

Шевченко В.В.

ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ ЛОПАСТЕЙ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК НА ИХ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ

Ветроэнергетика не может заменить классические электростанции. Более того, на наш взгляд, будущее промышленно развитых стран, все-таки, невозможно без атомной энергетики. Но роль ветроэнергетики в этом случае определяется вполне конкретно: решение локальных задач по энергоснабжению малоэнергоемких удаленных потребителей, где основная выгода определяется не улучшением потребления, а решением проблемы «доставки» электроэнергии. По некоторым оценкам, к середине будущего века ВЭС, возможно, будут обеспечивать 10 % потребления электроэнергии в мире. Это немного, но сможет решить вопрос энергоснабжения для стран без энергоемких производств, которые импортируют электроэнергию.

Величина вырабатываемой электроэнергии зависит от каждого элемента, входящего в состав ветроэнергетической установки (ВЭУ). В частности, выбор формы крыла ВЭУ, обеспечивающего максимальное давление потока ветра на лопасти, т.е. максимальное значение подъемной силы и силы тяги. Каждый профиль крыла имеет определенный угол атаки, при котором коэффициент, равный отношению подъемной силы к силе тяги, (C_L / C_D), будет максимальным.

Этот угол атаки определяет значение максимальной силы и является, поэтому, самым эффективным критерием настройки поворота лопастей ветротурбины.

Коэффициент тяговой силы (подъема) крыла C_D может быть рассчитан:

$$C_D = \frac{D}{0,5 \cdot \rho \cdot V^2 \cdot A_b}$$

где: D - тяговая сила, в Н; ρ - плотность воздуха, в $\text{кг}/\text{м}^3$;

V - скорость воздушного потока, обтекающего крыло, $\text{м}/\text{с}$;

A_b - площадь сечения (произведение длины зоны сечения на ширину),
в м^2 ;

Коэффициент подъемной силы крыла (C_L) может быть рассчитан

$$C_L = \frac{L}{0,5 \cdot \rho \cdot V^2 \cdot A_b}$$

где L – подъемная сила крыла, в Н.

На рис. 1 приведены типичные значения коэффициентов подъема и тяги для сечений крыла. Величина подъемной силы и силы тяги пропорциональны величине вырабатываемой электроэнергии. Область практического использования соответствует углу атаки только справа от пика в кривой C_L .

В Украине используется методика расчета мощности ветроагрегатов в зависимости от скорости ветра, построенная на результатах аэродинамического расчетов. Она базируется на импульсной теории, с учетом турбулентного следа и концевых потерь по Прандтлю. Тогда мощность определяется как

$$N = \omega \cdot M, \text{ Вт}$$

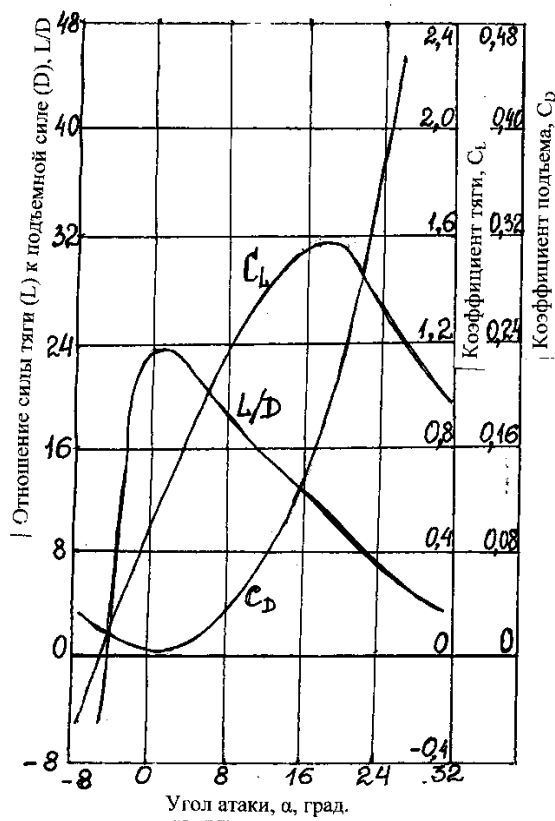
где $M = \frac{\pi \rho}{2} \cdot C_m(z, \phi_i) \cdot V^2 \cdot R^3$, Нм - аэродинамический момент;

ω - частота вращения ротора, рад/с;

ρ – плотность воздуха, кг/м³;

$C_m(z, \phi_i)$ - коэффициент момента (функция от двух переменных быстроходности z и угла установки лопасти ϕ для ветротурбин с жестким креплением лопастей).

Другая важная характеристика расположения крыла - его угол поворота к оси действия ветра. Это угол атаки, при котором следует использовать угол установки плоскости сечения крыла. Изменение происходит, когда поток внезапно меняет направление и проходит с другой стороны относительно поверхности крыла (когда угол атаки становится слишком крутым), это приводит к существенному снижению величины подъемной силы и увеличению силы тяги. Когда это случается во время полета самолета, это может быть чрезвычайно опасным, если пилот не сможет внести изменения в управление самолетом. Один из методов, используемых для ветрогенераторов при регулировании вырабатываемой мощности, чтобы ограничить ее величину при сильных ветрах, основывается именно на этом явлении.



Для ветрогенераторов с мягким креплением оси, т.е. с осью ротора, способной постоянно ориентироваться по направлению дуновения ветра для получения постоянной относительной скорости ветра и постоянной частоты вращения, угол атаки устанавливается такой, чтобы частота вращения была постоянной.

Рис. 1. Коэффициент тяги C_L , коэффициент подъема C_D , и отношение силы тяги к подъемной силе, (L/D) , для различных значений угла атаки α .

Ветрогенераторы с жесткозакрепленной осью вращения при изменении условий (угла атаки воздуха) для обеспечения постоянной частоты вращения разворачивают всю ось вращения. В течение периода нормальной работы ветрогенератора с горизонтальной осью лопасти ветротурбины устанавливаются так, чтобы угол атаки оставался положительным.

Величина и направление тяговой силы изменяется в связи с изменением относительного угла ветра θ и величины радиуса r вдоль оси лопасти ветротурбины. Так как тангенциальная скорость u уменьшается по направлению к центру вращения, то относительный угол падения ветра θ резко возрастает. Важна геометрия крыла. Несимметричные формы крыльев оптимизированы для создания наибольшей подъемной силы, при которой нижняя сторона крыла наиболее близка к траектории движения воздуха. Крылья симметричной формы могут одинаково хорошо создавать подъемную силу при любом направлении обтекания их воздухом. Совершенствование аэродинамики ветротурбин, внедрение новых материалов, изучение и учет при проектировании усталостных явлений в

ветротурбинах, оптимизация преобразовательных систем и систем регулирования позволяет существенно повысить надежность и эффективность ВЭУ, работающих параллельно с сетью и приблизить стоимость вырабатываемой ими электроэнергии к стоимости энергии, производимой на тепловых электростанциях, в том числе и АЭС.