

значение коэффициентов аэродинамических сил и коэффициентов использования энергии ветра, приближая их расчетные значения к экспериментальным данным.

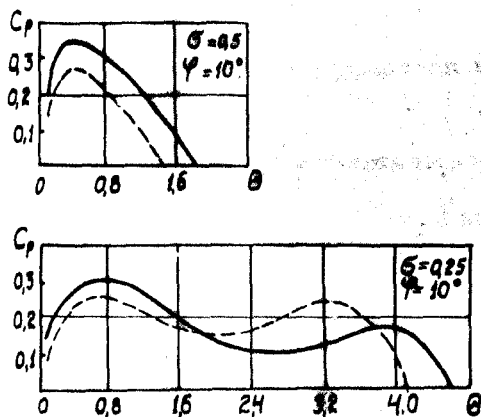


Рис. 3 Зависимость C_p от быстроходности и степени затенения ветроколеса

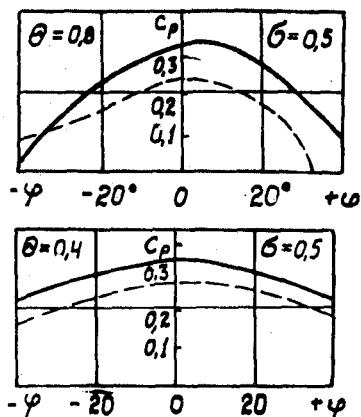


Рис. 4. Зависимость C_p от угла установки лопасти ветроколеса

SUMMARY

There has been proposed a way of decelerating airflow while using discontinuous vortex model of ideal flow in orthogonal wind wheels. It is shown how the flow speed is related to the degree of shading the propeller area and the wind - wheel specific speed, with the blades position on the circular movement route being taken into consideration. The paper also deals with the results of calculating the coefficient of aerodynamic forces and the coefficient of using wing energy under different specific speed modes.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белоцерковский С.М., Нитш М.И. Отрывное и безотрывное обтекание тонких крыльев идеальной жидкостью. - М.: Наука, 1978.-352 с.
2. Вашкевич К.П., Самсонов В.В. Расчет аэродинамических характеристик ветроколес вертикально-осевого типа с использованием метода дискретных вихрей. - Сб. "Промышленная аэродинамика." - М.: Машиностроение, 1988. - Вып.8 (35). - С 159-170.
3. Гончаренко С.В. Численное моделирование работы ветроэнергетической установки с вертикальной осью вращения // Сб. "Математические методы расчета гидродинамических течений." - Днепропетровск, 1990. - С 54-62.
4. Волков Н.И., Вабенко Н.П. Расчет обтекания ротора быстроходного ветродвигателя вертикально-осевого типа методом дискретных вихрей // Сб. науч. тр. "Гидравлические машины и гидропнеумоагрегаты: теория, расчет, конструирование." - Киев, 1995, 254-259с.

Поступила в редколлегию 21 июня 1995г.

УДК 621.548

МОЩНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕРТИКАЛЬНО-ОСЕВОЙ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ С ЛОПАСТЯМИ ОРИГИНАЛЬНОГО ТИПА

Коваленко В.М., проф., Попова О.А., асп.

Выполнены исследования аэродинамических характеристик модели ротора вертикально-осевой ветроэнергетической установки (ВЭУ) с профилем лопасти типа КН-6. Профиль типа КН представляет собой крыловой профиль, имеющий незамкнутую поверхность (рис.1). Такая форма позволяет обеспечить самозапуск ротора за счет натекания потока

в "карман" профиля, что создает начальный крутящий момент. Однако наличие незамкнутой поверхности обуславливает срыв потока с острой кромки. Для снижения вихревых потерь в следе профиля, предусматривается дополнительный элемент, названный демпфером отрывных течений. Он представляет собой изогнутую пластину, расположенную выпуклостью наружу (см. рис.1). При этом демпфирующий элемент является плавным продолжением профиля типа КН.

Модель ротора имела диаметр $D=400$ мм, высоту лопасти $H=400$ мм и хорду $b=100$ мм.

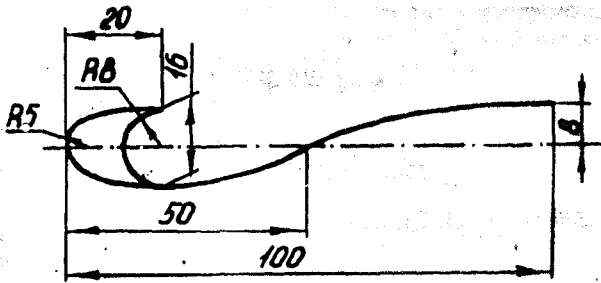


Рис. 1. Аэродинамическая схема лопасти с профилем типа КН-6

Цель исследования состояла в определении мощностных характеристик, которые может обеспечить данная форма профиля. Для этого необходимо было измерить крутящий момент, частоту вращения ротора и скорость набегающего потока. Измерения крутящего момента $M_{кр}$ проводились с помощью нагрузочного устройства (рис.2), установленного на валу ротора. При возрастании нагрузки на ротор путем увеличения прижимного усилия элемента 1 к валу растет тормозной момент. При этом снижается число оборотов ротора и увеличивается крутящий момент, который на корпусе 2 нагрузочного устройства уравновешивается моментом $M_{уп}$, создаваемым грузом G , который приложен на расстоянии r от оси вращения. Таким образом,

$$M_{кр} = M_{уп} = G \cdot r,$$

а мощность на валу ветроколеса

$$P = M_{кр} \cdot \omega,$$

где ω - частота вращения ротора, 1/сек.

Мощность P связана с мощностью набегающего потока $P_{наб}$. В ветроэнергетике принято пользоваться безразмерным коэффициентом, равным отношению этих величин, и называемым коэффициентом использования энергии ветра C_p :

$$C_p = P/P_{наб}, P_{наб} = 1/2 \cdot \rho \cdot U_0^3 \cdot S,$$

где ρ - плотность воздуха, $кг/м^3$;

U_0 - скорость набегающего потока, м/с;

$S = H \cdot D$ - площадь, ометаемая ветроколесом, $м^2$.

Однако мощность на валу ветроколеса включает в себя, помимо полезной мощности, еще и мощность механических потерь и потерь на аэродинамическое трение. Таким образом, величина C_p является по существу коэффициентом полезного действия модели ВЭУ. При этом

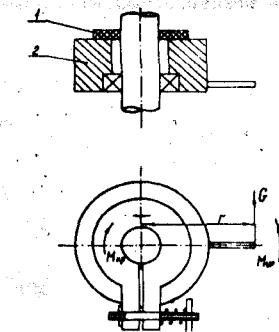


Рис. 2
Схема нагрузочного устройства для определения крутящего момента $M_{кр}$

удельный вес механических потерь и потерь на трение на малых моделях достаточно велик.

Коэффициент C_p определяется в зависимости от быстроходности θ , причем

$$\theta = U_x / U_0 = \omega \cdot R / U_0,$$

где U_x - окружная скорость лопасти, м/с;

R - радиус ветроколеса, м.

Скорость набегающего потока замерялась с помощью чашечного анемометра в девяти точках сечения. В качестве расчетной величины было принято среднеарифметическое значение скорости для данного сечения.

В программу исследований были включены испытания по определению оптимального угла установки лопасти, оптимального числа лопастей и влияния числа Рейнольдса на характеристики $C_p = f(\theta)$.

Угол установки лопасти (угол между хордой лопасти и направлением окружной скорости) ϕ принимался равным $10^\circ, 15^\circ, 20^\circ$ и 25° при числе лопастей $i=2, 3$. Результаты опытов по определению $\phi_{\text{опт}}$, носящие скорее качественный, чем количественный характер, показали, что оптимальным является угол $\phi_{\text{опт}} \approx 15^\circ$, особенно ярко это выражено в случае ротора с тремя лопастями (рис.3).

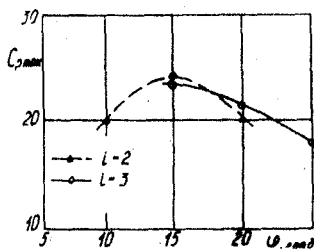


Рис. 3

Влияние угла установки лопасти на коэффициент использования энергии ветра C_p

В опытах по определению оптимального числа лопастей (1-я серия испытаний), в которых сохранялись постоянными угол ϕ и скорость потока U_0 , установлено, что максимальный коэффициент C_p достигается при $i=2$. При этом и коэффициент быстроходности оказывается наибольшим (рис.4). При увеличении числа лопастей оба эти коэффициента снижаются. Видимо, это объясняется влиянием увеличения коэффициента заполнения ротора: равномерный набегающий поток не попадает на лопасти, находящиеся с подветренной стороны, и они работают в условиях возмущенного потока, срывающегося с лопастей, которые находятся на наветренной

стороне ротора. Однако поскольку ротор с тремя лопастями обеспечивает более плавное вращение, чем ротор с двумя лопастями, и при этом незначительно уступает в величине коэффициента C_p , то, по-видимому, применение такого ротора более целесообразно. Таким образом, оптимальным вариантом ротора с лопастями типа КН-6 представляется ротор, имеющий три лопасти, установленные под углом $\phi=15^\circ$.

Эксперименты по определению влияния числа Рейнольдса $Re = U_0 \cdot b / \nu$ на мощностные характеристики проведены при трех значениях скорости U_0 в диапазоне от 2,7 до 8 м/с, что соответствует диапазону чисел $Re = 1,7 \cdot 10^4 \dots 4,9 \cdot 10^4$. Как и можно было ожидать, все три кривые (рис.5), если и не накладываются друг на друга, то проходят в тесном соседстве, и это различие можно отнести как на счет погрешностей при самом проведении опытов, так и на неточность в определении скорости набегающего потока.

Отметим следующее. Значения $C_p = f(\theta)$, показанные на рис.4 и 5, оказались несколько различными. Соответствующие результаты получены в двух сериях испытаний, которые отличались условиями опытов и приборами, применявшимися для измерения основных величин (в частности, частоты вращения ротора). Условия монтажа лопастей и ротора в целом также обуславливали различную величину механических потерь. Поэтому, не подвергая сомнению качественные результаты по

влиянию числа лопастей и критерия Рейнольдса, количественные результаты должны уточняться.

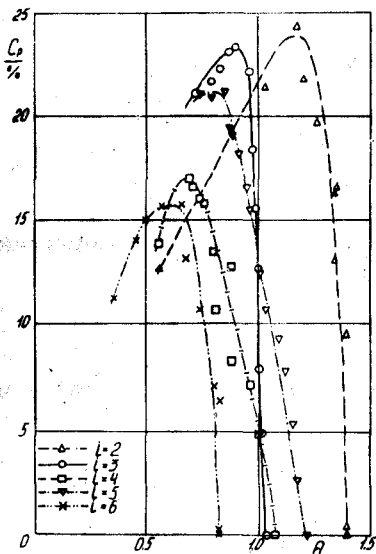


Рис. 4
Влияние угла лопастей в роторе на мощностные характеристики (1-я серия опытов)

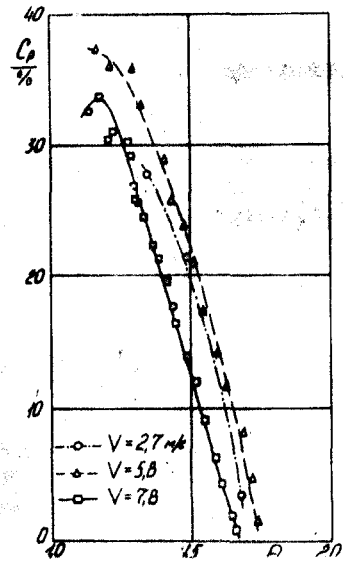


Рис. 5
Изменение $C_p=f(\alpha)$ в диапазоне чисел $Re=1.7 \cdot 10^4-4.9 \cdot 10^4$ (2-я серия опытов)

SUMMARY

There are presented the results of aerodynamic tests of orthogonal wind installations' rotor, which blades are of original profile of KH-6 type. There is examined the influence of the installed blades angle, their number and Reynolds criterion on the rotor power characteristics.

Поступила в редколлегию 12 июля 1995г.

УДК 533.6 : 621.548

САМОВРАЩЕНИЕ ПЛОСКОЙ ПЛАСТИНЫ В ПОТЕНЦИАЛЬНОМ ПОТОКЕ ИДЕАЛЬНОЙ ЖИДКОСТИ

Н.И.Волков, доц., Ю.А.Педан, асп.

Эффект самовращения плоской пластины в потоке равномерно движущейся жидкости известен из ряда исследований. Физическая картина взаимодействия пластины с потоком достаточно сложна и мало изучена. Выявление ее особенностей и закономерностей открывает возможности анализа сходственных процессов, связанных с обтеканием жидкостью или газом движущихся твердых поверхностей. Как заметил Г.Ю.Степанов, проявляющиеся здесь эффекты, возможно, привели Н.Е.Жуковского к понятию присоединенных вихрей [1]. Очевидно, что в рамках моделей безотрывного или отрывного стационарного обтекания потоком такой пластины приемлемые результаты не могут быть получены. В качестве первого приближения частоту самовращения пластины можно попытаться рассчитать в постановке нестационарного отрывного обтекания потенциальным потоком невязкой несжимаемой жидкости.