

УДК 621.311.24

АЛЕКСІЄВСЬКИЙ Д.Г., ПАНКОВА О.О.  
Запорізька державна інженерна академія

### МОРФОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ СТРУКТУР ВІТРОЕЛЕКТРОГЕНЕРУЮЧИХ СИСТЕМ З АЕРОДИНАМІЧНИМ МУЛЬТИПЛІКУВАННЯМ

**Мета.** Виявлення перспективних напрямів побудови вітроелектрогенеруючих системи з аеродинамічним мультиплікуванням.

**Методика.** В основі алгоритму досягнення мети дослідження лежить морфологічний метод аналізу. Порівняння альтернативних варіантів було здійснено за допомогою комплексного критерію оптимальності. Значення вартісних коефіцієнтів визначалися із застосуванням методу експертних оцінок.

**Результати.** На основі морфологічного аналізу варіантів побудови вітроелектрогенеруючих систем з аеродинамічним мультиплікуванням були отримані рекомендації щодо вибору їх оптимальних структур.

**Наукова новизна.** В роботі вперше запропоновано комплексний критерій якості вітроелектрогенеруючих систем з аеродинамічним мультиплікуванням, який враховує різноманітні чинники, що впливають на ефективність застосування цих систем та дозволяє отримати методика визначення оптимальної структури ВЕУ з аеродинамічним мультиплікуванням.

**Практична значимість.** Результати проведеного аналізу можуть бути використані при проектуванні нових систем керування ВЕУ з аеродинамічним мультиплікуванням.

**Ключові слова:** вітроенергетична установка, віротурбіна, морфологічний аналіз, аеродинамічне мультиплікування, моментне управління ВЕУ, аеродинамічне управління ВЕУ.

**Вступ.** Вітроелектрогенеруючі системи ВЕУ з аеродинамічним мультиплікуванням (*aerodynamic multiplication wind power plant - ADMWPP*) почали розвиватися відносно недавно [1]. Цей напрям є альтернативним відносно класичної ВЕУ, яка побудована по схемі «віротурбіна – механічний мультиплікатор – генератор» (схему з тихохідним генератором та без мультиплікатора можна, також, певною мірою, віднести до класичної). Роботи в області проектування ADMWPP були присвячені питанням моделювання, аналізу ефективності та питанням управління цими системами [2], [3], [4]. Електромеханічні системи ADMWPP є більш складним об'єктом управління, на відміну від класичної ВЕУ, та потребують нових підходів при синтезі систем управління ними.

**Постановка завдання.** Розробка більш досконалих способів та алгоритмів керування системами ADMWPP є актуальним завданням. У зв'язку з цим представляється доцільним проведення системного аналізу варіантів побудови структури системи керування ADMWPP. Вирішення цього завдання може бути досягнуто за допомогою морфологічного аналізу варіантів побудови вітроелектрогенеруючих системи з аеродинамічним мультиплікуванням.

**Результати дослідження.** З точки зору управління, на відміну від класичної ВЕУ, ADMWPP має більшу варіативність.

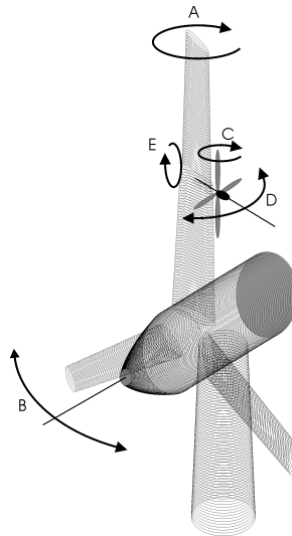


Рис. 1. Способи впливу на стан електромеханічної системи ADMWPP

Вона має наступні входи для впливу на стан електромеханічної системи (рисунок 1):

**A** - кут встановлення лопатей первинної вітротурбіни,

**B** - кут відхилення вісі обертання первинної вітротурбіни від вектору первинного повітряного потоку,

**C** - кут встановлення лопатей вторинної вітротурбіни,

**D** - кути відхилення вісі обертання вторинних вітротурбін від вектору вторинного повітряного потоку,

**E** - обертовий момент генераторів.

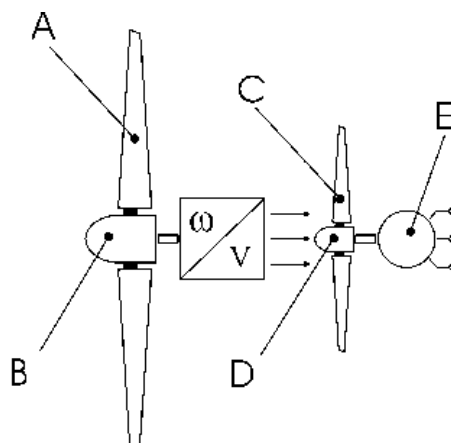


Рис. 2. Умовні позначення морфологічних ознак системи ADMWPP

Розглянемо застосування кожного з вищезазначених способів впливу на стан системи, як морфологічну ознаку. Для наочного представлення варіантів може бути використана мнемосхема, що зображена на рисунку 2.

Наявність відповідної ознаки будемо позначати затемненням відповідного елемента.

Шляхом комбінації морфологічних ознак може бути сформована карта морфологічного аналізу, що зображена на рисунку 3. Вона містить 32 альтернативи.

		C+				C-			
		D+		D-		D+		D-	
		E+	E-	E+	E-	E+	E-	E+	E-
A+	B+								
	ABCDE	ABCD	ABCE	ABC	ABDE	ABD	ABE	AB	
A-	B-								
	ACDE	ACD	ACE	AC	ADE	AD	AE	A	
A+	B+								
	BCDE	BCD	BCE	BC	BDE	BD	BE	B	
A-	B-								
	CDE	CD	CE	C	DE	D	E	"0"	

Рис. 3. Карта морфологічного аналізу системи ADMWPP

При формуванні комплексного критерію якості були розглянуті наступні аспекти та чинники, що визначають оптимальність та працездатність застосування тієї чи іншої альтернативи.

1. Застосування певної морфологічної ознаки має відповідну ціну, що позначається на сумарних відносних капітальних витратах.

2. При застосуванні управління виключно за допомогою зміни моменту гальмування, що створюють вторинні вітротурбіни, розміри вторинних вітротурбін повинні бути збільшені, в порівнянні зі схемами, в яких цей спосіб комбінується з іншими способами управління, чи даний спосіб управління взагалі не використовується. Це необхідно для того, щоб мати можливість створювати достатній момент гальмування при значних швидкостях вітрового потоку. Відповідно цей факт позначається на додаткових капітальних витратах.

3. Система повинна бути керованою. (Це твердження є достатньо тривіальним, але при формальному підході, повинно бути враховане).

4. Недоцільно використовувати дублювання аеродинамічного управління, тобто сумісне використання зміни кута встановлення лопатей і зміни кута орієнтації вітротурбіни.

5. Недоцільно використовувати дублювання управління вторинними вітротурбінами, тобто сумісне використання аеродинамічного та електромагнітного регулювання для вторинних вітротурбін.

Для формування комплексного критерію введемо допоміжну цілочисельну функцію логічної змінної:

$$trl(x) = \begin{cases} 0 & \text{npu } x = false \\ 1 & \text{npu } x = true \end{cases}, \quad (1)$$

де  $x \in \{false, true\}$  - логічна змінна.

Виходячи з вищезазначених чинників та з використанням функції (1) може бути сформульований комплексний критерій якості:

$$W(A, B, C, D, E) = S_A \cdot trl(A) + S_B \cdot trl(B) + S_C \cdot trl(C) + \\ + S_D \cdot trl(D) + S_E \cdot trl(E) + S_{WT2} \cdot trl(\overline{(AUE)} \cap (CUDUE)) +$$

$$+ S_{\infty} \text{trl}(\bar{A} \cap \bar{B} \cap \bar{C} \cap \bar{D} \cap \bar{E} \cap ((A \cap B) \cup (C \cap D)) \cap ((C \cap E) \cup (D \cap E))), \quad (2)$$

де  $S_A$  - відносні витрати при застосуванні механізму зміни кута встановлення лопатей первинної вітротурбіни,

$S_B$  - відносні витрати при застосуванні, для регулювання, обертання вісі первинної вітротурбіни відносно напрямку вітру,

$S_C$  - відносні витрати при застосуванні механізму зміни кута встановлення лопатей вторинної вітротурбіни,

$S_D$  - відносні витрати при застосуванні механізму зміни кутів відхилення вісі обертання вторинних вітротурбін від вектору вторинного повітряного потоку,

$S_E$  - відносні витрати при застосуванні електромагнітного управління,

$S_{WT2}$  - відносні додаткові витрати внаслідок збільшення розмірів вторинних вітротурбін,

$S_{\infty}$  - заздалегідь велика величина для реалізації функції виключення певної альтернативи з розгляду,

A, B, C, D, E - логічні змінні, що позначають наявність чи відсутність відповідної морфологічної ознаки.

Величини відносних витрат були отримані за допомогою експертних оцінок. За базову величину було взято капітальні витрати на реалізацію управління за допомогою кута встановлення лопатей первинної вітротурбіни.

При застосуванні даного критерію до сформованої сукупності альтернатив були отримані наступні значення комплексного критерію (Табл.).

Після ранжування за ознакою мінімального значення критерію можна виділити групу альтернатив - лідерів: B(0,05), BC(0,25), BD(0,35), C(0,4), BE(0,45), D(0,5), E(0,6), A(1,0).

Варіант B (0,05) - має найменше значення відносних додаткових витрат тому, що використовує вже встановлений механізм орієнтації за вітром. Але при реалізації цього способу (як і інших альтернатив, що мають ознаку B) можуть виникати певні проблеми, пов'язані з наявністю гіроскопічного ефекту при обертанні первинної вітротурбіни, який може, в умовах швидкозмінного вітру, зробити даний спосіб непрацездатним.

Таблиця

**Результати розрахунку комплексного критерію ефективності**

		C+				C-			
		D+		D-		D+		D-	
		E+	E-	E+	E-	E+	E-	E+	E-
A+	B+	ABCDE	ABCD	ABCE	ABC	ABDE	ABD	ABE	AB
		∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
	B-	ACDE	ACD	ACE	AC	ADE	AD	AE	A
		∞	∞	∞	1,2	∞	1,3	1,4	1,0
A-	B+	BCDE	BCD	BCE	BC	BDE	BD	BE	B
		∞	∞	∞	0,25	∞	0,35	0,45	0,05
	B-	CDE	CD	CE	C	DE	D	E	"0"
		∞	∞	∞	0,4	∞	0,5	0,6	∞

У варіанті ВЕ (0,45) доцільно було використовувати електромагнітне регулювання в області оптимального відбору потужності, а зміну кута орієнтації за вітром – для обмеження потужності.

Слід зазначити, що створений на сьогодні варіант АЕ (1,4) не входить до складу лідерів по мінімізації капітальних витрат, але, при цьому використовує перевірені технічні рішення.

Суттєву відмінність від інших лідерів має варіант Е (0,6). Відмінність полягає у відсутності будь-якого механічного способу регулювання. Це має свої переваги не тільки з точки зору капітальних витрат, а й з точки зору експлуатаційних витрат та підвищення експлуатаційної надійності системи.

**Висновки.** Данні для морфологічного аналізу відображають ситуативну оцінку витрат на теперішній час. Їх значення, безумовно, можуть змінюватися під впливом різноманітних факторів, що обумовлені змінами в рівні розвитку техніки та технології виробництва компонентів ADMWPP.

З розглянутих способів управління ADMWPP на теперішній час, за допомогою фізичного експерименту та математичного моделювання, досліджені тільки варіанти А, АЕ та Е. Інші перспективні способи потребують подальшого розгляду з точки зору їх працездатності та впливу на величину видобутку електроенергії. Результати даної роботи мають сприяти системному погляду на проблему створення нових систем керування для ВЕУ з аеродинамічним мультиплікуванням, та намітити напрями подальших досліджень у цій області.

#### Список використаних джерел

1. Голубенко Н.С. Тенденции развития ветроэнергетики и безмультипликаторные ветровые установки / Н. С. Голубенко, С. И. Довгалюк, А. М. Фельдман, В. А. Цыганов // Нетрадиционная энергетика XXI века: материалы IV Международной конференции. – Крым, Гурзуф. – 2003. – С. 68–74.
2. Голубенко Н.С. Аэродинамические способности безмультипликаторной турбогенераторной схемы ветроэнергетической установки большой мощности / Н.С. Голубенко // Нетрадиционная энергетика XXI века: матер. 4-ой междунар. конф., – Гурзуф. – 2003. – С. 123–132.
3. Миргород В. Ф. Управление ветроэнергетической установкой большой мощности по запасам аэродинамической устойчивости / В. Ф. Миргород // Вестник двигателестроения. – 2009. – № 3. – С. 67–70.
4. Вишневецкий П.О. Оценка эффективности применения преобразователя частоты для турбогенераторной схемы ВЭУ при работе на малых скоростях ветра / П.О. Вишневецкий, Н.С. Голубенко, С.И. Довгалюк, А.А. Яцур // Нетрадиционная энергетика XXI века. материалы Международной конференции. – Крым, Гурзуф. – 2003. – С. 103–105.
5. Андриенко П.Д. Повышение эффективности ветроэлектрической установки ТГ-750 / П.Д. Андриенко, В.П. Метельский, И.Ю. Немудрый, А.А. Никонова // Вісник Сев. НТУ. Сер. Механіка, енергетика, екологія: зб. наук. пр. – Севастополь, 2011. – Вип. 119. – С. 109–111.
6. Миргород В.Ф. Моделирование динамических режимов ветроэнергетической установки мольшой мощности /В.Ф. Миргород, Г.С. Радченко, Н.С. Голубенко // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – 4(30). – 2006. – С. 96–99.
7. Гвоздева И.М. Преобразование математической модели динамики аэроэнергетической установки к нормальной форме / И.М. Гвоздева, В.Ф. Миргород, Е.В. Деренг // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – №3(19). – 2012. – С.466–458.

## МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СТРУКТУР ВЕТРОЭЛЕКТРОГЕНЕРИРУЮЩИХ СИСТЕМ С АЭРОДИНАМИЧЕСКИМ МУЛЬТИПЛИЦИРОВАНИЕМ

АЛЕКСЕЕВСКИЙ Д.Г., ПАНКОВА О.О.

*Запорожская государственная инженерная академия*

**Цель.** Выявление перспективных направлений построения ветроэлектродгенерирующих систем с аэродинамическим мультиплицированием.

**Методика.** В основе алгоритма достижения цели исследования лежит морфологический метод анализа. Сравнение альтернативных вариантов было осуществлено с помощью комплексного критерия оптимальности. Значение стоимостных коэффициентов определялись с применением метода экспертных оценок.

**Результаты.** На основе морфологического анализа вариантов построения ветроэлектродгенерирующих систем с аэродинамическим мультиплицированием были получены рекомендации по выбору их оптимальных структур.

**Научная новизна.** В работе впервые предложен комплексный критерий качества ветроэлектродгенерирующих системы с аэродинамическим мультиплицированием, учитывающий различные факторы, влияющие на эффективность применения этих систем и позволяет получить методику определения оптимальной структуры ВЭУ с аэродинамическим мультиплицированием.

**Практическая значимость.** Результаты проведенного анализа могут быть использованы при проектировании новых систем управления ВЭУ с аэродинамическим мультиплицированием.

**Ключевые слова:** ветроэнергетическая установка, ветротурбина, морфологический анализ, аэродинамическое мультиплицирование, моментное управление ВЭУ, аэродинамическое управление ВЭУ.

## MORPHOLOGIC ANALYSIS OF WIND POWER PLANT WITH AERODYNAMIC MULTIPLICATION

ALEKSEEVSKIY D.G., PANKOVA O.O.

*Zaporozhe State Engineering Academy*

**Purpose.** Identification of perspective construction directions of the wind power plant with aerodynamic multiplication.

**Methodology.** Analysis morphological method is the basis for the research purpose achievement. The alternative types compression was made with the help of complex optimality criterion. Worth coefficient values were determinated using the expert analysis method.

**Findings.** Optimal structures choice recommendations were received on the basis of construction options morphological analysis of wind power plant with aerodynamic multiplication.

**Originality.** In the article complex quality criterion of wind power plant with aerodynamic multiplication was suggested for the first time, which takes into account various factors that influence on the efficiency of these systems implementation and allows to get the optimal structure identification methodology of wind power plant with aerodynamic multiplication.

**Practical value.** Findings of the carried out analysis can be used at the new control systems designing of the wind power plant with aerodynamic multiplication.

**Key words:** wind power plant, wind turbine, morphologic analysis, aerodynamic multiplication, torque control of wind power system, aerodynamic control of wind power system.