

10.31653/smf47.2023.172-178

Сандлер А. К., Опришко М. О.

Національний університет «Одеська морська академія»

ВДОСКОНАЛЕННЯ ЛОПАТЕВОГО АПАРАТУ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

Постановка проблеми в загальному вигляді. Стійка світова тенденція безперервного подорожчання видобутку й транспортування паливно-енергетичних ресурсів викликає інтенсивне зростання генеруючих потужностей з використанням альтернативних джерел енергії, що поновлюються. Безумовним лідером серед яких є вітроенергетика.

Аналіз розвитку вітроенергетичних установок (ВЕУ) дозволяє припустити, що до 2025 року частка вироблюваної вітрової енергії перевищить 15% від вироблюваної електроенергії, що становить половину від загального прогнозу використання альтернативних джерел.

Україна в 2020 р. мала порядку 100 МВт установленої потужності й перебувала на 30 місці у світі з виробництвом електроенергії за допомогою ВЕУ (менш 1%). Розвиток вітчизняних ВЕУ істотно відстає від світових тенденцій.

Існуюча в Україні "Комплексна програма будівництва вітрових електростанцій" передбачає проектування й технічну реалізацію нових ВЕУ. Але, у зв'язку з недостатнім фінансуванням, Україна суттєво відстає від закордонних країн у частині імплементації в енергетичну систему нових ВЕУ потужністю 1000 і більш кВт.

Проведений аналіз сучасного стану вітроенергетики дозволяє визначити її пріоритетні напрямки розвитку, а саме:

- удосконалювання традиційної класичної схеми ВЕУ;
- впровадження безмультиплікаторної схеми ВЕУ.

У зв'язку з вищевикладеним, завдання раціональної побудови схеми перетворення вітрової енергії в електричну, а також підвищення потужності в одиниці з метою підвищення ефективності роботи ВЕУ з аеродинамічною мультиплікацією з використанням досягнень силової електроніки, створення нового встаткування, є актуальним науково-технічним завданням і має важливе наукове й практичне значення [1-3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Найважливіше значення для надійності, довговічності та ефективності ВЕУ мають значення величин граничних швидкостей вітру в зоні. Вони визначають прийняті розрахункові нормативи при проектуванні елементів установки на міцність, параметри автоматичних систем управління, аеродинамічні характеристики лопатей. Суттєвою характеристикою є вертикальний профіль вітрового потоку, тобто градієнт його швидкості по висоті в приземному шарі. Вплив поверхні на швидкість і напрям вітру зменшується в міру збільшення висоти. В наслідок чого швидкість вітрового потоку зростає, а поривчастість і прискорення зменшуються. Градієнт швидкостей має сезонний розподіл, який залежить від вертикального перепаду температури.

Відомі узагальнюючі формули для визначення швидкості вітру за вертикальною координатою. З них найбільш проста залежність для висоти від 5 м і вище має такий вигляд

$$v = v_{\text{ЛА}} \left(\frac{h}{h_{\text{ЛА}}} \right)^k,$$

де $v_{\text{ЛА}}$ – швидкість вітру на висоті розташування осі лопатевого апарату;

$h_{\text{ЛА}}$ – висота розташування осі лопатевого апарату;

v – швидкість, обумовлена для висоти h ;

k – степеневий показник.

Проблема полягає у виборі значень показника k , значення якого коливається у діапазоні 0,143 ... 0,26. Але відомо, що при вимірах на різних висотах значення k досягають 0,34.

Ріст одиничної потужності ВЕУ й, як наслідок, ріст висоти осі лопатевого апарату вимагають певної точності у визначенні завданні показника k , тому що некоректне значення k може привести до значної погрішності у визначенні середньорічної продуктивності ВЕУ.

Так, для $V_0=6,0$ м/с на висоті $h_0 = 10$ м при перерахуванні на висоту 50 м і використанні значень $k = 0,12$ або $k = 0,167$ у підсумку одержимо значення виробітку, що відрізняються на ~25% [4].

Таким чином доведено що, лопаті, які перебувають у різних шарах вітрового потоку та на різній відстані від поверхні, будуть випробувати різний силовий вплив. В наслідок чого, у роторної системі ВЕУ будуть відбуватися певні дисбаланси явища, які негативним чином вплинуть на роботоспроможність та довговічність установки.

Постановка завдання. Мета дослідження – вдосконалення лопатевого апарату вітрогенераторної установки, яка забезпечить регулювання вітрового навантаження на кожну лопать в залежності від її положення відносно вітрового шару, та у якому одночасно збережені надійність та простота схемотехнічних рішень апаратів відомих типів.

Викладення матеріалу дослідження. Відомий лопатевий апарат вітрогенераторної установки, що складається з маточини, в якій змонтовано нерухомі лопаті [5].

Суттєвим недоліком такого апарату є неможливість адекватно відстежувати та реагувати на зміну вітрового навантаження та нерівномірність навантаження на кореневу частину лопатей що знаходяться у різних шарах вітрового потоку. Як наслідок складність регулювання процесу генерації електроенергії та підвищене зношування механічної системи вітрогенераторної установки.

Найбільш близьким за технічною сутністю та результатом, що досягається, до винаходу, що пропонується є лопатевий апарат вітрогенераторної установки, що складається з маточини, в якій змонтовано механізм зміну кута атаки лопаті, і лопатей [6].

Основними недоліками застосування тільки механізму зміну кута атаки лопаті є:

- однаковий та одночасний вплив на кут атаки всіх лопатей, що унеможливує врахування вітрового навантаження у кожного вітровому шарі;
- неможливість індивідуального корегування кута атаки кожної лопаті, бо це веде до ускладнювання механізму та зміни дискового співвідношення маточини та лопатей.

Поставлена задача вдосконалення лопатевого апарату вирішується тим, що лопатевий апарат ВЕУ, що складається з маточини, в якій змонтовано механізм зміну кута атаки лопаті, і лопатей, та який відрізняється тим, що кожна лопать має закрилок, який приводиться до дії п'єзоелектричним приводом, та азимутальний датчик вітру, що зв'язані з центральним процесором установки.

Суть запропонованого технічного рішення пояснюється кресленням (рис.1), де приведено структурну схему запропонованого піропатрону. У маточині 1 міститься механізм зміну кута атаки лопаті 2, до якого прикріплені лопаті 3. На кожній лопаті на рухомому з'єднанні змонтовано закрилок 4, який має аеродинамічний профіль. Кожен закрилок має п'єзоелектричний привід 5, який змінює його просторове розташування відносно профілю лопаті. Кожна лопать також

обладнана азимутальним датчиком вітру 6, який має волоконно-оптичне виконання [7-12]. Сигнали від азимутального датчику вітру кожної лопаті надходять до центрального процесора установки 7, де опрацьовуються та перетворюються на керуючий сигнал для п'єзоелектричного привіду закрилки.

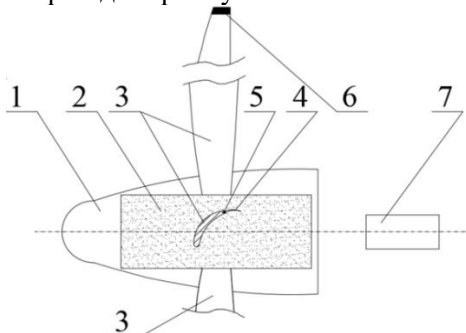


Рис. 1. Лопатевий апарат вітрогенераторної установки: 1 – маточина; 2 – механізм зміну кута атаки лопаті; 3 – лопать; 4 – закрилок; 5 – п'єзоелектричний привід закрилки; 6 – азимутальний датчик вітру; 7 – центральний процесор установки

У динамічному режимі робота закрилків полягає в тому, що при їхньому випуску збільшується кривизна профілю і площа поверхні лопаті, отже, збільшується й несуча здатність лопаті. Несуча здатність лопаті, що збільшилася, дозволяє сприймати вітрове зусилля в слабких вітрових шарах. Таким чином, використання закрилків дозволяє вибрати для кожної лопаті сумарну оптимальну величину профілю. Це дозволить вирівняти навантаження на кожен лопать, залежно від вітрового навантаження в кожному вітровому шарі й уникнути деструктивних деформацій у маточині та механізмі зміни кута атаки.

У статичному режимі п'єзоелектричні приводи максимально притискають закрилки до поверхні лопаті, яку механізм зміни кута атаки переводить у флюгерне положення.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Запропоноване схематехнічне рішення лопатевого апарату ВЕУ завдяки застосуванню керованих закрилків лопатей забезпечить технічний ефект, який полягає у:

- можливості роботи при змінній частоті обертання ротора з максимальним к.к.д. без перетворювача частоти електричної енергії;

- застосуванні синхронного індукторного генератора з частотою обертання ротора 20 с^{-1} , замість традиційно застосовуваних асинхронних генераторів з частотою обертання $16 \dots 25 \text{ с}^{-1}$;
- суттєвому зменшенні навантаження на кореневу частину всіх лопатей і маточину від крутного моменту, який дорівнює тиску аеродинамічних сил у кожному вітровому шарі;
- стабільності параметрів генеруючої електроенергії в умовах поривчастого вітрового потоку завдяки більш високому моменту інерції ротора і плавному регулюванню частоти обертів основного ротора;
- генеруванні електроенергії у робочому діапазоні швидкостей вітру $3,5 \dots 65 \text{ м/с}$;
- можливості сталої паралельної роботи як з промисловою мережею, так і з дизель-генераторною електростанцією.

Перелік використаних джерел

1. Немудрий І. Ю. Підвищення ефективності електромеханічної системи вітроелектричних установок з аеродинамічною мультиплікацією: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.09.03 / Державний ВНЗ "Національний гірничий університет". – Дніпропетровськ, 2015. – 22 с.
2. Тенденции развития ветроэнергетики и безмультипликаторные ветровые установки / Н. С. Голубенко, С. М. Довгалюк, А. М. Фельдман, В. А. Цыганов // Материалы IV международной конференции "Нетрадиционная энергетика XXI века". – Гурзуф, 2003. – С. 68-74.
3. Любас Д. Ветроэнергетика Украины: потенциал и перспективы развития. URL: electrician.com.ua/posts/1280.
4. Голубенко Н. С., Довгалюк С. И, Фельдман А. М., Худик В. Б. О зависимости скорости ветра от высоты с учетом рельефа местности. URL: <https://electroavtosam.com.ua/forums/download/file.php?id=1450>.
5. Власов В. К. Ветроэнергетические установки. – К.: Инфра-Инженерия, 2012. – 316 с.
6. Основи вітроенергетики / Г. Півняк, Ф. Шкрабець, Нойбергер, Д. Ципленков. – Дніпро: Національний гірничий університет, 2015. – 335 с.
7. Заїчко С. І., Сандлер А. К., Цюпко Ю. М. Схемотехнічне рішення азимутального датчику вітру // Судовождение. – 2015. – Вып. 26. – Одеса: НУ "ОМА". – С. 93-98.

8. Сандлер А. К. Чувствительный элемент волоконно-оптического акселерометра на основе сапфирового стекла // IX міжнародна науково-методична конференція "Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика", 05-06 листопада 2019 р.: матеріали конференції. – Одеса: НУ "ОМА". – 2019. – С. 27-33. [dx.doi.org/10.31653/2706-7874](https://doi.org/10.31653/2706-7874).

9. Сандлер А. К. Метод підвищення ефективності діагностування технічного стану суднових газотурбінних установок на основі волоконно-оптичних технологій: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.20 / Київський університет інфраструктури та технологій. – К., 2021. – 20 с.

10. Сандлер А. К., Логишев И. В., Сандлер А. А. Инвариантный волоконный акселерометр // Энергетика судна: експлуатація та ремонт: матеріали науково-технічної конференції. – Одеса: ОНМА. – 2011. – С. 277-279.

11. Опришко М. О., Карпілов О. Ю., Сандлер А. К. Застосування новітніх матеріалів для створення елементів комбінованих електроенергетичних установок з вітродушем // XII міжнародна науково-методична конференція "Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика", 21.11.2022 - 23.11.2022 р.: матеріали конференції. – Одеса: НУ "ОМА". – 2022. – С.169-173. DOI:10.31653/2706-7874.SEEEE-2022.11.1-203.

12. Сандлер А. К., Опришко М. О. Волоконно-оптичний датчик моніторингу стану гідротехнічних споруд // Технології, інструменти та стратегії реалізації наукових досліджень: матеріали V Міжнародної наукової конференції, м. Київ, 24 лютого, 2023 р. / Міжнародний центр наукових досліджень. – Вінниця: Європейська наукова платформа, 2023. – С. 166-171. DOI: 10.36074/mcnd-24.02.2023.