

Реферат

Актуальність теми. У сучасних умовах зростання попиту на відновлювані джерела енергії, глобального потепління та енергетичної нестабільності, сонячна енергетика стає одним із ключових напрямків розвитку енергетичної галузі. Для України, яка має значний потенціал сонячної інсоляції та потребу в децентралізованих джерелах живлення, особливо в умовах воєнного часу та післявоєнного відновлення, оптимальне розміщення сонячних панелей має вирішальне значення для підвищення ефективності сонячних електростанцій. Традиційні методи розміщення часто ґрунтуються на стандартних схемах і не враховують просторові обмеження або специфіку локації. Саме тому виникає потреба у розробці інтелектуальних алгоритмів, здатних здійснювати автоматизований пошук найбільш продуктивної конфігурації панелей. Застосування генетичних алгоритмів у цій сфері є новим і перспективним напрямком, який дозволяє значно підвищити ефективність фотоелектричних систем за рахунок гнучкого та адаптивного підходу до проектування.

Об'єктом дослідження є процес проектування сонячних електростанцій, а саме — система розміщення фотоелектричних модулів на заданій ділянці з урахуванням її геометричних і кліматичних особливостей.

Предмет дослідження виступає метод оптимізації просторового розміщення сонячних панелей на основі генетичного алгоритму, а також програмна реалізація цієї методики у вигляді інструменту, орієнтованого на використання кінцевим користувачем.

Мета роботи: створення ефективної математичної моделі та програмного забезпечення для оптимізації розміщення сонячних панелей на прямокутних ділянках за допомогою генетичного алгоритму, що забезпечує максимальний енергетичний вихід системи. Особлива увага приділяється реалізації інтуїтивного графічного інтерфейсу користувача, економічному аналізу впровадження системи та порівнянню з традиційними методами.

Наукова новизна полягає в реалізації адаптованого генетичного алгоритму для вирішення задачі просторової оптимізації розміщення фотоелектричних панелей з урахуванням фізичних обмежень — таких як затінення, розмірність ділянки, допустимі кути нахилу й орієнтації. Запропоновано два режими оптимізації — “Поодинокий” (індивідуальне позиціонування панелей) та “Разом” (єдині параметри для всіх панелей), що дозволяє ефективно використовувати алгоритм як для приватних користувачів, так і для комерційних інсталяцій. На відміну від існуючих рішень, система не потребує складних 3D-моделей або ліцензійного ПЗ і працює з високим рівнем автоматизації.

Практична цінність. Розроблене програмне забезпечення є універсальним інструментом для практичного використання у сфері проектування сонячних електростанцій. Воно дозволяє проводити повноцінну оптимізацію конфігурацій панелей без потреби у високовартісному комерційному ПЗ, що особливо актуально для малих підприємств, фермерських господарств, власників приватних домогосподарств та проєктантів із обмеженим бюджетом. Завдяки простому інтерфейсу, можливості вибору ділянки на інтерактивній карті, візуалізації результатів та експорту даних у зручному форматі, система може бути використана як професіоналами, так і звичайними користувачами без глибокої технічної підготовки. Програма також має значний потенціал для освітніх цілей — вивчення основ сонячної енергетики, оптимізаційних методів і роботи генетичних алгоритмів.

Апробація роботи. Основні результати роботи були апробовані в процесі тестування програмного забезпечення в реальних умовах, на прикладі Києва, з використанням даних сонячної радіації з сервісу PVGIS, а також були представлені на XXIII Міжнародній науково-практичній онлайн конференції здобувачів вищої освіти та молодих учених “Наука та техніка XXI століття” та

Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні світові тенденції розвитку науки, освіти, технологій і суспільства».

Структура та обсяг роботи. Магістерська робота складається зі вступу, п'яти основних розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету, завдання, об'єкт і предмет дослідження, визначено наукову новизну та практичну цінність роботи.

Перший розділ присвячено огляду сучасного стану сонячної енергетики в Україні та світі, розгляду основних принципів роботи фотоелектричних панелей, факторів, що впливають на їхню ефективність, а також аналізу існуючих методів проектування та оптимізації розміщення сонячних панелей, включаючи традиційні, евристичні та програмні підходи.

У другому розділі розкрито теоретичні основи генетичних алгоритмів, принципи їхньої роботи та доцільність застосування для вирішення задач просторової оптимізації. Надано обґрунтування вибору цього методу для задачі розміщення сонячних панелей.

Третій розділ містить формалізацію задачі оптимального розміщення панелей, опис математичної моделі, структуризацію параметрів та алгоритмічну схему реалізації генетичного алгоритму в контексті сонячної енергетики.

У четвертому розділі описано створене програмне забезпечення: його архітектуру, графічний інтерфейс, алгоритм роботи, методи оцінки придатності та логіку візуалізації рішень. Проведено детальне тестування в різних сценаріях, що підтвердило стабільність, точність і практичну придатність системи.

П'ятий розділ зосереджений на дослідженні ефективності запропонованого рішення. Виконано оцінку економічної доцільності встановлення сонячних панелей, розрахунок строку окупності для побутових і комерційних сценаріїв, аналіз енерговиробництва у різних режимах та доведено переваги генетичного підходу над традиційними схемами.

Загальний обсяг роботи становить 148 сторінок основного тексту. У роботі використано 10 ілюстрацій (рисуноків). Список використаних джерел налічує 55 найменування, що включають як сучасну наукову літературу, так і спеціалізовані технічні документи та нормативи.

Ключові слова: генетичний алгоритм, сонячна енергетика, фотоелектрична система, оптимізація розміщення панелей, затінення, енергоефективність, tkinter, Python, PVGIS, окупність.

Abstract

Relevance of the topic. In the modern context of increasing demand for renewable energy sources, global climate change, and energy instability, solar energy is becoming one of the key directions for the development of the energy sector. For Ukraine, which possesses significant solar irradiation potential and an urgent need for decentralized power supply—especially during wartime and the post-war reconstruction phase—optimal placement of solar panels is critical for enhancing the efficiency of photovoltaic systems. Traditional layout approaches are often based on standard schemes and fail to account for spatial constraints or the specific characteristics of a given location. This creates the need for intelligent algorithms capable of autonomously identifying the most productive panel configurations. The application of genetic algorithms in this area represents a novel and promising direction, as it enables a flexible and adaptive design process, substantially improving photovoltaic system performance.

The object of the research is the process of designing solar power plants, specifically the system for placing photovoltaic modules on a given site, considering its geometric and climatic characteristics.

The subject of the research is the optimization method for spatial placement of solar panels based on a genetic algorithm, as well as its software implementation as a user-oriented tool.

Purpose of the work: to develop an effective mathematical model and software tool for optimizing the placement of solar panels on rectangular plots using a genetic algorithm, ensuring maximum energy output of the system. Special attention is given to the implementation of an intuitive graphical user interface, economic feasibility analysis, and a comparative evaluation against traditional placement methods.

Scientific novelty lies in the development and implementation of a customized genetic algorithm for solving the spatial optimization problem of photovoltaic panel placement, taking into account physical constraints such as shading, site dimensions,

and permissible tilt and azimuth angles. Two optimization modes are proposed—“Individual” (where each panel is positioned separately) and “Grouped” (where all panels share the same orientation parameters)—which makes the algorithm applicable for both private users and commercial installations. Unlike existing solutions, the proposed system does not rely on complex 3D modeling or expensive licensed software, and it operates with a high level of automation.

Practical significance. The developed software is a universal tool for practical use in the design of solar power plants. It enables full configuration optimization without the need for high-cost commercial software, making it especially relevant for small businesses, farms, private households, and designers with limited budgets. Thanks to its user-friendly interface, interactive map-based plot selection, visual representation of results, and convenient data export options, the system can be effectively used by both professionals and non-expert users. Moreover, the application has great potential in educational contexts for teaching solar energy basics, optimization techniques, and the operation of genetic algorithms.

Validation of the research. The main outcomes of the research were validated through comprehensive testing of the developed software under real-world conditions, using a case study based on the city of Kyiv and solar radiation data retrieved from the PVGIS service, and were also presented at the XXIII International Scientific and Practical Online Conference of Higher Education Applicants and Young Scientists “Science and Technology of the XXI Century” and the International Scientific and Practical Conference “Modern World Trends in the Development of Science, Education, Technology and Society”.

Structure and volume of the thesis. The master's thesis consists of an introduction, five main chapters, conclusions, a list of references, and appendices. The introduction justifies the relevance of the topic, formulates the goal, tasks, object, and subject of the research, and outlines the scientific novelty and practical value of the work.

Chapter 1 presents a review of the current state of solar energy development in Ukraine and globally, explains the working principles of photovoltaic panels, factors affecting their efficiency, and analyzes existing placement and optimization methods, including traditional, heuristic, and software-based approaches.

Chapter 2 provides the theoretical foundations of genetic algorithms, describes their operating principles, and explains their applicability to spatial optimization problems.

Chapter 3 formalizes the optimization problem, presents the mathematical model, defines relevant parameters, and outlines the algorithmic structure of the solution.

Chapter 4 details the developed software: its architecture, user interface, evaluation methods, and visualization logic. It also presents the results of testing under various use-case scenarios, demonstrating the system's stability, accuracy, and practical applicability.

Chapter 5 focuses on the efficiency analysis of the proposed approach. It includes an economic feasibility study of solar panel installations, payback period calculations for both household and commercial scenarios, and a comparative analysis of energy generation performance in different operational modes, clearly showing the advantages of the genetic optimization method over traditional schemes.

The total length of the thesis is 148 pages. The thesis contains 10 figures. The list of references includes 55 sources, comprising recent scientific publications, technical manuals, and regulatory documents.

Keywords: genetic algorithm, solar energy, photovoltaic system, panel placement optimization, shading, energy efficiency, tkinter, Python, PVGIS, payback period.