

НАПРЯМИ УДОСКОНАЛЕННЯ ВЕРТИКАЛЬНО-РОТОРНОЇ ВІТРОУСТАНОВКИ З ПОВОРОТНИМИ ЛОПАТЯМИ

П.П. Краснолуцький, канд. техн. наук, доцент
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
kraspp@ukr.net

С.М. Волошин, канд. техн. наук, доцент
Національний університет біоресурсів і природокористування України
voloshyn@nubip.edu.ua

Вітродвигуни з вертикальною віссю обертання ротора порівняно з горизонтально-осьовими вигідно відрізняються підвищеними робочим та пусковим крутним моментом, простішою конструкцією, кращою стійкістю до шквальних вітрів. Але вони мають істотно менший коефіцієнт використання енергії вітру та значно нижчу частоту обертання, що ускладнює їх агрегатування з деякими виконавчими машинами, зокрема, електрогенераторами [1]. У пошуку шляхів удосконалення таких вітродвигунів було проаналізовано їх відомі конструкційні схеми і складено таблицю морфологічного аналізу.

Таблиця 1 – Морфологічний аналіз вертикально-роторних вітродвигунів

Морфологічна ознака	Альтернативи (можливі варіанти)				
	1	2	3	4	5
А – рух лопаті	Обертальний	Поступальний	Коливальний	Обертально-поступальний	Обертально-коливальний
Б – сприйняття енергії вітру	Піднімальна сила	Сила лобового опору	Ефект Магнуса	Піднімальна сила + сила лобового опору	Піднімальна сила + ефект Магнуса
В – форма міделя	Прямокутник (квадрат)	Трапеція (трикутник)	Круг (еліпс)	Багатокутник (комбінація)	-
Г- профіль динамічний	Циліндроїд	Конус (піраміда)	Сфера (еліпсоїд)	Гелікоїд	Тороїдальний сектор
Д – профіль лопаті	Плоский	Криволінійний	Аеродинамічний (подвійної кривизни)	«Складене крило»	-
Е – поверхня лопаті	Суцільна жорстка	Решітчаста	Поліпланна	З відносним зміщенням фрагментів	Аеродинамічно гнучка
Ж – кріплення лопатей	Жорстке	З можливістю повороту навколо вертикальної осі	З можливістю повороту навколо горизонтальної осі	-	-
К - Кількість лопатей	1	2...4	6 і більше	-	-

Кількість можливих комбінацій $5*5*4*5*4*5*3*3= 90\ 000$ варіантів.

Обрана комбінація А1-Б4-В1-Г1-Д4-Е4-Ж2-К2, яка реалізована у моделі вітродвигуна, показана на рис. 1.

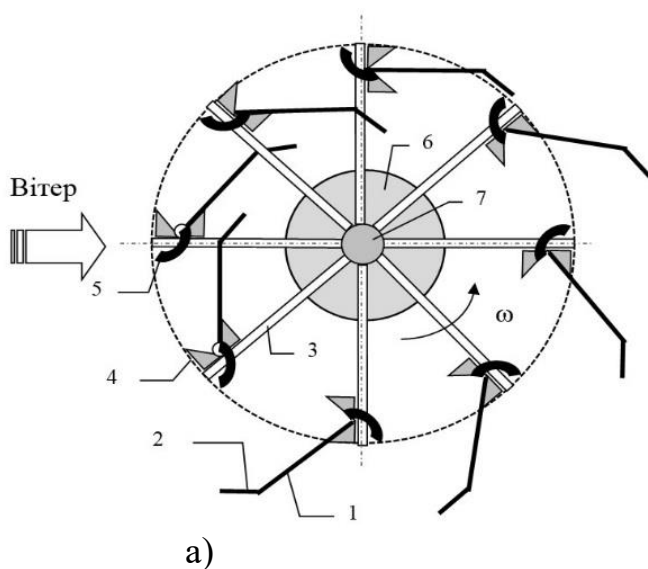


Рис. 1 Схема вітродвигуна (1а) та загальний вигляд моделі (1б)

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

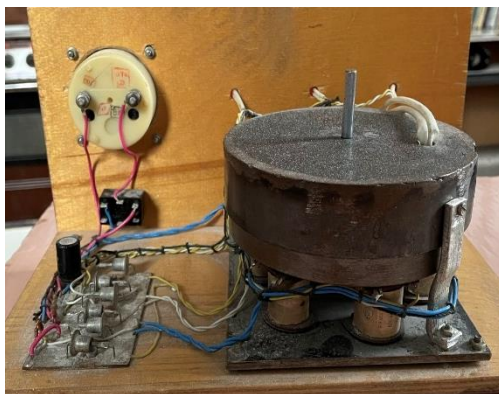
Обрана схема відрізняється тим, що лопать 1 кріпиться шарнірно до лонжерона 3 з можливістю обмеженого повороту. Завдяки цьому прогнозувалось, що робочий кут повороту ротора збільшиться до $225^{\circ} \dots 270^{\circ}$ (проти $135^{\circ} \dots 160^{\circ}$ для звичайних вітряків карусельного типу) і лиш на повороті $270^{\circ} \dots 360^{\circ}$ лопать перейде у режим флюгера з мінімальним опором руху повітря. На початкових етапах дослідження було проведено кінематичний аналіз ротора і з'ясовано, що при його повороті істотно змінюється площа міделя лопаті, кут атаки і положення центра маси та аеродинамічного тиску. Особливо стрімко це відбувається на ділянці траєкторії $45^{\circ} \dots 125^{\circ}$, коли лопать різко розвертається, що спричинює раптове збільшення штовхаючої аеродинамічної сили (через збільшення площі міделя) та крутного моменту (через збільшення аеродинамічної сили та плеча її дії) [2].

На наступних етапах було теоретично розраховано параметри вітродвигуна при його заданій потужності 5 кВт, виготовлено модельні установки (за критерій подібності застосовано критерій Рейнольдса) і проведені досліди за планом двохфакторного експерименту. У результаті було встановлено, що варіант з трьома лопатями є практично нероботоздатним: вітродвигун розганявся повільно, ривками, періодично зупиняючись, особливо при малій швидкості повітряного потоку. Коефіцієнт використання енергії вітру (як відношення фактичної потужності вітродвигуна до енергії потоку повітря) у даному випадку знаходиться у межах $0,12 \dots 0,14$, піднімаючись до $0,16 \dots 0,19$ лише при високій швидкості вітру [3]. Причиною таких «стрибків» є те, що у положенні повороту $0^{\circ} \dots 75^{\circ}$ виникає аеродинамічна тінь, коли лопать закриває собою від вітру попередню, яка знаходиться на дузі повороту $90^{\circ} \dots 180^{\circ}$. Подібна, але пом'якшена ситуація виникає і при роботі ротора з 4 лопатями. Тут також

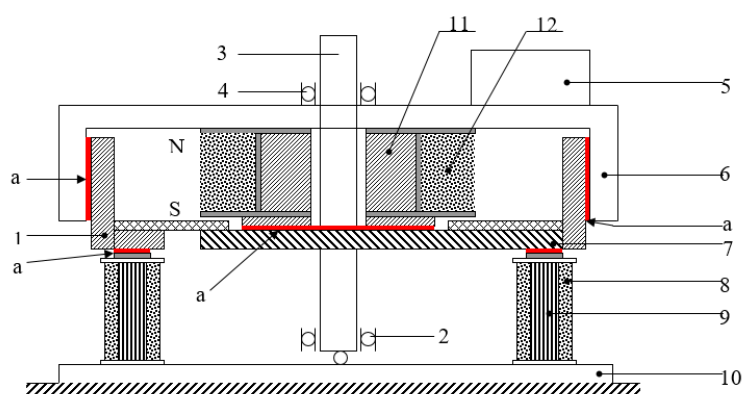
виникає аеродинамічна тінь, але на коротшій ділянці повороту ротора і така, що неповністю перекриває прохід вітру до наступної лопаті. Позбавитись або істотно послабити цей ефект можна у такі способи:

- 1) розташувати лопаті у два яруси по вертикалі; слід врахувати, що висота конструкції відповідно зростає вдвічі;
- 2) виконати лопаті не суцільними, а з вертикальними вікнами поблизу осі кріплення.

Окремо слід висвітлити результати вибору електрогенератора. Спочатку у лабораторних моделях застосовувався спеціально виготовлений електрогенератор змінного струму з постійними магнітами, закріпленими на периферії опорного диска у зоні максимальної лінійної швидкості. У ході експериментів було встановлено, що конструкція генератора є роботоздатною і вже при частоті обертання валу близько 60 хв^{-1} він генерував фазну пікову напругу до $20 \dots 25 \text{ В}$, а при 150 хв^{-1} - $42 \dots 45 \text{ В}$ (у режимі холостого ходу). Однак через биття опорного диска при збільшенні обертів характеристика струму не була плавною [3]. Крім того на показниках роботи негативно відбилися технічні погрішності при закріпленні магнітів. Очевидно, що при переході від моделі до вдсятеро більшого натурального зразка ці недоліки лише посиляться і при діаметрі опорного диска близько 2 м уникнути його биття та забезпечити стабільний зазор між магнітами та котушками практично нереально. На підставі проведеного аналізу конструкцій електрогенераторів розроблено і виготовлено діючу модель безконтактного асинхронного трифазного генератора змінного струму з кігтевидним ротором і торцевим розташуванням робочих обмоток (рис. 2).



а)



б)

Рис. 2 Експериментальна модель генератора (2а) та його принципова схема (2б)

1 - кіготь ротора полюсу “N”; 2 - нижній підшипниковий вузол; 3 - вал ротора; 4 - верхній підшипниковий вузол; 5 - блок керування (регулятор напруги); 6 - корпус із магнітомяккої сталі (N-полюс); 7 - кіготь ротора полюсу “S”; 8 - робоча (фазна) обмотка; 9 - осердя котушки; 10 - основна несуча нижня плита (сталь); 11 - магніт збудження; 12 - обмотка керування магнітним потоком; *a* - магнітні зазори.

У ході початкових експериментів було підтверджено загальну роботоздатність даного генератора, а також його спроможність працювати у діапазоні частоти обертання ротора 63...90 хв⁻¹. Так, як генератор виконано з обмоткою підмагнічування, то при зміні сили струму через дану обмотку можна в досить широких межах регулювати вихідну напругу, або струм навантаження. Для цього пропонується застосувати електронний регулятор напруги підмагнічування який обмежує нестабільність вихідної напруги не більше $\pm 5\%$ при середніх швидкостях обертання якоря.

Загалом можна зробити такі висновки. Запропонована конструкція вітродвигуна є цілком роботоздатною і порівняно із відомими конструкціями вертикально-роторних установок має вищий коефіцієнт використання енергії вітру за рахунок збільшеної дуги робочого ходу ротора. Для забезпечення такого ефекту лопаті рекомендується виготовляти вигнутого профілю і встановлювати їх парами поярусно або виготовляти із вертикальними прорізами ближче до осі обертання для запобігання виникненню аеродинамічної тіні. Доцільно також застосувати у даній установці електрогенератор з котушками, рознесеними по периферії, де лінійна швидкість перетинання магнітного поля максимальна. Вважаємо, що у даному випадку найбільш практичною є конструкція безконтактного асинхронного трифазного генератора змінного струму з кігтевидним ротором і торцевим розташуванням робочих обмоток.

Список літератури

1. Півняк Г., Шкрабець Ф., Нойбергергер Н., Циценков Д. Основи вітроенергетики: підручник. Дніпропетровськ: НГУ. 2015. 335 с.
2. Краснолуцкий П., Панцир Ю. Теоретический анализ ветродвигателя с поворотными лопастями. *Motrol. Commission of motorization and energetics in agriculture*: Lublin-Rzeszow, 2015, Vol. 17, No. 1. P. 51–56.
3. Краснолуцкий П.П., Панцир Ю.І. Горбовий О.В. Деякі результати лабораторних досліджень вітрогенератора з поворотними лопатями. *Проблеми сучасної енергетики і автоматики в системі природокористування (теорія, практика, історія, освіта)*: матеріали наук.-техн конф., м. Київ, 23-27 травня 2018 р. 131 с. - С.35-37.