

О. С. Бутенко<sup>1</sup>, К. А. Цвященко<sup>1</sup>, К. О. Буравченко<sup>1</sup>, А. А. Нікітін<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Національний аерокосмічний університет імені М. Є. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна

<sup>2</sup> Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна

## ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ВИБОРУ МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ З ВИКОРИСТАННЯМ ГІС-АНАЛІЗУ

В статті представлені основні засади щодо оптимізації процесу вибору місця розташування сонячних електростанцій за рахунок комплексного підходу до вибору критеріїв проведення геопросторового аналізу територій. Проаналізовані всі основні показники, які впливають на вибір. Проведено математичні розрахунки значень необхідних вхідних факторів для оптимізації процесу вибору місця розташування сонячної електростанції. Обґрунтовано розділення територія України на основні зони сонячного потенціалу. Сформовані матриці неточностей з похибками між еталонними та вхідними значеннями. Обрано фактори найбільшого ступеню впливу на оптимальний вибір місця розташування сонячних панелей за інвертованим алгоритмом Флойда — Уоршелла. Приведена методика формування вирішальних правил щодо вибору місця розташування на основі відповідності статистичних показників значенням побудованої шкали відповідності якісних оцінок приналежності кожного фактора до однієї з трьох груп приналежності до виділених зон. Представлено метод оптимального вибору місця розташування під сонячні електростанції. Розглянуто математичний алгоритм для вибору оптимальної території під будівництво сонячних електростанцій (СЕС) та перевірено адекватність представленого методу шляхом порівняльного аналізу з реальними даними. Показано доцільність використання геоінформаційних технологій і методів ГІС-аналізу при побудові картографічних моделей при сумісному використанні даних космічного моніторингу та статистичних даних.

**Ключові слова:** сонячні електростанції, сонячний потенціал, фактори, матриця неточностей, вирішальне правило.

### Вступ

На даний момент одним з найперспективніших напрямків відновлюваних джерел енергії є сонячна енергетика. В останні десятиліття галузь, що пов'язана з альтернативними джерелами енергії, активно розвивається не тільки в світовій промисловості, але й у побуті. Завдяки новим технологіям і впровадженню субсидованих тарифів («зелених» тарифів), сонячні енергетичні системи та пристрої дозволяють здійснювати ефективно вироблення і економію електроенергії завдяки природним, практично невичерпним можливостям світлового випромінювання Сонця з незначним впливом на екологічний стан навколишнього середовища. Дослідження і промислова продукція в цій галузі зараз активно розвиваються в таких країнах, як Німеччина, США, Великобританія, Японія, Корея, Китай, а також Україна [1–9].

Однак для більш ефективного використання сонячного потенціалу при вирішенні задач оптимізації розміщення об'єкта відновлюваної енергетики – сонячних електростанцій (СЕС) доцільним є застосування сучасних геоінформаційних технологій.

### 1. Загальна постановка завдання досліджень

Дослідження, які пов'язані з вибором ділянок оптимального місця розташування СЕС, проводилися стосовно території України. Результати аналізу специфіки місцевості показали, що у нашої країни досить багатий сонячний потенціал, завдяки якому практично на будь-якій території можлива установка сонячних панелей. Однак це в більшій мірі стосується випадку, коли альтернативні джерела енергії застосовуються в побуті, приватним чином. Вибір ділянок для розміщення СЕС в промислових масштабах вимагає особливого підходу до вибору місця

розташування сонячних батарей з урахуванням усіх особливостей території, що розглядається.

Аналітичний огляд існуючих методів дослідження, спрямованих на оптимізацію процесу вибору ділянок під СЕС, показав, що за допомогою геометричних методів можна визначити тривалість інсоляції або затінення ділянок, припущення або окремої точки, характер переміщення сонячних променів тощо [10–12]. Що стосується енергетичних методів, то вони спрямовані на розрахунок безпосередньо сонячної радіації (енергії сонця), і дозволяють визначити кількість теплової і світлової енергії сонячних променів у кожен момент часу на ділянці з певним географічним положенням. Статистичний метод – це порівняльний аналіз усіляких варіантів набору критеріїв, що впливають на ефективність експлуатації та фінансову вартість проекту впровадження СЕС. Проте, всі розглянуті методи не досить добре працюють в умовах специфіки розв'язуваної задачі. Для підвищення ефективності прийняття рішень про місце розташування СЕС необхідно підвищити точність кількісних оцінок, що не завжди можливо при використанні класичних методів. У реальних умовах, особливо якщо рішення пов'язані з обмеженням часу, чітких оцінок недостатньо. Також рішення можуть прийматися в умовах інформаційної невизначеності пов'язані з обмеженням обсягом апріорної інформації. В цьому випадку використовують нечіткі числа, нечіткі множини та нечіткі відносини, що дозволяють працювати з інтервальними оцінками. Виходячи з того, що основний акцент при виборі місця розташування має приділятися формуванню критеріїв оптимального вибору, то для підвищення ефективності прийняття рішень про місце розташування СЕС, було запропоновано використовувати теоретико-множинні моделі, засновані на інтервальних оцінках. Такий підхід дозволив враху-

вати додаткові фактори, які в класичних методах зазвичай не враховуються [13–21].

У зв'язку з цим доцільне використання комплексного підходу до вибору оптимального місця розташування СЕС.

## 2. Особливості формування критеріїв оптимального вибору

Для реалізації комплексного підходу при прийнятті рішень про місце розташування СЕС методом історичної аналогії були проаналізовані статистичні характеристики існуючих СЕС з урахуванням їх особливостей для виявлення специфіки місцевості, на якій вони розташовані. Як звісно, кількість електроенергії, яка буде вироблена за допомогою сонячного модуля, залежить від багатьох факторів, і не в останню чергу - від географічного розташування сонячної електростанції. Адже за інших рівних умов кількість виробленої електроенергії буде пропорційно кількості енергії сонячного випромінювання, що досягає поверхні землі у конкретній точці розміщення електростанції. В результаті аналізу було запропоновано умовно розділити всю територію України на 4 зони, що визначаються в залежності від варіації значень сонячного потенціалу. А саме:

- $z_1 = 1300:1400$  (кВт/м<sup>2</sup>);
- $z_2 = 1200:1300$  (кВт/м<sup>2</sup>);
- $z_3 = 1100:1200$  (кВт/м<sup>2</sup>);
- $z_4 = 900:1100$  (кВт/м<sup>2</sup>);

де  $z$  – найменування зони сонячного потенціалу.

Розподіл на зони здійснювався за даними діючих на території України сонячних електростанцій. Аналіз статистичних даних за результатами роботи цих СЕС дозволив визначити еталонні значення по кожній з чотирьох зон. Для раціонального підходу до вирішення задачі оптимального розміщення СЕС був обраний ряд факторів, що максимально впливають безпосередньо на вибір місця з урахуванням їх можливого комбінаторного впливу один на одного. Такими факторами є:

-  $x_1 = S$  – площа; цей фактор в системі є найбільш корельованим по відношенню до інших факторів, так як від розмірності станції і від ґрунту на який вона буде розташовуватися залежить рентабельність в розміщенні та хімічний склад ґрунту. Адже було б нераціонально на місцевості, де панує чорнозем ховати ґрунт під фотоелектричними перетворювачами.

-  $x_2 = P$  – потужність; Цей параметр є одним з найбільш суттєвих, так як необхідно розуміти на що здатні сонячні модулі і скільки енергії може дати одна сонячна панель.

-  $x_3 = A$  – азимут; Цей фактор характеризує відхилення поглинаючої площі колектора від південного напрямку, при орієнтуванні сонячного колектора точно на південь азимут = 0°.

-  $x_4 = \alpha$  – кут нахилу сонячних панелей; Сонячна батарея повинна знаходитися під певним кутом. Але цей кут не може бути завжди однаковим. Положення панелей має змінюватися в залежності від особливостей клімату (кількості сонячних днів в році), пори року, доби, погоди. Є й постійні факто-

ри, що впливають на кут нахилу панелей, – географічна широта, місце монтажу, період використання (якщо батарея працює цілий рік).

-  $x_5 = \varphi$  – широта; Широта місця установки ( $\varphi$ ) показує, наскільки місце знаходиться на північ або на південь від екватора, і складає кут від 0° до 90°, відлічуваний від площини екватора до одного з полюсів – північного або південного. За ступенем інсоляції – кількість сонячного випромінювання на одиницю площі – Україна значно перевершує визнаного європейського лідера в сонячній енергетиці – Німеччину. Але при великій кількості сонця клімат в Україні – не жаркий, що дуже важливо для роботи сонячної електростанції.

-  $x_6 = E$  – енергія. Це значення кількості енергії, що виробляється сонячними панелями за рік. Фактор енергії безпосередньо залежить від потужності панелей і ступеня інсоляції.

Слід зазначити, що при побудові сонячної електростанції необхідні вхідні дані з усіх шести параметрів (площа, потужність, азимут і т. д.).

Для підвищення точності вибору місця розташування СЕС додатково були проаналізовані вагові коефіцієнти, що дозволяють оцінити ступінь максимального впливу. Оцінка проводилася методом інвертованого алгоритму Флойда-Уоршелла.

**2.1. Формування матриць неточностей.** Оскільки вся територія України була умовно розділена на 4 зони сонячного потенціалу, було складено 4 матриці, в які входять еталонні та вхідні значення факторів максимального впливу (площа, потужність, кут падіння тощо).

Заповнення матриці здійснювалося за наступним алгоритмом:

1. Перетворення всіх факторів до системи СІ.
2. Складання пропорції для аналітичного взаємозв'язку одного фактора з іншим.
3. Заповнення осередків матриці. Результат значень матриць – різниця між еталонним і вхідним фактором, узятим по модулю ( $|y_i^* - x_i^{вх}|$ ). Для факторів, у яких немає прямого зв'язку один з одним, осередок набуває значення – 0.
4. Розрахунок матриць неточностей для решти трьох зон -  $z_2, z_3, z_4$ . за аналогічним принципом.

**2.2. Методика формування вирішальних правил.** Для побудови бази вирішальних правил на основі статистичних оцінок була побудована шкала відповідності якісних оцінок приналежності кожного фактора до однієї з трьох груп приналежності виділених зон. Діапазон для варіації значень коефіцієнтів був обраний від 0 ÷ 1. Відповідно до обраної умовної шкали прийняття рішень, розглядалися три можливих інтервальних оцінки і, як наслідок, стани:

- 1) розглянутий фактор потрапляє в інтервал  $0 < x \leq 0,3$ , тоді він відповідає розглянутій зоні;
- 2) фактор потрапляє в інтервал  $0,3 < x \leq 0,6$ , тоді рішення про приналежність до тієї чи іншої зони приймається в умовах невизначеності, і виникає необхідність розгляду інших критеріїв відповідно до ієрархії ступенів їх значущості;
- 3) фактор потрапляє в інтервал  $0,6 < x \leq 1$ , тоді він не відповідає обраній зоні.

У разі, коли рішення необхідно приймати в зоні невизначеності, додаткові фактори впливу вибираються з матриці максимального впливу, розрахованої за інвертованим алгоритмом Флойда-Уоршелла.

**2.3. Формалізація основних етапів прийняття рішення.** Для уніфікації процесу прийняття рішень, а також для можливості його автоматизації заключним є процес формалізації основних його етапів, а саме:

1. Запис єдиного алгоритму розрахунку оптимального вибору місця розташування СЕС у вигляді аналітичного виразу:

$$\{\Delta_{ij}\} = \bigcup_{j=1}^4 \bigcap_{i=1}^6 (|x_i - y_{ij}|),$$

де  $i$  - значення фактора (S, P, A,  $\alpha$ ,  $\varphi$ , E)  $j$  - значення зони ( $z_1, z_2, z_3, z_4$ ),  $\Delta_{ij}$  - різниця між еталонним та вхідним значенням, розглянутих по всім матрицям відповідності вхідних значень кожного фактора в зоні сонячного потенціалу;  $x_i$  - вхідний фактор;  $y_{ij}$  - еталон в залежності від фактора  $i$  зони.

2. Формалізація випадку, коли фактор однозначно влучає у відповідну зону, може бути записана

Реалізація алгоритму для зони  $z_1$  наступна:

$$\begin{cases} \text{IF } |F_4^* - F_4^{ex}| \leq 0,3 \text{ and } |F_5^* - F_5^{ex}| \leq 0,3 \Rightarrow N_z = 1; \\ \text{IF } 0,3 < |F_1^* - F_1^{ex}| \leq 0,6 \Rightarrow (K_z^{\uparrow}; K_{kor}^{\uparrow}) \Rightarrow N_z \neq 1; \\ \text{IF } |F_2^* - F_2^{ex}| > 0,6 \text{ and } |F_3^* - F_3^{ex}| > 0,6 \text{ and } |F_6^* - F_6^{ex}| > 0,6 \Rightarrow N_z \neq 1 \end{cases}$$

Застосування математичного алгоритму для зони  $z_2$ :

$$\begin{cases} \text{IF } |F_1^* - F_1^{bx}| \leq 0,3 \text{ and } |F_2^* - F_2^{bx}| \leq 0,3 \text{ and } |F_4^* - F_4^{bx}| \leq 0,3 \text{ and } \\ |F_5^* - F_5^{bx}| \leq 0,3 \Rightarrow N_z = 2; \\ \text{IF } |F_3^* - F_3^{bx}| > 0,6 \text{ and } |F_6^* - F_6^{bx}| > 0,6 \Rightarrow N_z \neq 2 \end{cases}$$

Застосування математичного алгоритму для зони  $z_3$ :

$$\begin{cases} \text{IF } |F_1^* - F_1^{bx}| \leq 0,3 \text{ and } |F_2^* - F_2^{bx}| \leq 0,3 \text{ and } |F_4^* - F_4^{bx}| \leq 0,3 \text{ and } \\ |F_5^* - F_5^{bx}| \leq 0,3 \Rightarrow N_z = 3; \\ \text{IF } 0,3 < |F_6^* - F_6^{bx}| \leq 0,6 \Rightarrow (K_z^{\uparrow}; K_{kor}^{\uparrow}) \Rightarrow N_z = 3; \\ \text{IF } |F_3^* - F_3^{bx}| > 0,6 \Rightarrow N_z \neq 3 \end{cases}$$

Застосування математичного алгоритму для зони  $z_4$ :

$$\begin{cases} \text{IF } |F_4^* - F_4^{bx}| \leq 0,3 \text{ and } |F_5^* - F_5^{bx}| \leq 0,3 \Rightarrow N_z = 4; \\ \text{IF } 0,3 < |F_2^* - F_2^{bx}| \leq 0,6 \text{ and } 0,3 < |F_6^* - F_6^{bx}| \leq 0,6 \Rightarrow (K_z^{\uparrow}; K_{kor}^{\uparrow}) \Rightarrow N_z = 4; \\ \text{IF } |F_1^* - F_1^{bx}| > 0,6 \text{ and } |F_3^* - F_3^{bx}| > 0,6 \Rightarrow N_z \neq 4 \end{cases}$$

Практична реалізація запропонованого методу була розглянута на прикладі Чигиринської АЕС, а саме недобудованої атомної електростанції, розташованій в селищі міського типу Орбіта на березі Дніпра, Черкаська область. Наказом Міністерства СРСР від 29 жовтня 1981 року будівництво АЕС було законсервовано.

Аналізуючи всі вищевказані факти, а також з огляду на специфіку місцевості, можна зробити висновок, що Чигиринську сонячну електростанцію доцільніше будувати в третій зоні сонячного потенціалу ( $z_3$ ). Збіг з реальними результатами доводить адекватність розробленого методу. Для візуалізації розробленого методу була побудована фотокартка Чигиринської сонячної електростанції в середовищі ArcGIS 10.2 з нанесеними на неї назвою, легендою,

таким виразом:

$$\forall \Delta_{ij} \leq 0,3 \Rightarrow N_z = j,$$

де  $N_z$  - номер зони.

3. Ситуація, коли рішення про приналежність до тій чи іншої зони, в умовах невизначеності, така:

$$0,3 \forall \Delta_{ij} \leq 0,6 \Rightarrow \Delta_{ij} \circ (K_z^{\uparrow}; K_{kor}^{\uparrow}),$$

де  $K_z^{\uparrow}$  - значення коефіцієнту значущості критеріїв;  $K_{kor}^{\uparrow}$  - корельовані значення матриці.

4. Формалізація випадку, коли фактор не влучає в зону найкращого збігу, така:

$$\forall \Delta_{ij} > 0,6 \Rightarrow \text{GO TO } (\{\Delta_{ij}\} = \bigcup_{j=1}^4 \bigcap_{i=1}^6 (|x_i - y_{ij}|))$$

Для перевірки адекватності розробленої методики проведено порівняльний аналіз з реальними даними.

**2.4 Реалізація розробленого методу.** Для перевірки адекватності поданого у статті методу був проведений порівняльний аналіз розрахунків за методом та реальних даних. Розрахунки проводились за усіма чотирма зонами. Для цього були визначені показники для вибору оптимального місця для розташування Чигиринської сонячної електростанції.

стрілкою на північ, масштабом, масштабною лінійкою та підписом. Основою для фотокартки був знімок, отриманий з Google Earth Pro (рис. 3).



Рис. 1. 3D візуалізація знімка Чигиринської атомної електростанції



За допомогою графічного редактора Adobe Photoshop була змодельована територія для майбутньої СЕС без енергоблоків та інших споруд (рис. 2).

Фотокартка Чигиринської сонячної електростанції в середовищі ArcGIS 10.2 з нанесеними на неї назвою, легендою, стрілкою на північ, масштабом, масштабною лінійкою та підписом наведена на рис. 3.

Як бачимо на рис. 3, сонячні модулі були створені за допомогою векторного графічного редактора шляхом накладення їх на вихідний знімок у вигляді повноцінної станції.





Рис. 2. Територія Чигиринської АЕС без енергоблоків

### Фотокартка Чигиринської сонячної електростанції



#### Легенда

-  Сонячні батареї
-  Територія Чигиринської АЕС

1:100

0 105210 420 630 840 Kilometers

Виконала:  
ст. 442-а гр.  
Цвєщенко К. А.

Рис. 3. Фотокартка Чигиринської сонячної електростанції

### Висновки

Аналіз специфіки місцевості для розміщення СЕС показав, що у нашій країні досить багатий сонячний потенціал, завдяки якому на будь-якій території раціонально встановлювати сонячні панелі.

Огляд існуючих методів оптимізації вибору місця розташування СЕС дозволив зробити висновок про те, що, раніше задача оптимізації вирішувалася методом статистики, а також з урахуванням базових техніко-економічних показників.

Виявлено, що основними критеріями при виборі оптимального місця розташування СЕС є: площа, потужність, азимут, кут нахилу сонячних батарей, широта і вироблення енергії.

Класифікація вимог до місця розташування СЕС згідно з еталонними значеннями дозволила сформулювати 4 основних групи сонячного потенціалу.

Для підвищення ефективності прийняття рішень про місце розташування СЕС, яка полягає в зниженні тимчасових, матеріальних і трудових витрат, необхідно використовувати метод, заснований на математичній логіці, що дозволяє врахувати додаткові фактори, які в класичних підходах не враховуються.

Запропонований метод може бути адаптований для інших територій з іншими характеристиками при обліку чинників, пов'язаних зі специфікою аналізованої місцевості.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Солнечная энергетика: учеб. пособие для вузов / В. И. Виссарионов, Г. В. Дерюгина, В. А. Кузнецов, Н.К. Малинин; под ред. В.И. Виссарионова. – 2-е изд., стер. – М.: Издательский дом МЭИ, 2011. – 276 с
2. Кондратьев К. Я. Радиационный режим наклонных поверхностей / К. Я. Кондратьев, З. И. Пивоварова, М. П. Федоров. – М.: Гидрометеиздат, 1978. – 220 с.
3. Карты распределения солнечного потенциала — [Електроний ресурс]:  
1. <https://rentechno.ua/blog/solar-electricity-potential-maps.html> (дата обращения — 15.01.2018).
4. Нунумете Р.А. Прогноз потенциала солнечного излучения территории острова Амбон (Индонезия) // Альтернативная энергетика и экология. – 2014. – Н. 154. - № 14. – С. 52-57.
5. Ориентация и угол наклона солнечных коллекторов – [Електроний ресурс]:  
2. <http://solarsoul.net/orientaciya-i-ugol-naklona-solnechnyx-kollektorov> (дата обращения — 11.02.2018).
6. Map of solar radiation in Europe: Ukraine / M. Suri, T. Cebecauer, T. Huld, E. D. Dunlop // Materials of JRC European commission. — PVGIS: European communities, 2001—2008. — p. 27.

7. Математика и САПР. Кн. 2 Вычислительные методы. Геометрические методы. – М.: Мир, 1989. – 260 с.
8. Ярымбаш Д. С. Особенности идентификации интенсивности солнечной радиации при проектировании солнечных электростанций / Д. С. Ярымбаш, Ю. В. Даус // *Электроэнергетика и электротехника*. – 2014. – № 1. – с 74-78.
9. Солнечная электростанция: прибыльный бизнес или дешёвая игрушка? / Матеріали компанії Rentechno [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://rentechno.ua/articles/solnechnaya-energetika-pribilnyy-biznes.html>.
10. V. Manikandan, V. Porkodi, Amin Salih Mohammed and M. Sivaram (2018), “Privacy preserving data mining using threshold based fuzzy means clustering”, *ICTACT Journal On Soft Computing*, 2018, Vol. 09, Issue 01, pp. 1813-1816.
11. Коваленко А.А. Использование временных шкал при аппроксимации длины очередей компьютерных сетей / А.А. Коваленко, Г.А. Кучук, И.В. Рубан // *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. – 2018. – № 2 (4). – С. 12–18. – DOI: <http://doi.org/10.30837/2522-9818.2018.4.012>
12. Фаренбрух А. Солнечные элементы: теория и эксперимент : [Пер. с англ. И. П. Гавриловой и А. С. Даревского; под ред. М. М. Колтуна] / А. Фаренбрух, Р. Бьюб. — М. : Энергоатомиздат, 1987. — 280 с. —ил.
13. Штейнберг А.Я. Расчет инсоляции зданий. - Киев, Будивельник, 1975. - 120 с.
14. Герасименко Е.П., Зозулевич Д.М. Методы формирования трехмерных рецепторных матриц на ЭВМ. // В кн.: *Вычислительная техника в машиностроении*. – Минск. ИТК АН БССР, 1971. – с. 24 – 31.
15. Твайдел Дж. Возобновляемые источники энергии / Дж. Твайдел, А. Уэйр. М.: Энергоатомиздат, 1990. – 386 с.
16. Новые Энергетические Технологии [Электронный ресурс] – 2014. – <http://iknet.com.ua/presentation/full/energetika>.
17. Скулачев В.П. Эволюция биологических механизмов запасаения энергии // *Тамже*. 1997. № 5. С. 11-19.
18. Мэрфи Л. М. Перспективы развития и финансирование технологий использования возобновляемых источников энергии в США // *Труды Междунар. конгресса «Бизнес и инвестиции в области возобновляемых источников энергии в России»*, Москва, 31.05—4.06. 1999. М.: НИЦ «Инженер», 1999. С. 59-67.
19. Солнечное излучение в Украине – [Электронный ресурс]: <http://solarsoul.net/intensity-of-solar-radiation-2>.
20. Электротехнические проблемы создания преобразовательных установок для солнечных и ветровых электростанций / Бородулин М. Ю., Кадомский Д.Е. // *Электрические станции*. –1997. — № 3. – с.53-57.
21. Butenko O. S., Zamirets, O. O., The determination of degrees of combinatorial influence of the natural phenomena occurrence's factors [Text] / O. O. Zamirets, O. S. Butenko – *Nauka i Studia, Przemysl, Poland*. – 2015 – 5 (136) – pp. 81 - 87

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. С. В. Козелков,

Державний університет телекомунікацій, Київ

Received (Надійшла) 25.11.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 16.01.2019

### Оптимизация процесса выбора места расположения солнечных электростанций с использованием ГИС-анализа

А. С. Бутенко, К. А. Цвященко, Е. А. Буравченко, А. А. Никитин

В статье представлены основные принципы оптимизации процесса выбора места расположения солнечных электростанций за счет комплексного подхода к выбору критериев проведения геопространственного анализа территорий. Проанализированы все основные показатели, которые влияют на такой выбор. Проведены математические расчеты значений необходимых входных факторов для оптимизации процесса выбора места расположения солнечной электростанции. Обоснованно разделены территория Украины на основные зоны солнечного потенциала. Сформированные матрицы неточностей с погрешностями между эталонными и входными значениями. Выбран фактор степени влияния на оптимальный выбор места расположения солнечных панелей с использованием инвертированного алгоритма Флойда - Уоршелла. Приведена методика формирования решающих правил выбора местоположения на основе соответствия статистических показателей значением построенной шкалы соответствия качественных оценок принадлежности каждого фактора к одной из трех групп принадлежности к выделенным зонам. Представлен метод оптимального выбора места расположения под солнечные электростанции. Рассмотрен математический алгоритм для выбора оптимальной территории под строительство солнечных электростанций и проверена адекватность представленного метода путем сравнительного анализа с реальными данными. Показана целесообразность использования геоинформационных технологий и методов ГИС-анализа при построении картографических моделей при совместном использовании данных космического мониторинга и статистических данных.

**Ключевые слова:** солнечные электростанции, солнечный потенциал, факторы, матрица неточностей, решающее правило.

### Optimization of the process of choosing the location of solar power stations using GIS analysis

O. Butenko, K. Zvyaschenko, K. Buravchenko, A. Nikitin

In this paper, the main principles for optimizing the process of choosing the location of solar power plants are presented, due to an integrated approach to the selection of criteria for geospatial analysis of the territories. All the key indicators that influence the choice are analyzed. The mathematical calculations of the values of the necessary input factors for optimization of the process of choosing the location of the solar power plant are carried out. The division of the territory of Ukraine into the basic zones of solar potential is substantiated. Forms of inaccuracies matrix with errors between reference and input values. Selected the factor of greatest influence on the optimal choice of location of solar panels according to the inverted Floyd-Worchesh algorithm. The method of forming the decisive rules for choosing a location based on the compliance of statistical indicators with the value of the constructed scale of conformity of qualitative estimates of the belonging of each factor to one of the three groups belonging to the allocated zones is given. The method of optimal choice of location for solar power plants is presented. The mathematical algorithm for choosing the optimal area for the construction of solar power plants (SES) is considered and the adequacy of the presented method by the comparative analysis with real data is checked. The expediency of the use of geoinformation technologies and GIS analysis methods in the construction of cartographic models with the joint use of space monitoring data and statistical data is shown.

**Keywords:** solar power plant, solar potential, factors, inaccuracies matrix with errors, decisive rules.