



УДК 621. 548.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ С ВЕРТИКАЛЬНОЙ ОСЬЮ

Михайленко Е.Ю., инж.

Таврический государственный агротехнологический университет

Телефон (0619) 42-24-36, e-mail: elen-mikha@yandex.ru

Аннотация – работа посвящается исследованию динамических характеристик ветроэнергетической установки с вертикальной осью. Получено решение дифференциального уравнения с целью определения зависимости угловой скорости от времени.

Ключевые слова – момент силы на валу, скорость ветра, угловая скорость, угол отклонения лопасти, дифференциальное уравнение.

Постановка проблемы. Разработка нетрадиционных источников электрической энергии остается актуальной. Ученые и специалисты работают над использованием нетрадиционных источников энергии. Одним из таких источников является ветер. Средняя мощность ветра на Земле оценивается величиной свыше 4,4 триллиона кВт, т.е. в 500 раз больше, чем современное потребление электроэнергии [1]. В частности, необходимы разработки ветроэнергетических установок (ВЭУ) для крестьянских подворий и фермерских хозяйств.

Анализ последних достижений. Для малой ветроэнергетики в настоящее время разрабатываются ветроэнергетические установки с горизонтальным валом и ориентацией ветрового колеса на ветер. Разработок с вертикальным валом практически нет и поэтому требуется их исследование.

Формулировка цели статьи. Целью работы является определение динамических характеристик ветроэнергетической установки с вертикальной осью.

Основная часть. Украина обладает лучшей базой для развития ветроэнергетики, чем другие страны Восточной Европы, поскольку имеет обширные (более 60 тысяч км кв.) площади мелководных акваторий с высоким (более 6 м/с) ветропотенциалом, не задействованные в хозяйственных секторах [3]. Мало того, что ВЭУ должна быть хорошо изготовлена, необходимо, чтобы она соответствовала ветровым

условиям данного участка и вырабатывала необходимое количество электроэнергии.

На работу ВЭУ с вертикальной осью влияют множество факторов. Рассмотрим динамику движения лопасти ветроэнергетической установки.

На вал лопасти ветроэнергетической установки действуют следующие моменты:

$$M_{\partial} + M_c = M_e, \tag{1}$$

где M_{∂} – динамический момент ветроустановки, $H \cdot м$;

M_c – момент сопротивления генератора, $H \cdot м$;

M_e – момент, развиваемый силой ветра, $H \cdot м$.

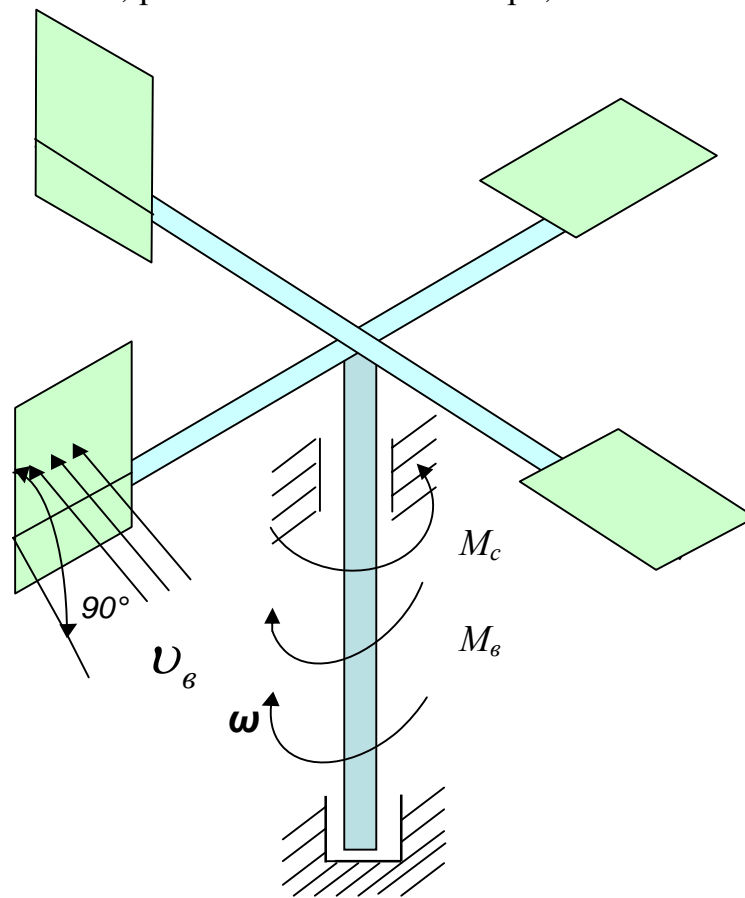


Рис. 1. Кинематическая схема ВЭУ с вертикальной осью.

Динамический момент ВЭУ рассчитывается:

$$M_{\partial} = J \frac{d\omega}{dt}, \tag{2}$$

где J – осевой момент инерции ВЭУ, $кг \cdot м^2$;

ω – угловая скорость, $рад/с$;

t – время, $с$.

Момент сопротивления на валу электрогенератора будет равен:

$$M_c = k\Phi I = k\Phi \frac{E}{R} = k\Phi \frac{k\Phi\omega}{R} = \frac{(k\Phi)^2}{R} \omega = a\omega,$$

$$a = \frac{(k\Phi)^2}{R}, \quad (3)$$

где k – коэффициент пропорциональности;

Φ – магнитный поток, Вб;

I – сила тока, А;

R – сопротивление контура, Ом.

Момент, развиваемый силой ветра будет равен [2]:

$$M_e = \frac{1}{2} \rho (v_e - \omega r)^2 S \cdot r \sin \varphi, \quad (4)$$

где ρ – плотность набегающего воздушного потока, кг/м³;

v – скорость ветра, м/с;

S – площадь лопасти, м²;

r – плечо, м;

φ – угол между лопастью и направлением ветра, рад.

Теперь, раскрывая скобки, получим:

$$M_e = \frac{1}{2} \rho (v_e^2 - 2v_e \omega r + (\omega r)^2) \cdot S \cdot r \sin \varphi =$$

$$= \left(\frac{1}{2} \rho \cdot v_e^2 - \rho v_e \omega r + \frac{1}{2} \rho (\omega r)^2 \right) \cdot S \cdot r \sin \varphi = \quad (5)$$

$$= \frac{1}{2} \rho \cdot v_e^2 \cdot S \cdot r \cdot \sin \varphi - \rho \cdot v_e \cdot r^2 \cdot S \cdot \omega \cdot \sin \varphi + \frac{1}{2} \rho \cdot r^3 \cdot S \cdot \omega^2 \cdot \sin \varphi$$

Пусть

$$\frac{1}{2} \rho \cdot v_e^2 \cdot S \cdot r = b;$$

$$\rho \cdot v_e \cdot r^2 \cdot S = c;$$

$$\frac{1}{2} \rho \cdot r^3 \cdot S = n.$$

Теперь подставим в формулу (1):

$$J \frac{d\omega}{dt} + a\omega = b \cdot \sin \varphi - c\omega \cdot \sin \varphi + n\omega^2 \sin \varphi, \quad (6)$$

$$J \frac{d\omega}{dt} + a\omega + c\omega \cdot \sin \varphi - n\omega^2 \sin \varphi - b \cdot \sin \varphi = 0. \quad (7)$$

Следующей задачей является решение данного дифференциального уравнения с целью получения зависимости угловой скорости от времени

$$\omega = f(t). \quad (8)$$

Дифференциальное уравнение (7) представим в виде [4]:

$$J\omega' = n\omega^2 \sin \varphi + b \sin \varphi - c\omega \sin \varphi - a\omega, \quad (9)$$

$$J \frac{d\omega}{dt} = n\omega^2 \sin \varphi + b \sin \varphi - c\omega \sin \varphi - a\omega,$$

$$Jd\omega = (n\omega^2 \sin \varphi + b \sin \varphi - c\omega \sin \varphi - a\omega) dt, \quad (10)$$

т.е. получим дифференциальное уравнение первого порядка с разделяющимися переменными. Отделив переменные, выражение будет иметь вид:

$$\frac{d\omega}{(n\omega^2 \sin\varphi + b\sin\varphi - c\omega \sin\varphi - a\omega)} = \frac{1}{J} dt, \tag{11}$$

$$\int \frac{d\omega}{(n\omega^2 \sin\varphi + b\sin\varphi - c\omega \sin\varphi - a\omega)} = \frac{1}{J} \int dt \tag{12}$$

Решением будет являться общий интеграл вида

$$\frac{1}{J} t = \frac{-2}{\sqrt{4nb\sin^2\varphi - c^2\sin^2\varphi - 2ca\sin\varphi - a^2}} \times \times \operatorname{arctg} \frac{-2\sin\varphi \cdot n \cdot \omega}{\sqrt{4nb\sin^2\varphi - c^2\sin^2\varphi - 2ca\sin\varphi - a^2}} + C \tag{13}$$

Общим решением дифференциального уравнения будет являться выражение:

$$\omega = \frac{\sqrt{4nb\sin^2\varphi - c^2\sin^2\varphi - 2ca\sin\varphi - a^2}}{2\sin\varphi \cdot n} \times \times \operatorname{tg} \left(\frac{\left(\frac{t}{J} - C \right)}{2} \cdot \sqrt{4nb\sin^2\varphi - c^2\sin^2\varphi - 2ca\sin\varphi - a^2} \right), \tag{14}$$

где C – const, определяемая из частных условий.

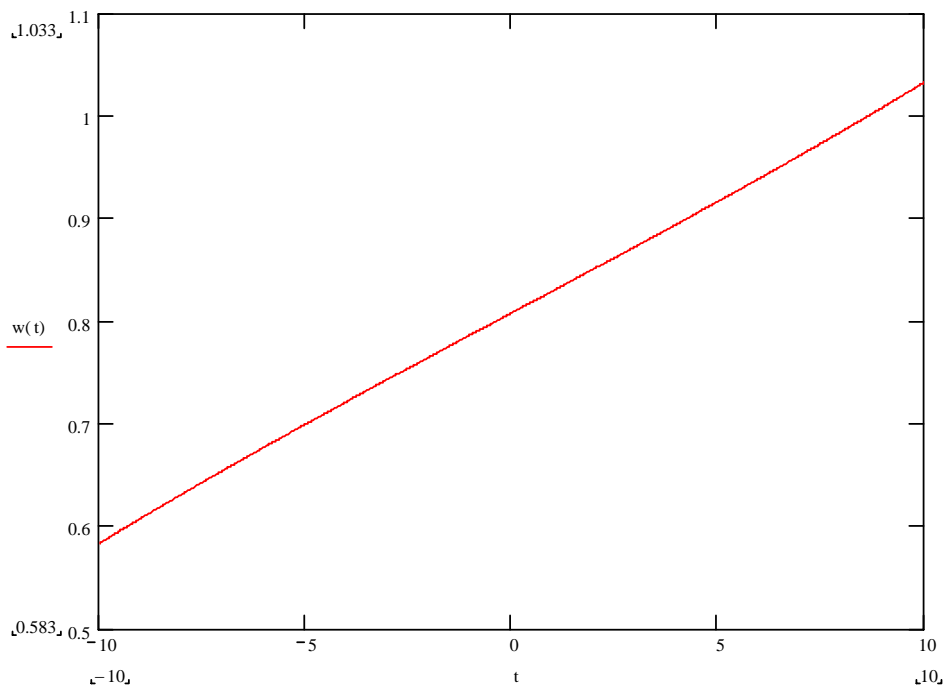


Рис. 2. Угловая скорость в функции времени.

Выводы. Решение полученного дифференциального уравнения позволило определить зависимость угловой скорости движения ротора в функции времени.

Литература

1. Тельдеши Ю. Укroшення ветра. Мир ищeт eнергию / Ю. Тельдеши, Ю.Лесны – М.: Мир,1981.–С. 156 –179.
2. Овчаров С.В. Динаміка вітроенергетичної установки з вертикальною віссю / С.В. Овчаров, О.Ю. Михайленко // Праці ТДАТУ–Мелітополь 2008: Вип. 8, т 10, С. 57-61.
- 3.INFORSE: Международная сеть по сбалансированной энергии ГО: “Енергія майбутнього століття” ВЕТРОЭНЕРГЕТИКА УКРАИНЫ: перспектива развития на ближайшие 20 лет [Электронный ресурс] / КИЕВ.–1999.–10 с. –Режим доступа до статті: http://bankwatch.org/documents/wind_ua.pdf
4. Алексеев Е. Р. Решение задач вычислительной математики в пакетах Mathcad 12, MATLAB 7, Maple 9 / Е. Р. Алексеев, О. В. Чесноков - М: ИТ Пресс, 2006, 496с.

ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ З ВЕРТИКАЛЬНОЮ ВІССЮ

О. Ю. Михайленко

Анотація - робота присвячується дослідженню динамічних характеристик вітроенергетичної установки з вертикальною віссю. Отримано рішення диференціального рівняння з метою визначення залежності кутової швидкості від часу.

DETERMINATION OF DYNAMICS OF WIND-DRIVEN POWERPLANT WITH A VERTICAL AXIS

E. Mikhailenko

Summary

Analyses (researches) of dynamics of wind-driven powerplant with a vertical axis are described. Solution of differential equation for determination of dependence of angular velocity on the time is discovered.