

УДК 621.311.245 (045)

К. М. Сидоренко, канд. техн. наук,
П. С. Соченко, канд. техн. наук, доц.

АЛГОРИТМ КЕРУВАННЯ КУТОМ АТАКИ ЛОПАТІ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ

Інститут аерокосмічних систем управління НАУ, e-mail: sknss@mail.ru

Виконано аналіз способів підвищення ефективності керування вітроенергетичними установками та розроблено алгоритм керування кутом атаки лопаті вітроенергетичної установки. Наведено блок-схему, алгоритм роботи такої системи керування вітроенергетичною установкою, який дає змогу значно підвищити її вихідні енергетичні характеристики.

Ключові слова: вітроенергетична установка, система керування, кут атаки, керування, лопать.

Вступ. Використання нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії – один з найперспективніших шляхів вирішення зростаючих проблем енергозабезпечення. Істотна перевага таких видів енергії – це невичерпна ресурсна база та екологічна чистота.

Досить стрімко розвивається в Україні вітроенергетика. Вона базується в основному на застосуванні вітроенергетичних установок (ВЕУ) двох основних видів – горизонтально-осьових (пропелерних з горизонтальною віссю обертання) і вертикально-осьових (ортогональних з вертикальною віссю обертання). Ротори з вертикальною віссю виконуються, як правило, у вигляді вертикально розташованих лопатей або за принципом ротора «Дар'є».

Аналіз і постановка завдання. Оптимальна характеристика потужності роторів з піднімальною силою являє собою криву, яка проходить по вершинах характеристик потужності ротора за різних значень робочих швидкостей вітру. Це означає, що для максимального відбору енергії вітрового потоку кожному значенню швидкості вітру має відповідати певна швидкість обертання ротора, тобто ВЕУ повинна працювати зі змінною швидкістю обертання. Типову характеристику потужності вітродвигуна для ВЕУ з горизонтальною віссю обертання зображено на рис. 1 [1]. Тому основним завданням системи регулювання вітроустановки є забезпечення швидкості обертання ротора за заданим алгоритмом у всьому робочому діапазоні вітрів: від пускової швидкості до максимальної робочої швидкості вітру, що буде забезпечувати максимальну вихідну потужність ВЕУ. Система регулювання вітроустановки істотно впливає на її продуктивність і являє собою зазвичай складний, адаптивний електрично-електронно-механічний пристрій.

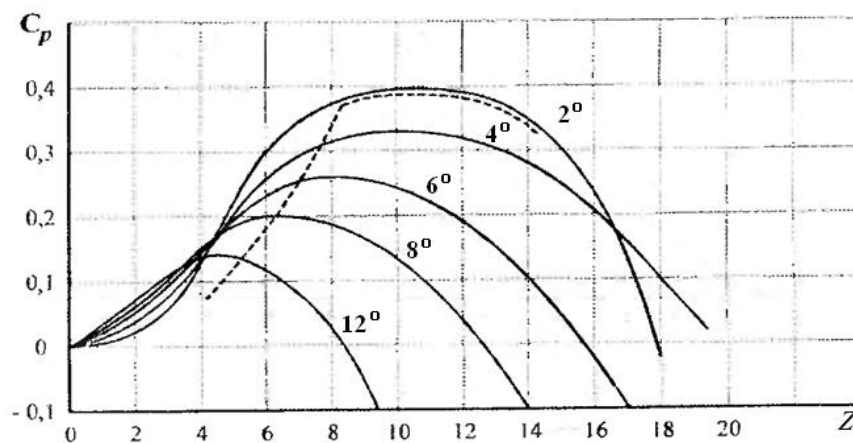


Рис. 1. Характеристика коефіцієнта потужності ВЕУ

Аналіз систем регулювання горизонтально-осьових ВЕУ показав, що натеper застосовують три основні принципи регулювання швидкості обертання ротора. Перший принцип ґрунтується на використанні ефекту зміни піднімальної сили на нерухомих лопатях зі спеціальним аеродинамічним профілем в разі зміни швидкості обертання ротора – зрив потоку з лопатей; другий принцип – на зміні потужності ротора при зміні площі вітру, яку він обмахує; третій принцип – на зміні піднімальної сили на лопатях у разі зміни їх кута атаки відносно вітрового потоку.

Цей принцип регулювання вважається досить ефективним для всіх типів ВЕУ. Але основною проблемою застосування таких систем є алгоритмічне забезпечення апаратної частини електромеханічних складових системи керування енергетичними параметрами ВЕУ. Логіка керування кутом атаки лопаті ВЕУ дозволяє змінювати кут, під яким повітряний потік набігає на лопаті, і таким чином змінювати характеристики потужності вітроколеса, що значно поліпшує роботу ВЕУ і можливості передачі електроенергії в мережу та розширює її робочий діапазон.

Способи підвищення ефективності керування ВЕУ. Для зменшення аеродинамічних і електромеханічних навантажень на силові елементи конструкції та підвищення вихідних енергетичних параметрів ВЕУ в процесі експлуатації використовують такі способи керування генерованою потужністю:

- флюгерний – ґрунтується на зміні значення кута повороту лопатей в бік збільшення з підвищенням швидкості вітру;

- антифлюгерний – кут повороту лопатей спочатку збільшують, а потім зменшують; одне й те саме значення кута необхідно встановлювати в процесі керування для двох різних значень швидкості вітру, що ускладнює реалізацію алгоритмів керування, особливо за наявності поривів вітру;

- автостабілізації добувної потужності для певних фіксованих значень кута – з підвищенням швидкості вітру потужність ротора спочатку збільшується, а потім починає зменшуватися;

- керованої автостабілізації – підтримання визначеного рівня потужності за великих швидкостей вітру шляхом повороту всієї площини ВЕУ на малий кут.

Одним зі способів поліпшення регулювання є контроль вимірювання швидкості повітря за вітроколесом. Це дає змогу на 5 ... 10 % збільшити виробництво електроенергії і зменшити похибку стабілізації частоти струму. Аналіз характеру зміни напрямку потоку за площиною обертання лопатей дає можливість активно керувати орієнтацією вітроколеса на вітер і таким чином збільшити видобуток електроенергії вітроагрегатів на 20 % за рахунок зменшення кута розбіжності між напрямком вітру і віссю.

Вимірювати швидкість вітру можна двома способами:

- 1) порівнянням частоти обертання лопатей і вмонтованого кварцевого генератора базової частоти з подальшою передачею команди на орган керування (електричний чи гідравлічний) для зміни кута атаки лопатей пропорційно виміряній розбіжності частот. Робочим органом, який вимірює швидкість вітру, є ротор вітротурбіни. Перевагою такої конструкції є відсутність спеціального приладу для вимірювання швидкості вітру.

- 2) керуванням кутовим положенням лопатей на основі вимірювача швидкості вітру, тобто з кожною мінімальною зміною швидкості вітру ставиться у відповідність мінімальна зміна кута атаки лопаті (мінімум функціонала керування); робочим органом, який вимірює швидкість вітру, є анемометр. За такої конструкції швидкість вітру вимірюється більш точно. Анемометр встановлюють на деякій відстані перед вітроколесом (чи за ним), завдяки чому можна передбачити швидкість вітру, а отже, підвищити ефективність керування.

Недоліки керування проявляються в запізненні встановлення необхідного кута атаки лопаті і характеризуються такими процесами: керування вітротурбіною після вимірювання частоти обертання ротора генератора; наявність сталої часу перехідного процесу; швидка зміна швидкості вітру як зовнішнього збурювального впливу.

Унаслідок цих недоліків погіршується якість електроенергії (імпульсні флуктуації напруги); передчасно зношуються деталі (перерегулювання кута повороту лопатей); не економна витрата електроенергії.

Для усунення цих недоліків вживають таких заходів:

- передбачають швидкість вітру за допомогою датчиків швидкості, установлених на деякій відстані перед вітроколесом;
- збільшують масу вітроколеса для згладжування вихідної потужності струму;
- будують більш досконалі системи керування із застосуванням новітніх мікроконтролерів та датчиків, що знижують час оброблення даних;
- застосовують методи автоматичного керування, що ґрунтуються на керуванні навантаженням ротора електрогенератора.

Алгоритм керування кутом атаки лопаті ВЕУ. Передбачається, що цей алгоритм буде застосований для написання програми для мікроконтролера (МК), який буде складовою частиною блока керування кутом атаки ВЕУ. Інновація блока полягає в тому, що заздалегідь не визначається алгоритм керування певною ВЕУ. Мікроконтролер навчається в процесі роботи. Це дозволяє встановити цей блок на будь-яку ВЕУ. Якість керування буде високою незалежно від розмірів, потужності й особливостей конструкції ВЕУ.

Алгоритм роботи МК можна умовно поділити на три етапи: навчання (збирання та підготовка даних), формування закону регулювання (визначення закону керування) і керування (керування кутом атаки лопаті). Опис алгоритму, що реалізовує ці етапи, показано на рис. 2.



Рис. 2. Алгоритм керування кутом атаки лопаті ВЕУ

У будь-який час роботи програми на один із входів МК може подаватися сигнал переривання, після надходження якого старий закон регулювання (якщо він є) стирається, а МК починає знову навчатися. Це зроблено з таким розрахунком, щоб блок керування міг бути перенесений з однієї ВЕУ на іншу, або змінено розташування ВЕУ (внаслідок чого може змінитися характер вітрового кадастру).

На кожному етапі навчання всі дані записуються в постійну пам'ять, що захищає інформацію від збоїв електроживлення. Після відновлення живлення МК продовжить навчання з того місця, у якому стався збій. Те ж саме стосується і етапу формування закону регулювання.

Принцип навчання МК полягає в тому, що він аналізує швидкість вітру та підбирає такий кут атаки лопаті ВЕУ, за якого швидкість обертання вітроколеса, його стабільність і потужність відповідно були максимальними. Блок-схеми підпрограм (збирання та підготовка даних, визначення закону керування, керування кутом атаки лопаті) алгоритму керування кутом атаки лопаті ВЕУ зображено на рис. 3, 4, 5.

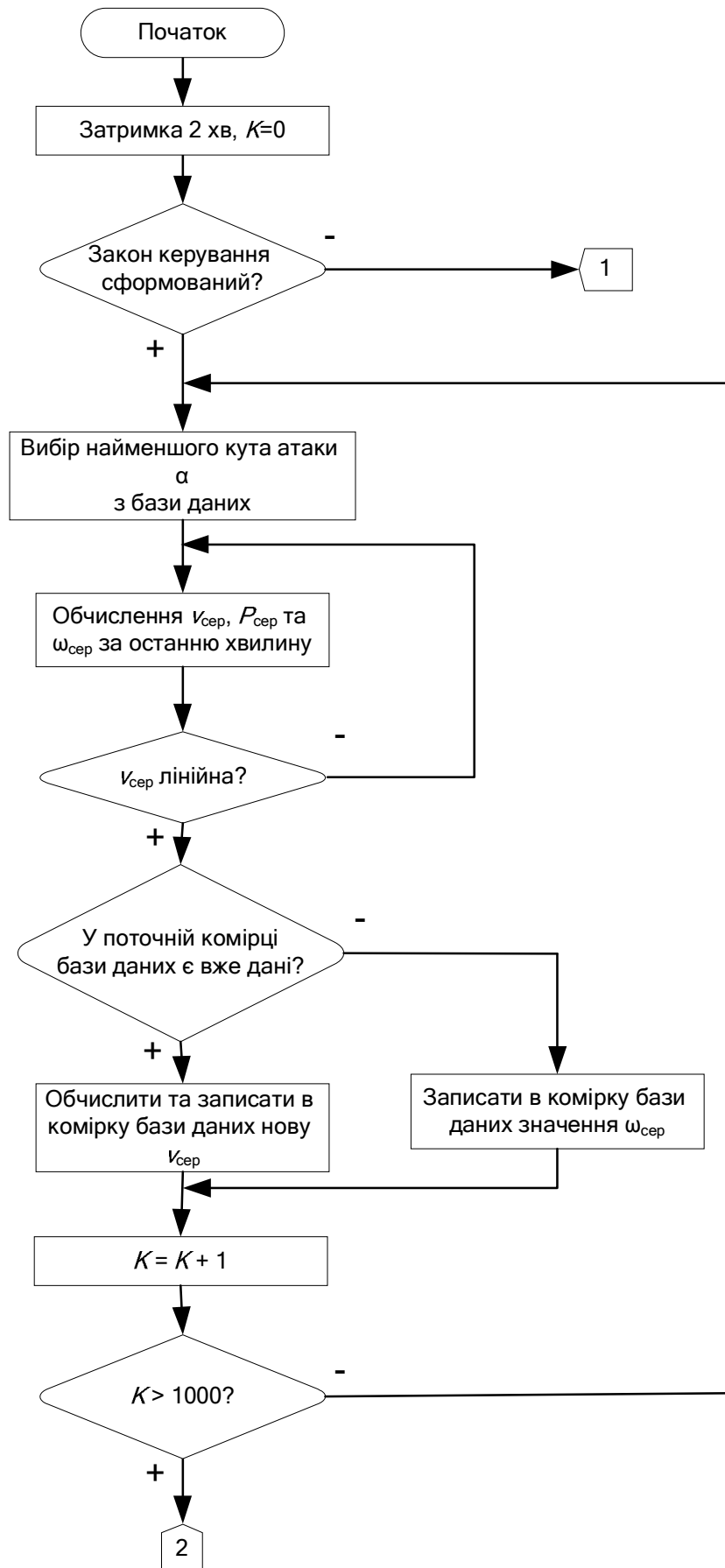


Рис. 3. Блок-схема підпрограми збирання та підготовки даних

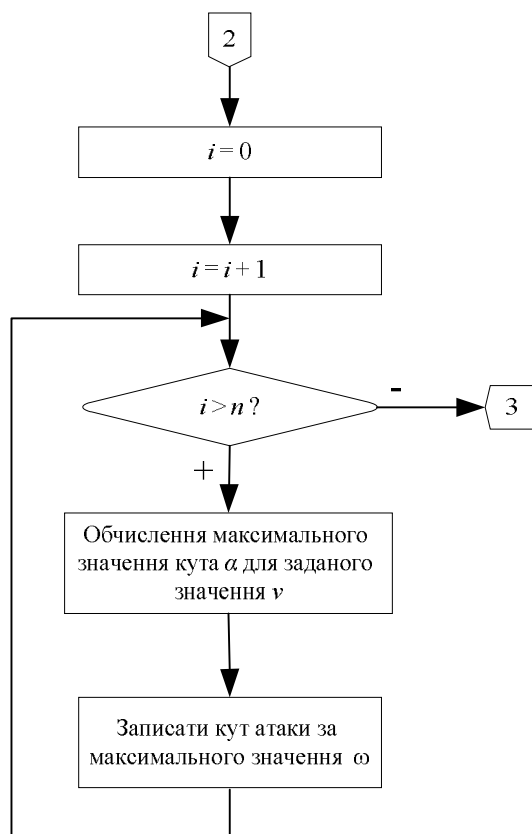


Рис. 4. Блок-схема підпрограми визначення закону керування

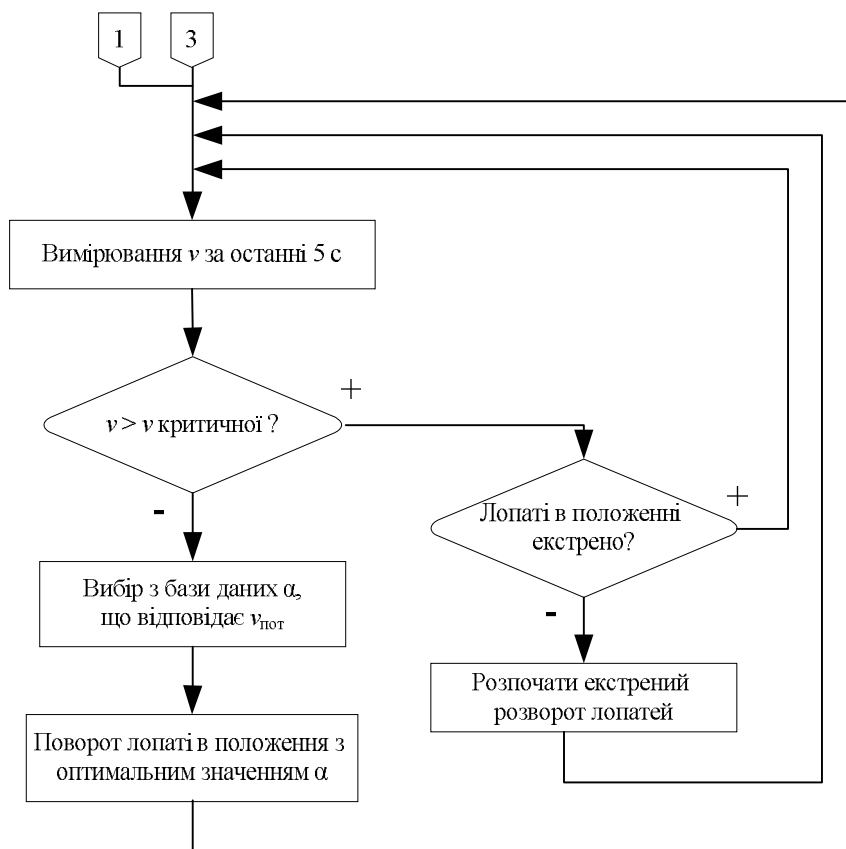


Рис. 5. Блок-схема підпрограми керування кутом атаки лопаті ВЕУ

Наведений алгоритм також передбачає захист ВЕУ від надмірних швидкостей вітру. У разі перевищення граничнодопустимої швидкості обертання вітроколеса МК починає екстрений розворот лопатей вздовж вітру. Таким чином, зменшується піднімальна сила лопатей і знижується швидкість обертання. Це захищає конструкцію ВЕУ від руйнування.

Висновки. Основною перевагою способу керування кутом атаки лопаті ВЕУ дає змогу істотно підвищити вихідні енергетичні характеристики ВЕУ та ефективність перетворення вітрової енергії в електричну і відповідно збільшити загальний показник енергоефективності ВЕУ. Тому використання алгоритму керування дозволить розширити діапазон робочих вітрів для різних вітроагрегатів, унаслідок чого вони будуть працювати більш тривалий час і видобуватимуть більшу кількість електроенергії.

Список літератури

1. *Кривцов В. С.* Неисчерпаемая энергия: учеб. Кн. 2. Ветроэнергетика / В. С. Кривцов, А. М. Олейников, А. И. Яковлев: – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьковский авиационный институт». – Севастополь: Севаст. нац. техн. ун-т, 2004. – 519 с.
2. *Сидоренко К. М.* Перспективи концентрації вітру для видобутку електроенергії / Є. П. Борсук, К. М. Сидоренко // Енергетика та електрифікація. – 2007. – № 3. – С. 66–69.
3. *Сидоренко К. М.* Відновлювані джерела енергії: монографія / К. М. Сидоренко, П. С. Соченко. – К.: НАУ, 2011. – 232 с.
4. *Пат. 45474 Україна, МПК G05B 17/00.* Спосіб оперативного управління комбінованою системою використання енергії малопотужних вітрів та сонячного випромінювання / В. М. Синеглазов, О. А. Зеленков, П. С. Соченко та ін. заявник і патентовласник Нац. авіац. ун-т. – № u 200905973 ; заявл. 10.06.2009 ; опубл. 10.11.2009, Бюл. № 21.

К. Н. Сидоренко, П. С. Соченко

Алгоритм управления углом атаки лопасти ветроэнергетических установок

Проведен анализ способов повышения эффективности управления ветроэнергетическими установками и разработан алгоритм управления углом атаки лопасти ветроэнергетических установок. Приведена блок-схема, алгоритм работы такой системы управления ветроэнергетической установкой, который позволяет значительно улучшить ее выходные энергетические характеристики.

К. М. Sydorenko, P. S. Sochenko

The control algorithm of the blade angle of attack for a wind power plant

The analysis of existing ways to improve management efficiency of wind turbines and the control algorithm developed by the blade angle of attack of wind turbines. Shows a block diagram of an algorithm for wind turbine control system, which allows you to significantly improve its output power characteristics.