

ВИМІРЮВАННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РЕЧОВИНИ

УДК 004.942

РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ ОЦІНКИ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ ОСВІТЛЕННЯ МІСЦЕВОСТІ ПРЯМИМ СОНЯЧНИМ ВИПРОМІНЕННЯМ

М. О. Слабінога, Н. Б. Клочко, О. О. Тутка*

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
вул. Карпатська, 15, м.Івано-Франківськ, 76019, slabinoha@i.ua*

Статтю присвячено проблемі позиціонування сонячних панелей з урахуванням реального часу освітлення місцевості прямим сонячним випроміненням. Проаналізовано існуючі інструменти для складання річного графіку положення сонця.

Розроблено систему оцінки реального часу освітлення прямим сонячним випроміненням. Описано процес формування діаграми сонячного випромінювання з накладанням панорамної зйомки перешийку та розроблено програмне забезпечення, що його реалізує.

Проведено метрологічний аналіз впливу неточності визначення географічних координат на систему оцінки реального часу освітлення місцевості прямим сонячним випроміненням. Складено бюджет невизначеності факторів, що впливають на точність визначення місцезнаходження.

Ключові слова: сонячний трекер, річний графік положення сонця, gps-навігатор, панорамна зйомка, координати сонця.

Статья посвящена проблеме позиционирования солнечных панелей с учетом реального времени освещения местности прямым солнечным излучением. Проанализированы существующие инструменты для составления годового графика положения солнца.

Разработана система оценки реального времени освещения прямым солнечным излучением. Описан процесс формирования диаграммы солнечного излучения с наложением панорамной съемки препятствий, и разработано программное обеспечение, что его реализует.

Проведен метрологический анализ влияния неточности определения географических координат на систему оценки реального времени освещения местности прямым солнечным излучением. Составлен бюджет неопределенности факторов, влияющих на точность определения местоположения.

Ключевые слова: солнечный трекер, годовой график положения солнца, gps-навигатор, панорамная съемка, координаты солнца.

Article is devoted to the problem of positioning solar panels with taking into account the real-time lighting of the area by direct solar radiation. The existing tools for drawing up the annual schedule of the position of the sun were analyzed.

The system of estimation of real time of illumination by direct solar radiation was developed. The process of forming a solar radiation diagram with an overlay of panoramic interference imaging is described, and the software that implements it was developed.

A metrological analysis of the influence of the inaccuracy of the determination of geographical coordinates on the system of estimation of real-time lighting of the area by direct solar radiation has been carried out. The budget of uncertainty of factors influencing the accuracy of location determination was made.

Keywords: solar tracker, annual sunchart schedule, gps navigator, panoramic shooting, coordinates of the sun.

Частка відновлюваної енергетики в світі має всі шанси сягнути позначки у 36% до 2030 року за рахунок технологій, наявних на сьогодні, а також враховуючи ініціативи з

підвищення енергоефективності та покращення доступу до енергоресурсів. Кількість енергії, виробленої сонячною системою залежить від кількості світла, яке вона отримує. У міру зміни

положення сонця протягом дня, сонячна система повинна бути відрегульована таким чином, що вона завжди була спрямована саме на сонце і, як результат, виробляла максимально можливу потужність.

Оцінка затінення є частиною аналізу сонячного потенціалу. Аналіз тривалості сонячного випромінювання дозволяє визначити, яке місце підходить для установки сонячних панелей, оскільки показує, як і коли перешкоди будуть затінити їх від прямого сонячного випромінювання.

Для вибору оптимального місця встановлення сонячних панелей, обладнаних системами слідування за сонцем, запропоновано використати систему оцінки реального часу освітлення місцевості прямим сонячним випромінюванням, яка дозволить максимально використати енергію сонця і обрати для установки найменш затінене місце.

Оцінка затінення є частиною аналізу сонячного потенціалу. Аналіз тривалості сонячного випромінювання дозволяє визначити, яке місце підходить для установки сонячних панелей, оскільки показує, як і коли перешкоди будуть затінити їх від прямого сонячного випромінювання.

За принципом дії вимірювач тривалості сонячного сьйва має розрізняти інтервали часу, коли на земну поверхню в певному місці потрапляє або не потрапляє пряма сонячна радіація. Сума перших інтервалів часу впродовж години, доби або за більші терміни і є параметром тривалості сонячного сьйва. До останніх років спостереження за тривалістю сонячного провідилися за допомогою геліографа Кемпбела – Стокса, що працює за принципом пропалювання сонцем паперової стрічки через випалювальну лінзу (скляну кулю). На паперову стрічку наносяться поділки, які мають відповідати часу проходження сфокусованого сонячного променя вздовж стрічки. Сумарна довжина пропалених треків на стрічці перераховується в тривалість сонячного сьйва відповідно до нанесених на стрічку рисок [1].

Будь-які дерева, будівлі або інші об'єкти, які можуть відкидати тінь відображаються в пластиковому куполі, ясно показуючи межі затінення на діаграмі, розташованій під ним. Діаграма зображує шлях сонця на небосхилі протягом року і часу доби з врахуванням конкретної географічної широти. За допомогою воскового олівця можна навести контури затінення, забезпечуючи запис кожного експерименту. Компас і бульбашковий рівень вбудовані в кожен інструмент, що дозволяє

легко підтримувати прилад в правильному положенні і напрямку. Гумові ніжки наконечників на штативі дозволяють використовувати його на похилих дахах і нерівних поверхнях [2].

Додаткове використання програмного забезпечення дозволяє комбінувати дані, отримані за допомогою Solar Pathfinder з опублікованими даними глобальної погоди, що допомагає оцінити сонячний потенціал не лише в день зняття показів, але й у будь-який інший день чи пору року.

За допомогою цих показань можна визначити найкраще місце для встановлення сонячних панелей – з оптимальною тривалістю сонячного сьйва і мінімальним затіненням.

Пристрій панорамної зйомки місцевості для оцінки перешкод для прямого сонячного випромінювання складається з камери та системи позиціонування.

Для автоматизованого позиціонування камери в заданому напрямку було використано розроблену систему позиціонування на базі мікропроцесорної плати Arduino. Схема розробленої системи показана на рисунку 1.

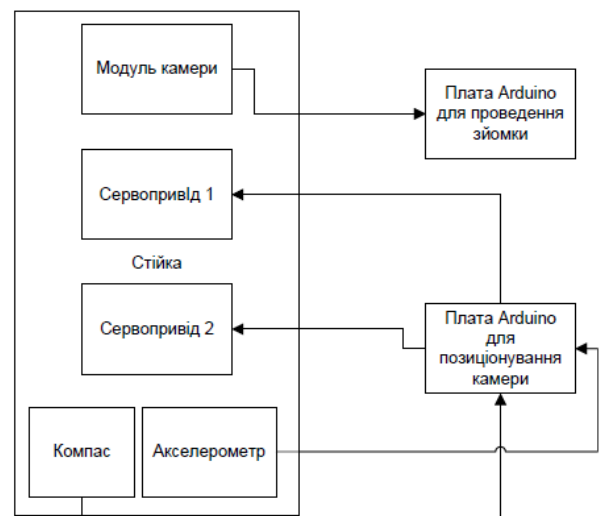


Рисунок 1 – Структурна схема системи позиціонування

Керування позицією камери здійснюється за рахунок кріплення її на спеціальній стійці в основі якої лежать два сервоприводи SG-90 що забезпечують позиціонування в діапазоні від 0 до 180 градусів за азимутом та кутом схилю відносно горизонту відповідно.

Алгоритм функціонування програмного забезпечення мікропроцесорної системи в

режимі позиціонування перед початком зйомки представлений на рис. 2.

Послідовність формування діаграми сонячного освітлення показана на рисунку 3.

Для отримання зображення на ПК було використано скетч та програмне забезпечення simpleFrameGrabber. Вказане програмне забезпечення для плати Arduino та ПК дозволяє отримувати знімки з даного модуля та зберігати їх для подальшого опрацювання.



Рисунок 2 – Алгоритм функціонування програмного забезпечення мікропроцесорної системи в режимі позиціонування

Для формування панорамного зображення було використано бібліотеку Multiple Image Stitching. Бібліотека реалізована мовою Python, що дозволяє проводити оперативне опрацювання зображень на будь-якій платформі та операційній системі.



Рисунок 3 – Послідовність формування діаграми сонячного освітлення

Для формування панорамного зображення було використано бібліотеку Multiple Image Stitching. Бібліотека реалізована мовою Python, що дозволяє проводити оперативне опрацювання зображень на будь-якій платформі та операційній системі.

Згенероване панорамне зображення подане на рис. 4.



Рисунок 4 – Згенероване панорамне зображення

Отримане зображення в подальшому проходить наступні етапи обробки:

- обрізання нижньої половини (що знаходиться нижче кута 0 градусів);
- зміна розмірів відповідно до розмірів полотна сонячної діаграми;
- накладання двох зображень зі збереженням графіків на передньому плані (від 0 до 360 градусів по азимуту та від 0 до 13 градусів по куту схилу відносно

горизонту (відповідно до вертикального кута зображення об'єктива).

- збереження результату.

Для виконання даних операцій було розроблено скрипт мовою програмування Python з використанням бібліотеки опрацювання зображень PIL, що дозволяє виконувати найпоширеніші операції з зображеннями популярних форматів (в даному випадку, PNG та JPG).

Вихідна сонячна діаграма показана на рис. 5.



Рисунок 5 – Вихідна сонячна діаграма

Результуюче остаточне зображення подане на рисунку 6.

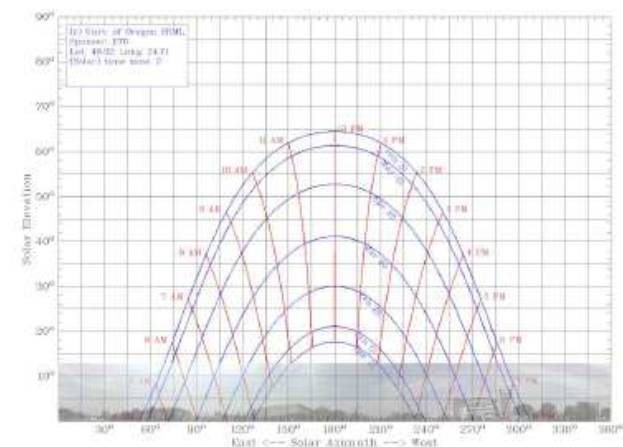


Рисунок 6 – Результуюче зображення

Отримане зображення дає можливість оцінити вплив природних та штучних перешкод на час попадання прямих сонячних променів на фіксовані та

рухомі сонячні панелі, в залежності від пори року.

Оскільки сонячна діаграма генерується для конкретних географічних координат, слід оцінити точність геолокації з допомогою стандартних приймачів GPS-сигналу.

Точність визначення місцезнаходження об'єкта залежить від ступеня похибки, що виникає при вимірюванні відстаней від терміналу до супутників. Від ступеня впливу цілого ряду факторів залежить, наскільки точно буде визначено місце розташування GPS-приймача, буде ця похибка становитиме один метр або десяток, а то й сотню метрів.

До факторів, що безпосередньо впливають на ступінь похибки, можна віднести наступні [3]:

- якість геометрії супутників;
- гравітаційні впливи;
- впливи іоносфери;
- впливи тропосфери;
- відображення сигналів;
- відносність вимірювання часу;
- округлення і обчислювальні помилки.

На основі даних, отриманих GPS-приймачем, а також аналізу факторів впливу, було складено бюджет невизначеності геолокації, поданий в таблиці 1. В сумі всі причини, які впливають на точність визначення місцезнаходження об'єкта, складають невизначеність до 7 метрів по широті і до 10 метрів по довготі. До моменту відключення режиму селективного доступу SA похибка становила до 100 метрів. На зменшення невизначеності суттєво впливають відкориговані дані систем WAAS і EGNOS, що дозволяють скоротити вплив тропосфери, гравітаційний вплив, що призводить до помилок визначення орбіти супутника. Таким чином, невизначеність додатково може бути зменшена ще на 3-5 метрів.

Таблиця 1 – Таблиця бюджету невизначеності

| Вхідна величина | Оцінка вхідної величини | Стандартна невизначеність | Вид закону розподілу | Внесок невизначеності, м |
|---------------------------------|-------------------------|------------------------------|----------------------|--------------------------|
| Гравітаційний вплив | 2,5 м | U _{vг} | Трапецеїдний | 1,14 |
| Вплив іоносфери | 5 м | U _{ві} | Експоненціальний | 2,96 |
| Вплив тропосфери | 0,5 м | U _{вт} | Експоненціальний | 0,296 |
| Відзеркалення сигналу | 1 м | U _{вв} | рівномірний | 0,578 |
| Відносність вимірювання часу | 2 м | U _{вт} | Трапецеїдний | 0,91 |
| Округлення і помилки обчислення | 1 м | U _{во} | рівномірний | 0,578 |
| Широта | 48,90578436° | 0,000011° | - | 1,124 |
| Довгота | 24,69145491° | 0,000027° | - | 3,4 |
| Вимірювана величина | Результат вимірювання | Стандартна невизначеність, м | Коефіцієнт охоплення | Розширена невизначеність |
| Широта | 48,90578436° | 3,57 | 2 | 7,14 |
| Довгота | 24,69145491° | 4,8 | 2 | 9,6 |

Подальшим напрямком розвитку системи буде автоматизація її роботи та інтеграція з синоптичними сервісами для врахування погодних умов при оцінці реального часу освітлення поверхні сонячним випроміненням.

1. Duffie J. *Solar engineering of thermal processes* / J. Duffie, W. Beckman. — John Wiley & Sons, Inc, New York — 1980. 2. Erbs D.G. *Estimation of the diffuse radiation fraction for hourly, daily, and monthly-average global radiation* / D.G. Erbs, S.A. Klein, J.A.

Duffie, *Solar Energy*, 28, 293 — 1982. 3. *Причини погрешности в GPS-мониторинге* [Електронний ресурс] — Режим доступу: <http://gps-tracker.com.ua/prichiny-pogreshnostej-v-gps-monitoringe.html>.

Поступила в редакцію 15.09.2017 р.
 Рекомендували до друку: докт.техн.наук,
 проф. Середюк О. Є. докт. техн. наук, проф.
 Костишин В. С.