

ЩОДО МОЖЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ ЕФЕКТИВНИХ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ НА ТЕРИТОРІЇ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Отримано 28 лют. 2024 р.; рекомендовано до публікації 22 бер. 2024 р.
Доступно онлайн 01 квіт. 2023 р.

Качан Ю. Г.¹, Шрам О. А.²

Автор для кореспонденції: Шрам Олександр,
e-mail: alexshrum@yahoo.com

¹ д-р техн. наук, проф.
<https://orcid.org/0000-0001-9984-3646>

² канд. техн. наук, доц.
<https://orcid.org/0000-0003-4206-7716>

^{1,2} Національний університет «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя, Україна

Анотація. Метою роботи є розробка методики й алгоритму визначення сукупності всіх можливих варіантів щодо розміщення вибраних типів сонячних панелей на виділених для цього місцях на території промислових підприємств. Вибір місць розташування сонячних панелей на території промислових підприємств ускладнений формою дахів будівель з крутими схилами й суттєвим впливом ефекту затінення на обсяги генерації потужності тощо. Критерії оптимального варіанта розташування сонячних панелей у розглядуваному випадку можуть бути також різні. Це максимальний обсяг генерації сонячної електростанції, мінімальні коливання її потужності впродовж доби, собівартість згенерованої електроенергії тощо. Для розв'язання такої оптимізаційної задачі в роботі пропонується передусім визначити сукупність всіх прийнятних варіантів розташування вибраних типів сонячних панелей на виділених для цього місцях. Таку сукупність можна представити у вигляді розгалуженого графа, кожна гілка якого є одним із можливих варіантів розташування панелей. Для цього запропоновано використовувати алгоритм на основі рекурсивної функції, яка найкраще підходить для роботи з такими структурами. В статті розглянуто приклад роботи запропонованого алгоритму для варіанта, з конкретною кількістю наявних площадок і використаних типів сонячних панелей. Внаслідок роботи запропонованого алгоритму сформована матриця сукупностей типів панелей і місць їх розташування. Запропонована методика і алгоритм визначення масиву всіх можливих комбінацій розташування сонячних панелей дозволяє значно спростити процес впровадження СЕС на промисловому підприємстві й суттєво підвищити її ефективність. Бібл. 8, рис. 4, табл. 2.

Ключові слова: сонячна електростанція, відновлювані джерела енергії, алгоритм, рекурсивна функція, оптимізаційна задача.

ON THE POSSIBILITY OF CREATING EFFICIENT SOLAR POWER PLANTS ON THE TERRITORY OF INDUSTRIAL ENTERPRISES

Received Feb. 28, 2024; accepted Mar. 22, 2024
Available online Apr. 01, 2024

Kachan Yu.¹, Shram O.²

Author for correspondence: Shram Olexandr,
e-mail: alexshrum@yahoo.com

¹ Dr. Sc. (Tech.), Prof.
<https://orcid.org/0000-0001-9984-3646>

² Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.
<https://orcid.org/0000-0003-4206-7716>

^{1,2} National University Zaporizhzhia Polytechnic, Zaporizhzhia, Ukraine.

Abstract. The aim of the study is to develop a methodology and algorithm for determining the set of all possible variants for the placement of selected types of solar panels on the territory of industrial enterprises. The choice of locations for solar panels on the territory of industrial enterprises is complicated by the shape of the roofs of buildings with steep slopes and the significant impact of the shading effect on power generation, etc.

The criteria for the optimal location of solar panels in the case under consideration may also vary. These are the maximum electricity generation of a solar power plant, the minimum fluctuations in its power during the day, the cost of generated electricity, etc. To solve such an optimization problem, it is proposed to first determine the set of all acceptable variants of the location of the selected types of solar panels at the allocated locations. Such a set can be represented as a branched graph, each branch of which is one of the possible options for the location of the panels. For this purpose, it is suggested to use an algorithm based on a recursive function, which is best suited for working with such structures. The article describes an example of the proposed algorithm for a variant with a specific number of available sites and types of solar panels used. As a result of the proposed algorithm, a matrix of sets of panel types and their locations is formed. The proposed methodology and algorithm for determining the array of all possible combinations of solar panel locations can significantly simplify the process of implementing a solar power plant at an industrial enterprise and significantly increase its efficiency. Bible 7, fig. 4, tab. 2.

Keywords: solar power plant, renewable energy sources, algorithm, recursive function, optimization problem.

Вступ і постановка завдання. Створення промисловими підприємствами власних сонячних електростанцій для підвищення енергоефективності виробництва є наразі достатньо актуальним питанням. Маючи велику кількість споруд, на дахах яких можна розмістити сонячні панелі, вони могли б генерувати додаткову електроенергію, зменшуючи цим споживання її з загальної електромережі. З'ясування таких можливостей і визначення доцільності зазначеного заходу вимагає виконання конкретної низки дій.

Насамперед необхідно визначити наявність місць для розташування сонячних панелей, оцінити їх кількість, енергетичну спроможність кожної за розміром та інтенсивністю сонячного випромінювання. Потрібно також з'ясувати, які реальні типи зазначених панелей можуть бути використані у такому застосуванні, їх кількість і наявність на енергетичному ринку.

Після цього, враховуючи отримані результати, слід створити масив всіх можливих варіантів розташування вибраних типів сонячних панелей на виділених для них місцях (площадках). І вже потім знайти оптимальний з них за попередньо прийнятим для підприємства критерієм: максимальним обсягом генерації, мінімальними коливаннями потужності впродовж доби чи собівартістю згенерованої електроенергії тощо.

Вибір місць розташування сонячних панелей на території промислових підприємств є зазвичай непростим завданням, яке ускладнюється низкою чинників. Так, в роботах [1, 2] зазначається, що найкраще встановлювати такі панелі на плоских поверхнях, тоді як дахи будівель мають здебільшого складну форму і навіть надто круті схили. А це означає, що потрібно буде розробляти спеціалізовані системи кріплення або суттєво обмежувати кількість розташованих на них об'єктів сонячної генерації, значно зменшуючи цим співвідношення площі, придатної для встановлення панелей, і загальної площі даху. Так, в роботі [2] указано, що не більше 60 % останньої, зазвичай підходить для такого використання.

Крім того, тіні, що відкидаються навколишніми будівлями, іншими технічними спорудами, розташованими поруч одна з одною значно зменшують кількість

сонячної радіації, яка надходить на кожну пропоновану площадку [3, 4]. Наслідком цього явища, так званого ефекту затінення, стане суттєве зменшення обсягів генерації потужності впровадженої СЕС.

Тож конфігурація даху, чи наявність ефекту затінення обмежують вибір найкращої орієнтації сонячних панелей для отримання максимального їх опромінення [5]. Окрім цього при виборі відповідних систем кріплення та забезпечення довговічності панелей необхідно буде враховувати ще й додаткові кліматичні умови, такі як можливе вітрове, дощове та снігове навантаження на них [6, 7].

Після вирішення щойно розглянутих питань щодо розташування елементів СЕС на території промислових підприємств, яким натеper приділено достатньо уваги в наукових дослідженнях, важливо визначити сукупність всіх прийнятних варіантів розташування вибраних типів сонячних панелей на виділених для цього площадках. Це й дасть змогу розв'язати зазначену вище оптимізаційну задачу щодо найкращого з них за потрібним критерієм ефективності СЕС.

Метою роботи є розробка методики й алгоритму визначення сукупності всіх можливих варіантів щодо розміщення обраних типів сонячних панелей на виділених для цього площадках на території промислових підприємств.

Матеріал і результати досліджень. Як уже зазначалося, розрахунки щодо розміщення сонячних панелей на виділених площадках промислових підприємств ускладнюються тим, що останні різні за розміром, а отже, кількість встановлених на кожній з них фотоперетворювачів буде різною. До того ж панелі мають ще й неоднакові номінальні потужності і їх залежності від сонячної радіації. А це означає, що ускладнюються й алгоритми необхідних розрахунків при проектуванні конкретної СЕС.

Передусім, на відміну від вітроустановок, сонячні перетворювачі того самого типу, розміщені на різних площадках, генеруватимуть різну сумарну потужність. Тут вже потрібно визначати не тільки загальну кількість площадок щодо використання заданого типу панелей, а й конкретику щодо них. Отже, наявний

натепер алгоритм визначення всіх можливих сукупностей щодо типів вітроустановок і кількості місць їх розташування, розглянутий у [8], без необхідних змін і доповнень не вирішує поставлену задачу. Та і самих сукупностей у випадку геліосистем буде вже значно більше. Якщо за попереднім алгоритмом було достатньо визначити сукупності h_{ij} ($j = 1, p$), де h – необхідна кількість ВЕУ i -го типу в j -й сукупності, тільки б виконувалася умова $\sum_{i=1}^h h_{ij} = n$, без конкретизації місця їх установлення, то тепер необхідно реалізувати й останнє.

Тож розглянемо таку можливість у вигляді постановки h_{ij} ($i = \overline{1, m}; j = \overline{1, p}$), де m – кількість запропонованих для використання типів сонячних панелей, p – кількість визначених сукупностей. Як приклад візьмемо перший довільний варіант $h_{21} = 3; h_{41} = 4; h_{51} = 3$, тобто коли рекомендується для панелей другого типу 3 площадки, четвертого – 4 і п'ятого – 3, загальною кількістю $n = 10$. Подальші розрахунки здійснюватимемо в такий спосіб.

Спершу розглянемо всі можливі варіанти трьох площадок розташування фотоперетворювачів другого (з п'яти наявних) типу з загальною кількістю місць $n = 10$. Тобто всі комбінації, які будуть відрізнятися одна від одної хоча б на одне місце розташування. Це вирішується такою послідовністю переміщення цифр (табл. 1). Всі 120 отриманих варіантів розглядаються як незалежні й можливі для реалізації. За першим з них панелі другого типу будуть розташовуватися на першій, другій і третій площадках, а за останнім – на восьмій, дев'ятій та десятій. Взявши будь-який проміжний варіант (наприклад, 2, 5, 8), бачимо, що для розташування фотоперетворювачів четвертого типу залишаються площадки 1, 3, 4, 6, 7, 9 і 10.

Щоб розглянути останні у вигляді нової послідовності треба третій реальній площадці присвоїти індекс 2, четвертій – 3, шостій – 4, сьомій – 5, дев'ятій – 6 і десятій – 7. Це дозволяє аналогічним чином визначити чотири можливі місця розташування панелей четвертого типу на вже семи вільних площадках, тобто при $n = 7$. Послідовність визначення всіх можливих комбінацій у цьому разі має вигляд, представлений у табл. 2.

Таблиця 1. Можливі варіанти розташування трьох сонячних панелей другого типу

Table 1. Possible arrangements of three second-type solar panels

12 3	13 4	14 5	15 6	16 7	17 8	18 9	19 10
12 4	13 5	14 6	15 7	16 8	17 9	18 10	
12 5	13 6	14 7	15 8	16 9	17 10		
12 6	13 7	14 8	15 9	16 10			
12 7	13 8	14 9	15 10				
12 8	13 9	14 10					
12 9	13 10						
12 10							
Кількість варіантів – 36							
23 4	24 5	25 6	26 7	27 8	28 9	29 10	
23 5	24 6	25 7	26 8	27 9	28 10		
23 6	24 7	25 8	26 9	27 10			
23 7	24 8	25 9	26 10				
23 8	24 9	25 10					
23 9	24 10						
23 10							
Кількість варіантів – 28							
34 5	35 6	36 7	37 8	38 9	39 10		
34 6	35 7	36 8	37 9	38 10			
34 7	35 8	36 9	37 10				
34 8	35 9	36 10					
34 9	35 10						
34 10							
Кількість варіантів – 21							

45 6 45 7 45 8 45 9 45 10	46 7 46 8 46 9 46 10	47 8 47 9 47 10	48 9 48 10	49 10 Кількість варіантів – 15			
56 7 56 8 56 9 56 10	57 8 57 9 57 10	58 9 58 10	59 10	Кількість варіантів – 10			
67 8 67 9 67 10	68 9 68 10	69 10					
78 9 78 10	79 10			Кількість варіантів – 3			
89 10							
Загальна кількість варіантів— 120							

Таблиця 2. Можливі варіанти розташування чотирьох сонячних панелей четвертого типу

Table 2. Possible arrangements of four fourth-type solar panels

123 4 123 5 123 6 123 7	124 5 124 6 124 7	125 6 125 7	126 7
Кількість варіантів – 10			
134 5 134 6 134 7	135 6 135 7	136 7	
Кількість варіантів – 6			
145 6 145 7	146 7	156 7	
Кількість варіантів – 4			
234 5 234 6 234 7	235 6 235 7	236 7	
Кількість варіантів – 6			

245 6 245 7	246 7	256 7	
Кількість варіантів – 4			
345 6 345 7	346 7	356 7	456 7
Кількість варіантів – 5			
Загальна кількість варіантів $d4 = 35$			

Якщо розглядати, наприклад, уявну комбінацію 1, 3, 4, 7, а за реальною нумерацією місць установа це будуть площадки 1, 4, 6, 10, то для сонячних панелей п'ятого типу залишаються площадки 4, 7, 9. І таких варіантів розташування буде 2400. Потім потрібно подібну процедуру здійснити в іншій послідовності визначення площадок щодо типів панелей, наприклад, 2, 5, 4 і аналогічно перебрати всі можливі їх комбінації в цьому разі. Повторювати зміну послідовності розгляду типів

фотоперетворювачів у такому випадку треба буде шість разів: 2, 4, 5; 2, 5, 4; 4, 2, 5; 4, 5, 2; 5, 2, 4 і 5, 4, 2. Їх можна представити у вигляді розгалуженого графа (гіллястого дерева) з зазначеною кількістю гілок, кожна з яких є одним з можливих варіантів реалізації сукупності h_{ij} , що розглядається (рис. 1). А загальна кількість комбінацій розташування S типів сонячних панелей на n виділених площадках буде дорівнювати S^n .

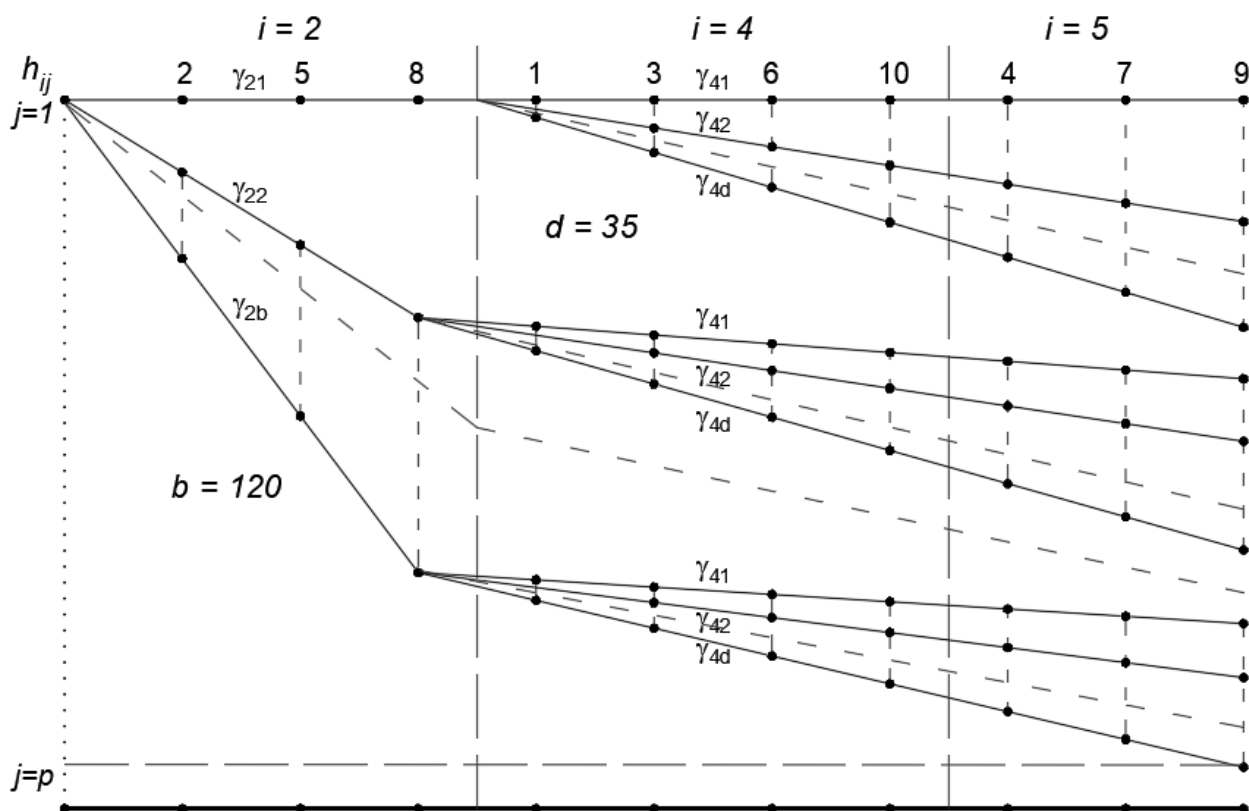


Рис. 1. Граф можливих варіантів установа сонячних панелей на виділених місцях промислових підприємств

Fig. 1. Graph of possible variants of solar panels installation on allocated areas of industrial enterprises

Тож перш ніж пропонувати конкретний алгоритм розглянутого перебору вибраних для можливого використання сонячних батарей і виділених місць для їх розташування на території промислових підприємств, необхідно чітко визначити поняття, що в ньому використовуватимуться, і їх позначення.

Отже, вони такі:

j – номер запропонованої комбінації з сонячних панелей, що отримується за допомогою алгоритму, наведеного на рис. 2 ($j = \overline{1, p}$);

i – порядковий номер типу панелі, яка запропонована до розгляду ($i = \overline{1, m}$);

β – порядковий номер типу панелі у комбінації j , що розглядається ($\beta = \overline{1, c_j}$);

c – загальна кількість використаних панелей у комбінації j ;

γ_j – порядковий номер можливої комбінації для i -ї панелі у j -му варіанті ($\gamma = \overline{1, d_i}$);

d_i – кількість комбінацій для i -ї панелі у j -му варіанті;

μ – порядковий номер виділеного місця для встановлення панелі ($\mu = \overline{1, n}$);

n – кількість можливих місць встановлення панелей на промисловому підприємстві;

α_i – порядковий номер місця розташування i -ї панелі на підприємстві ($\alpha = \overline{1, k_i}$);

$k_i = h_{ij}$ – кількість місць встановлення i -ї панелі у j -й комбінації;

$a_{i\alpha\gamma}$ – α -й номер місця встановлення i -ї панелі у комбінації γ ;

$b_{i\alpha\gamma\beta}$ – α -й умовний номер місця встановлення i -ї панелі в комбінації γ у разі, якщо її порядковий номер β не дорівнює одиниці.

Алгоритм за розглянутою послідовністю зазвичай реалізують на основі ітераційних підходів. Блок-схема такого алгоритму представлена на рис. 2.

Однак тепер це можна зробити й простіше завдяки використанню так званої рекурсивної функції. Бо ж вона якнайкраще підходить до роботи з такими структурами, як граф та дерево і дозволяє значно спростити реалізацію алгоритму.

Рекурсивна функція *generate (index)*, блок-схема якої представлена на рис. 3, формує всі можливі комбінації розміщення сонячних панелей певного типу на виділених для цього ділянках. Параметр *index* тут відповідає номеру останніх для встановлення таких перетворювачів.

У разі, якщо функція *generate (index)* викликається з параметром, значення якого більше, ніж кількість вільних місць для установки панелей, до матриці можливих комбінацій (*comb*) додається рядок, який відповідає повністю згенерованій поточній комбінації (*current_comb*). Після цього функція повертається, завершуючи рекурсію для цієї гілки.

Якщо поточний індекс лежить в допустимому діапазоні, тобто значення параметра *index* менше, ніж кількість вільних місць, функція входить в цикл (*for i = 1:c*) для перебору всіх можливих типів сонячних панелей (*c*), які можуть бути розміщені на поточному місці установки. В подальшому функція робить рекурсивний виклик самої себе з наступним індексом (*generate (index + 1)*).

Внаслідок роботи запропонованого алгоритму й реалізується вищезгадана деревоподібна структура (рис. 1). Очевидно, що для значної кількості виділених місць для розташування сонячних панелей візуалізація дерева рекурсії суттєво ускладниться. Тому для прикладу розглянемо варіант, коли на підприємстві наявні тільки три площадки $n = 3$ і використовуються два типи сонячних панелей $c = 2$ (рис. 4). Тут кожна вершина графа рекурсивної функції відповідає одному виклику *generate (index)*, а індекс кожної з них (1, 2, 3) – поточному місцю розташування сонячних панелей. Ребра, що з'єднують вершини, є рекурсивними викликами функції *generate (index)*. Числові мітки ребер (1 чи 2) збігаються з номерами типів використаних на поточному місці сонячних панелей.

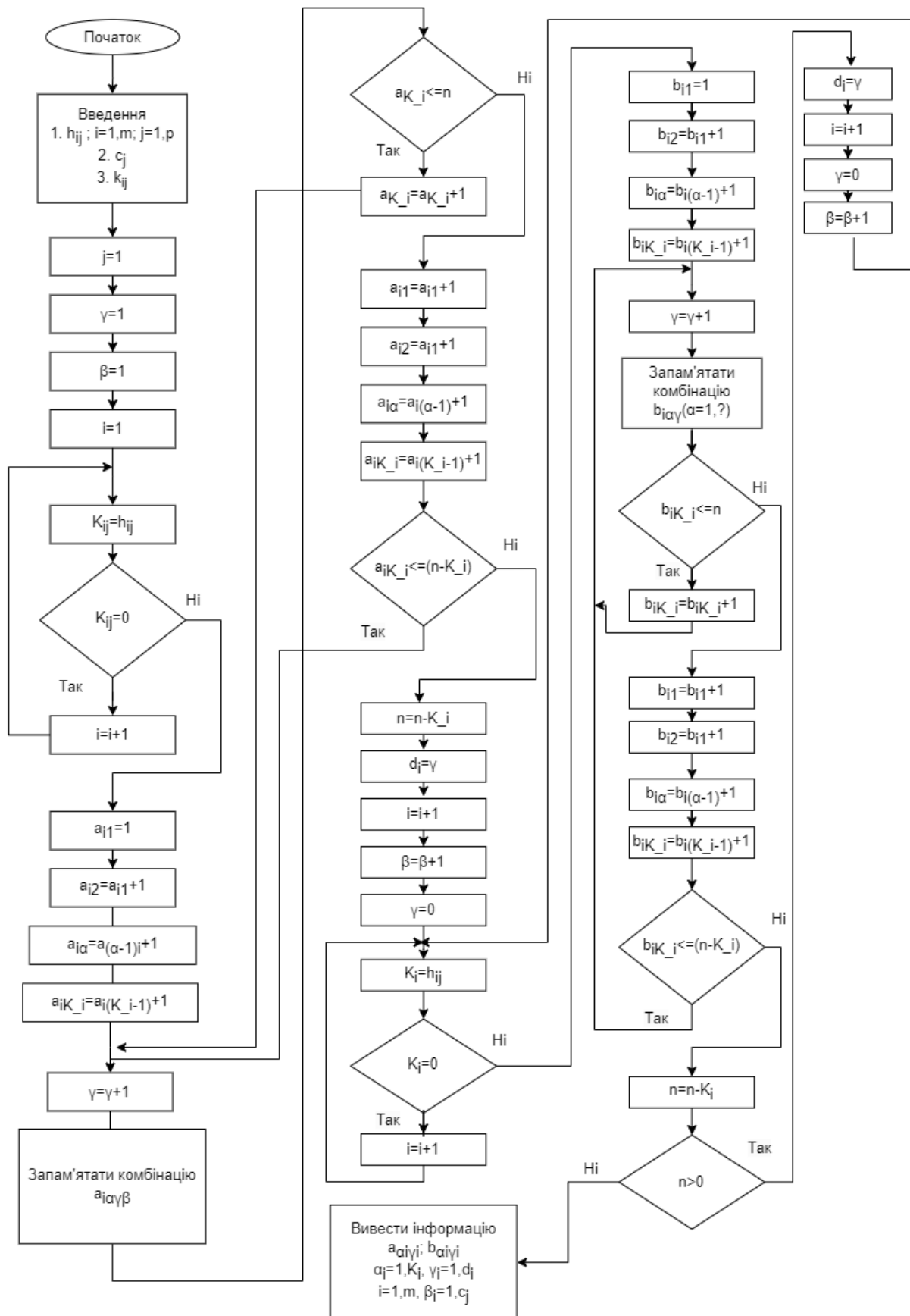


Рис. 2. Алгоритм визначення всіх можливих комбінацій з наявних геліоперетворювачів і виділених місць їх розташування

Fig. 2. Algorithm for determining all possible combinations of available solar converters and their selected locations

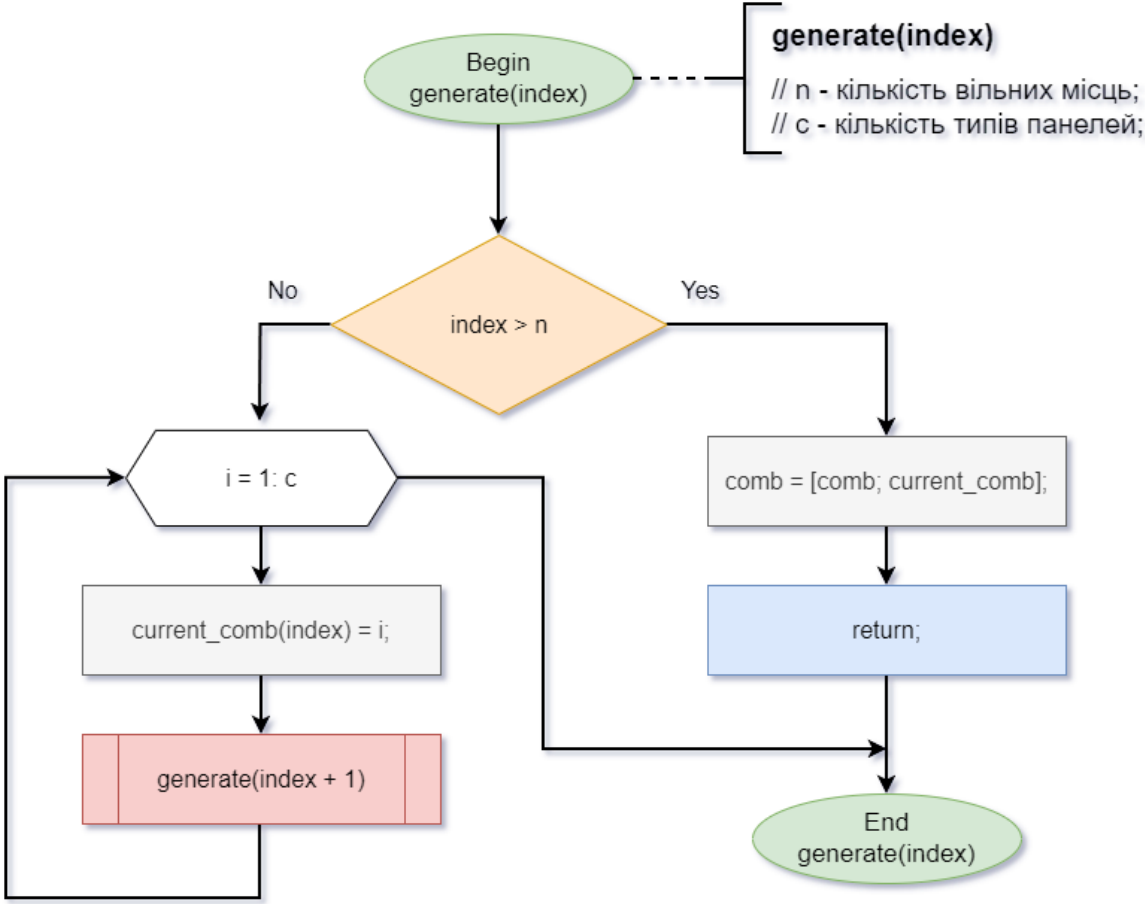


Рис. 3. Блок-схема рекурсивної функції `generate (index)`

Fig. 3. Block diagram of the recursive function `generate (index)`

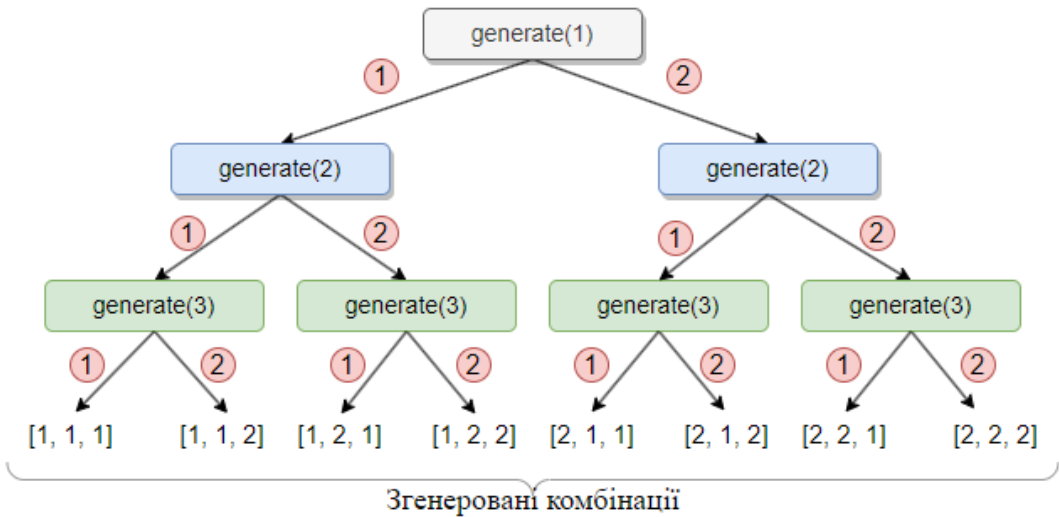


Рис. 4. Приклад роботи рекурсивної функції у вигляді графа

Fig. 4. An example of a recursive function in the form of a graph

Внаслідок роботи запропонованого алгоритму отримаємо таку матрицю сукупностей щодо типів панелей і місць їх розташування.

1	1	1
1	1	2
1	2	1
1	2	2
2	1	1
2	1	2
2	2	1
2	2	2

Подальша робота з цією матрицею всіх можливих комбінацій встановлення сонячних панелей на виділених місцях залежить від необхідності розв'язання конкретних проектних задач, якими можуть бути, наприклад, визначення максимального обсягу генерації електричної енергії, мінімальних коливань останньої і зменшення небажаних перетоків потужностей, які можуть виникати при використанні ВДЕ в мережах підприємств тощо. Як зазначено вище, площадки для встановлення сонячних панелей на території промислових підприємств відрізняються одна від одної площею, рівнем сонячної інсоляції, ступенем затінення тощо. Тому в разі використання отриманої матриці в подальших розрахунках враховуватимуться як конкретні особливості таких площадок, так і технічні характеристики сонячних панелей.

Висновки

1. Вибір оптимального варіанта розташування різних типів сонячних панелей на виділених для цього місцях (ділянках) на території промислових підприємств ускладнений тим, що панелі мають не тільки різну номінальну потужність та залежність генерації від сонячної радіації, а й різні геометричні розміри. Отже в кожному випадку кількість встановлених фотоперетворювачів на виділених для цього ділянках буде, звісно, різною.

2. Місця розташування сонячних панелей на промислових підприємствах зазвичай затінюються розташованими поруч будівлями чи виробничими спорудами, що значно впливає на загальні показники генерації СЕС. Тож зазначений ефект необхідно враховувати під час проектування останньої.

3. Основою оптимізаційної задачі щодо знаходження найкращого значення попередньо визначеного критерію ефективності СЕС, яка впроваджується на промисловому підприємстві, є масив всіх можливих комбінацій розташування вибраних для цього сонячних панелей на виділених місцях (ділянках). Він являє собою розгалужене дерево (граф) з великою кількістю гілок.

4. Реалізувати послідовність щодо визначення всіх можливих комбінацій розташування сонячних панелей на виділених для цього місцях, що зазвичай робиться на основі ітераційних підходів, краще шляхом використання так званої рекурсивної функції, що пристосована для роботи з такими структурами, як граф, чи дерево, і значно спрощує отримання результату.

5. Запропонований алгоритм визначення масиву всіх можливих комбінацій розташування геліоперетворювачів на виділених для цього місцях, реалізований на основі рекурсивної функції, дозволяє значно спростити процес проектування СЕС на промисловому підприємстві й реалізувати його на рівні оптимізаційної задачі.

ПОСИЛАННЯ

- Melius J., Margolis R., Ong S. Estimating Rooftop Suitability for PV: A Review of Methods, Patents, and Validation Techniques. United States, 2021. <https://doi.org/10.2172/1117057>.
- Mokhtara C., Negrou B., Settou N., Bouferrouk A., Yao Y. Optimal design of grid-connected rooftop PV systems: An overview and a new approach with application to educational buildings in arid climates. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 2021, vol. 47, 101468. doi:10.1016/j.seta.2021.101468.
- Handoko I., Zainal B., Susanto S. Study and Analysis of Shading Effects on Photovoltaic Application System. *MATEC Web of Conferences*, 2018, vol. 218, 02004. 10.1051/mateconf/201821802004.
- Umar R., Apriansyah M., Ginas A., Utomo A. R. Influence of shading to the output power of photovoltaic in Indonesia. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019, vol. 673, 012060. 10.1088/1757-899X/673/1/012060.
- Getu H., Fung A. S. Optimum Tilt Angle and Orientation of Photovoltaic Thermal System for Application in Greater Toronto Area, Canada. *Sustainability*, 2019, vol. 11(22), 6443. <https://doi.org/10.3390/su11226443>.
- Peng H. Y., Dai S. F., Liu, H. J. Wind loading characteristics and roof zoning of solar arrays mounted on flat-roofed tall buildings. *Journal of Building Engineering*, 2023, vol. 66. 105823. 10.1016/j.jobee.2023.105823.
- Wang J., Yang Q., Tamura Yu. Effects of building parameters on wind loads on flat-roof-mounted solar arrays.

Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2018, vol. 174, pp. 210–224.
<https://doi.org/10.1016/j.jweia.2017.12.023>.

8. Kachan Yu. G., Kuznetsov V. V., Shram O. A. Minimization of power fluctuations of wind power plants when constructed in exclusion zones of enterprises. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2023, no. 1, pp. 115–121. DOI: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-1/115>.

REFERENCES

1. Melius J., Margolis R., Ong S. Estimating Rooftop Suitability for PV: A Review of Methods, Patents, and Validation Techniques. United States, 2021. <https://doi.org/10.2172/1117057>.
2. Mokhtara C., Negrou B., Settou N., Bouferrouk A., Yao Y. Optimal design of grid-connected rooftop PV systems: An overview and a new approach with application to educational buildings in arid climates. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 2021, vol. 47, 101468. doi:10.1016/j.seta.2021.101468.
3. Handoko I., Zainal B., Susanto S. Study and Analysis of Shading Effects on Photovoltaic Application System. *MATEC Web of Conferences*, 2018, vol. 218, 02004. 10.1051/mateconf/201821802004.
4. Umar R., Apriansyah M., Ginanjar A., Utomo A. R. Influence of shading to the output power of photovoltaic in Indonesia. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019, vol. 673, 012060. 10.1088/1757-899X/673/1/012060.
5. Getu H., Fung A. S. Optimum Tilt Angle and Orientation of Photovoltaic Thermal System for Application in Greater Toronto Area, Canada. *Sustainability*, 2019, vol. 11(22), 6443. <https://doi.org/10.3390/su11226443>.
6. Peng H. Y., Dai S. F., Liu, H. J. Wind loading characteristics and roof zoning of solar arrays mounted on flat-roofed tall buildings. *Journal of Building Engineering*, 2023, vol. 66. 105823. 10.1016/j.jobbe.2023.105823.
7. Wang J., Yang Q., Tamura Yu. Effects of building parameters on wind loads on flat-roof-mounted solar arrays. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 2018, vol. 174, pp. 210–224. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2017.12.023>.
8. Kachan Yu. G., Kuznetsov V. V., Shram O. A. Minimization of power fluctuations of wind power plants when constructed in exclusion zones of enterprises. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2023, no. 1, pp. 115–121. DOI: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-1/115>.