

Р. К. МАНАТБАЕВ, Е. И. ИМАНГАЛИЕВ, А. А. КУЙКАБАЕВА,
Э. М. ЗУЛЬБУХАРОВА

Казахский национальный университет им. аль-Фараби

РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОНСТРУКТОРСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РОТОРА С СИСТЕМОЙ АНТИОБЛЕДЕНЕНИЯ

Приведены основные расчеты для определения влияния конструкторских характеристик ветротурбины «Дарье» на ее энергоэффективность. Установлены конструкторские характеристики для ротора мощностью 1 кВт. Дана схема ветроагрегата, который может обеспечить тепловую защиту ветротурбины путем использования естественной вентиляции теплого воздуха внутри вращающихся элементов ВЭУ, возникающей вследствие центробежных сил.

Ключевые слова: ротор «Дарье», вал вращения, ветроустановка, коэффициент заполнения, тепловая защита, идеальный ротор.

Мақалада «Дарье» жел турбиналарының құрылымдық сипаттамаларының энергетикалық қаншалықты әсер ететінін анықтауға негізделген есептеулер көрсетілген. 1 кВт қуатты ротордың құрылымдық сипаттамалары анықтала отырып, ЖЭҚ ішіндегі айналым элементтердегі центрге тартқыш күштердің салдарынан пайда болатын жылы ауаның табиғи желдетуін қолдану арқылы жылулық қорғаныспен қамтитын желсағаратының сызбасы келтірілді.

Кілттік сөздер: «Дарье» роторы, айналу білігі, желқондырығысы, тозу коэффициенті, жылулық қорғаныс, идеал ротор.

This article describes the main types of wind turbines and the benefits of Darrieus rotor over other wind turbines. The article provides the basic calculations to determine the effect of the wind turbine Darrieus design characteristics on its energy efficiency. Design characteristics for 1 kW rotor were identified based on these results. Also, wind turbine scheme, that can provide thermal protection by warm air natural ventilation in the rotating elements of wind turbine which arises due to centrifugal forces, is shown.

Keywords: Darrieus rotor, rotation shaft, wind turbine, the fill factor, thermal protection, ideal rotor.

Введение. Вертикально-осевые установки почти 40 лет вообще не разрабатывались из-за неправильного вывода о малом коэффициенте использования энергии ветра у вертикально-осевых ветроэнергетических установок. И только в конце прошлого века сначала канадскими, а затем американскими и английскими специалистами было экспериментально доказано, что эти выводы неприменимы к роторам «Дарье», использующим подъемную силу лопастей [1].

В работах [2,3] установлено, что пропеллерные ветроустановки могут значительно уменьшать вырабатываемую электроэнергию при частой смене направления ветра. При быстром изменении направления ветра ветроколесо должно четко отслеживать эти изменения, но практически невозможно эффективно ориентировать ветроколесо при изменении направления ветра из-за запаздывания действия механизмов ориентации.

В последнее время большинство зарубежных фирм стало отдавать предпочтение новому типу ветротурбин с вертикальной осью вращения ротора «Дарье» [1]. Турбина работает за счет возникновения подъемной силы на рабочих лопастях, равноудаленных от общей оси вращения.

Достоинством вертикально-осевых ветроэнергетических установок является возможность размещения генератора на фундаменте установки. Это позволяет отказаться от мощной, вероятнее всего многоступенчатой, угловой передачи крутящего момента, упростив требования к монтажепригодности оборудования (исключить ограничения по габариту и массе) и к условиям эксплуатации (отсутствие толчков и вибраций). Упрощается передача вырабатываемой электроэнергии.

Экспериментальные исследования энергетических характеристик ротора «Дарье» показали их существенную зависимость от толщины профиля лопасти. Такая же зависимость от толщины профиля наблюдается и для силы тяги, создаваемой машущим крылом [4].

Результаты экспериментальных исследований показывают существенную зависимость коэффициента использования энергии потока от геометрических параметров ветроколеса. В этой связи конструктору важно знать предельные энергетические возможности ветроколеса, которые можно «выжать» из него путем проектирования. Для оценки предельных энергетических возможностей ветроколеса ввели понятие идеального ветроколеса. Под ним понимают некоторое виртуальное ветроколесо, работающее без потерь. Принято считать, что ротор «Дарье» и ветроколесо пропеллерного типа имеют одинаковые предельные значения коэффициента использования энергии ветрового потока [5]. Однако экспериментальные исследования, проведенные в последнее время [6], показали, что ротор «Дарье» может иметь более высокие энергетические характеристики, чем ветроколесо пропеллерного типа.

В странах с суровыми зимами создается весьма серьезная проблема – обледенение лопастей. А оно чревато сразу несколькими неприятностями, считает шведский метеоролог Стефан Сёдерберг (Stefan Söderberg), научный сотрудник компании Weathertech в Упсале: «Когда на лопастях образуется ледяная корка, их аэродинамические характеристики заметно ухудшаются. В результате производительность ветроэнергетической установки падает. Это, во-первых. Во-вторых, лед нарушает балансировку ветроколеса, что приводит к повышенному износу подшипников и ветрогенератора в целом» [7].

Основная часть. В последние годы были проведены обширные исследования для выявления и моделирования методов предотвращения обледенения. Для решения подобной проблемы по всему миру предложены различные методы, разработанные экспертами в области альтернативной энергетики и воздушно-летательных аппаратов [8, 9].

В этой статье описывается ветроагрегат с системой антиобледенения, в которой используется естественная вентиляция проточных элементов ВЭУ теплым воздухом, что не позволяет налипать мокрым снежинкам на поверхность аппарата и образовывать обледенение [10].

Ставится задача – разработать конструкцию ветроагрегата «Дарье» с тепловой защитой и определить геометрические параметры турбины мощностью 1 кВт для дальнейшей разработки полупромышленного образца ветроэлектрической установки (ВЭУ) типа Н-ротор, имеющей систему антиобледенения.

В настоящее время главным источником информации при проектировании ветроколес с ротором «Дарье» является эксперимент. Наиболее полные и всесторонние экспериментальные результаты опубликованы в работах [2, 11].

1. Удлинение лопасти является одним из главных параметров конструкции ротора «Дарье», определяющим его аэродинамические характеристики. От величины удлинения существенно зависит уровень аэродинамических нагрузок на лопасть, включая крутящий момент. Для одиночной лопасти характер этой зависимости практически

то же, что и для крыла. При удлинениях $\lambda < 1$ аэродинамические нагрузки изменяются по линейному закону от λ , а с увеличением удлинения эти нагрузки приближаются к асимптотическим значениям при $\lambda > 5$.

Из рисунка 1 следует необходимость применения лопастей с удлинением больше 6 для обеспечения приемлемого коэффициента использования энергии ветра.

2. Другим важным параметром конструкции является число лопастей ротора «Дарье». Для оценки влияния числа лопастей на энергетические характеристики ротора проводят

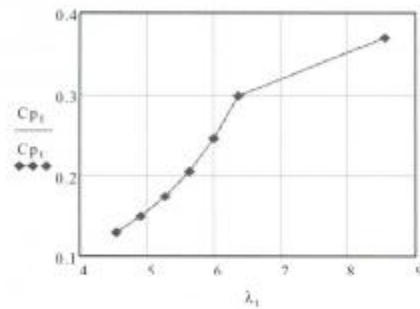


Рисунок 1 – Зависимость от удлинения лопастей ($n = 2, b/D = 0,167, R = 1,65$ м, $l =$ перем.)

специальные исследования на моделях ротора с разным числом лопастей.

Эксперимент показывает, что наиболее высокие энергетические характеристики имеет однолопастной ротор. Но в этом случае крутящий момент испытывает большие пульсации по времени, что порождает ряд динамических проблем. Увеличение числа лопастей сглаживает моментную характеристику ротора, но приводит к снижению его энергетической эффективности. Особенно сильно это проявляется, если при росте числа лопастей уменьшать их хорду для сохранения постоянства коэффициента заполнения σ . Более

эффективным при увеличении числа лопастей оказывается сохранение длины хорды.

На рисунке 2 приведены результаты расчетов влияния количества лопастей при постоянном коэффициенте заполнения. Видно, что с увеличением числа лопастей коэффициент использования энергии ветра уменьшается.

Рисунок 3 показывает, что при неизменной ширине лопастей эффективность падает менее значительно, чем при постоянном заполнении с ростом числа лопастей.

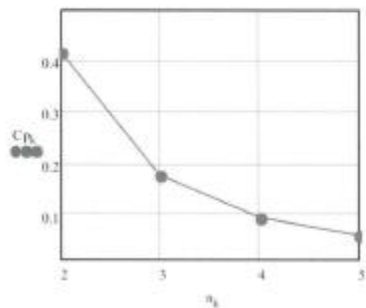


Рисунок 2 – Зависимость C_{p_r} от количества лопастей при постоянном коэффициенте заполнения ($\sigma = \text{const}, l = 3,3$ м)

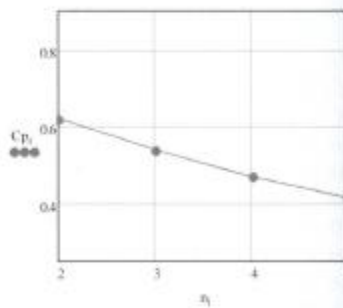


Рисунок 3 – Зависимость C_{p_r} от количества лопастей при постоянной их ширине ($b = \text{const}, D = 3,3$ м, $l = 3,3$ м)

3. Влияние относительной толщины профиля лопасти на максимальное значение коэффициента C_p при разных числах Re известно [12]. Наибольший эффект достигается для лопастей с относительной толщиной $0,15 < \bar{c} < 0,20$. Главная особенность этого влияния связана с резким падением C_p для тонких лопастей. Следует отметить, что такой же характер зависимости от относительной толщины профиля наблюдается для силы тяги, создаваемой машущим крылом [4].

4. Коэффициент заполнения связан с двумя параметрами конструкции ротора: числом лопастей n_b и отношением хорды лопасти к диаметру ротора b/D . Вместе с тем с увеличением коэффициента заполнения σ уменьшается значение быстроходности z , при котором C_p достигает максимума.

Таким образом, проанализировав все полученные данные, мы определили геометрию крылового профиля NASA-0021. Для того чтобы иметь ротор «Дарье» с прямыми лопастями мощностью 1 кВт, при средней скорости ветра U , равной 7 м/с, найдем обтекаемую поверхность ротора по формуле

$$S = \frac{2N_b}{C_p \rho U^3},$$

где N_b – мощность, Вт; C_p – коэффициент использования энергии ветра, принят равным 0,4; ρ – 1,29 кг/м³ – плотность воздуха.

Обтекаемая площадь ротора мощностью 1 кВт должна составлять 11,3 м². Если принять равными диаметр ротора D и высоту лопасти l , то $D = l \approx 3,36$ м. При экспериментально обоснованном удлинении лопасти $\lambda = l/b = 6 - 8$ длина хорды лопасти может составить $b = 3,36/(6-8) = 0,56-0,42$ м, а хорда в среднем будет $b = 0,55$ м.

Так как максимальное значение коэффициента C_p при разных числах Re достигается для лопастей с относительной толщиной $0,15 < \bar{c} < 0,20$, возьмем относительную толщину 0,18. Исходя из этого максимальная толщина лопасти как доля длины от хорды должна составлять 0,09 м. Коэффициент заполнения, в свою очередь, будет равен

$$\sigma = \frac{n_b b}{D} = 0,33.$$

Важно заметить, что коэффициент заполнения σ удовлетворяет условию, при котором C_p достигает максимума.

С использованием прикладных пакетов для математических расчетов мы можем получить площадь и периметр поперечного сечения. Для нашего ротора периметр крыла составил $\Phi = 1,04$ м и отношение к хорде b приблизительно равно 2,1. Площадь поперечного сечения $f_1 = 0,0154$ м².

На рисунке 4 приведена предварительная конструкция аппарата с системой антиобледенения. Внутренняя гидравлика и движение теплого воздуха по внутренним каналам подробно описаны в работе [10].



Рисунок 4 – Предварительная конструкция аппарата с системой антиобледенения

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Соломин Е.В. Ветроэнергетические установки ГРЦ-Вертикаль // *Альтернативная энергетика и экология*. – 2010. – № 1. – С. 10-15.
- 2 Баклушин П.Г., Вашкевич К.П., Самсонов В.В. Экспериментальное исследование аэродинамических характеристик ортогональных крыльчатых ветроколес // *Сб. науч. тр. Гидропроекта*. – М., 1988. – Вып. 129: Ветроэнергетические станции. – С. 98-105.
- 3 Воронин С.М., Бабина Л.В. Работа ветроустановки при изменении направления ветра // *Альтернативная энергетика и экология*. – 2010. – № 1. – С. 98-100.
- 4 Горелов Д.Н. Аналогия между машущим крылом и ветроколесом с вертикальной осью вращения // *Прикладная механика и техническая физика*. – 2009. – Т. 50. – С. 152-155.
- 5 Туриан К. Дж., Стрикленд Дж., Борг Д.Э. Мощность ветроэнергетических агрегатов с вертикальной осью вращения // *Аэрокосмическая техника*. – 1988. – С. 100-115.
- 6 Горелов Д.Н., Кузьменко Ю.Н. Экспериментальная оценка предельной мощности ветроколеса с вертикальной осью вращения // *Теплофизика и аэромеханика*. – 2001. – Т. 8. – С. 329-334.
- 7 Jasinski W.J., Noe S.C., Selig M.C., Bragg M.B. Wind Turbine Performance under Icing Conditions. *Trans ASME J Sol Energy Eng* 1998; 120: 60-5.
- 8 Laakso T., Holttinen H., Ronsten G., Tallhaug L., Horbaty R., Baring-Gould I., et al. State-of-the-Art of Wind Energy in Cold Climate; 2003. P. 1-56.
- 9 Dalili N., Edrisy A., Carriveau R. A Review of Surface Engineering Issues Critical to Wind Turbine Performance. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13; 2009. P. 428-238.
- 10 Manatbayev R.K., Yershina Sh. A., Yershina A.K. Method for Thermally Protecting Operating Revolving Type Wind-Power Installation, Involves Causing Internal Natural Ventilation in Wind Unit by Centrifugal Force to Heat All Elements of Wind-Power Installation by Warm Air. Patent Number(s):RU2008137251-A; RU2447318-C2 International Patent Classification:F03D-003/00 Derwent Class Code(s): Q54 (Starting, ignition); X15 (Non-Fossil Fuel Power Generating Systems) Derwent Manual Code(s): X15-B01A6.
- 11 Иванов И.И., Иванова Г.А., Перфилов О.Л. Модельные исследования роторных рабочих колес ветроэнергетических станций // *Сб. науч. тр. Гидропроекта*. – М., 1988. – Вып. 129: Ветроэнергетические станции. – С. 106-113.
- 12 Горелов Д.Н. Аэродинамика ветроколес с вертикальной осью вращения. – Омск: Полиграфический центр КАН, 2012. – 68 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Джолдасбеков Умирбек Арсланович (1931–1999 гг.)	5
<i>Жумагулов Б. Т.</i> Он опережал свое время.....	8
<i>Надиров Н.К.</i> Академик У. А. Джолдасбеков – великий организатор науки и высшего образования	17
<i>Жомартов Ә.Ш.</i> Асқар таудың биіктігі алыстаған сайын байқалады... ..	25
<i>Аухадиев К.М.</i> Елі үшін туган азамат	29
<i>Болотов А.В.</i> Всё, что создано им, продолжает служить людям	33
<i>Бекбулатов Ш.Х.</i> Гордость высшей школы и науки Казахстана	39
<i>Молдабеков М.М.</i> Мы звали его Арыстановичем	41
Торжественная церемония награждения победителей республиканского конкурса «Лучший инженер 2015 года»	47
 ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА	
<i>Джомартова Ш.А., Мазиков Т.Ж., Мазакова А.Т.</i> Автоматизированная система поиска кольцевых структур	59
<i>Толегенова А.С., Соболева Л.А., Акмалаев К.А., Калиева С.А.</i> Технологии туннелирования IPv6	65
<i>Манатбаев Р.К., Имангалиев Е.И., Куйкабаева А.А., Зулъбухарова Э.М.</i> Расчет основных параметров конструкторских характеристик ротора с системой антиобледенения	70
НОВОСТИ НАУКИ И ТЕХНИКИ	75
 МЕХАНИКА И МАШИНОСТРОЕНИЕ	
<i>Пузанов А.В.</i> Анализ влияния параметров технологичности изготовления на функционирование элементов ходовой части АПГМ.....	79
 ЭКОНОМИКА	
<i>Заманбеков Ш.З.</i> Обновление основных фондов машиностроения – важный фактор экономического роста страны	85
<i>Мажитова С.К.</i> Учет влияния экологических факторов при определении стоимости объектов недвижимости	93