

УДК 533.682

К.Кусаиынов, Ж.Т.Камбарова, М.М.Тургунов, Н.Н.Омаров, Г.А.Ранова

*Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова
(E-mail: kappas090108@mail.ru)*

Исследование аэродинамических характеристик модели ветротурбины с динамически изменяемой формой поверхности лопастей

В статье представлена модель ветротурбины с динамически изменяемой формой поверхности лопастей. Силовые элементы лопастей ветротурбины с динамически изменяемой формой поверхности выполнены в виде треугольного гибкого паруса с подвижным концом. Определены аэродинамические характеристики модели ветротурбины в аэродинамической трубе Т-1-М. Приведены зависимости момента сил тяги и силы лобового сопротивления модели ветротурбины от скорости воздушного потока при различных углах атаки. Показано, что разработанная модель ветротурбины способна вырабатывать энергию при малых скоростях потока порядка 3÷5 м/с.

Ключевые слова: ветротурбина, аэродинамическая труба, моменты силы тяги, сила лобового сопротивления, скорость потока, угол атаки потока.

Одной из главных современных задач для динамичного развития экономики Казахстана является рациональное использование энергетических ресурсов. При этом большую роль играет внедрение возобновляемых источников энергии. На большей части территории Казахстана расположены зоны с низкими значениями среднегодовых скоростей ветра. Для таких территорий еще не созданы промышленные ветродвигатели малой и средней мощности, а использование уже выпускаемых — экономически невыгодно. В связи с этим создание ветроэнергетических установок, эффективно работающих в условиях низких среднегодовых скоростей ветра, является весьма актуальным для Казахстана, соответствует приоритетам развития науки в республике. Аналогичные проблемы существуют в России, странах СНГ, других странах мира с низкими среднегодовыми скоростями ветра.

Парусные ветродвигатели обладают уникальной особенностью — они одинаково эффективно работают как при малых, так и при больших значениях скорости ветра за счет динамически изменяемой формы рабочей поверхности под воздействием потока ветра.

В работе [1] предложен парусный ветродвигатель, который может быть применен для привода электрогенераторов, водоподъемников, мельниц, насосов, компрессоров. Разработанный парусный ветродвигатель содержит установленные на вертикальной центральной оси рамы с гибкими парусными лопастями. Гибкая парусная лопасть, помимо центральной, имеет дополнительную ось вращения. Расстояние между обеими осями составляет 0,1–0,45 длины лопасти. Технический результат заключается в создании ветродвигателя несложной конструкции с максимально полезным использованием парусных лопастей.

Вывод аналитических зависимостей для расчета оптимальных размеров, ориентации и формы лопастей ветротурбины изложен в работе авторов [2]. Факторами ограничения количества и мощности конвертируемой этой турбиной второй энергии принимаются местная плотность вероятности скорости ветра, заданная предельно допустимая сила давления ветра на турбину, определенный стартовый момент ее холостого хода и реальное аэродинамическое качество выбранного профиля ее лопастей.

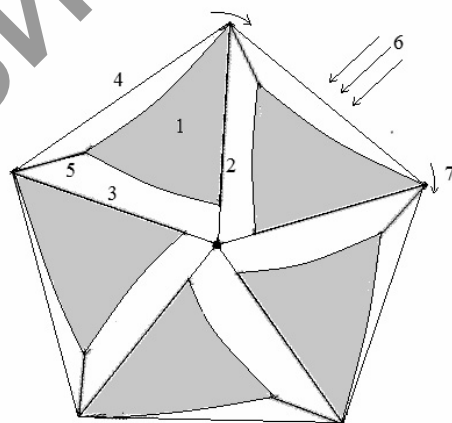
В статье [3] приведены экспериментальные данные испытания модели ветродвигателя, оборудованного тремя стеклопластиковыми лопастями типа «Колокол», в аэродинамической трубе 3-АТ-17,5/3. Представлены графики, в которых показаны зависимость мощности модели от изменения загружающего момента на валу ротора и от изменения угловой скорости его вращения. Кроме того, представлен график соотношения загружающего момента на валу ротора и угловой скорости его вращения в зависимости от изменения скорости движения воздушного потока.

Автором работы [4] предложено изобретение, относящееся к ветроэнергетике, гидроэнергетике, а именно к ветродвигателям с осью вращения, перпендикулярной направлению ветра. Парусный ветродвигатель содержит установленные на вертикальном центральном валу рамы с гибкими парусными лопастями, ось, эксцентричную относительно центрального вала, жестко соединенную со стабилизатором вращения и шарнирно укрепленную относительно основания, в котором установлен с возможностью вращения центральный вал. Каждая гибкая парусная лопасть закреплена на ветродвигателе только в двух местах, а именно, с одной стороны, на раму и, с другой стороны, с возможностью вращения на ось, эксцентричную относительно центрального вала, что позволяет установить на ветродвигатель более двух гибких парусных лопастей и, следовательно, увеличить коэффициент полезного действия и надежность ветродвигателя.

В работе [5] представлен ветродвигатель, содержащий вертикальную ось, лопасти, установленные радиально на вертикальной оси и выполненные в виде прямоугольных рам с парусиной. Верхняя кромка парусины прикреплена к подвижной в вертикальном направлении горизонтальной балке. Рама состоит из верхней и нижней консолей и двух вертикальных боковых стоек, боковые стойки рамы выполнены в виде направляющих для концов горизонтальной балки и грибов, периодически закрепленных на боковых сторонах парусины. На верхней консоли рамы размещена лебедка для поднятия горизонтальной балки с парусиной, а нижняя консоль рамы оснащена приводным барабаном для опускания парусины.

Первыми ветродвигателями, эффективно преобразующими энергию приповерхностных ветров малой скорости в энергию механического движения судов на водной поверхности, были паруса различной формы, в том числе треугольной.

С целью повышения эффективности использования энергии приземистых ветров малых скоростей разработана модель многолопастной ветротурбины с динамически изменяемой формой лопастей. Новизной предлагаемой ветротурбины является использование в качестве силовых элементов лопастей ветротурбины с динамически изменяемой формой поверхностей, выполненных в виде треугольного гибкого паруса с подвижным концом. На рисунке 1 представлена схема работы ветротурбины с динамически изменяемой формой поверхности лопастей.



- 1 — лопасть ветротурбины с динамически изменяемой формой; 2, 3, 4 — каркас;
5 — регулируемое гибкое крепление подвижного конца лопасти, изготовленное из крепкой нити;
6 — направление ветра; 7 — направление вращения ветротурбины

Рисунок 1. Схема работы ветротурбины с динамически изменяемой формой поверхности лопастей

Ветротурбина работает следующим образом: под воздействием потока ветра треугольная лопасть ветротурбины, расположенная под углом к направлению движения ветра, испытывает

боковую силу давления и согласно законам аэродинамики толкает каркас, приводя его во вращательное движение. Появляющаяся сила является силой тяги лопасти. Она преобразует энергию ветра во вращательное движение ветротурбины. При изменении направления ветра на противоположное направление вращения оси предлагаемой авторами ветротурбины не изменяется (рис. 2).

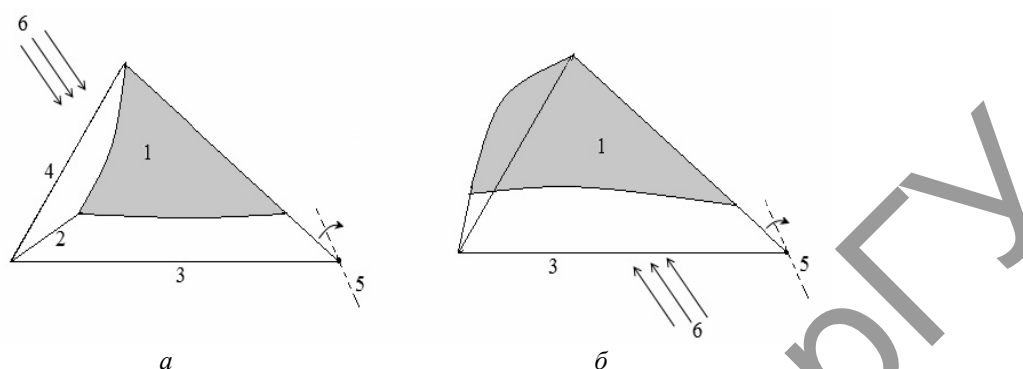


Рисунок 2. Схема работы лопасти ветротурбины при изменении направления ветра на противоположное

Как показано на рисунке 2, лопасть 1 с динамически изменяемой формой поверхности, выполненной в виде треугольного «паруса» с подвижным концом, при изменении направления ветра перекидывается в другую сторону вращающегося каркаса ветротурбины, тем самым обеспечивается сохранение первоначального направления вращения оси ветротурбины. На рисунке 2 приведены следующие обозначения: 1 — лопасть ветротурбины; 2 — гибкое крепление подвижного конца лопасти, изготовленное из капроновой (парашютной) нити; 3, 4 — стержни каркаса ветротурбины; 5 — ось вращения и изогнутая стрелка — направление вращения оси ветротурбины; б — стрелками показано направление ветра. Работа лопасти при прямом и обратном направлениях ветра обозначена буквами а и б соответственно.

Создана экспериментальная модель ветротурбины с динамически изменяемой формой поверхности лопастей. Модель ветротурбины состоит из ветроколеса, выполненного из металлических каркасных стержней; шести парусных лопастей треугольной формы из материала (шелк), один конец которого прикреплен к вершине каркаса прочной нитью; опорных стержней и подшипника с внутренним диаметром 8 мм. Модель прикреплена к стойке опорными стержнями. Диаметр парусного колеса составляет 400 мм. Модель парусного ветродвигателя с помощью шкива и ременной передачи соединена с генератором малой мощности 4 Вт для получения электрической энергии.



Рисунок 3. Модель ветротурбины с динамически изменяемой формой поверхности лопастей



Рисунок 4. Аэродинамическая труба Т-И-М

Выполнен ряд исследований по определению аэродинамических характеристик модели ветротурбины с динамически изменяемой формой поверхности лопастей. Все экспериментальные испытания по определению аэродинамических характеристик выполнялись с использованием аэродинамической трубы Т–I–М. На рисунке 4 показана аэродинамическая труба Т–I–М.

Силу лобового сопротивления и подъемную силу измеряли динамическими весами, установленными в рабочей части аэродинамической трубы. Установив на подвеску рабочей части аэродинамической трубы модель, приступают к измерению лобового сопротивления и подъемной силы при разных скоростях потока воздуха. При экспериментах модель ветротурбины обтекалась воздушным потоком различных скоростей. Модель ветротурбины парусного типа была установлена в рабочей части аэродинамической трубы Т–I–М. Пружинный динамометр был прикреплен к шкиву модели. С помощью пружинного динамометра измерялась сила тяги.

Условия проведения эксперимента:

- 1) скорость набегающего потока 3–10 м/с;
- 2) диаметр открытой рабочей части аэродинамической трубы 500 мм;
- 3) диаметр d шкива 120 мм.

На рисунке 5 представлена зависимость момента сил тяги от скоростей потока ветра при расположении модели ветротурбины при прямом направлении потока ветра (т.е. навстречу передней части ветроколеса).

На рисунке 6 представлена зависимость момента сил тяги от скоростей потока ветра при расположении модели ветродвигателя при противоположном направлении потока ветра относительно модели ветротурбины, т.е. с задней части ветроколеса.

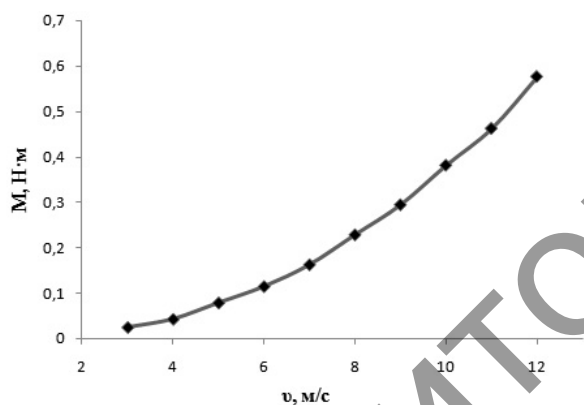


Рисунок 5. Зависимость момента сил тяги от скоростей потока ветра при расположении модели ветротурбины при прямом направлении потока ветра

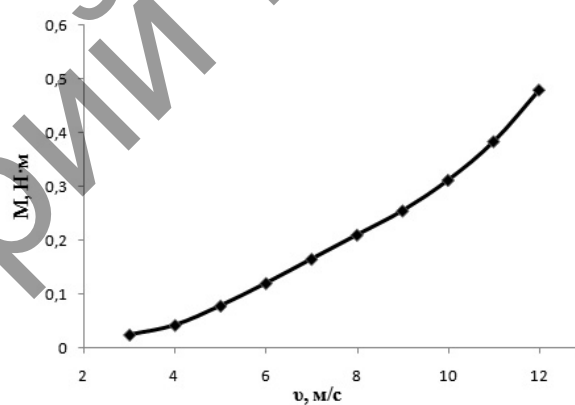


Рисунок 6. Зависимость момента сил тяги от скоростей потока ветра при расположении модели ветротурбины при противоположном направлении потока ветра

Из рисунков 5 и 6 видно, что при прямом направлении потока ветра на ветротурбину значение момента сил тяги выше, чем при противоположном. Это объясняется тем, что сзади ветродвигателя расположены рабочие элементы ветрогенератора: шкив, генератор, опорные стержни и т.д., которые мешают потоку ветра обдувать парусные лопасти модели и, тем самым, вращать его.

На рисунке 7 показана зависимость момента силы тяги от скорости потока ветра при различных углах атаки потока ветра (при различных углах расположения модели ветротурбины относительно направления потока ветра).

Из данного графика видно, что с увеличением скорости потока ветра растет значение момента силы тяги. На рисунке 8 представлен график зависимости момента силы тяги от угла атаки потока ветра при скорости потока 5 м/с.

Из графика 8 видно, что при увеличении угла атаки воздушного потока уменьшается значение момента силы тяги.

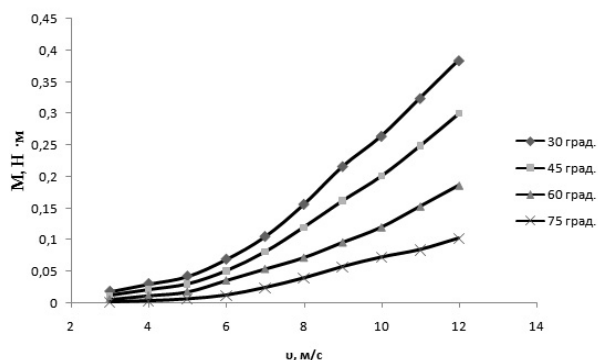


Рисунок 7. Зависимости момента сил тяги от скорости потока ветра при различных углах атаки потока ветра

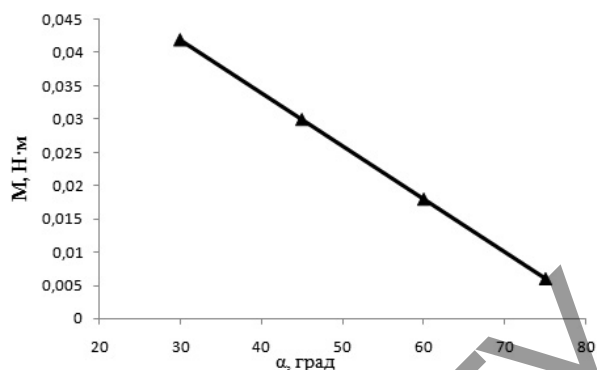


Рисунок 8. Зависимость момента сил тяги от угла атаки потока ветра при скорости потока ветра 5 м/с

Далее исследована зависимость лобового сопротивления модели ветротурбины от скорости воздушного потока (см. рис. 9) и от угла атаки воздушного потока при постоянных скоростях потока ветра 3 и 5 м/с (см. рис. 10).

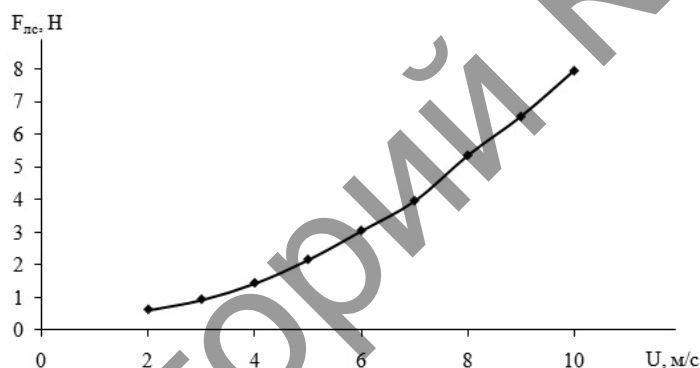


Рисунок 9. Зависимость силы лобового сопротивления модели ветротурбины от скорости воздушного потока

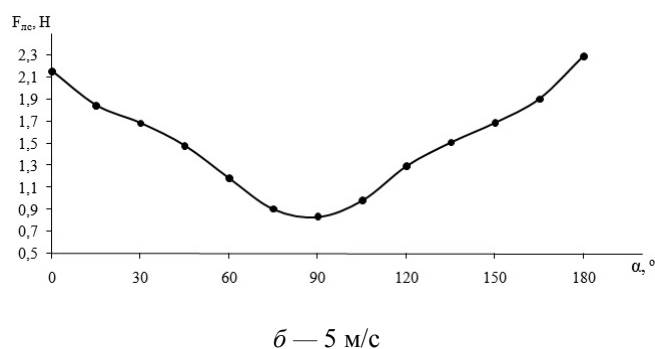
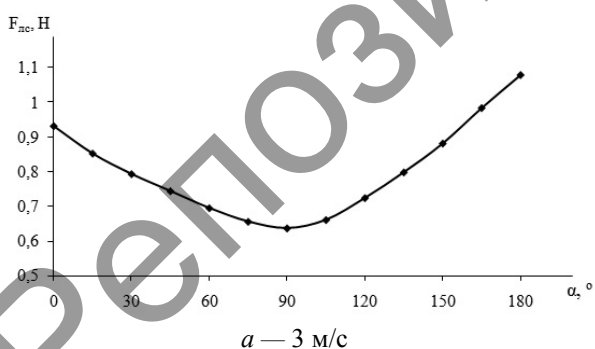


Рисунок 10. Зависимости силы лобового сопротивления от угла атаки воздушного потока при постоянной скорости потока ветра

Как видно из рисунка 9, при увеличении скорости воздушного потока увеличивается значение силы лобового сопротивления ветротурбины. Это объясняется тем, что при увеличении скорости воздушного потока увеличивается давление, действующее на поверхность каркаса, состоящего из парусных лопастей.

Из рисунка 10 видно, что при увеличении угла атаки воздушного потока до 90° уменьшается сила лобового сопротивления. Далее наблюдается его рост до 180°. Данную зависимость можно объяснить

тем, что при увеличении угла атаки потока ветра до 90° уменьшается площадь миделевого сечения ветроколеса, состоящего из парусных треугольных лопастей. При дальнейшем увеличении до 180° происходит увеличение площади миделевого сечения ветроколеса.

Таким образом, проведены экспериментальные исследования зависимости момента сил тяги лабораторного макета от скорости воздушного потока, при различных углах атаки, силы лобового сопротивления. В результате была разработана методика измерений аэродинамических характеристик ветротурбины парусного типа, которая будет использована в экспериментах с ветротурбиной реальных размеров в естественных условиях. Разработанная модель ветротурбины за счет саморегулируемой формы поверхности лопастей под действием прямого потока ветра и радиального потока при вращательном движении обладает оптимальными аэродинамическими характеристиками. Ветроустановка в потоке ветра является самоорганизованным устройством, эффективно преобразующим энергию ветра в энергию вращательного движения. Гибкость конструкции обеспечивает минимальность аэродинамических сопротивлений, а также приводит к росту коэффициента использования ветра. Сохраняется работоспособность в широком диапазоне изменения направления ветра. При этом изменение направления ветра на противоположное не изменяет направления вращения оси ветротурбины. Это также положительный эффект, приносящий удобство при эксплуатации.

Работа выполнена по бюджетной программе МОН РК 055 «Научная и/или научно-техническая деятельность», подпрограмма 101 «Грантовое финансирование научных исследований».

Список литературы

- 1 Боровой А.И. Парусный ветродвигатель. Пат. на изобретение. № 2132481, Россия, 1999.
- 2 Кашин Ю.А., Кашина Р.Е. Автономная ветроэнергетическая установка (АВЭУ) с максимальным уровнем конверсии энергии ветра. Математическая модель ветротурбины // Вестн. Гомельского гос. техн. ун-та им. П.О.Сухого. — 2004. — № 3. — С. 59–64.
- 3 Хозяинов Б.П. Определение мощности модели ветродвигателя с вертикальной осью вращения ветротурбины, оборудованной тремя лопастями типа «Колокол» // Альтернативная энергетика и экология. — 2010. — № 6. — С. 52–55.
- 4 Ретюнский Л.Б. Парусный ветродвигатель ретюнского. Пат. на изобретение. № 2362048, Россия, 2009, 19.12.2007.
- 5 Гушкин А.А. Парусный ветродвигатель. Пат. на изобретение № 2331794., Россия, 2008, 07.11.2006.

Қ.Құсайынов, Ж.Т.Қамбарова, М.М.Тұрғынов, Н.Н.Омаров, Г.А.Ранова

Беттік пішіні динамикалық өзгермелі қалақшалы жел турбинасы моделінің аэродинамикалық сипаттамаларын зерттеу

Мақалада беттік пішіні динамикалық өзгермелі қалақшалы жел турбинасының моделі ұсынылған. Беттік пішіні динамикалық өзгермелі қалақшалы жел турбинасының күштік элементтері ұшы қозғалмалы үшбұрыш желкен түрінде жасалған. Т–1–М аэродинамикалық құбырда жел турбинасының аэродинамикалық сипаттары анықталған. Жел турбинасы моделінің тарту күші моментінің және маңдайлық кедергі күшінің жел ағыны жылдамдығынан тәуелділіктері келтірілген. Жел турбинасы моделінің 3÷5 м/с аралығындағы аз жел жылдамдығында энергия өндіруге қабілеттілігі көрсетілген.

K.Kussaiynov, Zh.T.Kambarova, M.M.Turgunov, N.N.Omarov, G.A.Ranova

Research on aerodynamic characteristics of the wind turbine model with dynamic varying shape surface blades

In this paper, the model of the wind turbine with dynamic varying shape surface blades is represented. Power elements of the wind turbine blades with dynamic varying shape surface are designed as a flexible triangular sails with movable end. Aerodynamic characteristics of wind turbine model in the aerodynamic tunnel T–1–M are determined. Dependences of the moment of thrust forces and forces of aerodynamic drag of the wind turbine model from velocity of wind at various angles of attack are shown. It is shown that the developed wind turbine model is able to produce electrical energy at small the wind velocity of the order of 3÷5 m/s.

References

- 1 Borovoj A.I. *Sailing wind turbine*, Patent. No. 2132481, Russia, 1999.
- 2 Kashin Yu.A., Kashina R.E. *Bulletin of P.O.Sukhoi Gomel State Technical University*, 2004, 3, p. 59–64.
- 3 Hozyainov B.P. *Alternative energetic and ecology*, 2010, 6, p. 52–55.
- 4 Retyunskiy L.B. *Retuinskih sailing windmill*. Patent. No. 2362048, Russia, 2009, 19.12.2007.
- 5 Gushkin A.A. *Sailing wind turbine*. Patent. No. 2331794, Russia, 2008, 07.11.2006.

Репозиторий КарГУ