

## ВРАХУВАННЯ ВЗАЄМНОГО ВПЛИВУ ВІТРОВИХ ПОТОКІВ ТУРБІН НА ГЕНЕРАЦІЮ ВІТРО-ЕЛЕКТРИЧНОЇ СТАНЦІЇ

Дьомін Д.А., студент, Гаєвський О.Ю., професор, д. ф.-м. н.  
НТУУ «КПІ», кафедра відновлюваних джерел енергії

**Вступ.** При розрахунку генерації вітроелектричної станції необхідно враховувати вплив ротора вітроустановок на вітровий потік. Зазвичай, якщо турбіна перебуває в зоні турбулентності, викликаній іншою турбіною, швидкість вітру в області ротора зменшується, що призводить до зниження генерації. В додаток до розгляду впливу вітрових турбін на інші, важливо також брати до уваги форму ландшафту, погодні та вітрові умови регіону, такі як швидкість та напрямок вітру.

**Мета роботи.** В даній роботі розглядається задача оптимізації розміщення башт вітроустановок на заданій ділянці.

**Матеріали і результати досліджень.** Існують різні схеми розміщення вітроустановок, серед яких найчастіше застосовуються лінійне розміщення в межах прямокутних ділянок [1], а також схеми з нерегулярним розміщенням [2]. В даній роботі розглянуто вітровий парк, який розташований на прямокутній, пласкій ділянці за схемою сітки та складається з однакових вітрогенераторів – рисунок 1. Дві суміжні турбіни розташовані на відстані  $a$  в одному напрямі та  $b$  – у іншому (очевидно, що мінімальні значення  $a$  та  $b$  мають бути більші за діаметр ротора турбіни).

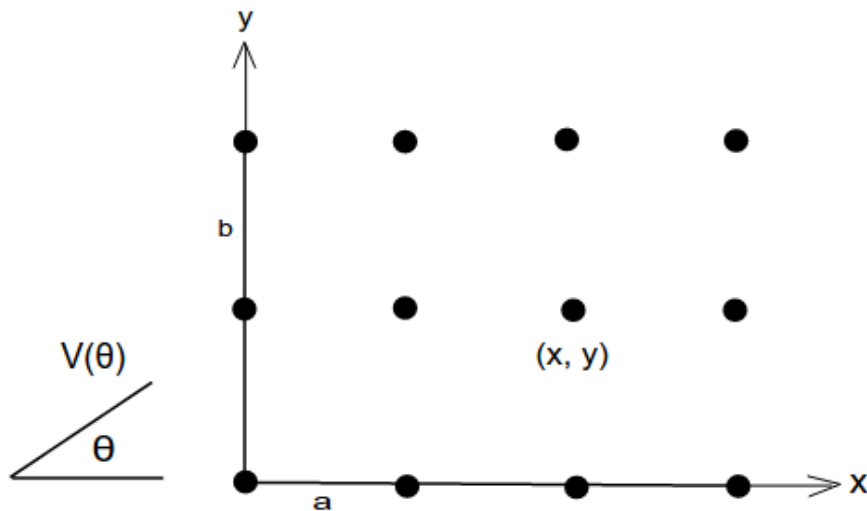


Рисунок 1 – Схема моделі вітрового парку

Коли вітер дме в напрямку  $\theta$  з номінальною швидкістю  $V(\theta)$ , ефективний вітер турбіни, що знаходиться в позиції  $x, y$  (враховуючи аеродинамічну взаємодію між турбінами, яка розглядається нижче) є  $V_{x,y}(\theta, a, b)$ , відповідно електрична потужність, що генерується турбіною в позиції  $x, y$  –  $P_{x,y}(\theta, a, b)$  [кВт]:

$$P_{x,y}(\theta, a, b) = 0.5 \rho V_{x,y}^3(\theta, a, b) A C_p N_m ,$$

де  $\rho$  – густина повітря [ $\text{кг}/\text{м}^3$ ],  $A$  – площа ротора [ $\text{м}^2$ ],  $C_p$  – коефіцієнт використання вітру,  $N_m$  – ефективність генератора вітроустановки.

У вітровому парку турбіна на позиції  $x, y$  може зазнавати або не зазнавати впливу іншої турбіни, розташованої перед нею (відносно напрямку вітру). Більше того, вплив може бути частковий або повний. Встановимо чотири випадки надходження вітру на турбіну в позиції  $x, y$ :

1. Турбіна в позиції  $x, y$  не зазнає впливу іншої турбіни;
2. Турбіна в позиції  $x, y$  повністю знаходиться під впливом іншої турбіни;
3. Турбіна в позиції  $x, y$  частково знаходиться під впливом іншої турбіни;
4. Турбіна в позиції  $x, y$  знаходиться під частковим впливом двох турбін.

На практиці поява останнього випадку достатньо маловірогідне явище, тому для спрощення розрахунку ми його не враховуватимемо. Тобто на кожен окремий вітряк може мати вплив його найближчий сусід відносно напрямку руху.

Перші три випадки враховуємо згідно роботи Найбора [5], в якій зазначається, що вітер у вітровому сліді  $V_{x,y}(\theta, a, b)$  пов'язаний з оточуючим вільним вітром  $V(\theta)$ , підвітряною відстанню  $d$  [м], радіусом ротора  $R$  [м] та кутом розповсюдження вітрового сліду (приблизно  $4.5^\circ$ ). Останній виражається постійним коефіцієнтом розповсюдження 0.078. Загальний вираз для швидкості вітру в точці розміщення вітряка виглядає наступним чином:

$$V_{x,y}(\theta, a, b) = V(\theta) \cdot \frac{A_{x,y}}{\pi \cdot R^2} \cdot \left( 1 - \left( 1 - \frac{V_{m,n}(\theta, a, b)}{3 \cdot V(\theta)} \right) \cdot \left( \frac{R}{R + 0.078 \cdot d} \right)^2 \right) + V(\theta) \cdot \left( \frac{\pi \cdot R^2 - A_{x,y}}{\pi \cdot R^2} \right)$$

де  $A_{x,y}$  – перетин площі ротора вітряка та перерізу конуса вітрового сліду спричиненого турбіною  $m, n$  [ $\text{м}^2$ ].

Наведемо приклад розрахунку потужності, що генерується невеликим вітровим парком з наступними параметрами:

- Кількість вітрових турбін: 4 шт;
- Швидкість вітру:  $V(\theta) = \text{const} = 15$  м/с;
- Напрямок вітру:  $\theta = 0^\circ \dots 90^\circ$ ;
- Радіус ротора вітряка: 20 м;
- Густина повітря:  $1.293$   $\text{кг}/\text{м}^3$ ;
- Відстань між вітряками:  $a = b = 200$  м;
- Коефіцієнт використання вітру: 0.4;
- Ефективність генератора вітроустановки: 1.

Розроблена нами модель мовою програмування Python дозволяє отримати результати у вигляді залежності  $P(\theta)$  – рисунок 2.

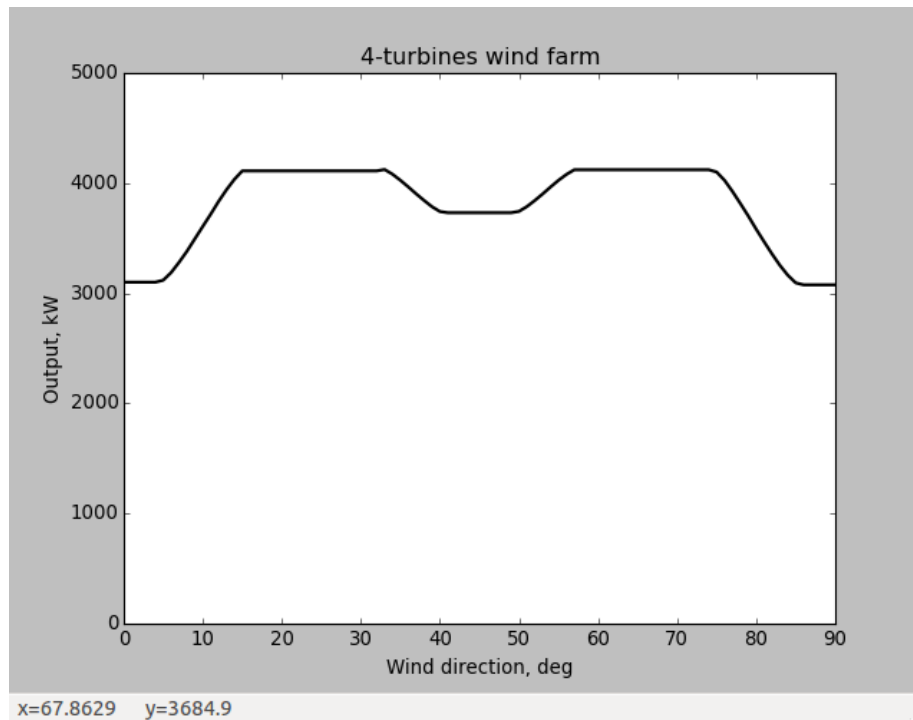


Рисунок 2 – Результат розрахунку потужності вітростанції

**Висновки.** Отримана картина відображає розподіл потужності вітроелектричної станції за напрямком вітру. Для схеми, що розглядається, присутні діапазони напрямків вітру, в яких можливо уникнути взаємного впливу вітрогенераторів, а саме  $[15^{\circ}; 30^{\circ}]$  та  $[60^{\circ}; 75^{\circ}]$ . Ці інтервали характеризуються максимальною потужністю. Наявність даних інтервалів впливає із схеми розміщення вітроустановок. Для більш складних вітрових ферм дане зображення матиме менш очевидну форму.

Запропонований підхід та створена програма дозволяють узагальнити розрахунки впливу вітрових потоків на генерацію вітроелектричної станції з великою кількістю вітрових турбін, отримати розподіл потужності відносно напрямку вітру та оптимізувати схему їх розміщення.

#### Перелік посилань

1. <http://www.offshorewindenergy.org>
2. Kusiak A., Song Z. Design of wind farm layout for maximum wind energy capture, Renewable Energy, 2009, v. 35 pp. 685–694
3. Carlos M. Ituarte-Villarreal and Jose F. Espiritu, Wind turbine placement in a wind farm using a viral based optimization algorithm, Proceedings of 41<sup>st</sup> International Conference on Computer & Industrial Engineering, Ель Пасо, 2009, pp. 672-677
4. Koby Attias, Shaul P. Ladany, Optimal Layout for Wind Turbine Farms, World Renewable Energy Congress 2011, Швеція, 2011, pp. 4153-4160
5. Nybore, Claus, The WindFarm-Planning Windphysics, The Danish Centre for Renewable Energy, Копенгаген, 1988, pp. 1-29.