

## АНАЛИЗ СИСТЕМ ТОРМОЖЕНИЯ ВЕТРЯНЫХ УСТАНОВОК ПУТЁМ ИЗМЕНЕНИЯ УГЛА АТАКИ

*Е.В. Бухаров, студент гр. 5А92*

*Научный руководитель: М.С. Черемискина, ассистент,*

*Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр.Ленина,30,*

*E-mail: [evb36@tpu.ru](mailto:evb36@tpu.ru)*

Ветряные установки зачастую устанавливаются в местах, где штормовой ветер или просто сильные порывы ветра не редкость, в таких условиях важно, чтобы они были защищены от чрезмерно высоких скоростей ветра. Один из вариантов такой защиты является изменение угла атаки ветра о лопасти, которое способствует уменьшению подъёмной силы, или в экстренных ситуациях поможет основной системе затормозить быстрее.

Рассмотрим принцип воздействия воздуха на лопасти ветровой установки. Масса поток ветра, набегающего на лопасть можно вычислить, зная плотность воздуха ( $\rho$ ), площадь поверхности ( $S$ ) и угол атаки ( $\alpha$ ):  $dm = \rho \cdot S \cdot \sin(\alpha) \cdot v \cdot dt$ .

Воздух, обладающий импульсом будет сталкиваться и отражаться от поверхности лопасти, изменяя свой импульс, изменение модуля скорости при этом будет равно  $|\Delta \vec{v}| = 2v \sin \alpha$ .

Отсюда вычислим изменение импульса:  $dp = mv = 2\rho \cdot S \cdot v^2 \cdot \sin^2(\alpha) \cdot dt$ . А так как сила равняется первой производной по импульсу, можем её вычислить и разложить на векторы  $X$  и  $Y$ :  $R = \frac{dp}{dt} = 2\rho \cdot S \cdot v^2 \cdot \sin^2(\alpha)$ ;  $R_x = X = R \cdot \sin(\alpha) = 2\rho \cdot S \cdot v^2 \cdot \sin^3(\alpha)$ ;  $R_y = Y = R \cdot \cos(\alpha) = 2\rho \cdot S \cdot v^2 \cdot \sin^2(\alpha) \cdot \cos(\alpha)$ .  $Y$  – это подъёмная сила, которая и приводит в действия лопасти,  $X$  – сопротивления воздуха. Множитель  $2\sin^2(\alpha) \cdot \cos(\alpha)$  можно записать как  $C_y$  (коэффициент подъёмной силы), а  $2\sin^3(\alpha)$  как  $C_x$  (коэффициент лобового сопротивления). В реальности эти коэффициенты зависят ещё от набора параметров, связанных с аэродинамическими характеристиками и вычисляются они преимущественно эмпирическим путём в аэротрубах и специализированных программах, но зависимость от угла  $\alpha$  сохраняется. Стоит так же отметить, что вследствие движения лопасти перпендикулярно скорости ветра, вектор набегающего воздуха смещается, изменяясь в сторону уменьшения угла атаки, в следствие этого угол атаки на практике увеличивается, но незначительно. [5]

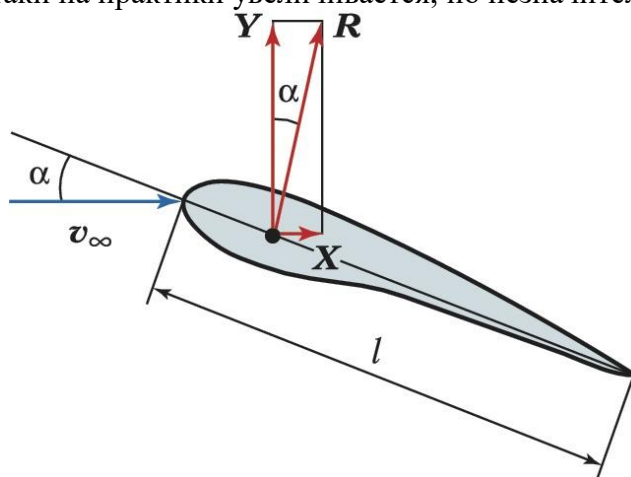


Рис.1. Расположение сил

Конструкции опор и лопастей рабочих ветряных установок рассчитаны на максимальную скорость ветра в 22-25 м/с, а наиболее эффективная скорость 10-15 м/с, поэтому возможно применить систему гашения скорости через изменения угла атаки, на графике [1] представлена зависимость коэффициента подъёма от угла атаки для одного из самых эффективных и распространённых профилей НАСА 4412 (Рисунок 2).

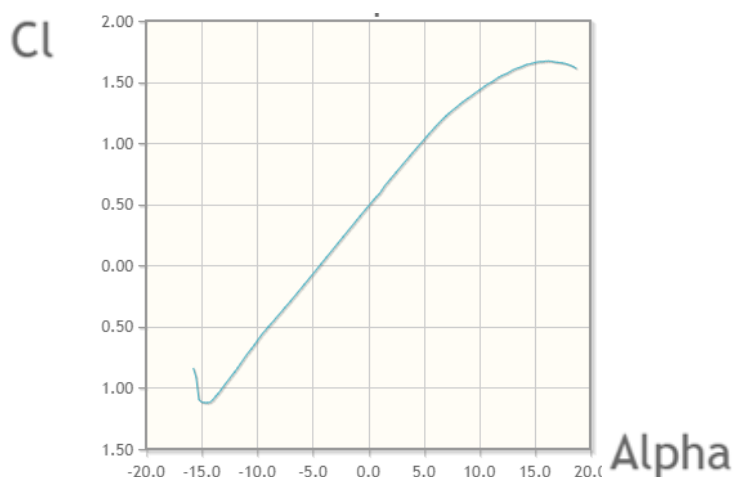


Рис.2. График зависимости коэффициента подъёма от угла атаки

С помощью этих данных и вычислив силы сопротивления воздуха и трения внутри механизмов, мы можем создать уравнение баланса, при котором скорость лопастей будет оставаться в пределах наиболее эффективных.

Момент подъёмной силы:  $M = \int_0^R R_y dR = \int_0^R C_y \cdot \rho \cdot S \cdot v^2 dR = C_y \cdot \rho \cdot v^2 \cdot \int_0^R S dR$ , так как площадь профиля так же зависит от радиуса, оставим интеграл не решенным. Тогда  $M = M_{тр} + M_{сопр.возд.}$ , где  $M_{тр}$  – сумма моментов всех сил трения в механизмах установки,  $M_{сопр.возд.}$  – момент силы вязкого трения воздуха на лопасть.  $M_{тр}$  является постоянной величиной,  $M_{сопр.возд.}$  так же близка к константе, следовательно изменения скорости ветра, в данном уравнение влияет преимущественно на момент подъёмной силы, который можно сохранять постоянным меняя  $C_y$ . [4]

Опираясь на данные коэффициента подъёмной силы, и полученное выше уравнение, компьютеры, встроенные в ветряные установки, могут мгновенно, исходя из данных с датчиков, вычислять соответствующий скорости ветра угол атаки для лопастей, и при сильных порывистых ветрах, сохранять скорость движения лопастей близкой к постоянной.

#### **Список литературы:**

1. Результаты исследования профиля NACA 4412 в аэротрубе [Электронный ресурс]. URL: <http://airfoiltools.com/polar/details?polar=xf-naca4412-il-1000000>
2. J. F. Manwell and J. G. McGowan «Wind energy explained» // Территория будущего; Москва; 2011. С. 101-121
3. Ветроэнергетика: пер. с англ. // под ред. Д. де Рензо. — Москва: Энергоатомиздат, 1982. С. 42-44
4. Пашков Е.Н. MATERIALS AND ENGINEERING SCIENCE (УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ) /Пашков Е.Н., Мартюшев Н.В.// Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. - 2013. - № 2. - С. 126-127.
5. Pashkov E.N. VESSEL ELLIPTICITY AND ECCENTRICITY EFFECT ON AUTOMATIC BALANCING ACCURACY/ Pashkov E.N., Martyushev N.V., Masson I.A.// В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 20, Modern Techniques and Technologies. Сер. "20th International Conference for Students and Young Scientists: Modern Techniques and Technologies, MTT 2014" - 2014. - С. 012011.