

**УДК 621.548**

**ОРГАНИЗАЦИЯ ЕСТЕСТВЕННОЙ ТЕПЛОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ  
РАБОТАЮЩЕГО АППАРАТА ДАРЬЕ**

\* А.К. Ершина, Р.К. Манатбаев

\*Казахский государственный женский педагогический университет, Алматы, Казахстан,  
050000, ainakul82@mail.ru

Казахский Национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан, 050038,  
[rustem1977@mail.ru](mailto:rustem1977@mail.ru)

**АННОТАЦИЯ**

Ветроэнергетические установки относятся к наиболее перспективным системам, так называемой альтернативной энергетики. Ветропарки уже сегодня являются важным источником возобновляемой энергии во многих странах.

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 Хернèsанд, измеряя скорость ветра, толщину льда на лопастях и производительность ветрогенератора. Оказалось, что уже незначительная 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 этой связи в «Научно-исследовательском институте математики и механики» при «Казахском национальном университете им. аль-Фараби» разработан тепловой способ защиты работающего ВЭУ в суровых климатических условиях. На способ получен патент Российской Федераций.

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

# **THE ORGANIZATION OF NATURAL VENTILATION IN THE WORKING DEVICE OF DARRIEUS**

A.K.Yershina<sup>\*</sup>, R.K Manatbayev

\* 050000, Almaty, the Kazakh State Women Pedagogical University, [ainakul82@mail.ru](mailto:ainakul82@mail.ru)

050038, Almaty, Al-Farabi Kazakh National University, [rustem1977@mail.ru](mailto:rustem1977@mail.ru)

## **Abstract**

Wind power plants are among to the most advanced systems, the so-called alternative energy. For example, Wind farms are today an important source of renewable energy in many countries, having access to the Baltic and North seas.

However, in various regions of the country that have extreme continental climate with harsh winters and icing phenomena are faced with a very serious problem - the formation of ice on all elements of the wind turbine (blades, mahi, tower, etc.). "At some point the ice with the blade breaks and flies away to a distance of two hundred or three hundred meters, often it is a hefty piece of ice weighing pounds, or even two. such a projectile and can be killed. " And this problem is not limited. In winter, during 5 months of the Swedish company employees drove round the clock monitoring of one of the Swedish wind turbines near the town of Herne è Sand, measuring the wind speed, the thickness of the ice on the blades of the wind turbine and performance. It turned out that even a slight crust of ice greatly reduces the efficiency of installation, since the sharp deterioration in the aerodynamic characteristics of blades. As soon as the thickness exceeds one millimeter begin losses. As a result of this wind turbine developed by 15 per cent less electricity. Even if these losses are "scatter" for the entire year, you still get more than 5 percent - a very a significant number. "

The problem of an icing relevant for almost all wind turbines: their performance drops significantly in the winter. In this case, the uneven ice can lead to a crash, and therefore have to stop working wind turbine, if the thickness of the ice layer exceeds a critical value. In this context, "Research Institute of Mathematics and Mechanics". in "Al-Farabi Kazakh National University " designed thermal protection method operating wind turbines in the harsh climatic conditions. On the way to the patent of the Russian Federation.

In this work we are considered natural air convection by influence carioles force in direct blade internal hole of Darrieus wind turbine and thermo saving of carousel type wind turbine construction version.

Проблема обледенения работающей ВЭУ актуальна практически для всех типов конструкции ветроустановок. Стихийное возмущение ветрового потока может привести к неравномерности осаждения снежно-ледового покрова турбины ВЭУ. Это приведет к разбалансированию нормальной работы агрегата и соответственно в последующем приведет к возможным разрушениям аппарата.

Регионы различных стран, имеющие резко континентальный климат с суровыми зимами и гололедными явлениями особенно нуждаются в защите от обледенения ветроустановок. Именно, в периоды наибольшей нужды в тепловой и электрической энергии ВЭУ могут быть выведены из строя вследствие заносов мокрым снегом с последующим резким понижением температуры воздуха и образованием тяжелого ледового покрова на них [1]. Есть большая опасность, что с ними случится то же, что и с линией электропередачи, показанной на рис. 1. Последнее время многие исследователи стали отдавать предпочтение ветротурбинам Дарье [1-8]. 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.



Рис.1. Состояние линии электропередачи после снежной бури в Павлодарской области

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. 2.

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  $|\vec{F}| = \rho\omega^2 l_1$  (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 [9,10]. Махи и рабочие лопасти представляют собой каналы, образованные симметричным крыловым профилем NASA – 0021 см. рис. 3. 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

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

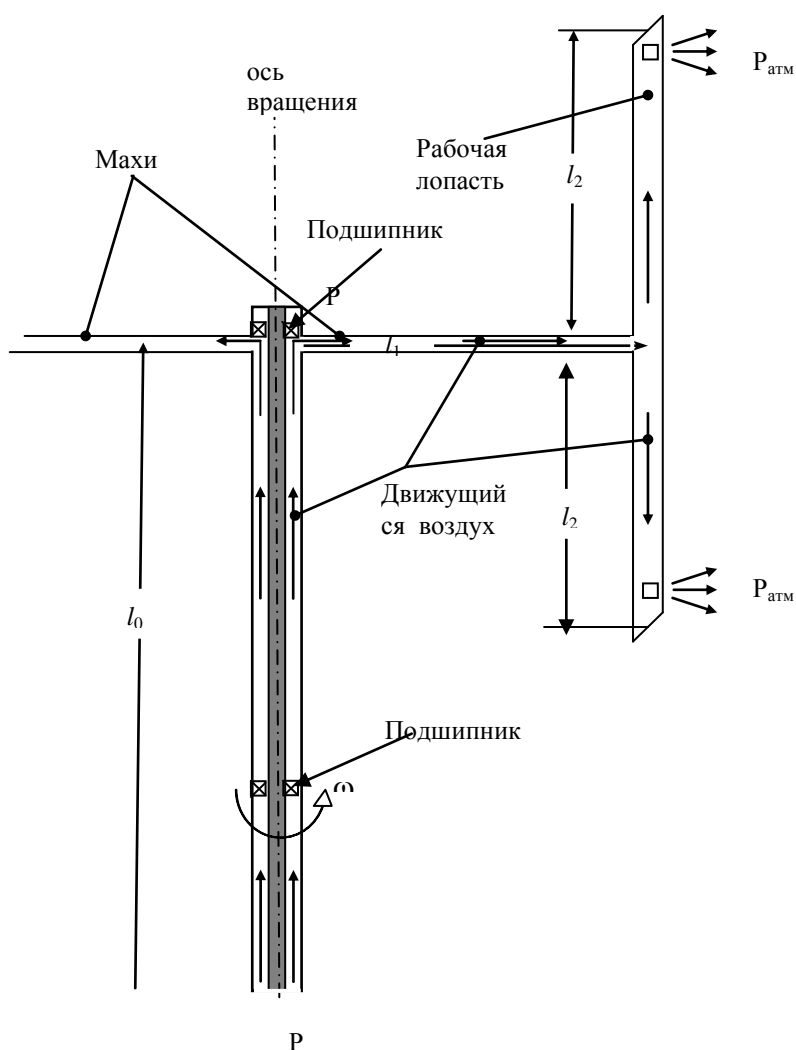


Рис. 2. Естественная вентиляция воздуха, вследствие работы центробежных сил

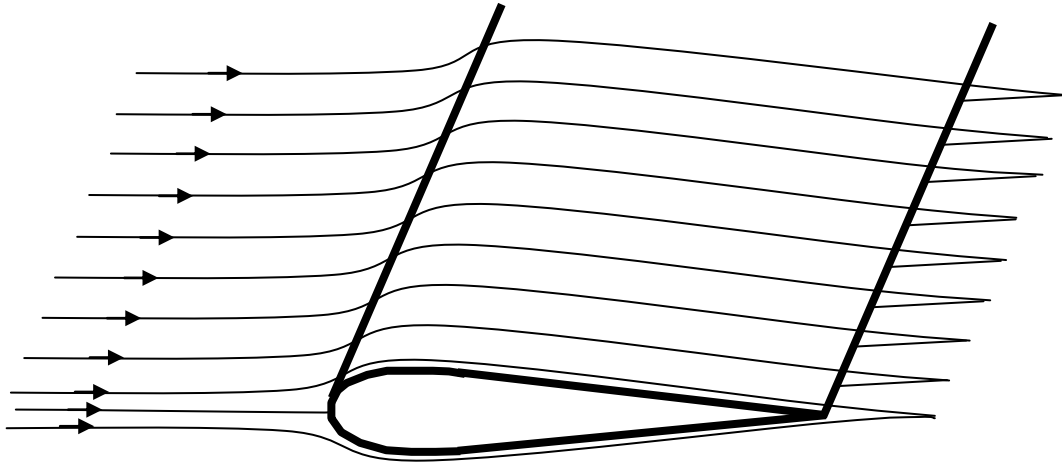


Рис. 3. Схема безотрывного обтекания крылового профиля NASA – 0021

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

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

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:

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

где цифра 2 суммирует работу обоих 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 –  $l_2$

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

где  $\lambda_0$ ,  $d_0$ ,  $u_0$  – известные параметры для кольцевого канала (см. [11]), 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 (см. обозначения в формуле (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:

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

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

Как известно [1,12], максимальное значение коэффициента использования энергии ветра  $\xi=0,45$  находится между величиной быстроходности турбины  $\chi = \frac{\omega l_1}{U} = 4 - 5$ .

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  $b=1\text{ м}$  [13]. У профиля NASA – 0021 отношение периметра крыла  $\Phi$  к хорде  $b$  приблизительно равно 2,1. В этом случае площадь их сечения  $f_1=0,14\text{ м}^2$ ,  $d_1=0,28\text{ м}$ . Если принять  $u_1=2\text{ м/с}$ , 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 [14]. В результате установлен коэффициент его гидравлического сопротивления

$$\lambda = 4,62 Re^{-0,488}$$

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 4 в логарифмических координатах приведены зависимости гидравлического сопротивления в исследованном нами диапазоне чисел Рейнольдса.

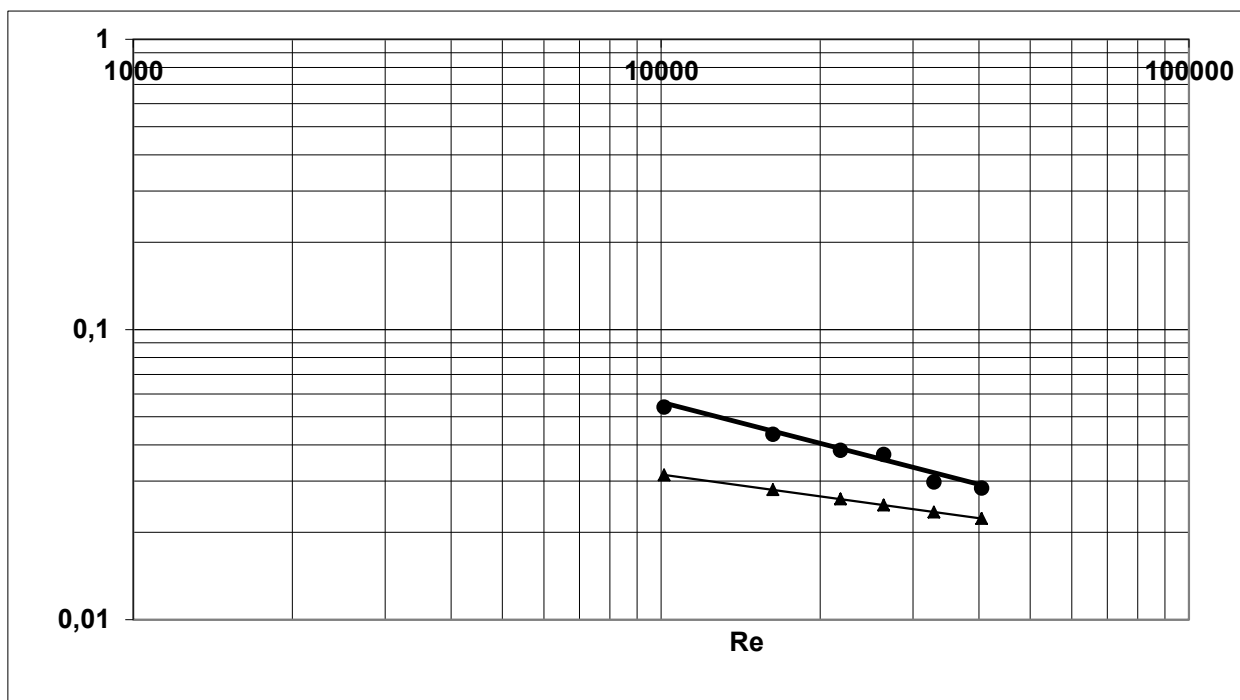


Рис. 4. Зависимость гидравлического сопротивления от чисел Рейнольдса

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  $d_0=0,12 \text{ м}$ , а площадь ее сечения  $0,188 \text{ м}^2$ . Среднерасходная скорость движения воздуха в этом канале  $u_0=3 \text{ м/с}$ , число Рейнольдса  $Re_0=20000$  и  $\lambda_0=0,054$ . Подставляя значения величин, входящих в формулу (7) найдем, что  $\omega \geq 1.3 \text{ 1/с}$ . 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  $\omega = 7.875 \text{ 1/с}$  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 (см. рис. 3) практически не создает заметного турбулентного следа (см. рис. 5) 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 [1,3], в результате всестороннего изучения конструктивных версии вертикально-осевых крыловых ветротурбин.



Рис. 5. Картина состояния ветрового потока при пересечении пропеллерных ветротурбин

Несмотря на то, что ветротурбина Дарье имеет неплохой показатель эффективности работы ВЭУ ( $\xi=0,35-0,45$ ), сотрудники КазНУ им. аль-Фараби предложили и разработали новые версии этой ветротурбины, которые позволяют значительно поднять общее значение этого коэффициента. Один из первых подобных аппаратов назван нами Бидарье [3,5].

#### Литература

1. Ершина А.К., Ершин Ш.А., Жапбасбаев У.К. Основы теории ветротурбины Дарье. – Алматы, 2001. – 104 с.
2. Турян К. Дж., Стрикленд Дж., Х., Бэрг Д.Э. Мощность ветроэлектрических агрегатов с вертикальной осью вращения //Аэрокосмическая техника 1988. № 8. -С. 105-121.
4. Ветроэнергетика /Под. Ред. Д. де Рензо. М.: Энергоатомиздат, 1982.-272 с.
3. Предварительный патент РК 2006/0166.1, 15.02.2006. Ершина А.К., Ершин Ш.А. и др. Ветрогенератор Бидарье //Предварительный патент Республики Казахстан №19114. Астана. 26.11.2007.
11. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. М.: Наука. 1974. - 711 с.
13. Иванов И.И., Иванова Г.А., Перфилов О.Л. Модельные исследования роторных рабочих колес ветроэнергетических станций // Сборник научных трудов Гидропроекта, вып.129. М.: 1988. - С. 106 -113.
14. 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.



10. Патент РФ №2008137251/06. Бюл.№9, 27.03.2010г. 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, 10.04.2012г.

5.Yershina A.K., Yershin Sh.A.,Tulepbergenov A.K., Manatbayev R.K. Bi – Darrie windturbine. ASME – ATI – UIT 2010 Conference on Thermal and Environmental Issues in Energy Systems. Sorrento, Italy, from May 16th to 19th 2010.-p.p 615-619.

6. Marco D’Ambrosio,Marco Medaglia. «Vertical Axis Wind Turbines:History, Technology and Applications». Master thesis in Energy Engineering – May 2010. Halmstad.Germany.

7. M.Ragheb. «Vertical axis wind turbines», Sandia Laboratories, Albuquerque, NM. Monograph. 8/1/2011

8. K. A. Brown\* and R. Brooks. «DESIGN AND ANALYSIS OF A VERTICAL AXIS THERMOPLASTIC COMPOSITE WIND TURBINE BLADE», Division of Materials, Mechanics and Structures Faculty of Engineering University of Nottingham University Park Nottingham NG7 2RD, United Kingdom,Monograph

9. 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.

12. Безруких П.П. Использование энергии ветра. М.: Колос. 2008. – 197 с.