

PHÂN TÍCH SỰ THAY ĐỔI ĐẶC TÍNH KHÍ ĐỘNG QUA CÁNH TUỐC BIN GIÓ

Hồ Sỹ Mão

Trường Đại học Thủy lợi, email: maohs@tlu.edu.vn

1. GIỚI THIỆU CHUNG

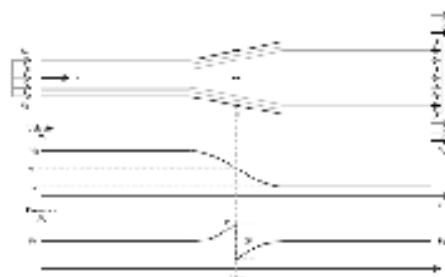
Việt Nam là nước có tiềm năng phát triển mạnh về điện gió. Tuy nhiên ở nước ta các nghiên cứu về tuốc bin gió chưa có nhiều, đặc biệt là nghiên cứu về đặc tính khí động, các đặc tính này ảnh hưởng rất quan trọng đến chế độ vận hành, độ bền, độ ổn định của tuốc bin gió. Do đó yêu cầu đặt ra là tìm phương pháp nghiên cứu mô phỏng chế độ làm việc của tuốc bin gió, ảnh hưởng của các đặc tính khí động lên cánh tuốc bin, hiệu suất tuốc bin. Hiện nay có hai phương pháp để tính các đặc tính khí động đó là phương pháp thực nghiệm và phương pháp mô phỏng số. Đề tài nghiên cứu cơ sở khoa học và mô phỏng bằng phương pháp số có sử dụng phần mềm mô phỏng và phân tích Ansys Fluent để phân tích dòng khí qua tuốc bin gió và đánh giá một số đặc tính khí động học.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Mô hình lý thuyết

Cơ sở của bài toán dựa trên lý thuyết động lượng một chiều và giới hạn Bezt, thuyết được phát triển lần đầu bởi Betz và Glauert năm 1935, mô hình ban đầu nghiên cứu là mô hình đơn giản của tuốc bin gió lý tưởng bao gồm các điều kiện như dòng không khí ổn định, không ma sát, không nén được, không có chuyển động quay của roto.

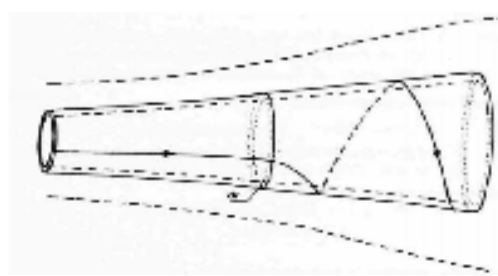
Mô hình phân tích



Hình 1. Mô hình thuyết động lượng
1 chiều Bezt

Trong đó: v_0 là vận tốc phía trước rôto (m/s), u là vận tốc tại rôto (m/s), u_2 là vận tốc sau rôto (m/s), p_0 là áp suất khí quyển (Pa), p là áp suất tại rôto (Pa), Δp là chênh lệch áp suất trước và sau cánh tuốc bin.

Với mô hình trên chưa phản ánh được hoạt động của tuốc bin gió hiện nay. Để mở rộng mô hình cần thể hiện sự quay của rôto để tạo ra mô men động lượng. Khi tuốc bin gió quay sẽ làm cho vận tốc dòng khí phía sau rôto sẽ quay theo chiều ngược lại tạo nên dòng chảy xoáy phía sau tuốc bin. Lý thuyết này được gọi là thuyết mô men động lượng phân tố cánh quạt (Blade element momentum theory) thuyết được áp dụng cho các tuốc bin gió hiện nay.



Hình 2. Mô hình thuyết động lượng
phân tố cánh

Với mô hình này khi rôto quay với vận tốc góc Ω , vận tốc góc của dòng khí sau cánh tuốc bin tăng lên $\Omega+1/2\omega$, ω là vận tốc góc của dòng khí sau rôto.

2.2. Phương pháp mô phỏng số

Để phân tích mô hình dòng khí qua cánh quạt có thể sử dụng mô hình dòng chảy rối Realizable $k-\varepsilon$ trong Ansys Fluent để phân tích.

Phương trình đối lưu trong mô hình Realizable $k-\varepsilon$ là:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) \\ &= \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\nu + \frac{\nu_T}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k \end{aligned} \quad (1)$$

và

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon u_i) \\ &= \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\nu + \frac{\nu_T}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right] + \rho C_1 S \varepsilon \\ & - \rho C_2 \frac{\varepsilon^2}{k + \sqrt{\nu \varepsilon}} + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon^2}{k} C_{3\varepsilon} G_b + S_\varepsilon \end{aligned} \quad (2)$$

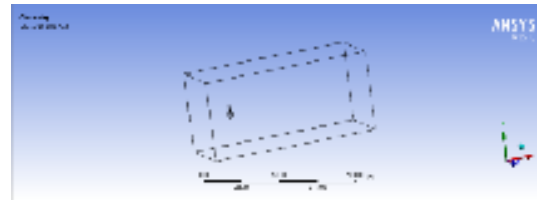
Trong đó:

$$C_1 = \max \left[0.43, \frac{\eta}{\eta + 5} \right]; \eta = S \frac{k}{\varepsilon}; S = \sqrt{2 S_{ij} S_{ij}} \quad (3)$$

Với G_k và G_b là đại lượng do sự hình thành động năng rối do gradient vận tốc trung bình và lực đẩy nổi; Y_M là đại lượng do các dao động giãn nở bất thường trong các rối nén đạt tới tốc độ tiêu hao tổng thể ($Y_M = 2\rho \varepsilon M_t^2$ với M_t là số Mach của rối); $C_2 = 1.9$ và $C_{1\varepsilon} = 1.44$ là các hằng số trong mô hình $k-\varepsilon$ Realizable; σ_k , σ_ε là các số rối Prandtl cho k và ε .

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

Mô hình phân tích là rôto tuốc bin gió có đường kính 40m, chuyển động với vận tốc góc $\Omega = 2$ (rad/s) trong dòng khí hình hộp chữ nhật, khoảng cách trước rôto theo phương chuyển động dòng khí là 100m, sau rôto là 500m. Vận tốc biên vào là $U(x) = 10$ m/s.



Hình 3. Mô hình phân tích

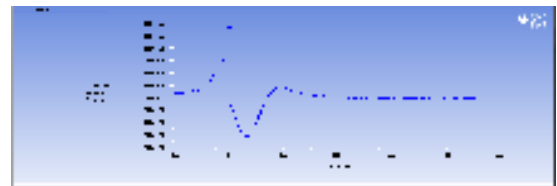


Hình 4. Chia lưới mô hình phân tích

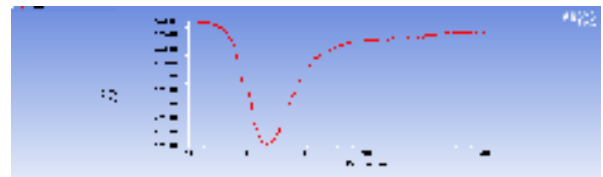


Hình 5. Chia lưới mô hình rôto quay

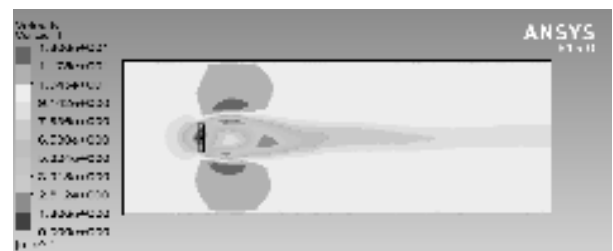
Tính toán mô phỏng được thực hiện sử dụng chương trình Ansys Fluent. Giải thuật SIMPLEC được sử dụng để giải bài toán giữa thành phần vận tốc và áp suất trong phương trình động lượng.



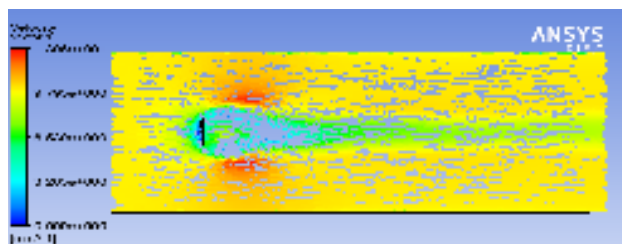
Hình 6. Biểu đồ phân bố áp suất theo phương x qua tọa độ $(0,0,0)$ trục rôto



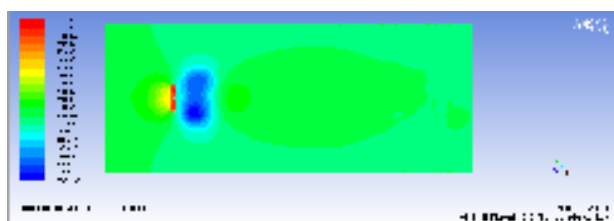
Hình 7. Biểu đồ vận tốc theo phương x qua tọa độ $(0,0,0)$ trục rôto



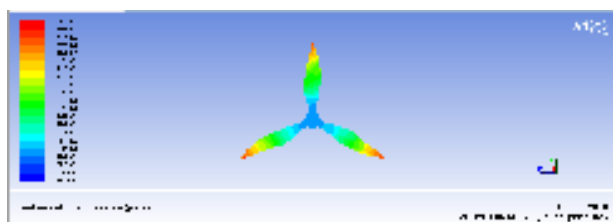
Hình 8. Phân bố vận tốc dưới dạng phổ trên mặt phẳng XY



Hình 9. Phân bố vận tốc dưới dạng véc tơ trên mặt phẳng XY



Hình 10. Phân bố áp suất trên mặt phẳng XY



Hình 11. Phân bố áp suất trên bề mặt cánh quạt

Qua kết quả phân tích mô phỏng bằng phần mềm Ansys Fluent cho thấy:

Sử dụng mô hình dòng chảy rối Realizable $k-\varepsilon$ phản ánh đúng mô hình thuyết động lượng phân tử cánh.

Dòng khí chuyển động qua rôto đang chuyển động quay (tuốc bin gió làm việc) bị tổn thất vận tốc. Theo khoảng cách trong mô hình tính toán 500m sau rôto ($L=12,5D$), vận tốc dòng khí giảm còn khoảng 7,5 m/s tương ứng giảm khoảng 25% vận tốc ban đầu ($v_0=10\text{m/s}$). Đây là cơ sở để áp dụng tính toán bố trí tuốc bin gió phía sau để không bị ảnh hưởng bởi tuốc bin gió phía trước.

Ngoài vận tốc gió giảm, qua mô hình phân tích cho thấy dòng khí hình thành xoáy phía sau tuốc bin gió, điều này ảnh hưởng đến chế độ làm việc của tuốc bin, làm cho tuốc bin bị rung lắc khi vận tốc gió lớn.

Mô hình cũng cho thấy phân bố áp suất trên bề mặt cánh là cơ sở để phân tích kết cấu chịu lực của tuốc bin.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đưa ra cơ sở lý thuyết để mô phỏng phân tích đặc tính khí động qua rôto tuốc bin gió đang chuyển động quay.

Sử dụng phân tích, mô phỏng số bằng phần mềm Ansys Fluent để giải mô hình lý thuyết. Qua phân tích mô phỏng cho thấy hình dòng chảy rối Realizable $k-\varepsilon$ được chọn phản ánh đúng thuyết động lượng phân tử cánh.

Phân tích mô hình bằng phương pháp mô phỏng số cho thấy cách nhìn trực quan về khí động học từ đó đưa ra một số đề xuất cho việc tính toán và bố trí tuốc bin gió trong điều kiện hiện nay của nước ta khi nhu cầu phát triển điện gió ngày càng lớn nhưng các nghiên cứu chuyên sâu về khí động học chưa có nhiều.

5. TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] J.F.Manwell, J.G.McGowan, A.I.Rogers, 2002, Wind energy Explained: Theory, Design and Application.
- [2] Tony Burton, David Sharpe, Nick Jenkins, Ervin Bossanyi, 2001, Wind energy handbook.
- [3] H.Glauert, 1935, Airplain propellers, In W.F.Durand, Aerodynamic Theory (Vol. 4, pp.169-360), Berlin: Julius Springer.
- [4] Ansys Inc, 2013, ANSYS Fluent Theory Guide.