

УДК 681.3

DOI: 10.31471/1993-9981-2018-2(41)-113-119

РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ ПОТУЖНОСТІ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ ВІД КУТА ПАДІННЯ ПРОМЕНІВ

М. О. Слабінога, Н. Б. Клочко, А. Г. Винничук, С. П. Сана*

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, 76019, м. Івано-Франківськ,
вул. Карпатська, 15, mslabinoha@gmail.com, tel. +380342504521*

В роботі було проведено розроблення програмного забезпечення для дослідження зміни потужності сонячних панелей від кута падіння променів, що є актуальною задачею у вирішенні проблеми підвищення ефективності функціонування засобів генерації «зеленої» електроенергії, зокрема сонячних електростанцій. Для цього, було проаналізовано проблему дослідження ефективності застосування сонячних панелей у фіксованій позиції та на рухомому кріпленні. Сформовано мету та задачі дослідження. Вибрано засоби для реалізації програмного забезпечення та наведено їх переваги при вирішенні даної задачі. Проведено експериментальні дослідження залежності потужності продукovanого сонячною панеллю струму в залежності від позиції сонячної панелі, наведено алгоритм роботи програмного забезпечення. Проведено обробку отриманих результатів з метою отримання відфільтрованого графічного образу, представленого у вигляді матриці значень. Для цього здійснено порівняння методів фільтрації значень матриці від промахів та згладжування локальних максимумів. Також, приведено опрацьовані зображення до заданого розміру методами інтерполяції. Наведено кінцевий результат у вигляді рисунків поверхонь на основі матричних значень. Сформульовано подальші перспективи застосування отриманих даних для вирішення науково-практичних задач в галузі сонячної енергетики та наведено напрямки подальших досліджень. Результати роботи будуть використані в подальших дослідженнях з порівняння ефективності застосування сонячних панелей у фіксованій позиції та на рухомому кріпленні.

Ключові слова: сонячна енергетика, програмне забезпечення, сонячні трекеи, позиція сонячних панелей, фільтрація значень, цифрова обробка зображень, потужність, кут падіння променів.

В работе была проведена разработка программного обеспечения для исследования изменения мощности солнечных панелей от угла падения лучей, что является актуальной задачей в решении проблемы повышения эффективности функционирования средств генерации «зеленой» электроэнергии, в частности солнечных электростанций. Для этого, была проанализирована проблема исследования эффективности применения солнечных панелей в фиксированной позиции и на подвижном креплении, сформированы цель и задачи исследования. Выбрано средства для реализации программного обеспечения и приведены их преимущества при решении данной задачи. Проведены эксперименты по исследованию зависимости мощности производимого солнечной панелью тока в зависимости от позиции солнечной панели, приведен алгоритм работы программного обеспечения. Проведена обработка полученных результатов с целью получения отфильтрованного графического образа, представленного в виде матрицы значений. Для этого проведено сравнение методов фильтрации значений матрицы от промахов и сглаживания локальных максимумов. Также, методами интерполяции обработанные изображения были приведены до заданного размера. Приведен конечный результат в виде рисунков поверхностей на основании матричных значений. Сформулированы дальнейшие перспективы применения полученных данных для решения научно-практических задач в области солнечной энергетики и приведены направления дальнейших исследований. Результаты работы будут использованы в дальнейших исследованиях по сравнению эффективности применения солнечных панелей в фиксированной позиции и на подвижном креплении.

Ключевые слова: солнечная энергетика, программное обеспечение, солнечные трекеи, позиция солнечных панелей, фильтрация значений, цифровая обработка изображений.

In this work, software was developed to study the change in the power of solar panels from the angle of incidence of solar light, which is an urgent task in solving the problem of improving the efficiency of the means of generating "green" electricity, in particular solar power plants. For this, the problem of researching the effectiveness of using solar panels in a fixed position and on a mobile mount was analyzed, and the purpose and objectives of the

study were formed. The means for the implementation of the software have been selected and their advantages are given for solving this task. Experiments were conducted to study the dependence of the power produced by the solar panel current, depending on the position of the solar panel, the algorithm of the software is given. The obtained results were processed in order to obtain a filtered graphic image presented as a matrix of values. For this purpose, methods of filtering the values of the matrix from misses and smoothing local maxima are compared. Also, interpolation methods were used to process the processed images to a specified size. The final result is given in the form of surface patterns based on matrix values. Further prospects for applying the obtained data to solving scientific and practical problems in the field of solar energy are formulated and areas for further research are given. The results of the work will be used in further studies comparing the effectiveness of using solar panels in a fixed position and on a movable mount.

Keywords: solar energy, software, solar trackers, position of solar panels, value filtering, digital image processing.

Підвищення ефективності функціонування засобів генерації «зеленої» електроенергії, зокрема сонячних електростанцій, є важливою науково-прикладною задачею в контексті зменшення частки використання невідновлюваних джерел енергії та підвищення ступеня енергонезалежності країни.

Аналіз останніх досліджень в даній галузі показав, що проблема є актуальною. Особлива увага приділяється дослідженню ефективності застосування сонячних панелей, у фіксованій позиції та на рухомому кріпленні, що дозволяє повертати сонячні панелі за рухом сонця. Зокрема, в роботі [1] проведено порівняння ефективності роботи системи з фіксованою позицією панелей та трекером з однією віссю, а в роботі [2] при цьому враховано метеорологічні умови. Крім того, системи трекінгу проходять удосконалення тривіальних методів та алгоритмів функціонування [3]. Враховується також можливість керування позицією сонячної панелі по двох осях [4]. При цьому, відсутня база наборів даних залежності продукуюваної потужності сонячної панелі від азимуту та кута нахилу. Наявність такої бази дозволить проводити комп'ютерне моделювання з дослідження ефективності сонячних панелей в залежності від кута повороту та азимуту, ефективності алгоритмів трекінгу та пошуку позиції максимальної продуктивності починаючи з випадкової позиції панелі.

Метою роботи є розробка системи, що дозволяє зібрати дані про залежність продуктивності сонячної панелі від її позиції відносно сонця та метеорологічні умов та представити їх у зручному для опрацювання та моделювання вигляді.

Для досягнення поставленої мети, на базі лабораторного стенду [5] було проведено ряд

експериментальних досліджень залежності потужності продукуюваної сонячною панеллю струму від кута повороту та кута нахилу панелі.

З метою опрацювання отриманих результатів досліджень, було розроблене програмне забезпечення для мікропроцесорної плати Arduino, яке виконувало послідовне зчитування значення потужності продукуюваної струму. Послідовність алгоритму роботи програмного забезпечення подана на рис. 1. Зчитування даних відбувалося з мікропроцесора на ПК, через послідовний порт, що використовував USB-інтерфейс. Програмне забезпечення для зчитування було написане мовою програмування Python [6] з використанням бібліотеки pyserial [7].

Python має ефективні структури даних високого рівня та простий, але ефективний підхід до об'єктно-орієнтованого програмування. Елегантний синтаксис Python, динамічна обробка типів, а також те, що це інтерпретована мова, роблять її ідеальною для написання скриптів та швидкої розробки прикладних програм у багатьох галузях на більшості платформ.

Основними перевагами мови Python є:

- чистий синтаксис (для виділення блоків слід використовувати відступи);
- переносність програм (що властиве більшості інтерпретованих мов);
- стандартний дистрибутив має велику кількість корисних модулів (включно з модулем для розробки графічного інтерфейсу);
- можливість використання Python в діалоговому режимі (дуже корисне для експериментування та розв'язання простих задач);
- стандартний дистрибутив має просте, але разом із тим досить потужне середовище

розробки, яке зветься IDLE і яке написано на мові Python;

- зручний для розв'язання математичних проблем (має засоби роботи з комплексними числами, може оперувати з цілими числами

довільної величини, у діалоговому режимі може використовуватися як потужний калькулятор);

- відкритий код (можливість редагувати його іншими користувачами).

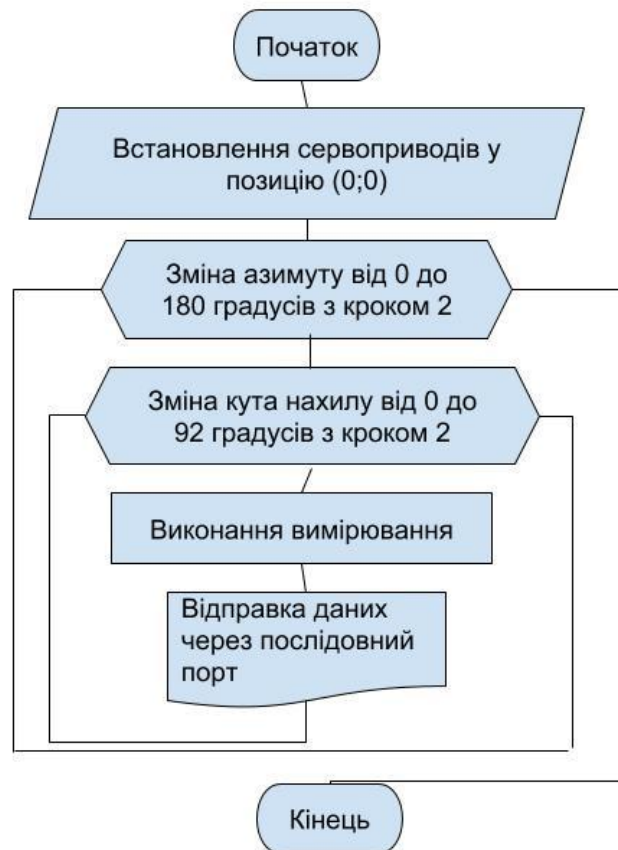


Рисунок 1 – Послідовність функціонування програмного забезпечення

Опрацювання результатів відбувалося в програмному середовищі GNU Octave[8]. Це система для виконання математичних розрахунків, що надає інтерпретовану мову, багато в чому сумісну з Matlab. GNU Octave може використовуватися для вирішення лінійних завдань, нелінійних та диференціальних рівнянь, обчислень з використанням комплексних чисел і матриць, візуалізації даних, проведення математичних експериментів. Вона є зручним командним інтерфейсом для розв'язування лінійних і нелінійних математичних завдань, а також проведення інших арифметичних експериментів, використовуючи мову, в більшості випадків, сумісну з Matlab. Крім того, Octave можна використовувати для пакетної обробки. Мова Octave оперує арифметикою

дійсних і комплексних скалярів і матриць, має розширення для розв'язування лінійних алгебраїчних рівнянь, знаходження коренів систем нелінійних алгебраїчних рівнянь, роботи з поліномами, розв'язування різних диференціальних рівнянь, інтегрування систем диференціальних і диференціально-алгебраїчних рівнянь першого порядку, інтегрування функцій на скінченних і нескінченних інтервалах.

В результаті кожного з експерименту було отримано значення продукуючої сонячної панеллю потужності, які сформовано в матрицю розмірністю 91x46 елементів, що залежать від кута повороту панелі від 0 до 180 з кроком 2, та кута нахилу сонячної панелі від 0 до 90 з кроком 2. Приклад отриманої матриці,

зображеної у вигляді поверхні, наведено на рис. 2.

Для подальшого дослідження, доцільно провести нормування значень, тобто розділити кожен елемент на максимальне значення в матриці. Таким чином, всі значення матриці будуть знаходитися в межах від 0 до 1.

Через нестабільність напруги живлення, промахи та інші фактори впливу на вимірювання, поверхня, що будується по матриці, має значну кількість стрибків та відхилень. Тому, доцільно провести згладжування поверхні одним із відомих

методів [9]. Розглянемо порівняння найбільш поширених методів для вирішення задачі згладжування. Бібліотека image пропонує наступні можливості згладжування образів функцією `imsmooth`[9]:

- 1) Ізотропний фільтр Гауса (рис. 3);
- 2) Ковзне середнє по квадратній вибірці (рис. 4);
- 3) Ковзне середнє по окружності (рис.5);
- 4) Медіанна фільтрація (рис. 6);
- 5) Білатеральна фільтрація (рис. 7);
- 6) Анізотропна дифузія (рис. 8).

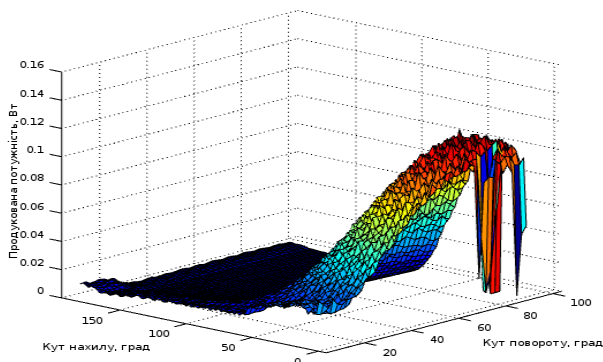


Рисунок 2 - Приклад матриці значень, отриманих з допомогою лабораторного стенду

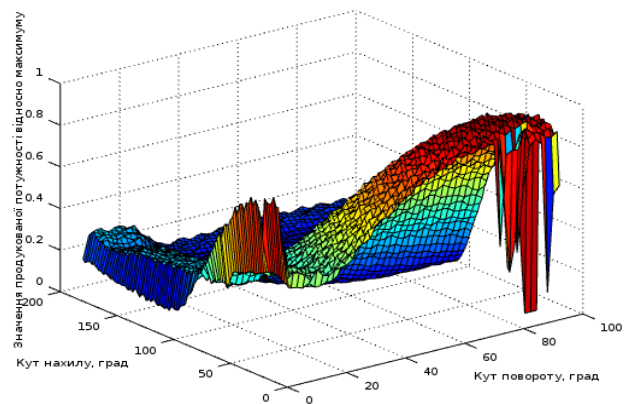


Рисунок 4 - Результат обробки образу ізотропним фільтром Гауса

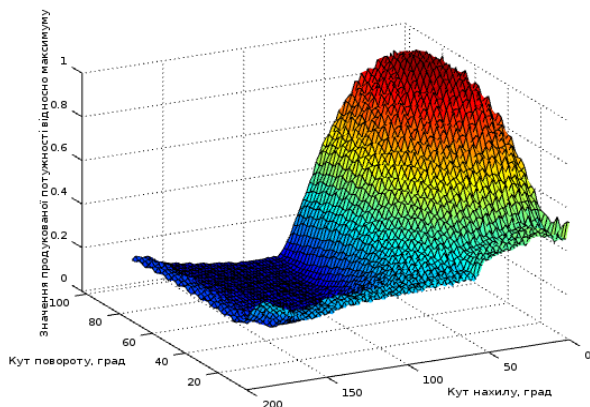


Рисунок 3 - Приклад матриці нормованих значень

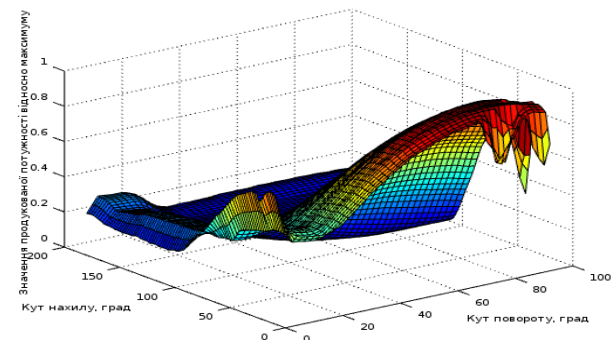


Рисунок 5 - Результат обробки образу ковзним середнім по квадратній вибірці

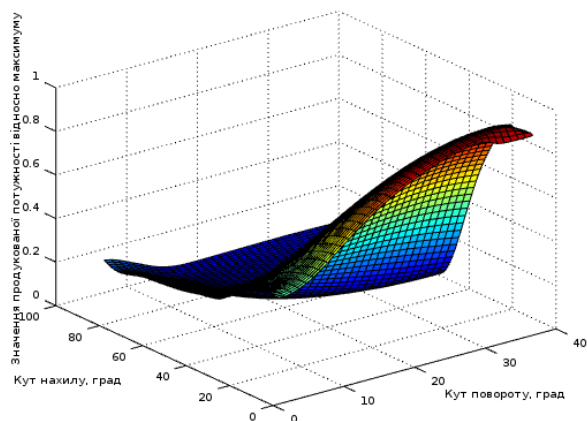


Рисунок 6 - Результат обробки ковзним середнім по окружності

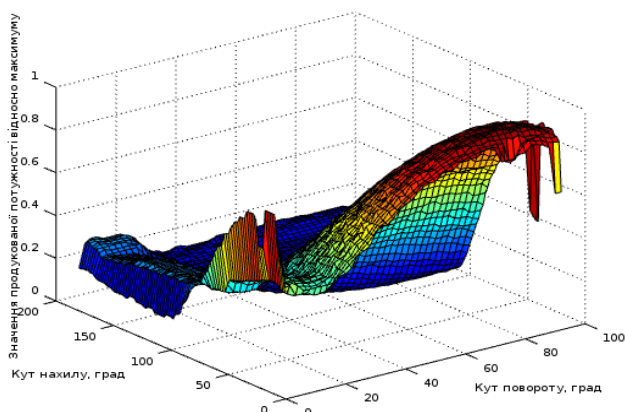


Рисунок 7 - Результат обробки образу медіанним фільтром

Як видно з графіків, найкраще для згладжування отриманих образів підходить метод ковзного середнього по окружності та метод анізотропної дифузії. При цьому, при застосуванні методу анізотропної дифузії, з'являються побічні зростання графіку на межах відображуваної області. Таким чином, для згладжування та фільтрування даних ми будемо застосовувати фільтрацію за ковзним середнім по окружності.

Крім цього, для подальшого опрацювання даних образів, необхідно привести їх до однієї розмірності, оскільки ковзне середнє по окружності зменшує кількість значень матриці по кожному з вимірів на $n-1$, де n - це число значень, які беруться при розрахунку ковзного середнього. Для цього було застосовано функцію `imresize[10]`, що за замовчуванням використовує для зміни розмірності матриці лінійну інтерполяцію.

В результаті опрацювання вихідних замірів було отримано 6 образів, що відображають

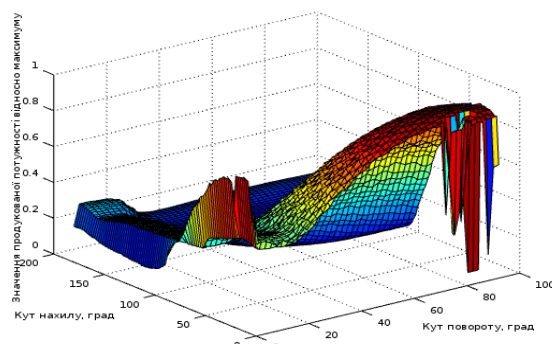


Рисунок 8 - Результат обробки образу білатеральним фільтром

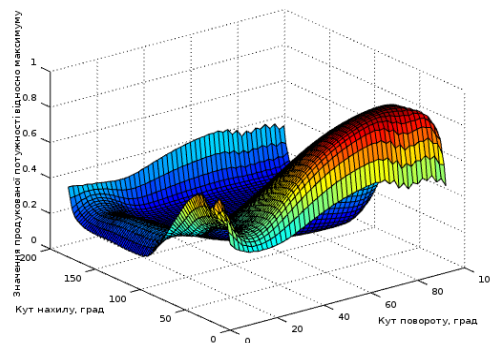


Рисунок 9 - Результат обробки образу анізотропною дифузєю

потужність продукуючої панеллю струму, в залежності від кута повороту сонячної панелі.

Слід зауважити, що замір по образу 1 (Рис.10) здійснювався в ясну безхмарну погоду та при низькій вологості. Заміри по образах 2, 3 та 4 (рисунки 11, 12 та 13 відповідно) здійснювалися в ясну погоду з поодинокими хмарами, що чітко прослідковується на графіках. Образи 5 та 6 (рис. 14 та 15) були отримані при ясній погоді, однак при високій вологості, за рахунок чого частка розсіяного світла була більша, а пік на графіку не є настільки вираженим, як у випадку з образом 1.

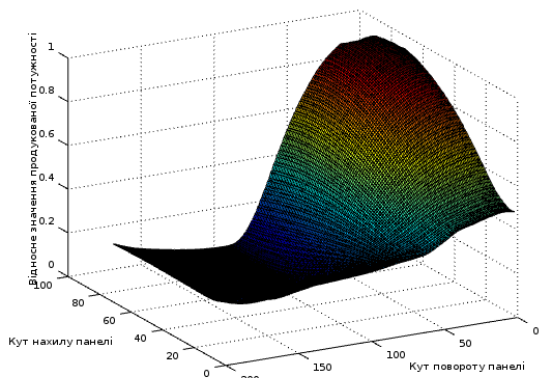


Рисунок 10 - Образ 1

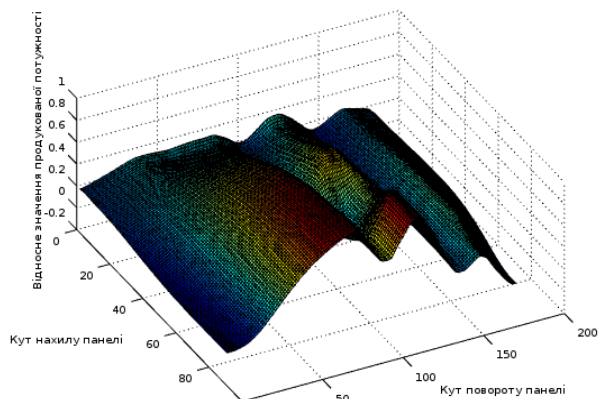


Рис. 13 - Образ 4

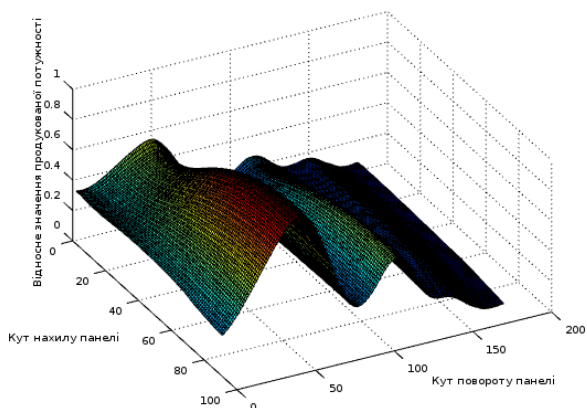


Рисунок 11 - Образ 2

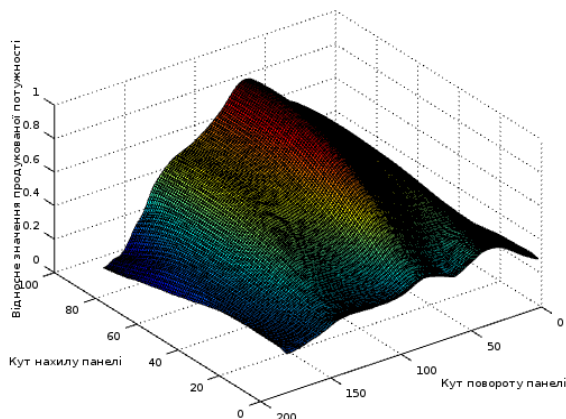


Рис. 14 - Образ 5

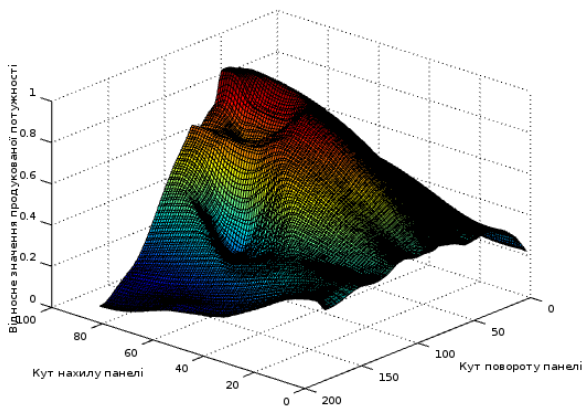


Рисунок 12 - Образ 3

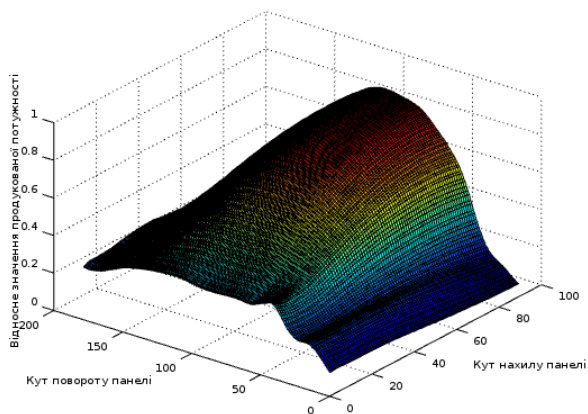


Рисунок 15 - Образ 6

За результатами проведених досліджень, були отримані графічні образи, представлені у вигляді матриць, які було нормовано та профільтровано від промахів одним із методів, який був вибраний виходячи з ефективності згладжування промахів та локальних максимумів.

Отримані образи можуть бути використані при дослідженні ефективності алгоритмів покоординатного пошуку максимуму та застосовуватися в подальшому для програмного забезпечення з моделювання роботи сонячних панелей, обладнаних системами слідкування за сонцем. Отримані експериментальні результати доцільно також порівняти розрахунками на основі однієї з відомих математичних моделей.

1. Dhanabal R., Bharathi V., Ranjitha R., Ponni A., Deepthi S., Mageshkannan P. Comparison of Efficiencies of Solar Tracker systems with static panel SingleAxis Tracking System and Dual-Axis Tracking System with Fixed Mount. *International Journal of Engineering and Technology (IJET)*, 2013. Vol. 5 No. 2, P. 1925–1933.

2. T. Filik, U.B. Filik. Efficiency analysis of the solar tracking pv systems in eskişehir region. *Anadolu University Journal of Science and Technology*, 2017. Vol. 18 No. 1, P. 209–217.

3. S.Aziza, S.Hassan. On Improving the Efficiency of a Solar Panel Tracking System. *Procedia Manufacturing*, 2017. Vol. 7, P. 218–224.

4. Jhee Fhong Lee, Nasrudin Abd. Rahim, Yusuf A. Al-Turki. Performance of Dual-Axis Solar Tracker versus Static Solar System by Segmented Clearness

Index in Malaysia. International Journal of Photoenergy, 2017. Vol. 2017, P. 1-13.

5. М.О. Слабінога, Н.Б. Клочко, А.Г. Винничук, Я.І. Заячук. Розробка та метрологічний аналіз комп'ютеризованого стенду з дослідження характеристик функціонування сонячних панелей. *Методи та прилади контролю якості*, 2016. – Вип.1(40). – С. 78-81.

6. *The Python Tutorial* [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://docs.python.org/3/tutorial/>

7. *PySerial PYPI* [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://pypi.org/project/pyserial/>

8. *GNU/Octave* [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.gnu.org/software/octave/>

9. *Function Reference: Imsmooth* [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://octave.sourceforge.io/image/function/imsmooth.html>

10. *Function Reference: Imresize* [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://octave.sourceforge.io/image/function/imresize.html>

Поступила в редакцію 10.12.2018 р.

Рекомендували до друку: докт.техн.наук,
проф. Райтер П. М., докт. техн. наук, проф.
Костишин В. С.