

К вопросу о разработке математической модели ветротурбины Дарье с тремя лопастями

Д.В. Беляков

Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет), г. Москва

Аннотация: В данной статье разработана конструкция вертикально-осевого ветродвигателя. Используя метод осреднения, получены параметры рабочего режима выработки электроэнергии, для этих параметров сделана оценка мощности и геометрических размеров рассматриваемого устройства. Показано, что такая задача решается только с помощью численных расчетов. Разработаны программы в matlab, которые реализуют данную задачу. Проведено сравнение эффективности ветрогенераторов Дарье с различным числом лопастей и показано, что на практике лучше всего использовать три лопасти.

Ключевые слова: Ветротурбина, режим авторотации, быстроходность, геометрические размеры.

В современном мире очень часто используются ветродвигатели. Они выигрывают по сравнению с другими устройствами для генерирования тока, т.к. используют только силу ветра, не задействуют природные ресурсы, являются безопасными в плане экологии, допускают установку в труднодоступных местах, где строительство других таких сооружений невозможно.

В качестве недостатков можно назвать зависимость от ветра и создание помех системам связи. В работах [1,2] рассматривались конструкции вертикально-осевого ветродвигателя с двумя и четырьмя лопастями. В рассматриваемой статье разработана модель аналогичного устройства с тремя лопастями.

Постановка задачи.

Рассмотрим вертикально-осевой ветродвигатель, имеющий три лопасти (Рис. 1). Формирование аэродинамических сил происходит квазистатически и подробно описано в работах [3,4]. α, β, η - углы атаки воздушными скоростями $\vec{V}_A, \vec{V}_B, \vec{V}_D$ и выбранным направлением нормали на каждой лопасти. Угол θ отклонения стержня ОА от оси x возьмем в качестве координаты.

Введем безразмерные переменные:

$$\tau = \frac{V}{r}t, \Omega = \frac{r\dot{\theta}}{V}, U_A = \frac{V_A}{V}, U_B = \frac{V_B}{V}, U_D = \frac{V_D}{V}, c_y(\alpha) = \frac{p(\alpha)}{0.5\rho\sigma}, c_x(\alpha) = \frac{s(\alpha)}{0.5\rho\sigma}$$

Безразмерное уравнение (1) описывает математическую модель ротора Дарье.

$$I \frac{d\Omega}{d\tau} = U_A^2(c_y(\alpha + \delta)\sin\alpha - c_x(\alpha + \delta)\cos\alpha) + U_D^2(c_y(\eta + \delta)\sin\eta - c_x(\eta + \delta)\cos\eta) + U_B^2(c_y(\beta + \delta)\sin\beta - c_x(\beta + \delta)\cos\beta) \quad (1)$$

Уравнения связи, позволяющие определить $U_A, U_B, U_C, \alpha, \beta, \eta$ через θ, Ω , имеют вид:

$$U_A \sin\alpha = -\cos\theta, U_A \cos\alpha = \Omega - \sin\theta$$
$$U_B \sin\beta = \frac{\sqrt{3}}{2}\sin\theta + \frac{1}{2}\cos\theta, U_B \cos\beta = \Omega + \frac{1}{2}\sin\theta - \frac{\sqrt{3}}{2}\cos\theta \quad (2)$$
$$U_D \sin\eta = \frac{-\sqrt{3}}{2}\sin\theta + \frac{1}{2}\cos\theta, U_D \cos\eta = \Omega + \frac{1}{2}\sin\theta + \frac{\sqrt{3}}{2}\cos\theta$$

Систему (1)-(2) можно решить только численно. При этом целесообразно применять численные методы высших порядков, на каждом шаге которых сначала с помощью уравнений связи нужно определять углы атаки. Значения аэродинамических функций приближаются кубическими сплайнами.

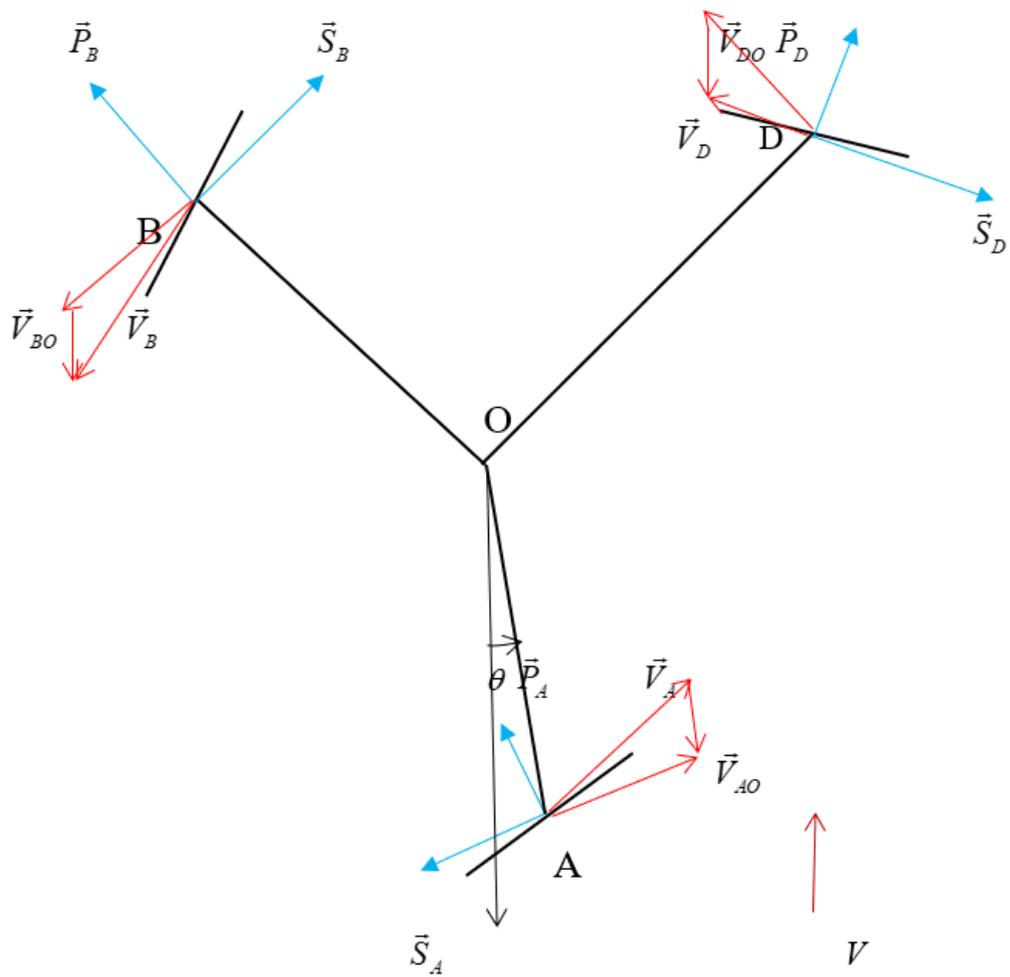


Рис. 1. Ротор Дарье с тремя лопастями

Режим быстрого вращения

Рассмотрим режим вращения с высокой угловой скоростью при работе устройства. Воспользуемся тем, что $\alpha \rightarrow 0, \beta \rightarrow 0, \eta \rightarrow 0$ [6,7].

Имеем также: $|\vec{V}_{AO}| \approx V, |\vec{V}_{BO}| \approx V, |\vec{V}_{CO}| \approx V, |\vec{V}_{DO}| \approx V$

Аэродинамические функции c_x, c_y аппроксимируем линейными членами,

$\alpha \rightarrow 0, \beta \rightarrow 0, \eta \rightarrow 0$ при разложении в ряд.

Уравнения связи (2) также разложим при $\alpha, \beta, \eta \rightarrow 0$ и оставим только первое приближение.

Далее, сделаем в (1), переход от $U_A, U_B, U_C, \alpha, \beta, \eta$ к θ, Ω и получим систему обыкновенных дифференциальных уравнений. Из нее получим оценку (3):

$$\Omega_0 = 2\sqrt{3} \sqrt{\frac{c'_{y\delta} - 5c_{x\delta}}{2c_{x\delta}}} \quad (3)$$

При $\delta \rightarrow 0$:

$$\Omega_0 = 2\sqrt{3} \sqrt{\frac{c'_{y0} - 5c_{x0} - 5c_{x2}\delta^2}{2(c_{x0} + c_{x2}\delta^2)}}$$

(4)

$$c_{x0} = c_x(0), c'_{y0} = c'_y(0), c_{x2} = c''_x(0)$$

Режим (3),(4) называется в литературе[9,10] режимом авторотации.

Можно отметить, что для ротора Дарье с тремя лопастями быстроходность

$\Omega = \frac{r\omega}{V}$ максимальна по сравнению с другими конструкциями. Для турбины с

двумя лопастями их надо устанавливать под определенным углом к потоку для запуска.

Для вычисления мощности воздушного потока имеет место следующая формула: $N = 0.5\rho SV^3$. Применяя эту формулу и выведенные оценки, получим геометрические размеры устройства. Для рассматриваемого ротора с тремя лопастями чтобы выработать мощность в 2 квт, размеры ветроагрегата должны быть: длина стержня $r=1.2$ м., ширина пластинки 0.15 м. длина 1.4 м.

при скорости ветра 10 метров в секунду. При увеличении мощности увеличиваются размеры устройства, и использовать его уже невыгодно.

Заключение

1. Разработана математическая модель вертикально-осевого ветродвигателя с тремя лопастями.
2. Получены параметры для базового режима работы ротора.
3. Показано, что ветротурбина с тремя лопастями имеет наибольшую быстроходность по сравнению с другими вариантами.

Литература

1. Беляков Д. В. Разработка и особенности математической модели ветротурбины Дарье. // Международный журнал открытых информационных технологий. 2015. №3. URL: injoit.org/index.php/j1/article/view/226.
2. Беляков Д. В. Исследование движения осесимметричного тела в квазистатической среде // Современные информационные технологии и ИТ образование. 2016. №2. URL: sitito.cs.msu.ru/index.php/SITITO/article/view/82.
3. Беляков Д. В. Исследование и особенности математической модели ротора Дарье // Инженерный вестник Дона, 2023. №8. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2023/8642.
4. Урывская Т. Ю. Устойчивость линейных систем с положительно определенной матрицей // Инженерный вестник Дона, 2017. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4464.

5. Табачников В.Г. Стационарные характеристики крыльев на малых скоростях во всем диапазоне углов атаки // Труды ЦАГИ. Москва: Наука, 1974. 154 С.
6. Пшихопов В.Х., Кульченко А.Е., Чуфистов В.М. Моделирование полета одновинтового вертолета под управлением позиционно-траекторного регулятора// Инженерный вестник Дона, 2013. №2.
URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1650
7. Локшин Б.Я., Привалов В.А., Самсонов В.А. Введение в задачу о движении точки и тела в сопротивляющейся среде. Москва: Издательство Московского университета., 1992. 38с.
8. Журавлев В.Ф. Климов Д.М. Прикладные методы в теории колебаний Москва: Наука, 1988. 531 С.
9. Vittecoq P. A., Laneville A. V. The Aerodynamic Forces for a Darrieus Rotor with Straight Blades: Wind Tunnel Measurement. // Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 1983. №15. pp. 406-412.
10. Parashivoiu I Aerodynamics Loads and and performance of the Darrieus Rotor // Journal of Energy. 1982. №6. pp. 315-321

References

1. Belyakov D. V. Mezhdunarodnyj zhurnal otkrytyh informacionnyh tekhnologij. 2015. №3. URL: injoit.org/index.php/j1/article/view/226
2. Belyakov D. V. Mezhdunarodnyj zhurnal otkrytyh informacionnyh tekhnologij. 2015. №3. URL: injoit.org/index.php/j1/article/view/790
3. Belyakov D. V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2023. №8. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2023/8642.

4. Ury`vskaya T. Yu. Inzhenernyj vestnik Dona. №4. URL: URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4464
5. Tabachnikov V.G. Stacionarny`e xarakteristiki kry`l`ev na малы`x skorostyax vo vsem diapazone uglov ataki [Stationary characteristics of wings at low speeds over the entire range of angles of attack]. Trudy` CzAGI. Moskva: Nauka, 1974. P. 154.
6. Pshixopov V.X., Kul`chenko A.E., Chufistov V.M. Inzhenernyj vestnik Dona. 2013. №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1650
7. Lokshin B.Ya. , Privalov V.A., Samsonov V.A. Model`naya zadacha o flattere [Model problem about flutter]. Vvedenie v zadachu o dvizhenii toчки i tela v coprotivlyayushhejsya srede. Moskva: Izdatel`stvo Moskovskogo universiteta., 1992. P. 38.
8. ZHuravlev V.F. Klimov D.M. Prikladnye metody v teorii kolebanij. [Applied methods in the theory of oscillations]. Moskva: Nauka, 1988. P. 531.
9. Vittecoq P. A., Laneville A. V. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 1983. №15. pp. 406-412.
10. Parashivoiu I. Journal of Energy. 1982. №6. pp. 315-321.

Дата поступления: 16.06.2024

Дата публикации: 5.08.2024