

ДО ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОГЕНЕРАТОРА ДЛЯ ВІТРОДВИГУНА З ПОВОРОТНИМИ ЛОПАТЯМИ

Краснолуцький Петро Петрович, кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри тракторів, автомобілів та енергетичних засобів

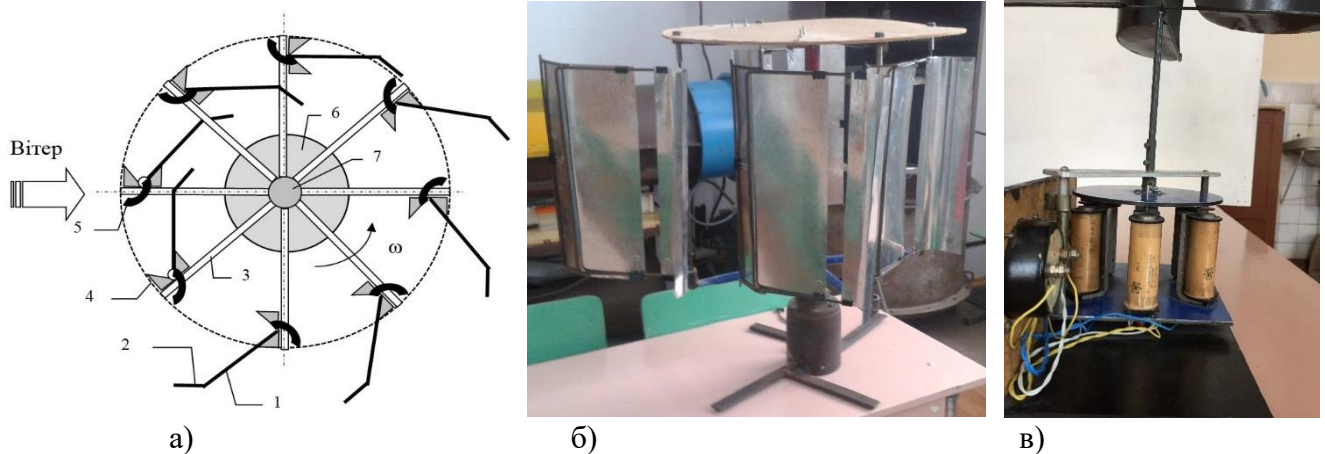
Адамчук Віталій Валерійович, здобувач вищої освіти, інженерно-
технічний факультет

Подільський державний університет

Україна

Не зважаючи на порівняно низький коефіцієнт використання енергії вітру (КВЕВ), властивий вітродвигунам вертикально-роторного типу, вони залишаються перспективним напрямком для конструювання вітроустановок малої потужності, оскільки не потребують механізму орієнтації «на вітер» і мають високий крутний момент [1]. З метою підвищення КВЕВ таких вітроустановок у Подільському державному аграрно-технічному університеті розробляється експериментальна конструкція вітродвигуна з поворотними лопатями складного профілю для збільшення робочого кута повороту ротора (рис. 1). Зокрема, були розроблені моделі і проведені лабораторні дослідження, результати яких дозволили з'ясувати особливості кінематики та динаміки даної конструкції, а також потребу у додаткових елементах (закрилках і флюгерах) та їх раціональні параметри [2]. Підтверджено, що робочий кут повороту ротора збільшується до 240° , при цьому мають місце істотні «стрибки» крутного моменту, що можна пояснити динамічним ефектом від розвертання лопаті на ділянці $45 \dots 125^{\circ}$, коли через різке збільшення радіусу до центру тиску і силу інерції лопаті створюється потужний імпульсний поштовх. На моделях використовувались різні генератори, у тому числі був розрахований і виготовлений електрогенератор змінного струму з постійними магнітами, закріпленими на периферії опорного диску у зоні максимальної лінійної швидкості (рис. 1в). Така схема з просторовим розташуванням котушок має вагомі переваги: вільний маневр вихідною напругою (через кількість котушок);

легкий доступ до кожної деталі генератора для ремонту чи обслуговування;
відсутність рухомих електричних контактів і потреби у системі охолодження.



**Рис. 1 Схема вітродвигуна (1а), загальний вигляд моделі (1б)
та генератора (1в)**

1 – лопать; 2 – закрилок; 3 – лонжерон; 4 - обмежувач; 5 – флюгер; 6 – диск опорний; 7 – вал

Тому ця схема була обрана для повномасштабного експериментального зразка вітроустановки, у зв'язку з чим виникла потреба в обґрунтованому виборі параметрів генератора із заданою номінальною потужністю 5 кВт.

Так як в кожній фазній обмотці використовується декілька однакових пар котушок, з'єднаних послідовно, то їх потужність розраховуємо виходячи із потужності кожної фази:

$$P_{\phi} = 1,1 \cdot \frac{P_{\Sigma}}{\sqrt{3}}, \quad (1)$$

де P_{Σ} – потужність генератора, Вт.

$$P_{\phi} = 1,1 \cdot \frac{5000}{\sqrt{3}} = 3179 \text{ Вт} \approx 3,2 \text{ кВт}.$$

Потужність, яка забезпечується кожною частиною фазної обмотки:

$$P_{\kappa} = 1,1 \cdot \frac{P_{\phi}}{n} = 1,1 \cdot \frac{3,2}{3} = 1,17 \text{ кВт}, \quad (2)$$

де n – кількість котушок фазної обмотки.

Для мінімізації маси магнітопроводу вибираємо магнітопровід ПЛ50×80 потужністю 2,4 кВт (так як використовується ½ магнітопроводу). Його висота 230 мм, ширина 170 мм, товщина 80 мм. Площа поперечного перерізу по сталі

$S_c = 50 * 80 = 4000 \text{ мм}^2$. Одразу перевіримо чи розмістяться котушки з осердям типу ПЛ на біговій доріжці робочого колеса при його розрахунковому діаметрі 2,2 м. Розміри однієї котушки з обмотками 350×200×250 мм, а радіус обертання ближньої точки магнітної системи $R = 1,175 \text{ м}$, тоді довжина бігової доріжки по внутрішньому радіусу:

$$l = 2\pi R = 2\pi * 1,175 = 7,38 \text{ м.} \quad (3)$$

Поділивши l на 18 бачимо, що на кожен котушку припадає 0,41 м. Отже, кожна котушка шириною 200 мм вільно розміщується в цьому проміжку.

Для вибраного магнітопроводу з поперечним перерізом 40 см² товщина пластин становить 0,35 мм, а коефіцієнт заповнення осердя залізом $S_3 = 0,8$.

$$\text{Тоді } S_o = S_m * S_3 = 40 * 0,8 = 32 \text{ см}^2. \quad (4)$$

де S_m – площа перерізу магнітопроводу по залізу, см²;

Так як ширина магнітопроводу 170 мм, то з запасом 20 % на розсіювання магнітного потоку приймаємо довжину магнітних накладок:

$$l_m = 170 * 1,2 = 204 \text{ мм.}$$

Вибираємо відповідний розмір із стандартного ряду: 200×80×30 мм, трапецієвидного перерізу для забезпечення синусоїдальної форми напруги. Перевіримо чи помістяться магнітні накладки на біговій доріжці ротора.

$$l_{\text{ротора}} = \pi * (D - 2 * l_m) = 3,14 * (2,7 - 0,2 * 2) = 7,22 \text{ м.} \quad (5)$$

При кількості накладок 72 шт. довжина лінії їх установки складає 7,22 м при цьому при ширині накладки 80 мм їх загальний набір складе:

$$80 * 72 = 5760 \text{ мм} = 5,76 \text{ м, що} < 7,22 \text{ м.}$$

При цьому номінальні обороти для одержання частоти струму 50 Гц

$$n = \frac{60 \cdot f}{\rho} = \frac{60 * 50}{72} = 41,5 \text{ хв}^{-1}; \quad (6)$$

Знаходимо ЕДС першого витка, обмотки де довжина витка без перемички

$$l_{\text{вит}} = 2a = 2 * 80 = 160 \text{ мм.} \quad (7)$$

$$\text{Тоді } E = B_m * l * v, \quad (8)$$

де v – швидкість зміни магнітного потоку, або лінійна швидкість переміщення магнітної частини ротора.

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60} = \frac{3,14 \cdot 2,6 \cdot 41,5}{60} = 11,293 \text{ м/с}. \quad (9)$$

При наявності повітряного проміжку магнітний потік буде зменшуватись, що можна використати для формування синусоїдальної форми напруги. Для цього у смуговій системі слід утворити нерівномірний повітряний проміжок.

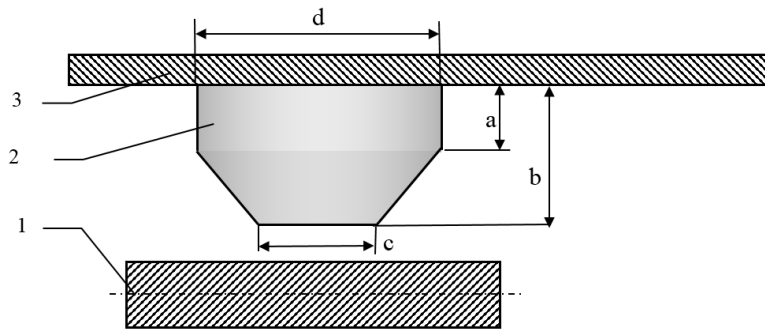


Рис. 2. Схема до розрахунку повітряного проміжку

1 – осердя котушки; 2 – магніт; 3 – лонжерон.

$$c = \frac{1}{2} d; a = \frac{3}{4} b.$$

Дані розміри є стандартними для магнітної системи і забезпечуються заводом-виробником магнітів. При цьому $B = 0,8$ Тл. Тоді

$$E_e = 2 * B_{роб} * l * v = 2 * 0,8 * 0,08 * 11,3 = 1,45 \text{ В}. \quad (10)$$

Так, як в нашому випадку використовується змішане (паралельно-послідовне) з'єднання котушок (по 2 в паралель і по 3 пари послідовно), то кількість витків кожної котушки знаходимо із виразу:

$$N = 0,63 \cdot \frac{U_\phi}{E_e \cdot n}, \quad (11)$$

де U_ϕ – фазова напруга, В;

E_e – е.д.с. одного витка обмотки, В;

n – кількість котушок в послідовному з'єднанні обмоток (по кожній фазі).

$$\text{Тоді: } N = 0,63 \cdot \frac{380}{1,45 \cdot 3} = 55 \text{ вит}.$$

Знаходимо струм при $P_{ном} = 5$ кВт

$$I_n = \frac{5000}{350} \approx 13,4. \quad (12)$$

Обмотки працюють попарно у паралель, тому з допуском на їх нагрів

$$I_{ном} = 0,75 * I_n = 13 * 0,75 = 9,75 \text{ А}. \quad (13)$$

Знаходимо переріз дроту по міді при густині струму $j = 2,5 \text{ А/мм}^2$ (для осердя типу ПЛ):

$$S_m = \frac{I_{ном}}{j} = \frac{9,75}{2,5} = 3,9 \text{ мм}^2. \quad (14)$$

З довідкових даних вибираємо провід ПЕТВШ з діаметром жили $d = 2,25 \text{ мм}$ при $S_m = 3,97 \text{ мм}^2$. Отже, кожна котушка в нашому випадку містить 55 витків проводу ПЕТВШ-2.25. При цьому, загальна кількість витків кожної фазної обмотки становить $N_\phi = 55 * 3 = 165$ витків.

Необхідно відмітити, що запропонована конструкція генератора дозволяє істотно збільшити його потужність без кардинальних змін. Наприклад, можна застосувати неодімові магніти зі сплаву NbFeB, тоді потужність генератора можна збільшити не менше як удвічі, а установивши ще один ярус обмоток з протилежної сторони ротора (зверху) реально підняти потужність ще в 2 рази. Отже, конструкційний запас по потужності складає не менше як 4-6 разів, що і потрібно для розширення діапазону робочих швидкостей вітру.

Список використаних джерел

1. Півняк, Г. (2015). Основи вітроенергетики: підручник. Дніпропетровськ: НГУ, 335 с.
2. Краснолуцкий, П., Панцир, Ю. Теоретический анализ ветродвигателя с поворотными лопастями (2015). *Motrol. Commission of motorization and energetics in agriculture: Lublin-Rzeszow*, Vol. 17, No. 1, 51–56.