



УДК 620.92

DOI: 10.31388/2220-8674-2020-1-27

## РОЗРАХУНОК МАЛОПОТУЖНОГО ВІТРОЕЛЕКТРОГЕНЕРАТОРА ДЛЯ ДОМОГОСПОДАРСТВ

Галько С. В., к.т.н.

ORCID: 0000-0001-7991-0311

*Таврійський державний агротехнологічний університет  
імені Дмитра Моторного*  
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) за останнє десятиліття, забезпечуючи близько 3% споживання електроенергії у світі [1,2].

Згідно з вимогами Європейського Союзу, частка ВДЕ у національному енерговиробництві країн, що прагнуть до його вступу, повинна становити не менше 6%. У 2017 році у світі було встановлено рекордні 160 ГВт потужностей з ВДЕ, з них 56 ГВт — вітрові [3].

Специфіка сільськогосподарського виробництва та невеликих домогосподарств обумовлена відносно невеликим споживанням електроенергії на одиницю земельної ділянки, що вимагає масштабного розвитку малої вітроенергетичної потужності, обладнання для якої обмежуються потужністю до 10 кВт. Маркетингові дослідження ринку вітроенергетичного устаткування (ВЕУ) свідчать про те, що невеликі споживачі мають намір використовувати вітрові установки для задоволення своїх потреб (наприклад, джерела живлення для виробничого і побутового обладнання, освітлення, зарядки автотракторних акумуляторів, тощо) [4].

Дослідження в галузі малої вітроенергетики показують, що світовий ринок цієї галузі знаходиться на початковому етапі розвитку і, відповідно прогнозам 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 [5].

Виробники обладнання для малої вітроенергетики зосереджені у п'яти країнах (Канада, Китай, Німеччина, Англія та США) і займають більше 50% світового ринку [6]. В більшості розвинених країн заплановано у першій половині ХХІ ст. довести частку ВДЕ в загальному енергобалансі до 20...50%.



Досягнення ж України у впровадженні ВДЕ важко назвати суттєвими. Передбачається збільшення частки ВДЕ у загальному балансі встановлених потужностей до 20% до 2021 року [7,8]. 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 [9].

Не дивлячись на великий прогрес у розвитку вітроенергетики у світі, ще неналагоджений серійний випуск невеликих вітроагрегатів (особливо в Україні). Серед факторів такого стану слід відмітити: недостатня увага з боку держав до розвитку малої вітроенергетики; відсутність державного стимулювання виробників та споживачів малих ВЕУ; значна нестача фахівців з проектування і виготовлення вітрових установок; відсутність реклами щодо використання у домогосподарствах енергії вітру.

Такий стан питання створює народно-господарську проблему забезпечення невеликих споживачів різними видами енергії, зменшенням споживання електроенергії, отриманої традиційними засобами тощо. 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 спрощеної конструкції, що підвищить надійність і загальний ККД ВЕУ.

У даній статті приведена будова, принцип дії, методика спрощеного розрахунку малопотужного вітроелектрогенератора (ВЕГ) для домогосподарств з споживанням електричної потужності до 10 кВт.

*Аналіз останніх досліджень.* Відомо, що в невеликих ВЕУ найбільш розповсюджені багатополюсні синхронні генератори (СГ) з постійними магнітами [10]. У роторі присутні постійні неодимові магніти, які незалежно від сили вітру постійно включені і при найменшому вітрі, ВЕГ починає виробляти електроенергію. Основною перевагою даного генератора є те, що він не містить заліза в статорі або в котушках. Навіть при самому слабкому вітрі він починає працювати, а магнітне залипання відсутнє.

Інтерес до цього класу генераторів обумовлений їх кращими енергетичними показниками, простотою конструкції, великим терміном служби, надійністю, здатністю працювати при високих частотах обертання у важких умовах експлуатації.



Неодимовий магніт, що отримується з металів рідкоземельної групи, має трикомпонентний склад. Найбільшого поширення набули магніти, в складі яких 2 атома неодиму (Nd), 14 - заліза (Fe) і 1 - бор (B) [11]. Вперше постійний магніт на основі формули  $Nd_2Fe_{14}B$  був представлений в Японії. Головним виробником цих унікальних магнітів сьогодні є Китай [12].

Відомий безредукторний вітроагрегат [Пат. USA №3740565, кл. 290-55, опубл. 15.01.83р.], що містить горизонтально установлений магнітоелектричний генератор з сегментним ротором і круговим статором. Недоліком цього вітроагрегати є його складність і громіздкість, що потребує великого обсягу будівельно-монтажних робіт.

Вітровий генератор з самозбудженням [13], у вигляді дискових магнітопроводів з зубчастою будовою прилеглих поверхонь, встановлених співвісно з зазором, і обмотки збудження, розташованої в кільцевій канавці на статорі, додаткові якірні обмотки ідентичного виконання, розташовані в шаховому порядку симетрично на зубцях статора і з'єднані паралельно. Недоліком пристрою є низький електричний ККД із-за перегріву якірних обмоток, обумовлений їхнім розташуванням на зубцях сталюого магнітопроводу, і залежність величини генерованої ЕРС від остаточного намагнічування зубців, що ускладнює використання пристрою для роботи протягом року.

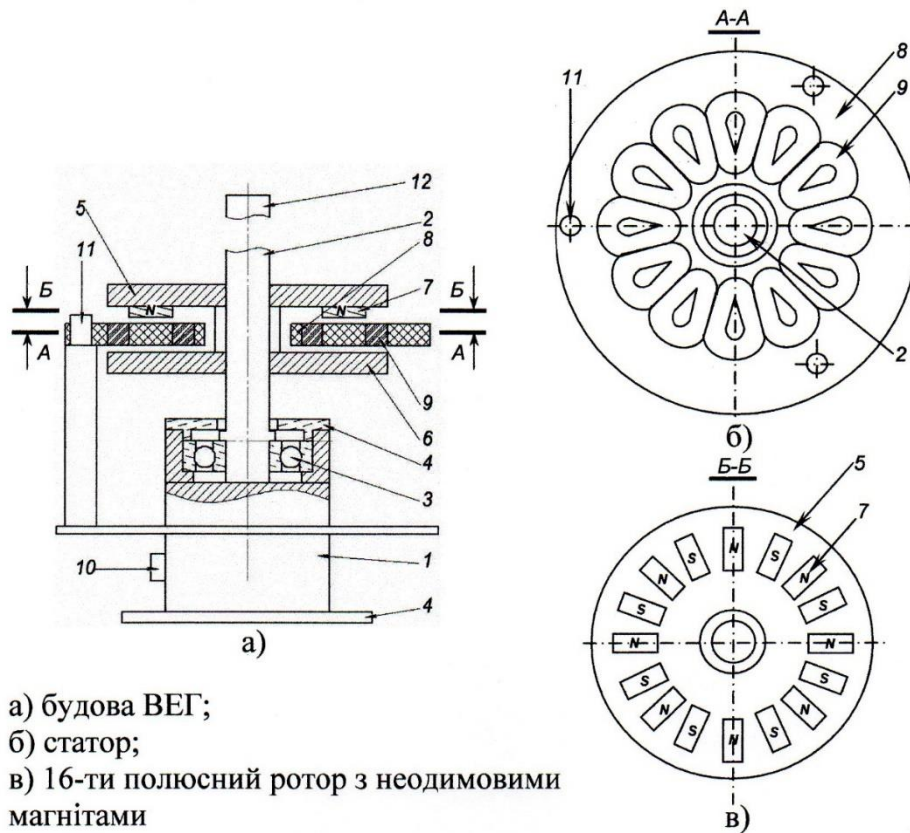
Безредукторний малопотужний ВЕГ [14] містить багатополісний дводисковий сталюий ротор, з рівномірно закріпленими по колу на периферії диска постійними магнітами, дзеркально розташованими один до одного різнойменними полюсами, і дисковий статор з якірними котушками без осердя, розташований у повітряному зазорі між дисками багатополісного ротора. Статор виготовлений у вигляді симетрично розташованих по внутрішньому периметру плоских якірних котушок трапецеїдальної форми, з'єднаних згідно послідовно і залитих компаундом. Недоліком пристрою є складність конструкції дводискового ротора і його велика коштовність, обумовлена великою кількістю неодимових магнітів.

На основі виконаного аналізу ВЕГ для ВЕУ малої потужності, робимо висновок, про подальше удосконалення ВЕГ, в якому нове виконання конструктивних елементів та їхнє взаємне розташування дозволило б забезпечити спрощення і здешевлення конструкції, збільшення надійності і ККД електрогенератора.

*Формулювання цілей статті (постановка завдання).* Метою статті є розробка малопотужного ВЕГ спрощеної конструкції з високими показниками надійності і ККД та методики його розрахунку.

*Основна частина.* На основі виконаного аналізу існуючих ВЕГ малої потужності для ВЕУ домогосподарств, розроблено і

запатентовано малопотужний ВЕГ зі здвоєним ротором спрощеної конструкції [15], будова якого наведена на рис. 1.



- а) будова ВЕГ;
- б) статор;
- в) 16-ти полюсний ротор з неодимовими магнітами

Рис. 1. Малопотужний ВЕГ зі здвоєним ротором спрощеної конструкції, пат. 116122

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 валу 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



валу 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  $\Phi_{зб}$ , який пронизує плоскі якірні котушки 9 і замикається через сталі роторні диски 5 і 6. При обертанні дисків 5 і 6 магнітний потік  $\Phi_{зб}$  постійних магнітів по черзі пронизує якірні котушки 9 і індукує в них змінну ЕРС  $e_k$ . Для збільшення вихідної ЕРС якорю  $e_a$  котушки 9 з'єднані згідно послідовно в обмотки, кінці яких виведені на клемну коробку 10.

Переваги розробленого ВЕГ такі: не потребує мультиплікатора, так як багатополусне 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 сталеної пластини 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 сталеного 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.

Недоліком розробленого ВЕГ, є зміна вихідної змінної напруги якоря  $U_a$  в залежності від швидкості вітру (обертання валу генератора 2 і відповідно, роторних дисків 5,6). Для стабілізації вихідної напруги ВЕГ, пропонується використовувати керований випрямляч, схема електрична принципова якого наведена на рис. 2. Напруга з статорної обмотки 9 (рис. 1) ВЕГ надходить на діодний міст  $VD$  керованого випрямляча змінного струму  $KB$ . Пульсація постійної напруги  $U_{VD}$  згладжується конденсатором  $C$ . Температура навколишнього середовища контролюється датчиком  $DT$  і подається до блоку



регулювання вихідної напруги  $BP$ . Блоком регулювання  $BP$  задається значення вихідної напруги керованого випрямляча  $KB$ . Коли температура навколишнього середовища або вихідна напруга нижче або вище від встановленого значення, блок регулювання  $BP$  відкриває або закриває електронний ключ  $EK$  і регулює вихідну напругу керованого випрямляча.

Для розрахунку СГ з постійними магнітами з урахуванням втрат у магнітопроводі існує методика, яка наведена у [16].

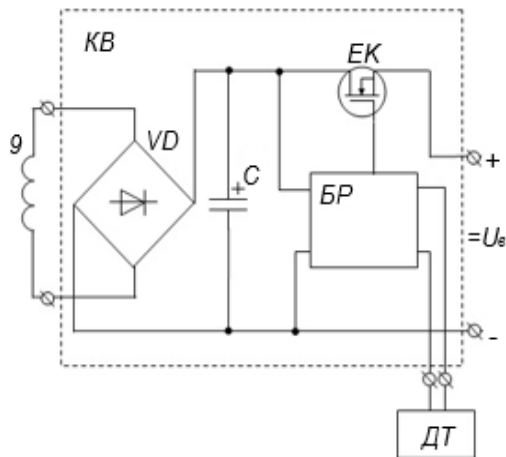


Рис. 2. Керований випрямляч для живлення споживачів постійного струму. Схема електрична принципова

Недоліками цієї методики є: складність розрахунків, генератор з статорним магнітопроводом буде мати значне залипання ротора, а виконання пазів під кутом, для зменшення залипання, збільшать втрати в самому генераторі; виконання обмоток з укороченим кроком, для зменшення паразитних впливів гармонік, призведе до збільшення масо-габаритних розмірів генератора. Отже приведена методика [16] 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. Чим більше число магнітів використаних у генераторі – тим більша буде частота струму в обмотках, і більша ЕРС. При виборі кількості магнітів треба орієнтуватися на середнє значення частоти обертання і на фінансові можливості, магніти з достатнім магнітним потоком недешеві. Розрахуємо вітроустановку потужністю декілька сотень Ватт. Потужність вітроколеса визначаємо за рівнянням [8]:

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

де  $C_p$  – коефіцієнт потужності вітроколеса;  
 $\rho$  – густина повітря,  $\text{кг/м}^3$ , ( $\rho \approx 1,2 \text{ кг/м}^3$ );  
 $V_o$  – швидкість вітру,  $\text{м/с}$ ;



$D$  - діаметр вітроколеса, м.

У швидкохідних добре спроектованих ВЕУ  $C_p$  досягає 0,4 [8].

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 -  $Z_o = 4\pi/3 \approx 4$  [8].

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

Формула для визначення частоти 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,  $s^{-1}$ ;

$m$  – 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,  $m^2$ .

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 [11].

Змінний струм випрямляємо за схемою приведеної на рис. 2. Середнє значення випрямленої напруги дорівнює:

$$U_{CP} = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} U_{\phi,XX} = 2,34 U_{\phi,XX}. \quad (7)$$

Звідки знаходимо фазну напругу холостого ходу:

$$U_{\phi,XX} = 0,425 U_{CP}. \quad (8)$$

Середнє значення струму, який протікає через діодний вентиль, тобто фазний струм однієї обмотки дорівнює:

$$I_{VD} = I_{\phi} = I_{CP} / 3. \quad (9)$$

Визначаємо приблизно переріз обмотувального проводу:

$$S_{об.кот} = 0,7 \sqrt{I_{\phi}}. \quad (10)$$



Розраховуємо опір обмотки генератора за формулою:

$$R_{\phi} = \frac{\rho l}{S}, \quad (11)$$

де  $\rho$  – питомий опір проводу, Ом·м, для міді  $\rho = 0,0175$  Ом·м;

$l$  – довжина проводу, м;

$S$  – площа перерізу проводу, мм<sup>2</sup>.

При навантаженні втрати в обмотках трифазного СГ дорівнюють:

$$\Delta P = \frac{I_{CP}^2}{3} R_{\phi}. \quad (12)$$

Для прикладу виконаємо розрахунок ВЕГ з номінальною напругою  $U_n = 14$  В при номінальному струмі навантаження  $I_n = 25$  А, для зарядки акумуляторної батареї.

Розв'язок. Потужність, яку треба отримати від ВЕГ:

$$P_n = U_n \cdot I_n = 14 \cdot 25 = 350 \text{ Вт.}$$

Для розрахунку діаметру вітроколеса  $D$  приймаємо значення ККД ВЕГ  $\eta = 0,8$ , швидкість вітру  $V_o = 7$  м/с, і за формулою (2) визначаємо:

$$D = \sqrt{\frac{350 \cdot 8}{0,4 \cdot 3,14 \cdot 1,2 \cdot 7^3}} = 2,33 \text{ м.}$$

Частоту обертання вітроколеса визначаємо за виразом (4):

$$n = \frac{60 \cdot 7 \cdot 4}{3,14 \cdot 2,33} = 3,8 \text{ хв}^{-1} = 3,8 \text{ с}^{-1}.$$

Напругу холостого ходу на виході випрямляча приймаємо на 35% більше номінальної, тобто 19 В.

Фазну напругу холостого ходу визначаємо за формулою (8):

$$U_{\phi, XX} = 0,425 \cdot 19 = 8,1 \text{ В.}$$

Співвідношення кількості полюсів магнітів до якірних котушок повинно бути 4:3 [9]. Приймаємо розмір неодимових магнітів 40x20x10 мм, кількість полюсів  $m = 16$ , кількість якірних котушок – 12, по 4 на кожну фазну обмотку,  $N = 4$ . При повітряному зазорі  $\delta = 1$  мм, магнітна індукція  $B$  для магніту N35 дорівнює 0,5 Тл [11].

Розраховуємо кількість витків у котушці за формулою (6):

$$W_{\kappa} = \frac{8,1}{2 \cdot 3,8 \cdot 16 \cdot 4 \cdot 0,5 \cdot 8 \cdot 10^{-4}} = 41,6 \text{ витка.}$$

Приймаємо 42 витка у котушці, тобто 168 витків у фазній обмотці.

Фазний струм визначаємо за виразом (9):

$$I_{\phi} = 25/3 = 8,35 \text{ А.}$$

Переріз обмотувального проводу дорівнює (10):

$$S_{\text{об. кот}} = 0,7 \sqrt{8,35} = 2 \text{ мм}^2.$$

У програмі Компас будуємо модель ВЕГ і визначаємо довжину мідного проводу для намотки котушок однієї фази рівну 28 м. Опір фази визначаємо за формулою (11):





$$R_{\phi} = \frac{0,0175 \cdot 28}{2} = 0,245 \text{ Ом.}$$

При  $I_n = 25 \text{ А}$  втрати в обмотках будуть дорівнювати (12):

$$\Delta P = \frac{25^2}{3} \cdot 0,245 = 51,04 \text{ Вт.}$$

Використовуючи запропоновану методику розрахунку ВЕГ можна визначити розрахункову потужність при будь якій швидкості вітру і струмі навантаження (таблиця 1). На рис. 3–5 зображені розрахункові характеристики для 12-ти полюсного ВЕГ.

На рис. 3–5 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

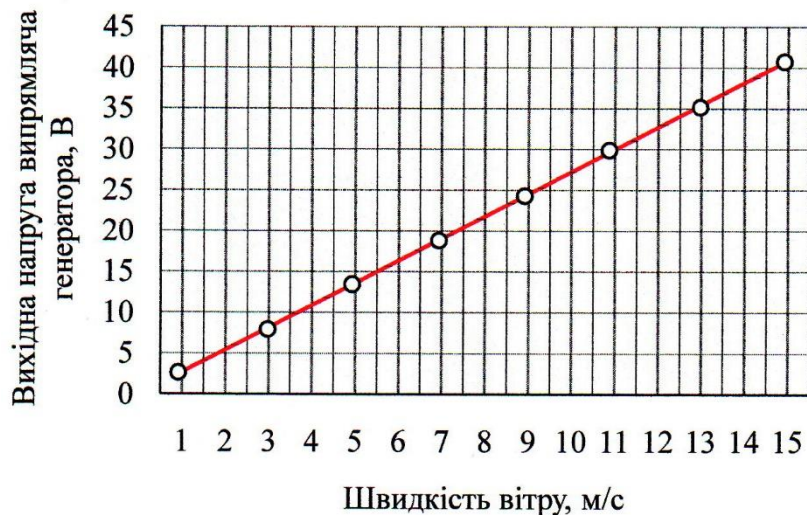


Рис. 3. Залежність вихідної напруги холостого ходу випрямляча ВЕГ від швидкості вітру



Рис. 4. Зовнішня характеристика ВЕГ



Рис. 5. 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, при використанні якої можна розрахувати основні параметри ВЕГ при різній швидкості вітру, кількості полюсів та якірних котушок.

Список використаних джерел.

1. Gan L. K., Echenique Subiabre E. J. A realistic laboratory development of an isolated wind-battery system. *Renewable Energy*. 2019. P. 645-656.
2. Merizalde Y., Hernández-Callejo L., Duque-Perez O. Maintenance models applied to wind turbines. A comprehensive overview. *Energies*. 2019. Vol. 12, No 2. DOI: <https://doi.org/10.3390/en12040680>.
3. Juangsa, F. B., Budiman, B. A., Aziz, M., Soelaiman, T. A. F. Design of an airborne vertical axis wind turbine for low electrical power demands. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*. 2017. Vol. 8, No 4. P. 293-301. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40095-017-0247-3>.
4. Зінченко А., Михайленко О. «Зелена» революція в Україні: для усіх чи для обраних. *Економічна правда*. 2018. 16-19 січня. (№ 17). URL: <https://www.epravda.com.ua/publications/2018/02/16/634141/> (дата звернення: 20.03.2018).



5. 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 "Астрая", 2019. С. 401-426.

6. 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.

7. World Wind Energy Report 2012\_final. URL: <https://wwindea.org/blog/2016/10/10/wwea-half-year-report-worldwind-wind-capacity-reached-456-gw/> (дата звернення: 20.03.2020).

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

9. Гребеников В. В. Електрогенератори з постійними магнітами для вітроустановок та мікроГЕС. *Гідроенергетика України*. 2011. № 1. С. 43-48.

10. 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.

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

## РОЗРАХУНОК МАЛОПОТУЖНОГО ВІТРОЕЛЕКТРОГЕНЕРАТОРА ДЛЯ ДОМОГОСПОДАРСТВ Галько С. В.

### *Анотація*

В статті виконано аналіз існуючих малопотужних ВЕГ (до 10 кВт) і виявлені їх конструктивні недоліки. При усуненні виявлених недоліків розроблено малопотужний ВЕГ 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 при розрахунку ВЕГ на неодимових магнітах. Запропоновано методику розрахунку ВЕГ на неодимових магнітах, яка відрізняється простотою та практичністю, при використанні якої можна розрахувати основні параметри ВЕГ при різній швидкості вітру, кількості полюсів та якірних катушок.

**Ключові слова:** енергія вітру, вітроелектрогенератор, ротор, якір, неодимові магніти, потужність, швидкість вітру.



## РАСЧЕТ МАЛОМОЩНОГО ВЕТРОЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРА ДЛЯ ДОМОХОЗЯЙСТВ Галько С. В.

### *Аннотация*

В статье выполнен анализ существующих маломощных ВЭГ (до 10 кВт) и выявлены их конструктивные недостатки. При устранении выявленных недостатков разработан маломощный ВЭГ со сдвоенным двухдисковым ротором упрощенной конструкции с использованием неодимовых магнитов, что привело к повышению надежности и КПД генератора. Доказана нецелесообразность использования методики расчета синхронного генератора с постоянными магнитами при расчете ВЭГ на неодимовых магнитах. Предложена методика расчета ВЭГ на неодимовых магнитах, которая отличается простотой и практичностью, при использовании которой можно рассчитать основные параметры ВЭГ при разной скорости ветра, количестве полюсов и якорных катушек.

**Ключевые слова:** энергия ветра, ветроэлектрогенератор, ротор, якорь, неодимовые магниты, мощность, скорость ветра.

## CALCULATION OF A LOW-POWER WIND ELECTRIC GENERATOR FOR HOUSEHOLDS Halko S.

### *Summary*

The article analyses the existing low-power WEG (up to 10 kW) and reveals their design flaws. During the elimination of the identified shortcomings, the low-power WEG with a dual two-disc rotor of a simplified design using neodymium magnets was developed. It has the following advantages: the execution of a multi-pole rotor ensures an increase of a frequency of a generated EMF, which eliminates the use of a multiplier; uniform fixation in a circle on the periphery of the first rotor disk of neodymium permanent magnets provides reliable excitation of the magnetic field and frequency stability of the generated EMF in the armature windings; the implementation of the second rotor disk in the form of a steel plate provides a simplification of the construction, reduction of the number of magnets, dimensions and cost of the construction; the implementation of the stator plastic disk eliminates the loss on heat of the disk, reduces the shift moment, which extends the range of operating wind speed; the arrangement of the windings on a fixed stator avoids moving contacts, and thus increases the efficiency and reliability of the generator; the implementation of stator coils without core and steel magnetic circuit ensures the reduction of the moment of displacement of the generator, and therefore its start at low wind speed; the manufacture of stator coils with flat trapezoidal shape improves the stator compactness, increases the stator volume utilization factor, and thus contributes to the reduction of the size and the mass of the generator; the use of powerful neodymium magnets reduces the size and the mass of the generator.

It is proved inappropriate to use the method of calculation of a synchronous generator with permanent magnets in the calculation of WEG on neodymium magnets.

The method of calculation of WEG on neodymium magnets is offered. The method is simple and practical, using which it is possible to calculate the basic parameters of WEG under different wind speed, number of poles and armature coils.

**Key words:** wind energy, wind electric generator, rotor, armature, neodymium magnets, power, wind speed.