

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ВЕТРОДВИГАТЕЛЯ - НОРИИ

В настоящее время возрос интерес к альтернативным источникам энергии. Это связано с угрозой загрязнения окружающей среды выхлопными газами тепловых электростанций, тепловым загрязнением, повышенным риском работы АЭС и растущими тарифами на потребляемую электроэнергию. Кроме того, в труднодоступных местностях сетевые источники энергии могут быть недоступны. В этих случаях обычно используются ветродвигатели или солнечные батареи.

Анализ известных вариантов ветродвигателей показал, что общим их недостатком является неэффективное использование энергии ветрового потока. Пути повышения эффективности ветродвигателей вытекают из рассмотренных недостатков – во всех случаях площадь ветрового потока используется не полностью. Для равномерной загрузки площади ветродвигателя целесообразно все элементы ветродвигателя поставить в одинаковые условия обтекания. Кроме того, вращательное движение рабочих элементов ветродвигателя желательно заменить поступательным. Для этого была предложена конструкция ветродвигателя – нории. Конструктивная схема устройства представлена на рисунке 1.

Лопasti ветродвигателя 1 закреплены на звеньях бесконечной цепи 2, натянутой на звездочки 3. Лопasti установлены под углом к набегающему потоку воздуха, поэтому на них возникает подъемная сила, заставляющая лопasti вместе с цепью перемещаться перпендикулярно потоку. Это движение через звездочки передается потребителям мощности (на схеме не показаны). Проходя через звездочки, лопasti поворачиваются на 180° , поэтому подъемная сила на них действует уже в противоположном направлении, однако момент на звездочках не меняет своего направления и суммируется с моментом от противоположной ветви. Таким образом, набегающий поток воздуха отдает свою энергию дважды – на передней и на задней ветви бесконечной цепи («нории» - по аналогии с цепным транспортером).

Лопasti ветродвигателя – «нории» движутся на большей части траектории поступательно, т.е. все лопasti работают в одинаковых условиях, создавая одинаковые усилия, следовательно, в предлагаемом устройстве площадь, ометаемая рабочей частью 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.

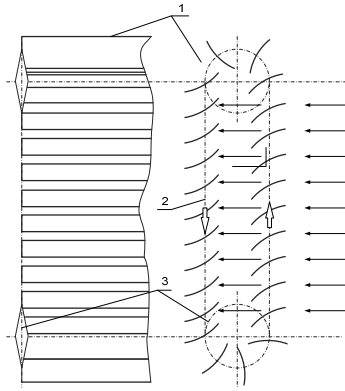


Рисунок 1 – Ветродвижитель типа нория

Сравнивая предлагаемое устройство с известными, можно на основании вышеизложенного предполагать, что данная конструкция наиболее подходит для достижения поставленных ранее целей исследования – создания ветродвижателя для труднодоступной местности.

Для расчета параметров ветродвижателя – нории воспользуемся элементами теории лопаточных машин, применяемой при расчете турбореактивных двигателей. Действительно, в данном случае теория плоских решеток профилей, используемая в теории авиационных двигателей, 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 места размещения цепей нории закрыть концевыми шайбами – обтекателями цепи, то влияние концевых вихрей можно свести к нулю.

Построим треугольники скоростей наветренной («ведущей») и подветренной («ведомой») ветвей нории. Из условия безотрывного обтекания передней ветви в момент пуска ветродвижателя угол установки лопастей φ между хордой лопасти и нормалью к полотну нории следует взять не более угла начала срыва (12-15°). Тогда на входе в ведущую ветвь нории в установившемся режиме (сечение 1) суммарная скорость набегания потока на решетку профилей \vec{w}_1 определится как геометрическая сумма скорости поступательного движения нории \vec{u}_1 и скорости ветра \vec{c}_1 (рисунок 2).

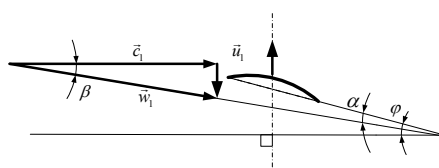


Рисунок 2 – Скорости потока на входе в ветродвижитель

С задней кромки ведущей ветви, без учета сопротивления трения, поток сходит с относительной скоростью \vec{w}_2 по средней линии профиля. При этом решетка движется со скоростью $\vec{u}_2 = \vec{u}_1$. В результате абсолютная скорость потока $\vec{c}_2 = \vec{w}_2 + \vec{u}_2$ (рисунок 3). В результате взаимодействия с решеткой профилей скорость потока существенно отклоняется вниз. Этот поток набегает на ведомую ветвь полотна нории (решетку профилей), которая движется вниз с такой же скоростью $\vec{u}_3 = -\vec{u}_1$. Относительная скорость набегания и угол атаки ведомой ветви определяются из треугольника скоростей (рисунок 4).

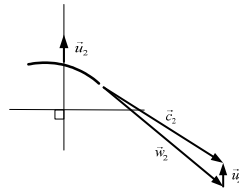


Рисунок 3 – Скорости на выходе из ведущего полотна нории

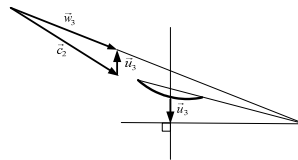


Рисунок 4 – Скорости на входе в ведомое полотно нории

Из этого треугольника видно, что скорость потока и на задней ветви направлена таким образом, что аэродинамическая подъемная сила и в этом случае будет направлена по вектору скорости, т.е. будет совершать положительную работу. Скорости потока на выходе (изменением скорости потока в результате вязкого трения по-прежнему пренебрегаем) найдем аналогичным образом (рисунок 5).

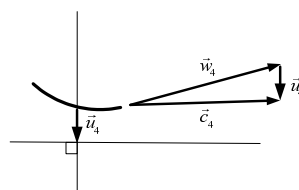


Рисунок 5 – Скорости потока на выходе из ветродвигателя

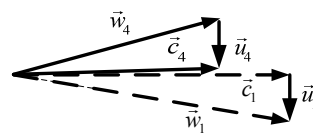


Рисунок 6 – Сравнение скоростей на входе и выходе ветродвигателя

Сравнивая между собой треугольники скоростей на входе (пунктир) и на выходе из ветродвигателя (рисунок 6), отмечаем, что после прохождения всего ветродвигателя поток существенно уменьшил скорость, при этом направление скорости не поменялось.

Аэродинамическая подъемная сила совершает работу A . КПД ветродвигателя $\eta = \frac{A}{E_{\kappa 1}}$

можно определить по потере кинетической энергии потока.

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

Кинетическая энергия потока вычисляется по формуле

$$E_{\kappa} = \frac{mV^2}{2} = \frac{\rho V^3 S}{2},$$

где S – площадь полотна нории, ρ – 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 $k_v = \frac{c_4}{c_1} \approx 0,75$ (рисунок б), 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.