

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2023.01.057

МОДЕЛЬ ДИНАМІКИ РОТОРУ ДАР'Є ЗМІННОЇ КОНФІГУРАЦІЇ

Тарасов С.В., Редчиць Д.О., Тарасов А.С., Дорош О.В.

Інститут транспортних систем і технологій НАН України, Україна

Потужність вітроустановок безпосередньо пов'язана з діаметром їх ротора. Природним обмеженням його геометричних розмірів є граничні механічні навантаження виникаючі в процесі роботи. Проектувальники вітроустановок звичайно адаптують розміри ротора до типової середньої швидкості вітру в місці їх установки. При швидкостях вітру бурьових або близьких до бурьових бажано, щоб ротор мав якомога меншу ометаєму площу, що можна забезпечити, зменшуючи довжину телескопічної лопаті. Ротор з розсувними лопатями для вітроустановок є компромісом між прагненням підвищити коефіцієнт потужності і оптимізувати механічні навантаження в процесі експлуатації в рамках допустимих значень [1].

Концепція лопатей змінної довжини має багато переваг:

- покращує продуктивність при малих вітрах;
- дозволяє вітроустановці продовжувати генерацію навіть при граничних швидкостях вітру;
- підвищує коефіцієнт потужності;
- дозволяє використовувати вітроустановки в областях з низькими швидкостями вітру;
- знижує необхідність використання комплектів лопатей різної довжини для різних вітрових режимів в місці установки;
- дозволяє власнику вітропарку легко і ефективно контролювати вихідну потужність;
- зменшує втрати у продуктивності вітроустановок що входять в масив вітропарку; вітроустановки в задній частині масиву можуть мати ротор більшого діаметра для компенсації пониження швидкості вітру;
- сприяє пониженню вартості вітрової енергії;
- полегшує доставку і монтаж за рахунок можливості зменшення довжини лопатей;
- дозволять лопатям самоочищатися від бруду і обмерзання;
- обмежує збиток при екстремальних вітрах, оскільки лопаті можуть бути максимально укорочені в цьому випадку;
- дозволяє існуючим проектам збільшувати їх річне вироблення без збільшення їх номінальної (встановленої) потужності;

- допускає можливість модернізації існуючих вітроустановок шляхом установки нових лопатей змінної довжини;

- робить вітроенергетику більш конкурентоздатною в цілому.

Для дослідження динаміки роторів з лопатями і траверсами змінної довжини в потоці повітря під дією активних аеродинамічних сил в режимах розгону, роботи в експлуатаційному генеруючому режимі при різних швидкостях вітру і режимі гальмування одержана узагальнена модель динаміки трилопатевого ротора як системи абсолютно твердих тіл. Вважається, що перетини лопатей мають симетричний аеродинамічний профіль з постійною по довжині хордою. Траверси можуть мати довільні поперечні перетини, визначені конструктивними міркуваннями; аеродинамічні сили, діючі на траверси, не враховуються.

При виводі рівнянь динаміки і кінематики використовується апарат однорідних координат, який заснований на формуванні матриць переходу між пов'язаними з тілами системи базисами. Матриці переходу, що задають орієнтацію і положення зв'язаних базисів в базисі відліку визначаються як добуток матриць переходу між зв'язаними базисами.

Апарат однорідних координат дозволяє реалізовувати афінне перетворення координат радіусів-векторів, що описують поточну конфігурацію механічної системи, в одному матричному співвідношенні. Розрахункова схема ротору наведена на рисунку.

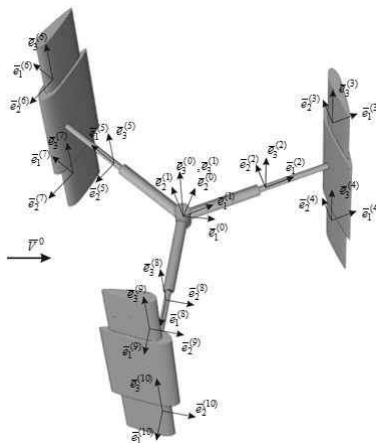


Рисунок 1 - Розрахункова схема ротору

Для виводу рівнянь динаміки трансформованого в процесі роботи ротора, як голономної системи застосований формалізм рівнянь Лагранжа 2-го роду з використанням апарату однорідних координат. Реалізація формалізму рівнянь Лагранжа 2-го роду дозволяє одержати рівняння динаміки даної механічної системи у вигляді

$$\sum_{i=j}^{10} \sum_{k=1}^i \text{tr}(U_{ik} H_i U_{ij}^T) \ddot{H}_k + \sum_{i=j}^{10} \sum_{k=1}^i \sum_{l=1}^i \text{tr}(U_{ikl} H_i U_{ij}^T) \dot{H}_k \dot{q}_i = Q_j, \quad (j = \overline{1,10}). \quad (1)$$

В цих рівняннях \dot{q}_p, \ddot{q}_p , ($p = \overline{1,10}$) - перші і другі похідні за часом від узагальнених координат; $U_{\alpha\beta} = \frac{\partial T_\alpha}{\partial q_\beta}$, $\alpha, \beta = \overline{1,10}$ - похідна від матриці переходу

T_α по узагальненій координаті q_β ; $U_{\alpha\beta\gamma} = \frac{\partial U_{\alpha\beta}}{\partial q_\gamma}$, $\alpha, \beta, \gamma = \overline{1,10}$ - похідна від $U_{\alpha\beta}$

по узагальненій координаті q_γ ; H_i - 4×4 матриці інерції i -их тіл системи; номер тіла співпадає з номером пов'язаного з ним базису; Q_j - узагальнені сили приведені до j -их узагальнених координат включаючи аеродинамічні, гравітаційні сили і зусилля приводів, що забезпечують переміщення рухомих частин лопатей і траверс.

Розрахунок узагальнених сил аеродинамічного походження проводиться відповідно до методики наведеної в [2]. Відмінність полягає лише в тому, що при розрахунку рівнодіючої аеродинамічних сил, діючих на висувні частини лопатей довжина лопаті вважається змінною.

Після перегруповування рівнянь (1) одержимо остаточний вид рівнянь динаміки

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^{10} a_{0j}^i \ddot{q}_i + \sum_{k=1}^{10} \sum_{i=k}^{10} a_{1j}^{ki} \dot{q}_k \dot{q}_i &= M_j, \quad (j = \overline{1,10}) \\ a_{0j}^i &= \sum_{l=\max(i,j)}^{10} \text{tr}(U_{li} H_l U_{lj}^T), \\ a_{1j}^{ki} &= \sigma_{ki} \sum_{l=\max(i,k,j)}^{10} \text{tr}(U_{lki} H_l U_{lj}^T), \\ \sigma_{ki} &= \begin{cases} 1, & \text{если } k = i \\ 2, & \text{если } k \neq i \end{cases} \end{aligned} \quad (2)$$

Одержана система диференціальних рівнянь двадцятого порядку (2) дозволяє моделювати динаміку трансформованого ротора як при злагодженій зміні довжини траверс і лопатей, так і незалежно один від одного. Облік аеродинамічних сил діючих на траверси допустимий в рамках розрахункової схеми моделі і залежить від необхідної повноти моделювання динамічних процесів. В процесі дослідження напружений-деформованого стану трансформованих (розсувних) лопатей розглядаються два варіанти частини, що висувається, – вона або «одягається» на нерухому частину, або всовується всередину неї. Такі ж варіанти виконання можливі і для траверс. Розрахункова схема розробленої моделі динаміки дозволяє без зміни структури моделі

розраховувати обидва варіанти конструктивного виконання лопатей і траверс.

Література

1. Fadil J., Soedibyoy, Ashari M. Performance analysis of vertical axis wind turbine with variable swept area /*IEEE 2017 International Seminar on Intelligent Technology and its Applications (ISITIA) - Surabaya (2017.8.28-2017.8.29) 217–221.* doi:10.1109/ISITIA.2017.8124083
2. Моделювання і розрахунків аеродинаміки, динаміки і напружено-деформованого стану елементів конструкції перспективних систем енергозабезпечення і підсистем магнітолевітуючих транспортних засобів : звіт про НДР (заключн.) / Інститут транспортних систем і технологій НАН України; наук. кер. розділу НДР С.В.Тарасов. Шифр теми 1.3.6.17, Дніпро, 2020. 628с.

A DYNAMIC MODEL OF DARRIEUS ROTOR WITH VARIABLE CONFIGURATION

Tarasov Serhii, Redchyts Dmytro, Tarasov Andrii, Dorosh Olga

Abstract. A generalized model of the dynamics of a three-bladed Darier rotor with blades and traverses of variable length was obtained for the study of its dynamics in the air flow under the action of active aerodynamic forces in acceleration modes, operation in operational generating mode at different wind speeds and braking mode

Keywords: dynamics model, homogeneous coordinates, Darier rotor, blades and traverses of variable length.

References

1. Fadil J., Soedibyoy, Ashari M. Performance analysis of vertical axis wind turbine with variable swept area /*IEEE 2017 International Seminar on Intelligent Technology and its Applications (ISITIA) - Surabaya (2017.8.28-2017.8.29) 217–221.* doi:10.1109/ISITIA.2017.8124083
2. Modelyuvannya i rozrakhunok aerodynamiky, dynamiky i napruzhenno-deformovanoho stanu elementiv konstruktsiyi perspektyvnykh system enerhozabezpechennya i pidsystem mahnitolevituyuchykh transportnykh zasobiv : zvit pro NDR / Instytut transportnykh system i tekhnolohiy NAN Ukrayiny; nauk. ker. rozdilul NDR S.V.Tarasov. Shyfr temy 1.3.6.17, Dnipro, 2020. 628p.