

М.О. Медиковський, О.Б. Шуневич, Вища школа інформатики м. Лодзь,
Польща, Національний університет “Львівська політехніка”

ВИКОРИСТАННЯ ЦІЛОЧИСЕЛЬНОГО ПРОГРАМУВАННЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ СКЛАДУ ВІТРОВОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

В статті наведено результати дослідження способу визначення поточної потужності вітроагрегату з врахуванням сили вітру. Описано методику, за допомогою якої визначається ефективність кожної вітрової вітророустановки. Формалізована постановка задачі, розроблена математична модель, з використанням якої запропоновано метод, який шляхом динамічного програмування дає можливість визначити оптимальний склад вітрової електростанції.

Ключові слова: цілочисельне програмування, булеве програмування, багатокритеріальний вибір, модель вітрової електроустановки.

Вступ

Об'єм генерації електроенергії вітровою електроустановкою (ВЕУ) залежить від сили вітру і технічного стану даної ВЕУ [1]. Тому вітрова електростанція (ВЕС) працює за стохастичним графіком, а споживач вимагає забезпечення енергією за заданим графіком навантаження. Відповідно, потужність джерела повинна змінюватись за законом, що враховує як можливості генерації, так і вимоги споживачів.

З врахуванням енергетичного потенціалу вітру і технічного стану вітрових електроустановок в певний момент часу, структура вітрової електростанції характеризується множиною можливих станів ВЕУ. Тобто, в будь-який момент часу вітрова електростанція знаходиться в деякому стані, який визначається множиною параметрів стану [2]. Для виконання графіка навантаження слід визначити таку множину ВЕУ, яка б забезпечувала необхідну потужність і була “оптимальною” за використанням технічного потенціалу. Це завдання покладається на диспетчера, але, як правило, за браком часу цей вибір часто є суб'єктивним.

Метою даної роботи є розроблення алгоритму якомога точнішого визначення необхідної множини ввімкнених ВЕУ.

Параметри властивостей (значень стану) вітрової електроустановки

Поточне значення потужності вітрової електроустановки. Дані з давачів ВЕУ про силу вітру і поточну потужність ВЕУ мають зміщений характер, тобто потужність, що виробляється в певний момент часу, не відповідає швидкості вітру в цей же момент часу. Це пов'язано з інертними процесами вітроколеса. Щоб отримати вихідну потужність при відповідній силі вітру застосовують математичну модель ВЕУ.

Структурно схему ВЕУ можна подати наступним чином (рис. 1):



Рис. 1 Структурна схема ВЕУ

де $x(t)$ – швидкість вітру; F – передатна функція, що відображає вхід у вихід; P – конструктивний чи експлуатаційний параметр.

Для визначення потужності вітродвигуна на виході P використаємо наступну залежність [3]:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^3 \cdot F \cdot k \cdot \xi, \quad (1)$$

де ρ – густина повітря, при зовнішній температурі $t = +10^\circ\text{C}$ та нормальному атмосферному тиску $B = 101,3$ кПа $\rho = 1,25$ кг/м³; v – швидкість вітру, м/с; F – площа сліду обертання лопаток повітряного ротора, м²; k – коефіцієнт, який враховує втрати потужності під час перетворення механічної енергії ротора в електричну, $k \approx 0,9$ (також це розуміють як добуток коефіцієнтів η_e і η_p – коефіцієнти корисної дії генератора і редуктора); ξ – коефіцієнт використання енергії вітру, який залежить від профілю лопаток і інших параметрів режиму, найбільше значення якого рівне 0,593 (ідеальне), а середні 0,4-0,45 [3].

Ефективність вітрової електроустановки. Для узагальненого (інтегрального) оцінювання ВЕУ використано методологію [4], згідно з якою ефективність ВЕУ C_Σ визначається за допомогою адитивної функції наступного вигляду:

$$C_\Sigma = a_1 K_1 + a_2 K_2 + \dots + a_m K_m, \quad (2)$$

де K_i – значення часткового критерію; a_i – коефіцієнт важливості i – того критерію.

В результаті отримуємо множину m вітрових електроустановок вітрової електростанції, які характеризуються поточною потужністю і ефективністю:

Таблиця 1

Множина вітрових електроустановок вітрової електростанції

Вітрова електроустановка	BEU_1	BEU_2	...	BEU_m
Потужність ВЕУ	P_1	P_2	...	P_m
Ефективність ВЕУ	C_1	C_2	...	C_m

Тоді поставлена задача полягає у необхідності “набрати” задану графіком навантаження потужність з якомога більш ефективних вітрових електроустановок.

Аналіз існуючих методів розв’язання задачі

Загалом таку задачу формулюють так: із необмеженої множини вітрових електроустановок з властивостями “потужність” і “ефективність” (вартість) потрібно відібрати деяку кількість таким чином, щоб отримати максимальну сумарну ефективність (вартість) при одночасному дотриманні обмеження щодо сумарної потужності (графіка навантаження в певний момент часу).

Формалізуємо цю задачу в загальному вигляді: Дано m вітрових електроустановок, i – та ВЕУ має потужність $p_i > 0$ і ефективність $c_i > 0$. Необхідно вибрати з цих ВЕУ такий набір, щоб сумарна потужність не перевищувала задану величину P (значення графіка навантаження), а сумарна ефективність була максимальною. Іншими словами, потрібно визначити набір бінарних величин b_1, b_2, \dots, b_k такий, що

$$b_1 p_1 + b_2 p_2 + \dots + b_k p_k \leq P, \quad (3)$$

а $F = \sum_{i=1}^m b_i c_i \rightarrow \max$. Величини b_i вказуються для кожної ВЕУ і визначають чи її обрано. Ці бінарні величини формують двійковий вектор $B = (b_1, b_2, \dots, b_k)$, або, як його називають, вектором заповнення. Сумарну потужність і ефективність ВЕУ можна обчислити як функцію від вектора заповнення.

Дану задачу можна вирішувати за допомогою симплекс-методу, але оскільки останній метод в кінцевому випадку дає дійсні значення b_1, b_2, \dots, b_k , то складність розв’язку зростає, адже потрібно застосовувати додатково методологію нечітких множин.

Як варіант, пропонуємо застосувати методологію динамічного програмування.

Метод розв’язання задачі

Для визначення максимально можливої кількості ВЕУ одного типу скористаємось наступною залежністю:

$$x_{i \max} = \frac{P}{p_i}, \quad (4)$$

де p_i – потужність i – тої ВЕУ.

Процес обчислення розбивають на кількість етапів, які відповідають кількості вітрових електроустановок m . Згідно з принципом динамічного програмування розрахунки починаються із становища, для якого рішення уже відоме [5].

Етап 1. Полягає у поступовому набирання заданої потужності P лише

потужностями x_1 : у межах від $x_1 = 0$ до $x_1 = x_{1\max}$. На етапі 1 виконується всього одна таблиця.

Етап 2. Перша таблиця виконується при $x_2 = 0 = const$ поступовим додаванням потужностей x_1 (цілком повторюється етап 1). При цьому приймається зростаюче на одиницю значення $x_2 = 1 = const$, і знову те, що залишається для додавання заповнюється речами x_1 . Після набирання заданої потужності при $x_2 = 0, 1, \dots, \max$ виконується підсумкове набирання: для цього беруться найкращі дані з $x_2 = 0, 1, \dots, \max$.

Етап 3. Наступний етап починається із набирання потужності P при $x_3 = 0$ (тобто цілком повторюється підсумкове набирання етапу 2. Після цього приймається зростаюче на одиницю значення $x_3 = 1, 2, \dots, \max$, а те, що залишається, добирається потужностями $(x_1 + x_2)$. Після проходження всіх наборів обираються найкращі дані з цих таблиць.

Загалом розв'язок такої задачі базується на використанні попередньо отриманих результатів щодо поточних параметрів ВЕУ.

Висновки

Застосування розробленого методу забезпечує можливість підвищити економічну і технічну ефективності використання вітрових електроустановок. У результаті отримуємо: – одночасне зношування вітропарку; – покращуємо коефіцієнт використання енергії вітрового потоку; – досягаємо ефекту рівномірного зношування ВЕУ; – зменшуємо експлуатаційні затрати на ВЕС.

Отримані, з використанням розробленого методу, алгоритм застосування та практичні результати дають можливість застосувати його у вигляді системи підтримки прийняття рішень у диспетчерському пункті управління ВЕС.

1. *Лабеиш В. Г.* Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Учебное пособие / В. Г. Лабеиш. – Санкт-Петербург, 2003. – с. 25
2. *Веников В. А.* Оптимизация режимов электростанций и энергосистем: Учеб. для вузов / В. А. Веников, В. Г. Журавлев, Т. А. Филиппова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 352 с.
3. *Жоров В. І.* Розрахунок виробітку енергії та обґрунтування регулювальних якостей вітроелектричного зарядного агрегату / В. І. Жоров, С. В. Жоров, Д. В. Тимошук // Енергетика і автоматика: Нац. ун-т біорес. і природокор. України. – №1, 2009. – С. 10
4. *Медиковський М. О.* Багатокритеріальний метод оцінювання ефективності вітроенергетичної установки / М. О. Медиковський, О. Б. Шуневич // Вісник інженерної академії України. – Київ, 2010. с. 42-49.
5. *Кутковецький В. Я.* Дослідження операцій: Навчальний посібник / В. Я. Кутковецький. – Київ: Вид-во ТОВ “Видавничий дім Професіонал”, 2004. – 350 с.

Поступила 2.08.2010р.