

## Аэродинамика летательных аппаратов

УДК 621.548

Абасов А.Р., Гайфуллин Т.К., Рябухин М.И.

### РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ВЕТРОДВИГАТЕЛЯ – НОРИИ

В работе [1] предложена конструкция ветродвигателя – нории и высказано предположение о повышенном КПД устройства. Целью настоящей работы является оценка снимаемой мощности и КПД ветродвигателя – нории.

Лопастей ветродвигателя – «нории» движутся на большей части траектории поступательно, т.е. все лопасти работают в одинаковых условиях, создавая одинаковые усилия. Следовательно, в предлагаемом устройстве площадь, ометаемая лопастями ветродвигателя, используется наиболее эффективно. С точки зрения аэродинамики каждая лопасть представляет собой крыло большого удлинения, что также повышает эффективность преобразования энергии ветра в энергию вращения звездочек.

Сравнивая предлагаемое устройство с известными, можно предположить, что данная конструкция наиболее подходит для достижения цели – создания ветродвигателя для труднодоступной местности.

Для расчета параметров ветродвигателя – нории воспользуемся элементами теории лопаточных машин. В данном случае теория плоских решеток профилей применима без всяких оговорок, т.к. эти условия выполняются практически по всей длине несущих поверхностей, за исключением концов поступательно движущихся лопастей, где возникают концевые вихри подобно самолетному крылу. Однако удлинение лопастей можно сделать практически близким к бесконечности (50 – 100), поэтому концевыми эффектами можно пренебречь. Если же торцы лопастей и цепи со звездочками будут установлены на стенке, как показано на рис. 1, то влияние концевых эффектов можно практически свести к нулю.

Для оценки КПД построенной модели нории течение будем рассматривать как плоское.

Построим треугольники скоростей наветренной («ведущей», рис. 2, 3) и подветренной («ведомой», рис. 4, 5) ветвей нории. Из условия безотрывного обтекания передней ветви в момент пуска ветродвигателя угол установки лопастей  $\varphi$  между хордой лопасти и нормалью к полотну нории следует взять не более угла начала срыва (12-15°). У изготовленной модели угол установки составляет 14°.

Тогда на входе в ведущую ветвь нории (сечение 1) скорость набегания потока на решетку профилей  $\vec{w}_1$  определится как геометрическая сумма обращенной скорости поступательного движения лопасти нории  $\vec{u}_1$  и скорости ветра  $\vec{c}_1$ :  $\vec{w}_1 = \vec{c}_1 - \vec{u}_1$  (рис. 2).



Рис. 1. Модель ветродвигателя – нории. Конструкция и работа

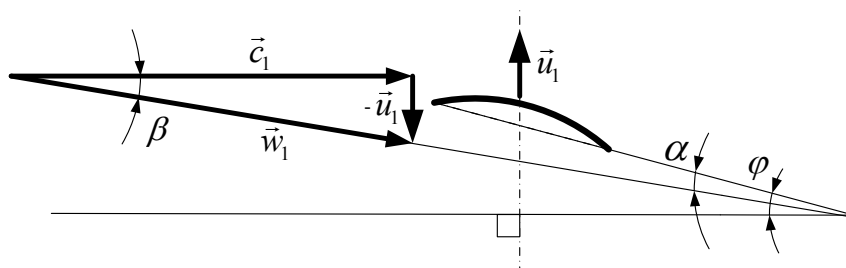


Рис. 2. Скорости потока на входе в ветродвигатель

С задней кромки ведущей ветви поток сходит с относительной скоростью  $\vec{w}_2$  по средней линии профиля. В качестве лопастей в модели использованы пластиковые ламели от горизонтальных жалюзи с незначительной кривизной, поэтому скорость  $\vec{w}_2$  дополнительно отклоняется вниз на угол  $\tau \approx 5^\circ$ . Поскольку сопротивлением трения пренебрегаем, то  $|\vec{w}_2| = |\vec{w}_1|$ . При этом решетка движется со скоростью  $\vec{u}_1$ . В результате абсолютная скорость потока  $\vec{c}_2 = \vec{w}_2 + \vec{u}_1$  (рис. 3). Скорость потока существенно отклонилась вниз.

Этот поток набегает на ведомую ветвь полотна нории (решетку профилей), которая движется вниз с такой же скоростью  $\vec{u}_2 = -\vec{u}_1$ . Относительная скорость набегания и угол атаки ведомой ветви определяются из треугольника скоростей (рис. 4)

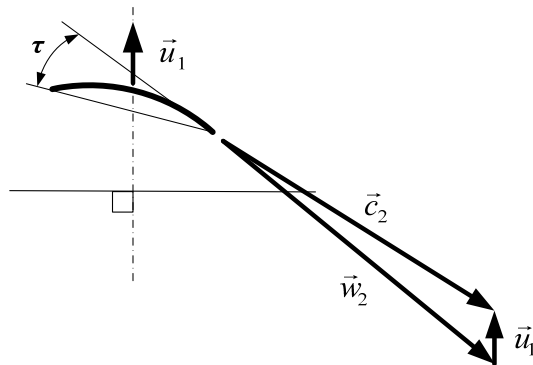


Рис. 3. Скорости на выходе из ведущего полотна нории

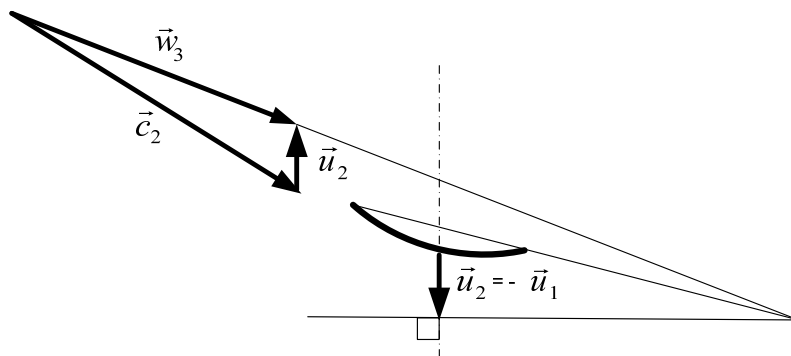


Рис. 4. Скорости на входе в ведомое полотно нории

Из этого треугольника видно, что угол атаки на задней ветви отрицательный, т.е. аэродинамическая подъемная сила направлена вниз, по направлению движения лопасти, совершая положительную работу. Скорости потока на выходе из ведомой ветви (вязкое трение отсутствует, поэтому  $|\vec{w}_4| = |\vec{w}_3|$ ) найдем аналогичным образом (рис. 5).

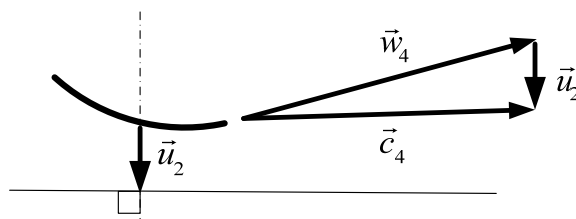


Рис. 5. Скорости потока на выходе из ветродвигателя

Сравнивая между собой треугольники скоростей на входе (пунктир) и на выходе из ветродвигателя (рис. 6), отмечаем, что после прохождения всего ветродвигателя поток существенно уменьшил скорость, при этом направление скорости не поменялось. Выше было показано, что при полученных углах атаки аэродинамическая подъемная сила на

обеих ветвях совершает положительную работу, т.к. ее направление совпадает с направлением движения лопастей. Эту работу и КПД ветродвигателя можно определить по потере кинетической энергии потока  $\eta = \frac{A}{E_{\kappa 1}}$ .

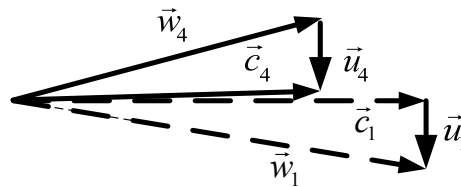


Рис. 6. Сравнение скоростей на входе и выходе ветродвигателя

Полезную работу  $A$  найдем как  $A = E_{\kappa 1} - E_{\kappa 4}$ , тогда  $\eta = \frac{E_{\kappa 1} - E_{\kappa 4}}{E_{\kappa 1}}$ .

Кинетическая энергия потока  $E_{\kappa} = \frac{mV^2}{2} = \frac{\rho V^3 S}{2}$ , где  $S$  – площадь полотна нории,  $\rho$  – плотность воздуха,  $V$  – скорость течения в данной точке.

Тогда КПД устройства выразится через скорости течения на входе и на выходе:

$$\eta = \frac{c_1^3 - c_4^3}{c_1^3}$$

Введем коэффициент снижения скорости  $k_V = \frac{c_4}{c_1} < 1$ . Тогда, выразив  $c_4$  через  $c_1$ ,

найдем:  $\eta = \frac{c_1^3 - c_4^3}{c_1^3} = \frac{c_1^3}{c_1^3} (1 - k_V^3) = 1 - k_V^3$ .

Вывод: для невязкого потока воздуха КПД предлагаемого ветродвигателя определяется только коэффициентом понижения скорости. В рассмотренном примере достигнуто  $k_V = \frac{c_4}{c_1} \approx 0,75$ , тогда  $\eta = 1 - k_V^3 = 1 - 0,75^3 = 0,578$ .

Очевидно, что количество энергии, преобразуемой ветродвигателем, и его КПД будут зависеть от скорости ветра и скорости движения полотна нории, а также от углов установки лопастей, т.к. при этом изменяются углы набегания потока и углы атаки лопастей.

### Библиографический список

1. Рябухин М.И., Абасов А.Р., Гайфуллин Т.К. Ветродвигатель «нория» В сб. Управление движением и навигация летательных аппаратов, часть 1: Самара, СГАУ, 2015 г, стр. 240-243.