

МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ АЛГОРИТМІВ РОЗПОДІЛУ НАВАНТАЖЕННЯ НА КАНАЛИ СТАБІЛІЗАЦІЇ ВІТРОВОЇ ТУРБІНИ

Тарасов С.В.¹, Молотков О.Н.²

¹Інститут транспортних систем та технологій НАН України,
к.т.н., ст.наук.спів. Україна

²Інститут транспортних систем та технологій НАН України,
к.т.н., доц., Україна

Анотація. В роботі розглядається функціонування системи стабілізації обертання ротора вертикально-осьової вітроенергетичної установки (ВЕУ) із ротором Дар'є, керованим сумісними змінами довжини лопатей і траверс. В такій системі стабілізації значні зміни довжини траверс призводять до змін моменту інерції ротора, що суттєво ускладнює синтез працездатних стійких алгоритмів формування зворотних зв'язків. Для зменшення цього пропонується використання змінних в часі алгоритмів перерозподілу навантаження на канали стабілізації. Доведено, що застосування запропонованих алгоритмів суттєво покращує динаміку системи стабілізації – дозволяє значно зменшити зміни відхилень довжини траверс ротору від їх номінальних значень. Методами вирішення задачі є методи класичної теорії автоматичного управління і математичного моделювання. Новизна отриманих результатів полягає в розповсюдженні концепції регулювання шляхом зміни площі, що омітається, на вертикально-осьові ВЕУ із ротором Дар'є, що керується сумісними змінами довжини лопатей і траверс.

Ключові слова: вертикально-осьові турбіни, стабілізація обертання, моделювання, перехідні функції, динамічні алгоритми

Вступ. В сучасному світі вітроенергетичні установки вертикально-осьового типу набули широкого розповсюдження [1]. Для роботи ВЕУ поблизу оптимальних режимів використовують системи стабілізації обертання ротору з різноманітними алгоритмами формування зворотних зв'язків [2]. В роботі [3] обґрунтовано алгоритми розподілу навантаження на канали стабілізації швидкості обертання ротору ω вертикально- осьових ВЕУ із H -ротором Дар'є, керованого шляхом сумісних змін довжини лопатей і траверс згідно співвідношень

$$\frac{d\Delta\omega}{dt} = (k_1\Delta V + k_{2h}\Delta H + k_{2r}\Delta R - \Delta\omega) / T ,$$

$$\begin{aligned}\frac{d\Delta H}{dt} &= (k_{2h}K_2\Delta H + ((K_1T - K_2)\Delta\omega + k_1K_2\Delta V)(1-a))/T, \\ \frac{d\Delta R}{dt} &= (k_{2r}K_2\Delta R + ((K_1T - K_2)\Delta\omega + k_1K_2\Delta V)a)/T,\end{aligned}\quad (1)$$

де $\Delta\omega$ – відхилення швидкості обертів ротора змінної конфігурації, K_1, K_2 – коефіцієнти зворотних зв'язків каналів стабілізації, T, k_1, k_{2h}, k_{2r} – коефіцієнти лінеаризації, обчислені за конструктивними параметрами ВЕУ, ΔV зміна швидкості вітру, $a \in [0,1]$ – безрозмірний параметр перерозподілу навантаження на канали стабілізації. Чисельне значення a обирається таким, щоб забезпечити менше навантаження на канал змін довжини траверс і, як слідство, зробити практично незмінним момент інерції ротора. Недоліком такого алгоритму є незмінність a протягом всього часу функціонування системи. Більш доцільно було б змінювати a в залежності від часу або параметрів процесів стабілізації, що могло б покращити динамічні властивості системи.

Викладення основного матеріалу

В якості найбільш простого алгоритму динамічної зміни параметру перерозподілу a в залежності від часу може бути використаний, наприклад, скачко-подібний алгоритм

$$a(t) = \begin{cases} 1/2, & \text{якщо } |\Delta R / R_o| < 0,05 \\ 1/5, & \text{якщо } |\Delta R / R_o| \geq 0,05 \end{cases}, \quad (2)$$

де R_o – номінальне значення довжини траверс. Тоді система (1) розпадається на дві підсистеми із значеннями параметру a 1/2 і 1/5, що стикаються одна з одною в момент часу, коли $|\Delta R| / R_o$ досягає значення 0,05.

Більш привабливими, безумовно, є алгоритми з неперервними змінами параметру перерозподілу, наприклад алгоритм

$$a(t) = a_o + \Delta R(t), \quad (3)$$

де a_o – деяке незмінне початкове значення a з інтервалу $[0,1]$.

З метою оцінки працездатності і порівняння ефективності запропонованих алгоритмів проведено моделювання роботи системи стабілізації обертання ВЕУ із конструктивними параметрами близькими до параметрів ВЕУ-0420, наведеними в табл. 2 роботи [3]. При цьому вважалось що: номінальне значення швидкості вітру $V_o = 13$ м/с; довготривалі зміни

швидкості вітру V моделюються одиничною ступеневою функцією $\Delta V(t) = 1(t)$; номінальна швидкість обертів ротора $\omega_0 = 2,8$ рад/с.

Обчислені значення перехідних функцій для алгоритмів (1)-(3) наведені на рис. 1, 2. Цифрою 1 позначені перехідні функції системи (1) при незмінному $a=1/5$, цифрою 2 – системи (1) із скачко-подібним алгоритмом (2), цифрою 3 – системи (1) із неперервним алгоритмом (3).

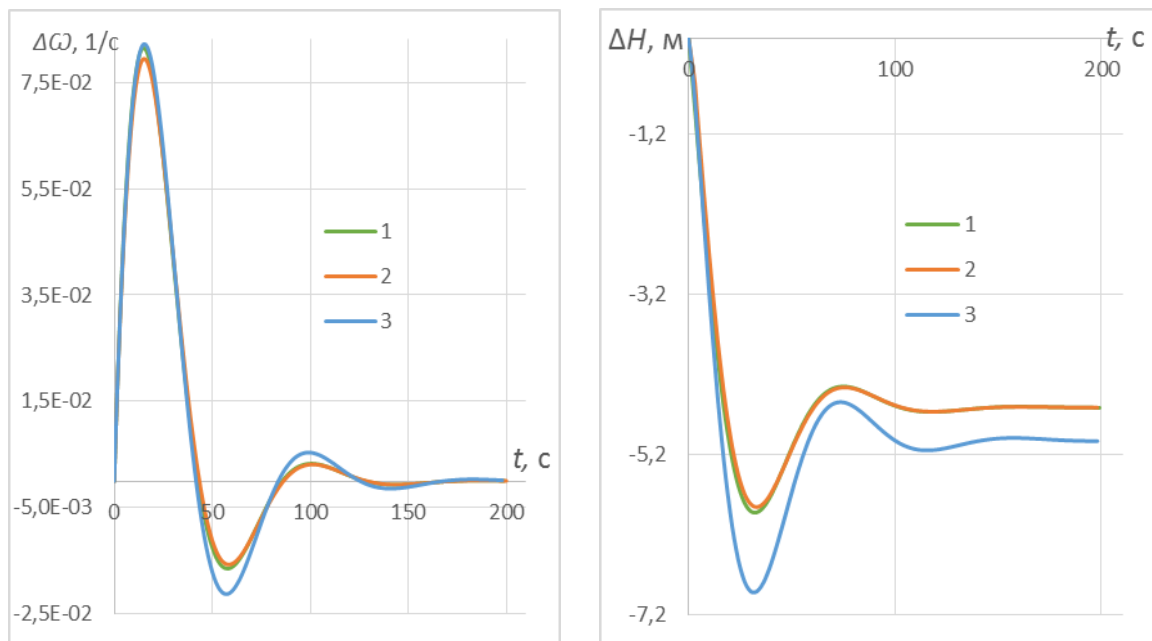


Рисунок 1 – Залежності $\Delta\omega$, 1/с і ΔH , м від часу t , с

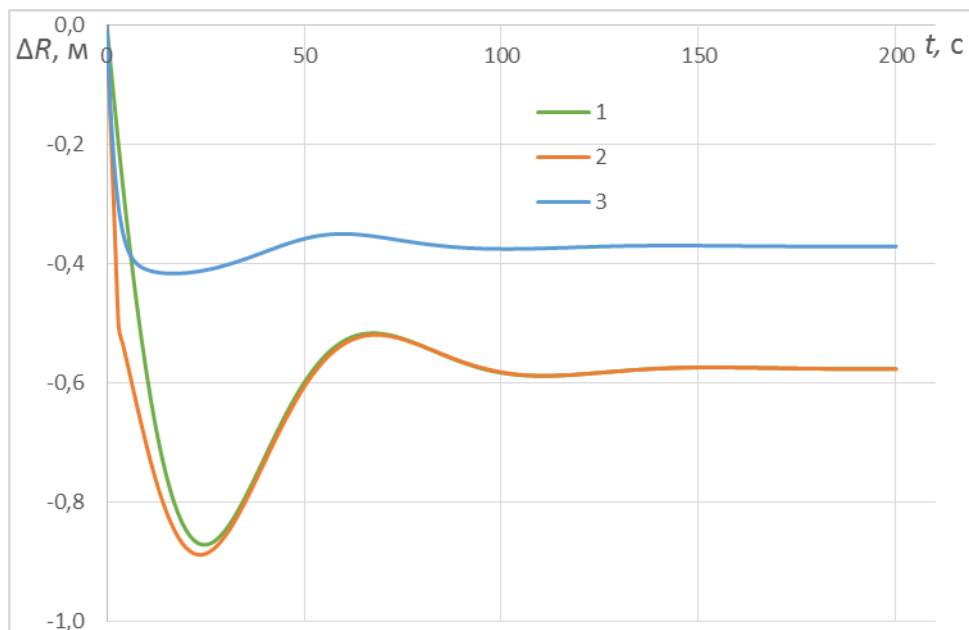


Рисунок 2 – Залежності ΔR , м від часу t , с

Аналіз наведених перехідних функцій дозволив зробити наступні висновки:

- пікові значення залежностей $\Delta\omega$ від часу не набувають значних змін;
- кінцеві значення $\Delta\omega$, що встановлюються при скачко-подібному та неперервно змінному параметрі a , дорівнюють нулю – статична помилка відсутня;
- пікові та кінцеві значення ΔH і ΔR суттєво змінюються, а саме – значення ΔR зменшуються, що і потрібно, а значення ΔH узгоджено зростають;
- пікові значення ΔR при застосуванні алгоритму (3) зменшуються практично в два рази у порівнянні з алгоритмами (1) і (2);
- залежності від часу $\Delta\omega$, ΔH і ΔR для алгоритму (3) гладкі та неперервні;
- неперервний за часом алгоритм (3) усуває недолік скачко-подібного алгоритму (2) – ударні зміни перехідних процесів в системі стабілізації;
- динамічна зміна параметру a згідно неперервної залежності (3) суттєво покращує динаміку системи стабілізації – дозволяє значно зменшити зміни відхилень ΔR довжини траверс ротору від їх номінальних значень і, як слідство, вважати практично незмінним момент інерції ротора ВЕУ.

Висновки. Проведене моделювання роботи ВЕУ із ротором Дар'є, керованим сумісними змінами довжини лопатей і траверс, із використанням змінних за часом алгоритмів формування зворотних зв'язків довело суттєве покращення динаміки системи стабілізації – забезпечило зменшення зміни відхилень довжини траверс ротору від їх номінальних значень і, як слідство, незмінність моменту інерції ротора ВЕУ, що спрощує розв'язок задач проектування таких систем.

ЛІТЕРАТУРА

1. Основи вітроенергетики: підручник / Г. Півняк, Ф. Шкрабець, Н. Нойбергер, Д. Ципленков: М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ, 2015. – 335 с.
2. Тарасов С. В., Молотков О. Н. Алгоритми стабілізації швидкості обертів ротора Дар'є вітроенергетичної установки, керованого змінами довжини лопатей / С. В. Тарасов, О. Н. Молотков - Технічна механіка - 2023, № 4, с. 50 - 59. <https://doi.org/10.15407/itm2023.04.050>.
3. Тарасов С. В., Молотков О. Н. Стабілізація обертання ротора Дар'є сумісними змінами довжини лопатей і траверс / С. В. Тарасов, О. Н. Молотков - Технічна механіка - 2024, № 2, с. 92 - 105. <https://doi.org/10.15407/itm2024.02.092>

SIMULATION OF DYNAMIC ALGORITHMS FOR LOAD DISTRIBUTION TO WIND TURBINE STABILIZATION CHANNELS

Tarasov Serhii, Molotkov Oleh

Abstract. *This paper considers the functioning of the rotor rotation stabilization system of a vertical-axis wind turbine (WTG) with a Darrieus rotor controlled by joint changes in the length of blades and traverses. In such a stabilization system, significant changes in the length of the traverses lead to changes in the rotor's moment of inertia, which significantly complicates the synthesis of workable stable feedback algorithms. To reduce this, it is proposed to use time-varying algorithms for redistributing the load to the stabilization channels. It is proved that the use of the proposed algorithms significantly improves the dynamics of the stabilization system, which allows to significantly reduce the changes in the deviations of the rotor traverse lengths from their nominal values. The methods used to solve the problem are those of the classical theory of automatic control and mathematical modeling. The novelty of the obtained results lies in the extension of the concept of control by changing the swept area to vertical-axis wind turbines with a Darrieus rotor, which is controlled by joint changes in the length of blades and traverses.*

Keywords: *vertical-axis turbines, rotation stabilization, modeling, transient functions, dynamic algorithms*

REFERENCE

1. Osnovy vitroenerhetyky: pidruchnyk / H. Pivniak, F. Shkrabets, N. Noiberher, D. Tsyplenkov: M-vo osvity i nauky Ukrainy, Nats. hirn. un-t. – D.: NHU, 2015. – 335 s.
2. Tarasov S.V., Molotkov O.N. Alhorytmy stabilizatsiyi shvydkosti obertiv rotora Dar'ye vitroenerhetychnoyi ustanovky, kerovanoyi zminamy dovzhyny lopatey / S.V. Tarasov, O.N. Molotkov - Tekhnichna mekhanika - 2023, № 4, s. 50 - 59. <https://doi.org/10.15407/itm2023.04.050>.
3. Tarasov S.V., Molotkov O.N. Stabilizatsiia obertannia rotora Darie sumisnymy zminamy dovzhyny lopatei i travers / S.V. Tarasov, O.N. Molotkov - Tekhnichna mekhanika – 2024, № 2, s. 92–105. <https://doi.org/10.15407/itm2024.02.092>.