

УДК 620.92

МАЛОПОТУЖНИЙ ВІТРОЕЛЕКТРОГЕНЕРАТОР НА НЕОДИМОВИХ МАГНІТАХ

С.В. Галько, к.т.н.,

Таврійський державний агротехнологічний університет

імені Дмитра Моторного, м. Мелітополь, Україна

e-mail: galkosv@gmail.com

Постановка проблеми. Сучасна вітроенергетика є однією з найбільш розвинених і перспективних галузей відновлюваної енергетики. Енергія вітру є одним з найбільш розвинутих відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), забезпечуючи близько 3% споживання електроенергії у світі [1,2].

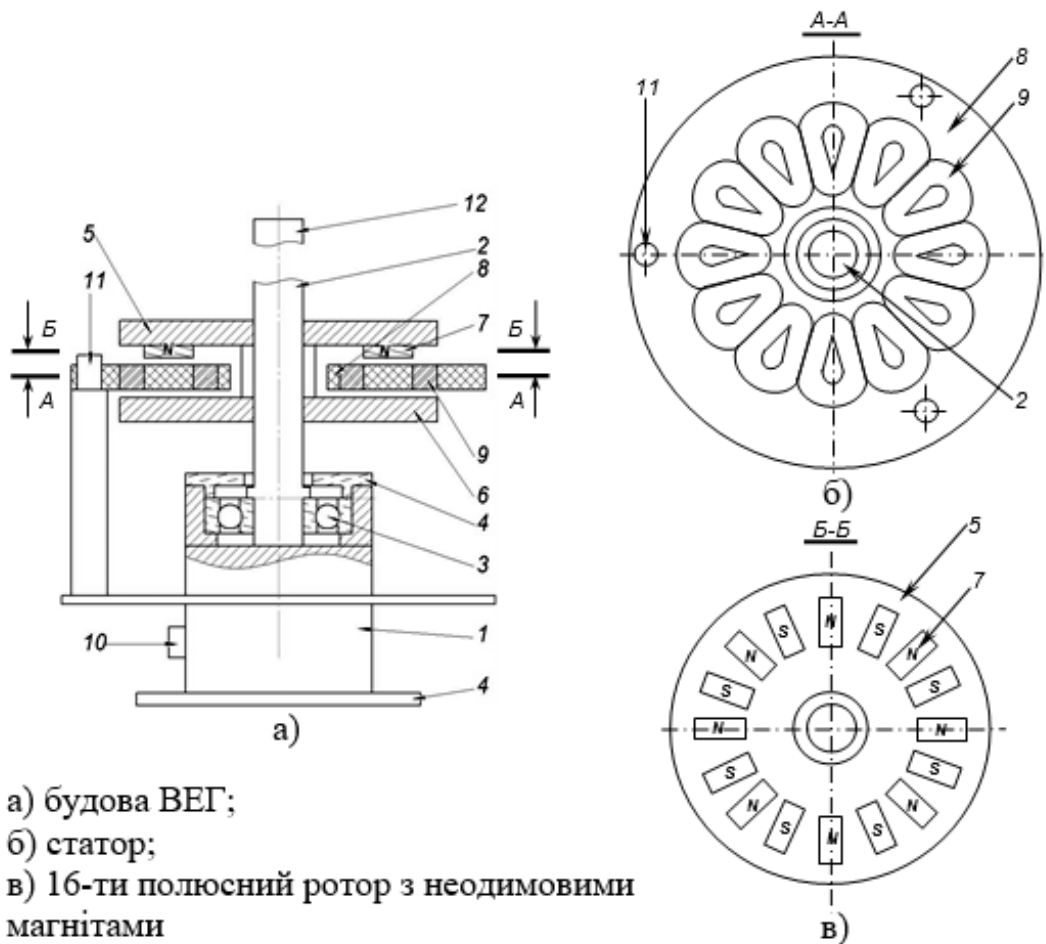
Дослідження в галузі малої вітроенергетики показують, що світовий ринок цієї галузі знаходиться на початковому етапі і, відповідно дослідженням Всесвітньої вітроенергетичної асоціації (ВВЕА), приріст світового сектору малої вітроенергетики з 2015 року складає 125 МВт у рік. ВВЕА прогнозує, що до 2020 р. загальна встановлена потужність малих ВЕУ у світі досягне 5 ГВт, а ринок нових невеликих ВЕУ - близько 1 ГВт [3,4].

Виробники обладнання для малої вітроенергетики зосереджені у п'яти країнах (Канада, Китай, Німеччина, Англія та США) і займають більше 50% світового ринку. В більшості розвинених країн заплановано у першій половині ХХІ ст. довести частку ВДЕ в загальному енергобалансі до 20...50% [5].

Досягнення ж України у впровадженні ВДЕ важко назвати суттєвими, тому передбачається збільшення частки ВДЕ у загальному балансі встановлених потужностей до 20% [6]. Окрім розвитку комерційної відновлюваної енергетики, в Україні є необхідність розвивати некомерційну ("сільську", "фермерську", "для двору"). Такі самостійні невеликі системи служать децентралізації енергопостачання, дозволяють диверсифікувати джерела енергії, зробити більш енергонезалежною Україну, і фермерів зокрема [7].

Вирішення цієї проблеми неможливо без рішення науково-технічної задачі, яка полягає в розробці, дослідженні, обґрунтуванні параметрів та режимів функціонування вітроелектромеханічних пристроїв для перетворення енергії вітру в інші види енергії. Одним з етапів вирішення цієї задачі є розробка, експериментальні дослідження і побудова математичних моделей одного з головних конструктивних елементів будь якої ВЕУ – електричного генератора, що підвищить надійність і загальний ККД ВЕУ.

Основні матеріали дослідження. На основі виконаного аналізу існуючих ВЕГ малої потужності для ВЕУ домогосподарств, розроблено і запатентовано малопотужний ВЕГ зі здвоєним ротором спрощеної конструкції [8], будова якого наведена на рис. 1.



Розроблений малопотужний ВЕГ зі здвоєним ротором спрощеної конструкції складається з корпусу 1, вала 2, встановленого на підшипниках 3, що закриті з обох сторін кришками 4. На валу 2 розташований дводисковий ротор 5, 6. Диск 6 виконаний сталевим. На диску 5 рівномірно по колу закріплені 16 неодимових магнітів 7 з чергуванням полюсів, закріплені рівномірно по колу на периферії диска, що утворюють багатополісний дисковий ротор (рис. 1,в). Між роторними дисками 5 і 6 з зазором розташований нерухомий пластмасовий (бакелітовий) статор 8 з плоскими якірними котушками 9 трапецієвидної форми без осердя (рис.1,б). Якірні котушки 9 з'єднані згідно послідовно. Статор 8 розташований перпендикулярно осі вихідного вала 2, і залитий разом з котушками компаундом. Кінці обмоток 9 виведені на клемну коробку 10. Шпильками 11 пластмасовий статор 8 жорстко закріплений в корпусі 1. Вал 2 ВЕГ з'єднаний з вихідним валом 12 вітродвигуна (не показано).

Принцип дії ВЕГ. Вихідний вал 12 вітродвигуна, що приводиться у рух вітром, передає обертовий момент через кінематичний зв'язок вала 2, який, у свою чергу, обертає закріплені на ньому роторний диск 5 з

неодимовими магнітами 7 і диск 6. Так як магніти 7 розташовані рівномірно на периферії роторного диску 5, то вони створюють потужний магнітний потік Φ_{36} , який пронизує плоскі якірні котушки 9 і замикається через сталі роторні диски 5 і 6. При обертанні дисків 5 і 6 магнітний потік Φ_{36} постійних магнітів по черзі пронизує якірні котушки 9 і індукує в них змінну ЕРС e_k . Для збільшення вихідної ЕРС якорю $e_{я}$ котушки 9 з'єднані згідно послідовно в обмотки, кінці яких виведені на клемну коробку 10.

Переваги розробленого ВЕГ такі: не потребує мультиплікатора, так як багатополосне виконання ротора забезпечує збільшення частоти генерованої ЕРС; рівномірне закріплення по колу на периферії першого роторного диску неодимових постійних магнітів забезпечує надійне збудження магнітного поля і стабільність частоти генерованої ЕРС в якірних обмотках; виконання другого диска ротора у вигляді сталі пластины забезпечує спрощення конструкції, зменшення кількості магнітів, габаритів і вартості конструкції; виконання статорного диска пластмасовим, усуває втрати на нагрів диска, зменшує момент зрушення, що розширює діапазон робочої швидкості вітру; розташування обмоток на нерухомому статорі дозволяє уникнути рухомих контактів, а отже підвищити ККД і надійність генератора; виконання статорних котушок без осердя і сталюого магнітопроводу забезпечує зменшення моменту зрушення генератора, а отже його запуск при незначній швидкості вітру; виготовлення статорних котушок плоскими трапецеїдальної форми покращує компактність статора, збільшує коефіцієнт використання об'єму статора, а отже сприяє зменшенню габариту і маси генератора; з'єднання статорних котушок згідно послідовно забезпечує збільшення ЕРС в обмотках генератора; використання потужних неодимових магнітів сприяє зменшенню габариту і маси генератора.

Цей генератор може бути однофазним (всі обмотки з'єднані послідовно) або трифазним (три групи обмоток). Останній варіант кращий, оскільки в такому разі буде більш висока частота струму при однаковій частоті обертання ротора. Для розрахунку СГ з постійними магнітами з урахуванням втрат у магнітопроводі існує методика, яка наведена у [9]. Недоліками цієї методики є: складність розрахунків, генератор з статорним магнітопроводом буде мати значне залипання ротора, а виконання пазів під кутом, для зменшення залипання, збільшує втрати в самому генераторі; виконання обмоток з укороченим кроком, призведе до збільшення масо-габаритних розмірів генератора. Отже приведена методика [9] не прийнятна для розрахунку ВЕГ у яких відсутній магнітопровід на статорі. Тому для розробленого ВЕГ на неодимових магнітах пропонується інша методика розрахунку.

Для розрахунку генератора необхідно знати середнє значення обертів при середньорічній швидкості вітру в даному регіоні. При

виборі кількості магнітів треба орієнтуватися на середнє значення частоти обертання і на фінансові можливості, магніти з достатнім магнітним потоком недешеві. Потужність вітроколеса визначаємо за рівнянням [10]:

$$P = C_p \pi D^2 \rho \frac{V_o^3}{8}, \quad (1)$$

де C_p – коефіцієнт потужності вітроколеса;

ρ – густина повітря, кг/м³, ($\rho \approx 1,2$ кг/м³);

V_o – швидкість вітру, м/с;

D – діаметр вітроколеса, м.

У швидкохідних добре спроектованих ВЕУ C_p досягає 0,4 [10].

Діаметр вітроколеса рахуємо за формулою:

$$D = \sqrt{\frac{P \cdot 8}{C_p \pi \rho V_o^3}}. \quad (2)$$

Оптимальна швидкохідність вітроколеса дорівнює:

$$Z_o \approx 4\pi/n, \quad (3)$$

де n – кількість лопатей.

Для двохлопатевого вітроколеса $Z_o = 4\pi/2 \approx 6$; для 4-х лопатевого - $Z_o = 4\pi/4 \approx 3$; для 3-х лопатевого - $Z_o = 4\pi/3 \approx 4$ [10].

Найбільш економічні ВЕУ мають по 2 лопаті, але з метою зниження динамічних навантажень рекомендується виготовляти швидкохідні ВЕУ з 3 лопатями.

Формула для визначення частоту обертання вітроколеса:

$$n = \frac{60V_o Z_o}{\pi D}. \quad (4)$$

Фазну напругу холостого ходу СГ розраховуємо за виразом:

$$U_{\phi.xx} = 2 \cdot n \cdot m \cdot N \cdot W_k \cdot B \cdot S, \quad (5)$$

де n – частота обертання ротора з магнітами, с⁻¹;

m – число магнітних полюсів;

N – кількість котушок у фазі, а для однофазного - число котушок у статорі;

W_k – кількість витків в одній котушці статора;

B – магнітна індукція в зазорі, Тл;

S – площа поверхні одного магніту, м².

З (5) знаходимо потрібну кількість витків котушки:

$$W_k = \frac{U_{\phi.xx}}{2 \cdot n \cdot m \cdot N \cdot B \cdot S}. \quad (6)$$

Значення магнітної індукції в зазорі визначаємо з залежності, яка приведена у [9]. Співвідношення кількості полюсів магнітів до якірних котушок повинно бути 4:3 [9]. В нашому випадку кількість полюсів розміром 40x20x10 мм на неодимових магнітах становить $m = 16$, а кількість якірних котушок - 12, по 4 на кожну фазу обмотку, $N = 4$. При повітряному зазорі $\delta = 1$ мм, магнітна індукція B для магніту N35 дорівнює 0,5 Тл [9].

Використовуючи запропоновану методику розрахунку ВЕГ можна визначити розрахункову потужність при будь якій швидкості вітру і струмі навантаження. Нами виконані розрахунки ВЕГ для зарядки акумуляторної батареї з номінальною напругою $U_n = 14$ В при номінальному струмі навантаження $I_n = 25$ А (таблиця 1). На рис. 2,3 зображені розрахункові характеристики для 12-ти полюсного ВЕГ.

Таблиця 1

Розрахункова потужність ВЕГ при швидкості вітру 12 м/с і струмі навантаження 25 А

Кількість магнітних полюсів, m	4	8	12	16	20
Потужність ВЕГ, Вт	220	440	660	880	1100



Рис. 2. Зовнішня характеристика ВЕГ



Рис. 3. Залежність потужності ВЕГ від швидкості вітру при струмі навантаження 25 А

Висновки. На основі аналізу існуючих малопотужних ВЕГ і виявлених конструктивних недоліків розроблено малопотужний ВЕГ

(до 10 кВт) зі здвоєним дводисковим ротором спрощеної конструкції з використанням неодимових магнітів, що відрізняється надійністю та підвищеним ККД. Доведено недоцільність використання методики розрахунку синхронного генератора з постійними магнітами і визначені її недоліки. Запропоновано методику розрахунку ВЕГ на неодимових магнітах, яка відрізняється простотою та практичністю.

Список літератури.

1. Gan L.K., Echenique Subiabre E.J. (2019). A realistic laboratory development of an isolated wind-battery system. *Renewable Energy*. P. 645-656.

2. Merizalde Y., Hernández-Callejo L., Duque-Perez O., Alonso-Gómez V. Maintenance models applied to wind turbines. A comprehensive overview. *Energies* Volume 12, Issue 2, 11 January 2019, Article number 225.

3. Жарков В.Я., Жарков А.В., Галько С.В. Технічні рішення в енергозбереженні та енергоефективності. Енергоефективність та енергозбереження: економічний, техніко-технологічний та екологічний аспекти: колективна монографія; за заг. ред. П.М. Макаренка, О.В. Калініченка, В.І. Аранчій. Полтава: ПП "Астра", 2019. С. 401-426.

4. Галько С.В., Жарков В.Я., Жарков А.В. Технології та засоби перетворення відновлюваних джерел енергії для приватних домогосподарств: монографія. Мелітополь: Люкс, 2019. 215 с.

5. World Wind Energy Report 2012_final [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.wwindea.org/wwea-half-year-report-worldwind>.

6. <http://doe.com.ua/energoeffektivnost/>.

7. Удосконалення технологій та засобів перетворення відновлюваних і нетрадиційних джерел енергії для сільськогосподарського виробництва: Звіт про НДР (кінцевий) / ТДАТУ; кер. В.Я. Жарков; виконавці: Галько С.В., Жарков А.В., Катюха І.А. [та ін.]. Мелітополь, 2016. 160 с. №ДР0111U002543.

8. Малопотужний вітроелектрогенератор зі здвоєним дводисковим ротором спрощеної конструкції: пат. 116122 Україна: МПК H02K21/26, F03D7/06, F03D1/06. №201611504; заявл. 14.11.2016; опубл. 25.05.2017, Бюл. № 10.

9. Расчет и проектирование ветроэлектрических установок с горизонтально-осевой ветротурбиной и синхронным генератором на постоянных магнитах / Яковлев А.И. [и др.]. Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ», 2006. 125 с.

10. *Twidell J., Weir T. Renewable Energy Resources*. London and New York: Taylor & Francis, 2006. 601 p.