

МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕХІДНИХ ФУНКЦІЙ ВІТРОВОЇ ТУРБІНИ ІЗ ЗМІННИМИ ПАРАМЕТРАМИ РОТОРА

Тарасов С.В., Молотков О.Н.

Анотація. В роботі проведено моделювання перехідних процесів в системі стабілізації швидкості обертів ротора вертикально-осьових ВЕУ, керованих змінами довжини лопатей, з урахуванням залежності конструктивних параметрів системи від часу. Доведена динамічна подібність стаціонарної та нестаціонарної моделей, підтверджена достатня точність стаціонарної моделі та її працездатність при виконанні попередніх розрахунків. За результатами моделювання оцінена величина залежності показників якості регулювання, зазначено помітне зменшення перерегулювання та довжини перехідних процесів.

Ключові слова: вертикально-осьові турбіни, моделювання, перехідні функції, змінні параметри моделі

Вступ

Вітрові турбіни із вертикальною віссю займають все більше місце в системі "зеленої" енергетики. Кожна вітрова турбіна має низку систем, що підтримують її роботу поблизу оптимальних режимів, побудованих на різних принципах із використанням різноманітних засобів управління [1]. В роботі [2] в якості засобу управління для вітрової турбіни із ротором Дар'є розглянуто використання змінної довжини лопатей; шляхом дослідження стаціонарних рівнянь у відхиленнях оцінено ефективність запропонованих алгоритмів. Часткове моделювання перехідних процесів в такій системі проведено в роботах [3, 4] під час якого доведено, що відхилення довжини лопатей ΔH від номінального значення H_0 можуть бути досить значущими, що викликає необхідність проведення додаткових розрахунків перехідних функцій із змінними в часі конструктивними параметрами системи.

Викладення основного матеріалу

Проведемо відповідне моделювання стосовно алгоритму формування зворотного зв'язку з корекцією за прискоренням [2]

$$\frac{d\Delta\omega}{dt} = (k_1\Delta V + k_2(t)\times\Delta H - \Delta\omega) / T(t); \frac{d\Delta H}{dt} = K_1\times\Delta\omega + K_2(k_1\Delta V + k_2(t)\times\Delta H - \Delta\omega) / T(t). (1)$$

При цьому будемо вважати що:

значні зміни ΔH викликають лише відповідні зміни постійної часу T і коефіцієнту k_2 , які залежать від довжини лопаті H [1, 2]

$$T(t) = \frac{2J\omega_o^2}{C_p\rho_o S(t)\times V_o^3(1-\eta)}, k_2(t) = \frac{2R_o\omega_o}{S(t)\times(1-\eta)}, S(t) = 2R_o\times H(t), H(t) = H_o + \Delta H(t); (2)$$

- момент інерції ротора J та всі інші параметри моделі R_o, C_p, ρ_o, η вважаються незмінними і приймають значення близькі до параметрів ВЕУ-0420 [2];
- номінальне значення швидкості вітру $V_o = 13$ м/сек, номінальна швидкість обертів ротора $\omega_o = 2,8$ рад/сек;
- коефіцієнти зворотного зв'язку незмінні і дорівнюють $K_1 = -1, K_2 = -30$.

З'ясуємо наскільки значущими стають зміни показників якості - ступеня стійкості та коливальності замкнутої системи в залежності від змін T і k_2 , а фактично від ΔH . Графіки залежностей дійсної та уявної частини коренів характеристичного поліному замкнутої системи, побудовані в можливому діапазоні змін ΔH від 0 до -7 м представлені на рис. 1.

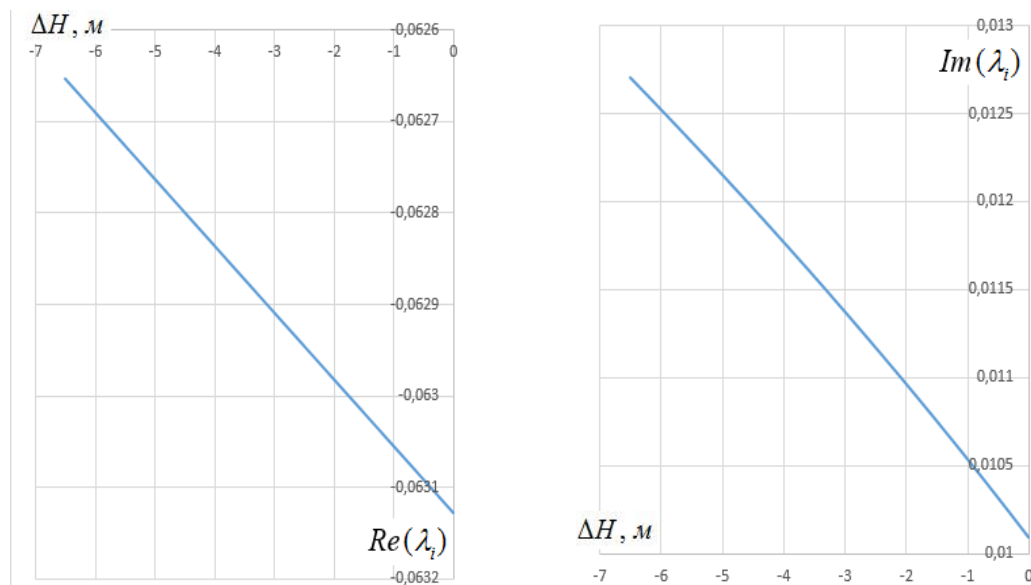


Рисунок 1 - Залежності ступеня стійкості та коливальності від ΔH , м

У відсотковому визначенні зміни ступеня стійкості та коливальності складають 7,5% і 25,9% відповідно. Зміна ступеня стійкості може бути признана незначною, зміна коливальності є достатньо значущою.

Обчислені значення перехідних функцій для випадків системи рівнянь у відхиленнях із незмінними коефіцієнтами і для системи рівнянь у відхиленнях із змінними коефіцієнтами T і k_2 наведені на рис. 2.

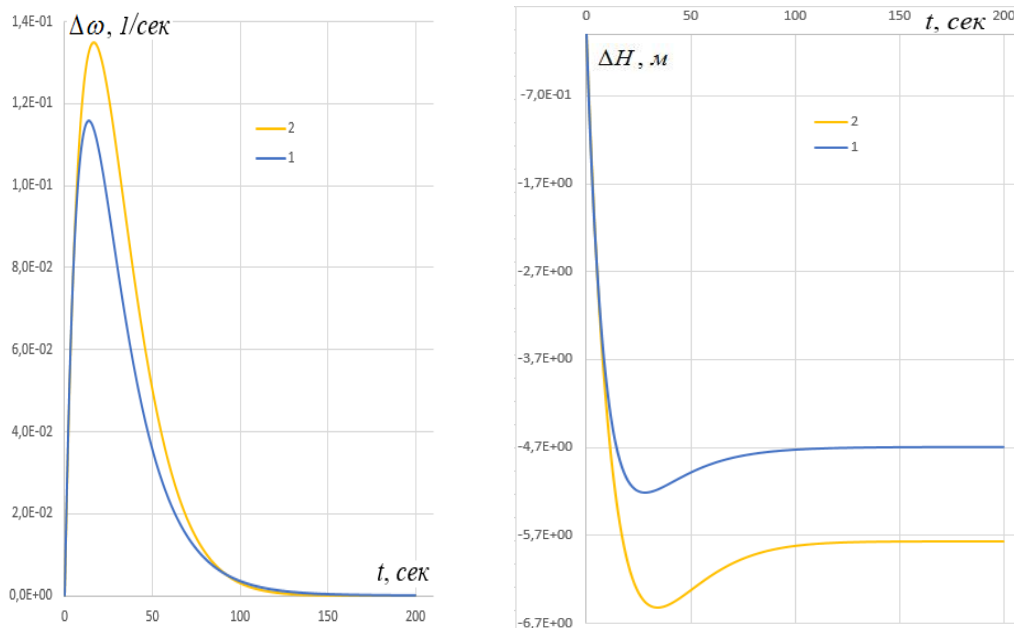


Рисунок 2 - Залежності $\Delta\omega$, 1/сек і ΔH , м від часу t , сек : 1 - модель із змінними за часом коефіцієнтами, 2 - модель із незмінними за часом коефіцієнтами.

Аналіз наведених перехідних функцій дозволяє зробити наступні висновки:

- перехідні функції $\Delta\omega(t)$ і $\Delta H(t)$, обраховані за системами рівнянь із незмінними і змінними за часом коефіцієнтами T і k_2 , якісно подібні;
- властивість стійкості системи при переході від системи рівнянь із незмінними коефіцієнтами до системи рівнянь із змінними коефіцієнтами T і k_2 не втрачена;
- поведінка системи із змінними коефіцієнтами краща ніж системи із незмінними коефіцієнтами, а саме помітно зменшуються перерегулювання та довжина перехідних процесів;
- кінцеве значення $\Delta\omega$ залишається незмінним і дорівнює нулю;
- кінцеве значення ΔH , що встановлюється, суттєво зменшується, що позитивно впливає на динамічні властивості системи в цілому;
- стаціонарна модель динаміки замкнутої системи достатньо точно описує поведінку ВЕУ.

Висновки

Проведене моделювання роботи ВЕУ із ротором Дар'є із змінними за часом конструктивними параметрами довело динамічну подібність стаціонарної та нестационарної моделей та підтвердило достатню точність стаціонарної моделі. Використання нестационарної моделі ВЕУ із ротором

Дар'є, керованої змінами довжини лопатей, підвищує точність оцінки показників якості роботи замкнутої системи, що може бути корисним при конструюванні та проектуванні таких систем.

ЛІТЕРАТУРА

1. Дзензерский В. А. Ветроустановки малой мощности / В.А. Дзензерский, С.В. Тарасов, И.Ю. Костюков. – Киев: Наук. думка, 2011. – 592 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., Тарасов А.С., Чернявський Є.Ю. Аналіз показників якості системи стабілізації обертів ротора Дар'є ВЕУ / С. В. Тарасов, О.Н. Молотков, А.С. Тарасов, Є.Ю. Чернявський // Матеріали 14-ї Міжнародної науково-практичної конференції «СУЧАСНІ ЕНЕРГЕТИЧНІ УСТАНОВКИ НА ТРАНСПОРТІ, ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЇХ ОБСЛУГОВУВАННЯ» (СЕУТТОО-2023) 16-18 березня 2023 р. Зб. наук. праць. – Херсон: Херсонська державна морська академія. 2023. – С. 284-286.
4. Тарасов С.В., Молотков О.Н. Моделювання перехідних процесів в системі стабілізації обертів ротора Дар'є вітрової турбіни / С. В. Тарасов, О.Н. Молотков // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В МЕТАЛУРГІЇ та МАШИНОБУДУВАННІ» (ITMM-2023) 22 березня 2023 р. Зб. наук. праць. – Дніпро: Український державний університет науки і технологій. 2023. – С. 204-207. <https://doi.org/10.34185/1991-7848.itmm.2023.01.056>.

MODELING OF TRANSIENT FUNCTIONS OF A WIND TURBINE WITH VARIABLE ROTOR PARAMETERS

Tarasov Serhii., Molotkov Oleh

Abstract. *The work simulates transient processes in a system for stabilizing the rotor speed of a wind power plant with a vertical axis controlled by changing the length of the blades, taking into account the dependence of the design parameters of the system on time. It is shown that the stationary and nonstationary models are dynamically similar, and the stationary model is sufficiently accurate and efficient for preliminary calculations. Based on the modeling results, the magnitude of the dependence of regulation quality indicators was assessed, and a noticeable reduction in overregulation and the duration of transient processes was noted.*

Keywords: *vertical-axis turbines, modeling, transient functions, variable parameters of the model*

REFERENCE

1. Dzenzersky V. A. Vetroustanovki maloy moshchnosti. [Low-power wind installations] / V.A. Dzenzerskiy, S.V. Tarasov, I.Yu Kostyukov. - Kyiv: Nauk. dumka, 2011. - 592 p.
2. Tarasov S.V., Molotkov O.N. Alhorytmy stabilizatsiyi shvydkosti obertiv rotora Dar'ye vitroenerhetychnoyi ustanovky, kerovanoi zminamy dovezhyny 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., Tarasov A.S., Chernyavs'kyy Ye.Yu. Analiz pokaznykiv yakosti systemy stabilizatsiyi obertiv rotora Dar'ye VEU / S.V. Tarasov, O.N. Molotkov, A.S. Tarasov, Ye.Yu. Chernyavs'kyy // Materialy 14-yi Mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi «SUCHASNI ENERHETYCHNI USTANOVKY NA TRANSPORTI, TEKHNOLOHIIYI TA OBLADNANNYA DLYA YIKH OBSLUHOVUVANNYA» (SEUTTOO-2023) 16-18 bereznya 2023 r. Zb. nauk. prats'. – Kherson: Khersons'ka derzhavna mors'ka akademiya. 2023. – S. 284-286.
4. Tarasov S.V., Molotkov O.N. Modelyuvannya perekhidnykh protsesiv u systemi stabilizatsiyi obertiv rotora Dar'ye vitrovoyi turbiny /S.V. Tarasov, O.N. Molotkov // Materialy Mizhnarodnoyi naukovo-tekhnichnoyi konferentsiyi «INFORMATSIYNI TEKHNOLOHIIYI V METALURHIYI ta MASHYNOBUDUVANNI» (ITMM-2023) 22 bereznya 2023 r. Zb. nauk. prats'. – Dnipro: Ukrayins'kyy derzhavnyy universytet nauky i tekhnolohiy. 2023. – S. 204-207. <https://doi.org/10.34185/1991-7848.itmm.2023.01.056>.