

## **ВЕТРОТУРБИНЫ ДАРЬЕ ДЛЯ КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ**

**Қосбаев Әлішер Мырзаятұлы, Ғалым Нұрфат Мұратұлы**  
nurfat.97@mail.ru, alisher\_097@mail.ru  
магистранты ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан  
Научный руководитель – З.К. Саттинова

### **Введение**

Ветроэнергетические установки (ВЭУ) относятся к наиболее перспективным системам, так называемой альтернативной энергетики. Производство электроэнергии с помощью ВЭУ растет из года в год и в некоторых странах, как Дания, Португалия и Германия энергия, генерируемая ВЭУ, составляет значительную часть потребляемой в стране.

Однако регионы различных стран, имеющие резко континентальный климат с суровыми зимами и гололедными явлениями сталкиваются с весьма серьезной проблемой - образованием льда на всех элементах ветроагрегата (лопасти, махи, башня и др.). "В какой-то момент этот лед срывается с лопасти и улетает на расстояние в сто-двести-триста метров, причем нередко речь идет о здоровенных ледышках массой в килограмм, а то и два. Конечно, такой снаряд может и убить".

И этим проблемы не ограничиваются. Зимой на протяжении 5-ти месяцев сотрудники шведской фирмы вели круглосуточный мониторинг одной из шведских ветроустановок близ города Хернёсанд, измеряя скорость ветра, толщину льда на лопастях и производительность ветрогенератора. Оказалось, что уже незначительная ледяная корка льда существенно снижает КПД установки, поскольку резко ухудшает аэродинамические характеристики лопастей. Как только толщина льда превышает один миллиметр, начинаются потери. В результате эта ветроустановка выработала на 15 процентов меньше электроэнергии.

Проблема обледенения работающей ВЭУ актуальна практически для всех типов конструкции ветроустановок. При этом неравномерное обледенение может привести к аварийным ситуациям и поэтому работающий ветроагрегат приходится останавливать, если толщина слоя льда превышает критическое значение. В результате исследования был разработан тепловой способ защиты работающего ВЭУ в суровых климатических условиях.

В статье приводятся принцип тепловой защиты и основные результаты теоретического анализа этого процесса.

### **Расчет аэродинамических параметров ветротурбины Дарье с прямыми лопастями**

На основе экспериментальных данных особенности теплообмена крылового элемента с окружающей средой при варьировании углами и скоростью атаки воздушного потока проводились расчеты по определению теплоотдачи крылового профиля. В качестве основной методики анализа теплообмена вращающейся турбины Дарье с окружающей средой была использована аналогия Рейнольдса.

Одним из эффективных путей защиты работающей ветротурбины Дарье от налипания мокрым снегом является подогрев теплым воздухом, протекающим по внутренним каналам аппарата. В этой связи для стабильной работы ВЭУ предлагается способ тепловой защиты

работающего ветроагрегата за счет организации естественной вентиляции подогретого воздуха, по внутренним полостям аппарата возникающей вследствие центробежных сил. Есть сведения, что ВЭУ покрывают гидрофобной краской, что, возможно, защищает от сплошного покрытия дождевыми каплями, но вряд ли сможет уберечь от осаждения (прилипания) влажных снежинок на холодную поверхность деталей ВЭУ при минусовой температуре среды. Поэтому тепловая защита является более радикальным средством. Причем, при сильных морозах он к тому же спасает подшипники от промерзания.

Принципиальная схема осуществления способа тепловой защиты ВЭУ карусельного типа на примере Н - ротора показана на рис. 1.

Для расчета расхода вентиляционного воздуха были поставлены специальные опыты по определению закона гидравлического сопротивления от числа Рейнольдса. В качестве масштаба длины ввели эффективный диаметр канала.

При вращении турбины возникает центробежная сила  $\left| \vec{F} \right| = \rho \omega^2 l_1$  (где  $\rho$  - плотность воздуха,  $\omega$  - угловая скорость вращения турбины,  $l_1$  - длина маха), направленная вдоль махов в сторону рабочих лопастей, на концах которых имеются отверстия в атмосферу [1]. Махи и рабочие лопасти представляют собой каналы, образованные симметричным крыловым профилем NASA – 0021 см. рис. 2. Под действием силы  $\vec{F}$  воздух внутри маха будет перемещаться к рабочим лопастям турбины, и выбрасываться в атмосферу, одновременно вызывая подсос воздуха по вертикальному кольцевому каналу, образованному между центральной стойкой ВЭУ и наружным валом вращения. Таким образом, возникает естественная внутренняя вентиляция аппарата при круговом движении махов, вызванная действием центробежных сил

$$\frac{dP}{dl_1} = \rho \omega^2 l_1 \quad (1)$$

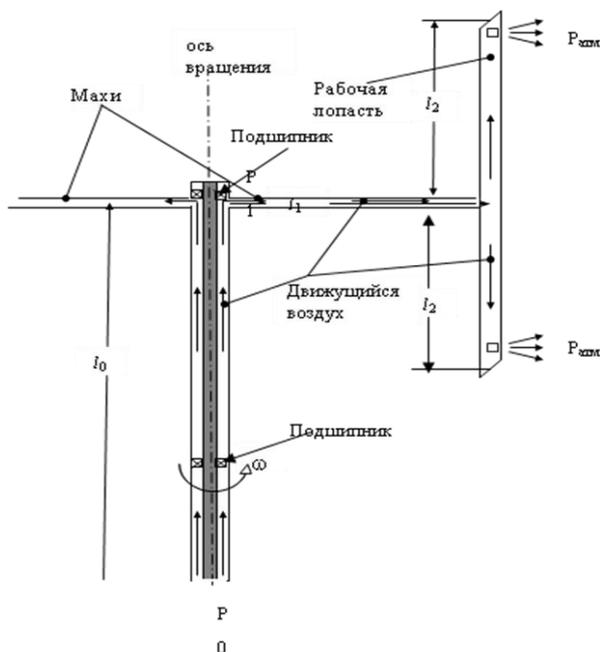


Рисунок 1. Естественная вентиляция воздуха, вследствие работы центробежных сил

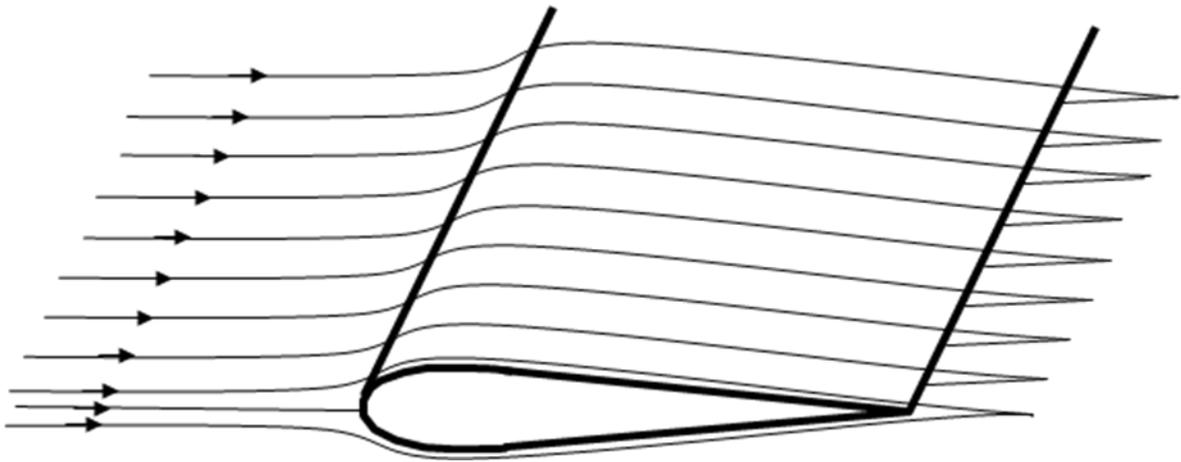


Рисунок 2. Схема безотрывного обтекания крылового профиля NASA – 0021

Отсюда нетрудно подсчитать перепад давления на концах махов

$$\Delta P_1 = P_1 - P_2 = \rho \omega^2 \frac{l_1^2}{2} \quad (2)$$

Течение вязкой жидкости в канале махов испытывает сопротивление трения

$$\frac{dP}{dl_1} = \frac{\lambda_1 \rho u_1^2}{2 d_1} \quad \text{или} \quad P_1 - P_2 = \frac{\lambda_1 l_1 \rho u_1^2}{2 d_1} \quad (3)$$

где  $u_1$ ,  $d_1$ ,  $\lambda_1$  – соответственно среднерасходная скорость, эквивалентный диаметр и коэффициент гидравлического сопротивления канала маха.

Тогда ежесекундная работа центробежных сил на перемещение воздушной массы вдоль маха за вычетом работы на преодоление сил вязкого сопротивления записывается в виде:

$$A_1 = 2 \left( \frac{\rho \omega^2 l_1^2}{2} - \frac{\lambda_1 l_1 \rho u_1^2}{2 d_1} \right) * u_1 \quad (4)$$

где цифра 2 суммирует работу обеих махов. Естественная вентиляция ветротурбины возможна, если работа  $A_1$  будет больше или равна сумме работ по преодолению сопротивления трения в кольцевом канале длиной  $l_0$  и в рабочей лопасти –  $l_2$

$$A_0 = \frac{\lambda_0 l_0 \rho u_0^3}{2 d_0} \quad (5)$$

где  $\lambda_0$ ,  $d_0$ ,  $u_0$  – известные параметры для кольцевого канала [2], а также в лопастях

$$A_2 = \frac{\lambda_2 l_2 \rho u_2^3}{d_2} \quad (6)$$

где  $\lambda_2$ ,  $u_2$ ,  $d_2$  – соответственно параметры рабочей лопасти (3).

Формула (6) получена с учетом того, что  $d_1=d_2$  и воздух будет двигаться по четырем каналам длиной  $l_2$  со скоростями  $u_1/2$ . Таким образом, необходимым условием определения угловой скорости вращения турбины  $\omega$ , обеспечивающий естественную вентиляцию элементов турбины, является  $A_1 \geq A_0 + A_2$ .

Подставляя выражения (4), (5) и (6), после несложных преобразований получим:

$$\omega \geq \sqrt{\frac{\lambda_0 l_0 u_0^3}{2 d_0 l_1^2 u_1} + \frac{u_1^2 (\lambda_2 + 8 \lambda_1)}{8 d_1 l_1}} \quad (7)$$

В качестве примера рассмотрим ветротурбину Дарье с прямыми лопастями мощностью 7 кВт при среднегодовой скорости ветра 6-7 м/с.

Как известно [2,3], максимальное значение коэффициента использования энергии ветра

$$\chi = \frac{\omega l_1}{U} = 4 - 5$$

ра  $\xi=0,45$  находится между величиной быстроходности турбины

Мощность ветротурбин определяется формулой

$$N_g = \xi S \rho \frac{U^3}{2}, \quad (8)$$

где  $U$  – скорость ветра,  $S$ -ометаемая поверхность. При  $U=7$  м/с удельная мощность ветра на  $1\text{ м}^2$   $N_g = 221,2 \text{ Вт}$ . Из этой мощности ветротурбина может снять с каждого квадратного метра миделева сечения турбины не более 100 Вт и 7-и кВт-ная турбина должна иметь  $S = 70 \text{ м}^2$ , т.е. чуть больше 8-ми метра рабочие лопасти и длину махов более 4 м. Махи должны быть расположены на высоте ( $l_0$ ) не менее 7 м. Для простоты примем  $S = 64 \text{ м}^2$  т.е. 8м\*8м. Тогда хорда лопастей и махов будет  $b=1\text{ м}$  [4]. У профиля NASA – 0021 отношение периметра крыла  $\Phi$  к хорде  $b$  приблизительно равно 2,1. В этом случае площадь их сечения  $f_1=0,14 \text{ м}^2$ ,  $d_1=0,28$  м. Если принять  $u_1=2$  м/с, то число Рейнольдса в полости  $l_1$  маха  $Re=37333$ .

В формуле (7) неизвестным является коэффициент гидравлического сопротивления каналов с формой NASA – 0021, применяемых в качестве махов и рабочих лопастей. В связи с этим был поставлен специальный эксперимент с продувкой канала, имеющего форму крылового профиля NASA – 0021. В результате установлен коэффициент его гидравлического сопротивления  $\lambda=4,62Re^{-0,488}$ , где число Рейнольдса  $Re$  определяется по среднерасходной скорости воздуха в канале  $u_1$  и его эквивалентному диаметру  $d_3=4f/\Phi$  ( $f$  -площадь сечения канала,  $\Phi$ -его периметр).

На рисунке 3 в логарифмических координатах приведены зависимости гидравлического сопротивления в исследованном нами диапазоне чисел Рейнольдса.

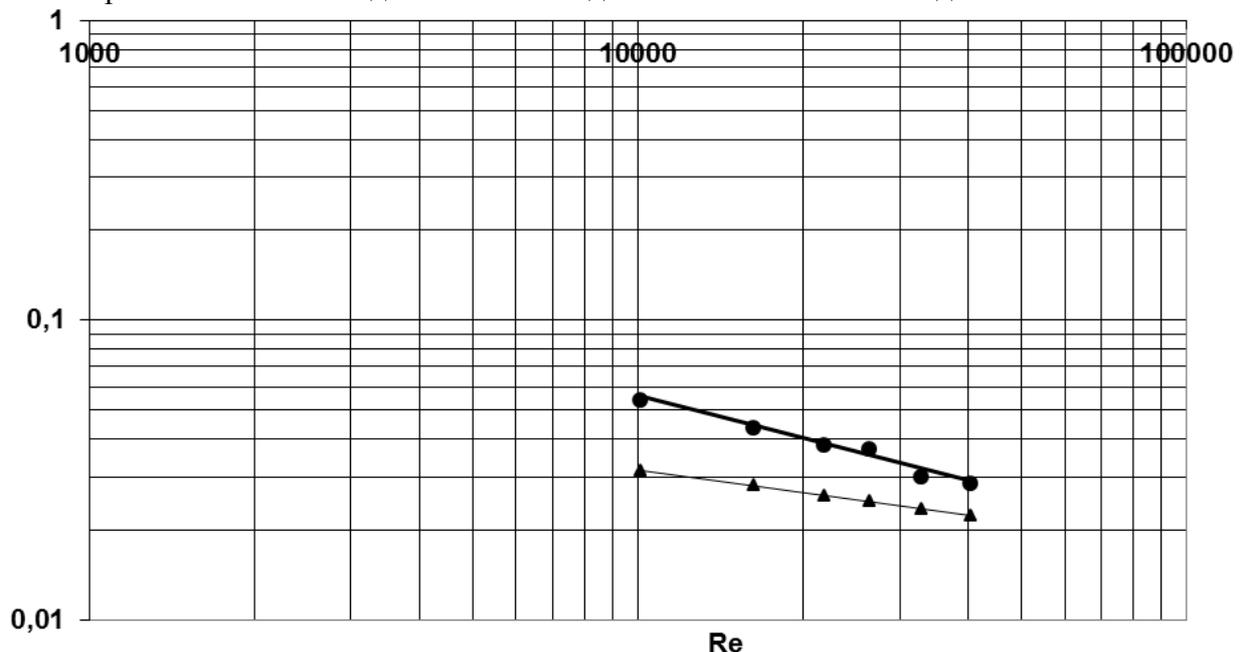


Рисунок 3 - Зависимость гидравлического сопротивления от чисел Рейнольдса

В  $l_2$  полостях  $Re_2=18567$  и  $\lambda_2=0,034$ . Расход воздуха в каждом махе  $Q/2=0,28 \text{ м}^3/\text{с}$  или  $Q=0,56 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Эквивалентный диаметр кольцевой полости  $d_0=0,12$  м, а площадь ее сечения  $0,188 \text{ м}^2$ . Среднерасходная скорость движения воздуха в этом канале  $u_0=3$  м/с, число Рейнольдса  $Re_0=20000$  и  $\lambda_0=0,054$ . Подставляя значения величин, входящих в формулу (7) найдем, что  $\omega \geq 1,3$  1/с. Таким образом, для естественной вентиляции турбины достаточно всего 12

об/мин, в то время как при скорости ветра 7 м/с для выбранной нами турбины  $\omega = 7.875$  1/с или 75 об/мин. Заметим, при буревых скоростях ветра 12-15 м/с ветротурбина будет иметь 129 –161 об/мин. Таким образом, работа центробежных сил с избытком хватает для организации естественной вентиляции внутри турбины, даже, если для усиления жесткости махов и рабочих лопастей внутри их полостей имеется арматура.

Так как ветротурбина карусельного типа хорошо обтекаемый (рис. 3) практический не создает заметного турбулентного следа и могут быть расположены в любом месте даже вблизи городов, ибо электрогенераторы обычно располагаются на уровне земли. Все эти достоинства достаточно подробно описаны в различных публикациях и даже выпущена нами книга по основам теории ветротурбины Дарье [5,6], в результате всестороннего изучения конструктивных версии вертикально-осевых крыловых ветротурбин.

#### **Список использованных источников**

1. Yershin Sh.A. Protection of rotary type wind aggregates in unfavorable climatic conditions. // International symposium on Convective heat and mass transfer in sustainable energy CONV-09. Hammamet, Tunisia. 26 April - 1 May, 2009.-p.p.90-93.
2. Ершина А.К., Ершин Ш.А., Жапбасбаев У.К. Основы теории ветротурбины Дарье. – Алматы, 2001. – 104 с.
3. Безруких П.П. Использование энергии ветра. М.: Колос. 2008. – 197 с.
4. Ершина А.К., Манатбаев Р.К. Определение гидравлического сопротивления симметричного крылового профиля NASA -0021 Вестник КазНУ, серия математика, механика, информатика, 2006. №4 (51), С.56-58.
5. Предварительный патент РК 2006/0166.1, 15.02.2006. Ершина А.К., Ершин Ш.А. и др. Ветротурбина Бидарье //Предварительный патент Республики Казахстан №19114. Астана. 26.11.2007.
6. Патент РФ №2008137251/06. Бюл.№9, 27.03.2010 г. Ершин Ш.А., Ершина А.К. Манатбаев Р.К. Способ тепловой защиты ветроэнергетической установки карусельного типа и конструктивное оформление (варианты) для его осуществления // Патент России 2447318. Бюл. №10, 10.04.2012 г.