. The height of the sun above the horizon [Electronic resource] // Book “Terrestrial landscapes” - Access mode: <https://landschafty.jimdo.com/application-ii-height-of-the-sun-over-the-horizon/> (date of the brine October 29, 2019).– screen title.
20. Sunrise and sunset in Kharkov / Daylight hours / Data for the whole year [Electronic resource] Weather for tourists. Forecasts, statistics, analysis - Access mode: <https://pogoda.turtella.ru/Ukraine/Kharkov/sun/> (date of death of October 29, 2019). - screen title.

Надійшла (received) 06.11.19

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Невлюдов Ігор Шакирович (Невлюдов Игорь Шакирович, Nevlyudov Ihor) – доктор технічних наук, професор кафедри «Комп’ютерно-інтегровані технології автоматизації та мехатроніки», Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків, Україна, e-mail: igor.nevlyudov@nure.ua

Письменецький Віктор Олександрович (Письменецкий Виктор Александрович, Pismenetsky Viktor) – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Комп’ютерно-інтегровані технології автоматизації та мехатроніки», Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків, Україна, e-mail: viktor.pysmenetskyi@nure.ua

Григор’єва Ольга Володимирівна (Григорьева Ольга Владимировна, Grigorieva Olga) – старший викладач кафедри «Проектування та експлуатації електронних апаратів», Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків, Україна, e-mail: olha.hryhorieva@nure.ua

Сікало Олександр Сергійович (Сикало Александр Сергеевич, Sikalo Oleksandr) – студент, Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків, Україна, e-mail: oleksandr.sikalo@nure.ua

Сук Давид Олексійович (Сук Давид Алексеевич, Suk Davyd) – студент, Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків, Україна, e-mail: davyd.suk@nure.ua