

УДК 620.92

## **ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНІ УСТАНОВКИ ЯК АЛЬТЕРНАТИВА ЕНЕРГОЗАОЩАДЖУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ**

*А.В. Скрипник, доктор економічних наук  
О.В. Сабіщенко, студент*

*Національний університет біоресурсів і природокористування України  
С.Л. Корецький, кандидат економічних наук  
Київський національний університет технології та дизайну*

*У статті розглянуто актуальне на сьогодні питання пошуку і освоєння альтернативних нетрадиційних джерел енергії, до яких, зокрема, належить вітроенергетика. Метою дослідження є аналіз основних факторів, які впливають на вітроенергетичні установки та сприяють їх ефективності і надійності, оскільки розвиток альтернативних джерел енергії є важливим фактором підвищення рівня енергетичної безпеки, зниження використання імпортованих паливних ресурсів, розвитку промисловості та сільського господарства.*

***Вітроенергетична установка, динаміка потужності, енергія, сила вітру, вітрове колесо.***

Сьогодні у світі йдуть пошуки оптимальних варіантів енергозабезпечення. Передумовою вибору є нагальна необхідність зменшення споживання імпортованих енергоресурсів, у першу чергу – природного газу.

За показником енергоємності ВВП України в декілька разів перевищує показники розвинених країн Західної і Східної Європи. Так, енергоємність ВВП України в 2010р. склала 0,55 т у.п. на 1000 доларів ВВП у порівнянні з 0,1 – для Німеччини, 0,2 – для Польщі й 0,46 – для Росії. Тому, підвищення рівня енергоефективності, впровадження альтернативних енергозаощаджуючих технологій є необхідним для України для зміцнення національної енергетичної безпеки, і є однією з пріоритетних цілей державної політики.

**Мета дослідження** – аналіз основних факторів, які впливають на динамічну поведінку і потужність ВЕУ, як альтернативи енергозаощаджуючих технологій, що сприяє ефективному і надійному енергозабезпеченню.

**Матеріали та методика досліджень.** За даними аналізу, проведеного ООН, очікується, що за період 2040-2050рр. виробництво енергії у світі на 50% базуватиметься на використанні відновлювальних джерел енергії, до яких, зокрема, належить вітроенергетика.

За класифікацією всесвітньої вітроенергетичної асоціації, за рівнем розвитку вітроенергетики Україна займає 37 місце серед 82 країн. Тобто, Україна має істотний потенціал розвитку вітроенергетики.

Протягом останніх років в Україні діяли 12 державних вітряних електростанцій із сумарною встановленою потужністю 94 МВт, що становить лише 0,2% від загального обсягу генеруючих потужностей в Україні.

Устаткування вітряних електростанцій не відповідає сучасним нормам ефективності, оскільки більша його частина вироблена з використанням технологій 80-х років, а також через відсутність стимулів для потенційних інвесторів [1].

У цих умовах важливим є виконання завдань та принципів державної політики у сфері енергоефективності визначених Енергетичною стратегією України на період до 2030 року (розпорядження Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 № 1071-р), що спрямовані на підвищення економічної окупності вітроенергетичних установок, підвищення рентабельності та стимулювання їх виробництва, а також є ключовим кроком на шляху до європейської інтеграції України [1].

На сьогодні актуальним питанням є аналіз вітроенергетичних установок (далі – ВЕУ) з метою розробки технічних рішень, направлених на підвищення коефіцієнту корисної дії ВЕУ і зниження порогу мінімальної швидкості вітру для номінального режиму її роботи і, тим самим, розширення території для можливого використання ВЕУ.

Сучасна ВЕУ являє собою складний комплекс механічного, електротехнічного й електронного обладнання, що взаємодіє одне з одним у процесі виробництва, перетворення, накопичення і передавання електроенергії споживачам. Тому, з метою підвищення ефективності використання ВЕУ необхідно розвивати методи досліджень як кожного елементу зокрема, так і їх взаємодії як системи.

Крім того, в процесі експлуатації конструкції ВЕУ піддаються різного роду динамічних навантажень, основними з яких є вітрові навантаження і сили інерції обертального руху лопатей. Особливі динамічні ефекти в лопатях (і башти ВЕУ) виникають при складному обертанні ротора, коли його вісь під дією вітрового потоку розгортається. Вплив цих ефектів на загальну міцність і динаміку потужності ВЕУ залишається мало вивченим до цього часу.

Основним завданням проведеного дослідження є вивчення взаємодії елементів конструкції вітроенергетичної установки при перетворенні енергії вітру.

Застосування систематизованих даних щодо виконання різного типу електричних генераторів змінного струму у ВЕУ різної потужності залежно від умов експлуатації і роду навантаження дозволить максимальним чином використовувати потенціал вітрового потоку та ВЕУ і, тим самим, підвищити економічний ефект від використання нетрадиційної енергетики.

**Результати досліджень.** До сучасної автономної ВЕУ висувуються наступні вимоги: максимальне використання енергії вітру, висока надійність та безпека експлуатації, можливість функціонування в автоматичному режимі, забезпечення високої якості електроенергії тощо.

Вимоги ефективності, надійності і безпеки функціонування ВЕУ частково забезпечуються при проектуванні за рахунок раціонального розміщення та встановлення обладнання з урахуванням аналізу вітрового ресурсу регіону його використання, а також шляхом розроблення оптимальної конструкції установки. Для стабільного функціонування ВЕУ, що розміщена у віддалених та важкодоступних районах, необхідна наявність надійно працюючої системи

управління, яка забезпечить надійну експлуатацію обладнання без щоденного втручання оператора.

Для використання сучасних ВЕУ, які виготовляються в Україні, можуть використовуватися райони з середньорічними швидкостями вітру на рівні 5 м/с і більше на висоті флюгера. Найбільший вітровий потенціал мають значні території, прилеглі до Чорного і Азовського морів, також райони Карпат, Закарпаття і Прикарпаття. Крім того, спостерігаються ділянки підвищеного вітрового потенціалу в Донбаському регіоні і в Дніпропетровській області.

Введення в експлуатацію ВЕУ на цих територіях зможе забезпечити близько 30% потреби України в електроенергії. Оцінений технічний потенціал потужності вітроенергетики загалом в Україні становить 16 000 МВт, що може виробити до 30 ТВт год/рік.

У вітроенергетичних установка енергія вітру перетворює в механічну енергію робочих органів. Первинним і основним з них є вітроколесо, що безпосередньо приймає на себе енергію вітру і, перетворює її в кінетичну енергію обертання.

Обертання вітроколеса під дією вітру обумовлено тим, що на будь-яке тіло, яке обтикається потоком газу, діє сила  $P$ , яку можна розкласти на дві складові: - уздовж швидкості потоку (силу лобового опору  $F_0$ ), і у напрямку, перпендикулярному швидкості потоку, що набігає, піднімальною силою  $F_n$ . Величини цих сил залежать від форми тіла, орієнтації його в потоці газу і швидкості. Під дією цих сил вітроколесо приводиться в обертання.

Вітроустановки класифікуються за двома основними ознаками: геометрії вітроколеса і його положенні щодо напрямку вітру. Якщо вісь обертання вітроколеса паралельна повітряному потоку, то установка називається горизонтально-осьовою, якщо перпендикулярна – вертикально-осьовою [9].

Кожне вітроколесо характеризується:

- ометаємою площею  $S$ , тобто площею, що покривається його лопатями при обертанні і дорівнює  $S = \pi D^2 / 4$ , де  $D$  – діаметр вітроколеса;

- геометричним заповненням, рівним відношенню площі проекції лопат на площину, перпендикулярну потоку, до ометаємої площі (так, наприклад, при однакових лопатях чотирилопатне колесо має вдвічі більше заповнення, чим дволопатне);

- коефіцієнтом потужності  $C_p$ , який характеризує ефективність використання енергії вітрового потоку та залежить від конструкції вітроколеса;

- коефіцієнтом швидкохідності  $Z$ , рівним відношенню швидкості кінця лопаті до швидкості вітру.

При швидкості вітру  $U$  та щільності повітря  $\rho$  вітроколесо з ометаємою площиною  $S$  розвиває потужність  $P = C_p S \rho U^3 / 2$ , яка пропорційна кубу швидкості вітру. ВЕУ з великим геометричним заповненням вітроколеса розвивають значну потужність при відносно слабкому вітрі, максимум потужності досягається при невеликих обертаннях колеса. ВЕУ з малим заповненням досягають максимальної потужності при великих обертаннях, та потребують більш великого часу при виході на цей режим. Тому перші використовуються у водяних насосах і, навіть, при слабкому вітрі зберігають

працездатність, а другі – у якості електрогенераторів, де необхідна висока частота обертання [7].

Вітряні двигуни можна поділити на два великі класи – мобільні і стаціонарні.

До мобільних вітряних двигунів належать класичні вітрила і крила. Їх можна використовувати тільки для приведення в рух транспортних засобів, оскільки роботу вони можуть здійснювати лише при переміщенні в просторі. Причому без переналаштування це переміщення завжди буде лінійним – за напрямом вітру або під деяким кутом до нього.

Стаціонарні вітряні двигуни можуть виконувати корисну роботу стаціонарно, залишаючись на одному місці. Рухаються тільки їх робочі елементи, які під дією потоку повітря переміщуються по замкненій траєкторії, здійснюючи циклічні рухи. Саме цей клас вітряних двигунів може використовуватися не тільки для переміщення транспортних засобів, отримуючи саме механічну форму енергії, але і для безпосереднього вироблення найбільш універсального і зручного для використання електричної енергії. До цього класу вітродвигунів належать різні вітроколеса – починаючи від крил класичного вітряного млина і закінчуючи сучасними роторними конструкціями з вертикальною віссю обертання.

Основними елементами вітроенергогенераторів є: власне вітроустановка, електрогенератор, система керування параметрами генерувальної електроенергії в залежності від змінювання сили вітру та швидкості обертання колеса. Для виключення перебоїв в електропостачанні ВЕУ потрібні акумулятори електричної енергії або необхідно запаралелення з електроенергетичним обладнанням інших типів, тому що немінучі періоди безвітря [7].

Одним із засобів керування електроенергією вітру є випрямлення перемінного струму ВЕУ, а потім перетворення його в перемінний струм з заданими стабілізованими параметрами.

Основним фактором силового впливу на елементи конструкції ВЕУ є аеродинамічна взаємодія лопаті і повітряного потоку, що являє собою первинне (природне) джерело енергії.

В Таблиці 1 приведено характеристики вітру і показники ВЕУ, рекомендовані до впровадження [7].

### 1. Віротехнічні показники вітроагрегатів, рекомендованих до впровадження

Зональна середньорічна швидкість вітру, м/с	Діапазон робочих швидкостей вітру ВЕУ, м/с	Розрахункова швидкість вітру, що відповідає номінальній потужності, м/с	Орієнтовна частка використання ВЕУ, %
До 4,5	3-20	8	40
4,5-5,5	4-24	9	30
Понад 5,5	4-24	10-12	30

Взагалі, як правило, чим більша потужність агрегату, тим на більшу швидкість вітру він розраховується. Однак у зв'язку з мінливістю швидкості вітру велику частину часу ВЕУ виробляє меншу потужність. Вважається, що якщо середньорічна швидкість вітру в даному місці не є меншою 5-7 м/с, а еквівалентне число годин у році, коли виробляється номінальна потужність, не менша 2000, то таке місце сприятливе для установлення ВЕУ. Найбільшого поширення серед установок, що приєднуються до мережі, одержали ВЕУ з одиничною потужністю від 100 до 500 кВт.

Враховуючи вищенаведене, важливим є питання визначення параметрів ВЕУ різної проектної потужності, наведених у Таблиці 2 [7].

## 2. Параметри вітроенергетичних установок різної проектної потужності при швидкості вітру 12 м/с

Клас ВЕУ	Розрахункова (проектна потужність), кВт	Діаметр вітроколеса, м	Період обертання, с
Малі	10 25	6,4 10	0,3 0,4
Середні	50 100 150	14 20 25	0,6 0,9 1,1
Великі	250 500 1000	32 49 64	1,4 2,1 3,1
Дуже великі	2000 3000 4000	90 110 130	3,9 4,8 5,7

З розвитком вітроенергетики цифрові значення потужностей перелічених груп змінювалися, тому сьогодні не існує загальноприйнятих меж такої класифікації. Саме тому ввели додаткову ознаку – за формою використання виробленої енергії: для автономних або системних ВЕУ.

До системних ВЕУ належать ВЕУ великої та середньої потужності, які, утворюють вітроелектростанції (ВЕС), побудовані з ВЕУ малої потужності.

До автономних ВЕУ належать ВЕУ малої потужності і надмалої потужності (менше 10 кВт) [5].

Враховуючи викладене, на відміну від більшості країн Західної Європи та Америки, де потоки повітря мають середню швидкість у межах 10-14 м/с, на території України вітри зі швидкістю до 5 м/с складають 70-80%. Це дає змогу стверджувати, що тихохідні ВЕУ малої і надмалої потужності є потенційно перспективними у техніко-економічному, так і в екологічному плані для використання автономними споживачами (зокрема, фермерськими господарствами, невеликими промисловими виробництвами).

### Висновки

1. Специфікою повітряних потоків України є їхня мала питома потужність, саме через це актуально розробляти дешеві вітряки малої одиничної потужності, які працюють при слабких середньорічних вітрах.

У районах зі сприятливими вітровими умовами середньорічне виробництво електроенергії вітроустановками складає 25-35% його максимального проектного значення, термін служби вітроустановок – 15-20

років, вартість від 1000 до 1500 доларів США за 1 кВт проектної потужності [7].

В середньому, з 1 км<sup>2</sup> площі, на якій споруджено вітроелектростанцію, можна щорічно отримувати в середньому 800 000 кВт-год електроенергії на рік. Відомо, що для виробництва 1 кВт-год енергії необхідно близько 1 кг деревини, або 0,25 кг нафти, або 0,35 кг вугілля. Отже, використання ВЕУ допоможе заощадити близько 270 тонн вугілля, або 200 тонн нафти на рік.

2. ВЕУ останнього покоління мають більш гнучкіші лопаті, що дає змогу максимально використовувати силу навіть слабого вітру, і розташувати ці установки за рекомендаціями метеорологів у ланцюги, які дозволяють установкам не зупинятися навіть за відсутністю вітру.

3. Створення ефективних і надійних ВЕУ є актуальним, оскільки розвиток альтернативних джерел енергії є важливим фактором підвищення рівня енергетичної безпеки, зниження використання імпортованих паливних ресурсів, розвитку промисловості та сільського господарства.

### **Список літератури**

1. Розпорядження Кабінету Міністрів України "Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2030 року" від 24 липня 2013 – № 1071-р. // Урядовий кур'єр від 29.01.2014. – № 17.

2. Гайдайчук В. В., Носенко В. П. Динаміка вітроенергетичних установок під дією вітрових та інерційних навантажень // Опір матеріалів і територія споруд – 2008. – № 82. – С. 31 - 38.

3. Зінько Р.В. Особливості роботи вітряків з лопатями вітрильного типу // Науковий вісник НЛТУ України. Збірник наукових праць, 2011. – Вип. 21.14. – С. 101 - 111.

4. Кузьо І.В., Корендій В.М., Прокопець Н.І. Аналіз аеродинамічних та інерційних навантажень тихохідного вітроколеса // Національний університет "Львівська політехніка", 2011. – С. 43 - 50.

5. Кузьо І.В. Корендій В.М. Обґрунтування розвитку вітроенергетичних установок малої та над малої потужності // Національний університет "Львівська політехніка", 2010. – С. 61 – 68.

6. Кузьо І.В. Корендій В.М. Теоретичні аспекти моделювання вітроенергетичних установок // Вісник ТНТУ – 2011. – Том 16. – № 3. – С. 85 - 94.

7. Маляренко В.А. Енергетичні установки. Загальний курс – Харків: Видавництво Сага, 2008.

8. Маляренко В.А. Енергетика і навколишнє середовище – Харків: Видавництво Сага, 2008.

9. Побігун О.В., Лижичка Б.М., Фоменко Н.В. Вітроенергетичні установки як альтернатива використання нафтогазових ресурсів // Нафтогазова енергетика, 2010. – № 2(13).

*Физические аспекты динамики мощности ветроэнергетических установок. Целью исследования является анализ основных факторов,*

влияющих на ветроэнергетические установки и способствуют их эффективности и надежности, поскольку развитие альтернативных источников энергии является важным фактором повышения уровня энергетической безопасности, снижения использования импортированных топливных ресурсов, развития промышленности и сельского хозяйства.

**Ветроэнергетическая установка, динамика мощности, энергия, сила ветра, ветровое колесо.**

*Physical aspects of the dynamics of power wind turbines. The aim of the study is to analyze the main factors affecting the wind power installation and promote their efficiency and reliability, since the development of alternative energy sources is an important factor in improving energy security, reducing the use of imported fuel resources, the development of industry and agriculture.*

**Windmills, the dynamics of power, energy, wind power, wind wheel.**