

ВОЗМОЖНОСТИ РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ РОТОРА АВТОНОМНОЙ ВЕРТИКАЛЬНО-ОСЕВОЙ ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

Матвеев Ю.В.

Севастопольский государственный университет, г. Севастополь

Ключевые слова: лопасть, ветроколесо, управление, быстроходность, скорость.

Аннотация. Анализируются вопросы регулирования скорости вращения ротора автономной вертикально-осевой ветроэлектрической установки в целях получения более высокого коэффициента использования энергии ветра, а также обеспечения устойчивости, стабилизации в работе и улучшения самозапуска этих установок.

OPPORTUNITIES FOR REGULATING THE ROTOR SPEED OF AN AUTONOMOUS VERTICAL-AXIAL AXIS WIND-ELECTRIC INSTALLATION

Matveev Yu.V.

Sevastopol state university, Sevastopol

Keywords: blade, wind wheel, control, speed, speed.

Abstract. The problems of regulating the rotor speed of an autonomous vertical-axis wind-driven installation are analyzed in order to obtain a higher coefficient of utilization of wind energy, as well as to ensure stability, stabilization in operation and improve self-starting of these installations.

Важное место, среди существующих нетрадиционных источников электрической энергии, занимает ветроэнергетика. Широкий класс ветроэлектрических установок (ВЭУ) можно условно разделить на 2 группы – горизонтально-осевые и вертикально-осевые.

Для любого типа ВЭУ вырабатываемая ею мощность напрямую связана с площадью ветротурбины, обметаемой ветровым потоком. В обоих типах ВЭУ используется один и тот же эффект подъемной силы, возникающей при обтекании ветром лопасти ветротурбины. При этом коэффициент использования энергии ветрового потока (КИЭВ) идеальных ветротурбин обоих типов приблизительно одинаков и составляет 0,4...0,45. Вертикально-осевые ВЭУ имеют ряд преимуществ по сравнению горизонтально-осевыми ВЭУ [1].

Рассмотрим основные характеристики вертикально-осевой ВЭУ, необходимые для предварительного выбора параметров ветроколеса. Отправной точкой в таких расчетах является заданная мощность ветротурбины на валу генератора [1]:

$$P = 0,605C_p D H V^3,$$

где C_p – коэффициент мощности; ρ – плотность воздуха (стандартное значение 1.225 кг/м³); V – скорость невозмущенного ветрового потока (м/с); H – высота лопасти (м) и D – диаметр ветроколеса (м), зависящий от ширины лопасти (хорды), количества лопастей и быстроходности.

Значение ширины лопасти, в свою очередь, определяется значением числа Рейнольдса в начальный момент старта. Задаваясь фиксированным значением площади ветроколеса, обметаемой ветропоток и определяемой, как $S=DH$, скоростью ветра, а также коэффициентом мощности можно предварительно определить заданную мощность ветротурбины на валу генератора.

Вместе с тем, количество лопастей, их ширина и диаметр ветроколеса задают такой параметр, как коэффициент затенения [2]:

$$\sigma = \frac{n_l b}{D},$$

где n_l – количество лопастей; b – ширина лопасти (хорда).

Коэффициент затенения определяет значение быстроходности Z , определяемой через отношение окружной скорости конца лопасти к скорости ветрового потока, набегающего на ветротурбину [1]:

$$Z = \frac{\omega R}{V} = \frac{n\pi D}{60V},$$

где ω – угловая скорость; n – число оборотов в минуту.

В свою очередь, коэффициент мощности, не имея фиксированного значения, зависит от аэродинамического профиля лопасти и является функцией быстроходности $C_P=f(Z)$.

Эффективность работы ВЭУ определяется правильным выбором аэродинамического профиля лопасти, а также критического угла ее атаки на направление набегающего воздушного потока. Толщина профиля связана со значением критического угла атаки, составляющего $5...10^\circ$ для представленных ниже параметров ветроколеса.

Вместе с тем, при своем вращении вне рабочего потока, лопасть ветроколеса должна оказывать минимальное сопротивление воздушному потоку и не создавать при этом, по возможности, никакой подъемной силы, не забирая энергии вращения впустую. Этим требованиям отвечают только толстые симметричные профили, обладающие наибольшими значениями критического угла атаки.

Среди широкого класса профилей в некоторых разработках встречаются симметричные профили NASA0012 (толщина профиля составляет 12 % от хорды), NASA0015, NASA0018 и т.д. [2]. Цифра после нулей означает толщину профиля от значения хорды.

На рисунке 1 изображены зависимости $C_P=f(Z)$ для ветроколеса с диаметром $D=3,6$ (м), высотой лопасти $H=2$ (м) и шириной лопасти $0,3$ (м) при разных значениях коэффициента затенения [2]: кривая 1 соответствует коэффициенту затенения $\sigma=0,4$; кривая 2 – коэффициенту затенения $\sigma=0,2$, а кривая 3 – коэффициенту затенения $\sigma=0,1$.

Расчетные кривые, приведенные на рисунке 1, соответствуют трехлопастной турбине с аэродинамическим профилем NASA-0020, который впоследствии был использован в автономной вертикально-осевой ВЭУ мощностью 2 кВт.

Величина $n_l=3$ является предпочтительней, как с точки зрения старта, так и с точки зрения плавности хода. Увеличение числа лопастей более трех может

потребовать дополнительных расчетов, чтобы не нарушить аэродинамику ветроколеса.

Наиболее оптимальной для работы ВЭУ можно считать быстроходность от трёх до четырёх с половиной. Это связано с тем, что при таких значениях быстроходности развивается значительная подъёмная сила, а она, в свою очередь, определяет эффективность использования энергии ветра.

При более высоких значениях быстроходности лопасти ветроколеса перестают попадать на критические углы атаки, при которых наблюдаются срывы обтекания и, естественно, нарушения пограничного слоя.

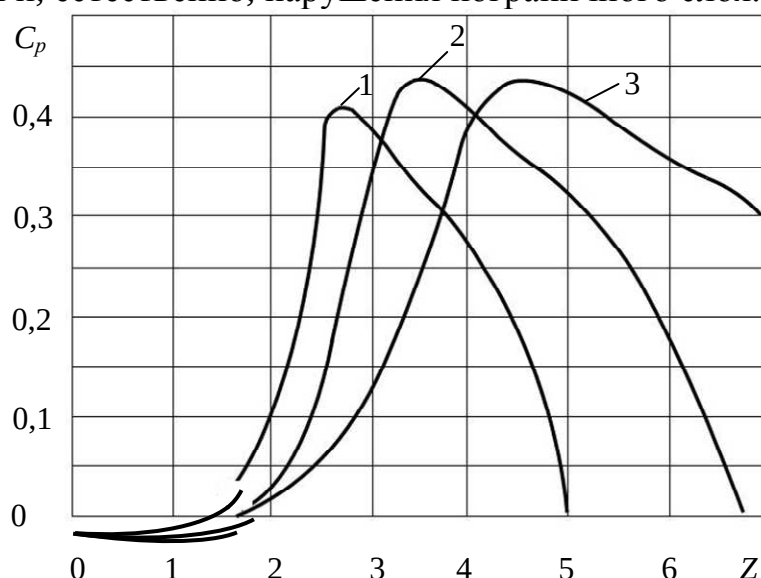


Рис. 1. Зависимости $C_p=f(Z)$ для значений коэффициента затенения:
1 – $\sigma=0,4$; 2 – $\sigma=0,2$; 3 – $\sigma=0,1$

Вследствие инерции образования пограничного слоя, лопасти ветроколеса выходят на рабочий режим с запаздыванием, что приводит к серьёзной потере его эффективности.

С другой стороны, на рисунке 1 видна область “мертвой зоны” (или область отрицательных (или обратных) вращающих моментов), имеющей границы от 0 до 2 значений быстроходности Z . Влияние этой зоны сильнее проявляется для малых значений коэффициента затенения, при которых есть отрицательные области, соответствующие коэффициенту мощности.

Преодолеть “мертвую зону” ВЭУ с ротором Дарье можно при условии, если скорость ветра вначале случайно снизится таким образом, что быстроходность медленно вращающегося ветроколеса подскочит от низкого значения, присущего этой зоне, до большего значения, а затем скорость ветра увеличится до тех значений, при которых ветроколесо будет работать в рабочей зоне скоростей вращения ветроколеса.

Для создания условий к самозапуску ВЭУ можно изменять угол атаки лопастей, однако, как показывает опыт, с течением времени падает надёжность механизмов разворота лопастей.

Включение в работу ВЭУ при малых скоростях ветра можно осуществить путем изменения геометрических параметров ветроколеса, например, путем изменения коэффициента затенения за счет варьирования диаметра ветроколеса.

Предложенный метод регулировки коэффициента затенения можно реализовать путем использования центробежных сил, воздействующих на лопасти, закрепленные на траверсах ВЭУ. С увеличением скорости ветра и под действием аэродинамических и центробежных сил, лопасти за счет своей массы смещаются телескопически от центра, увеличивая диаметр ветротурбины. При этом, значение коэффициента затенения σ уменьшается, а величина коэффициента мощности будет уже незначительно изменяться, соответствуя новому, более низкому значению σ . Демпферами, выдвигающихся траверс являются пружины, сила растяжения которых, определяется числом оборотов ветроколеса и массой лопастей. Кроме того, с увеличением площади ветроколеса, обметаемой ветропотоком, будет расти мощность, отдаваемая ВЭУ.

Результатом дальнейших исследований является многопараметрическая оптимизация алгоритма управления параметрами ветроколеса ВЭУ с целью обеспечения поддержания максимального значения ее коэффициента мощности.

Список литературы

1. Автономные ветроэнергетические установки: учебно-методическое пособие для студентов технических высших учебных заведений / А.М. Олейников и др.; под ред. Олейникова А.М. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2009. – 192 с.
2. Sheldahl R.E. Aerodynamic characteristics of 7 symmetrical airfoil sections through 180-degree angle of attack for use in aerodynamics analysis of vertical axis wind turbine [Report-SAND80-2114] / R.E. Sheldahl, P.C. Klimas. – Albuquerque, NM: Sandia National Laboratories, 1981. – 120 p.

Сведения об авторе:

Матвеев Юрий Валентинович – к.т.н., доцент, доцент кафедры “Судовое электрооборудование” СевГУ, г.Севастополь.