

К.Кусаиынов, Н.К.Танашева, А.Р.Алибекова, А.К.Кусаиынова,  
М.М.Тургунов, Г.А.Ранова

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

## Исследование аэродинамической силы тяги треугольных лопастей ветротурбины

Статья посвящена разработке экспериментального макета ветротурбины с динамически изменяемой формой поверхности лопастей, а также определению и расчету значения аэродинамической силы тяги. Рассмотрены характеристики треугольного элемента экспериментального макета ветротурбины. Исследован процесс работы лопасти ветротурбины. Проведен расчет по определению значения аэродинамической силы тяги. Показаны графические зависимости аэродинамической силы тяги от скорости воздушного потока ветра, от числа Рейнольдса.

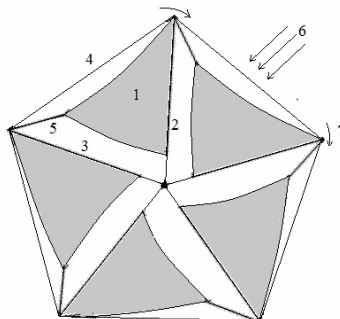
*Ключевые слова:* ветротурбина, лопасть, аэродинамическая характеристика, число Рейнольдса, сила тяги, скорость потока ветра, парус, аэродинамическая труба.

### Введение

Преимущество парусных ветродвигателей в том, что они обладают способностью вырабатывать электрическую энергию при слабом ветре. Достаточно потока ветра со скоростью 3–5 м/с, чтобы ветротурбина парусного типа вырабатывала электроэнергию, в то время как ветродвигатели лопастного винтового типа в таких условиях стоят неподвижно. Сравнивая лопасти классических мельниц с парусными, можно сказать, что парусные лопасти проще в изготовлении. Парус имеет качество — мгновенно подстраивается под направление и силу потока ветра. Также ветродвигатели парусного типа имеют ряд достоинств: экологичность, низкая стоимость, способность использовать энергию слабых ветров, не имеет вибраций и шума. 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. Парусные ветродвигатели обладают уникальной особенностью — они одинаково эффективно работают как при малых значениях скорости ветра, так и при больших, за счет динамически изменяемой формы рабочей поверхности под воздействием потока ветра.

### *Физические основы работы ветротурбины с динамически изменяемой формой поверхности лопастей*

Авторами настоящей работы была разработана ветротурбина парусного типа треугольной формы лопастей. Новизной работы 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].



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

Процесс работы ветротурбины происходит следующим образом: под воздействием потока ветра треугольная лопасть ветротурбины, находящаяся под углом к направлению движения потока ветра, испытывает боковую силу давления и, согласно законам аэродинамики, толкает каркас, приводя его во вращательное движение. Появляющаяся сила является силой тяги лопасти, преобразующей энергию ветра во вращательное движение ветротурбины. При изменении направления ветра на противоположное направление вращения оси предлагаемой авторами ветротурбины не изменяется (рис. 2) [1].

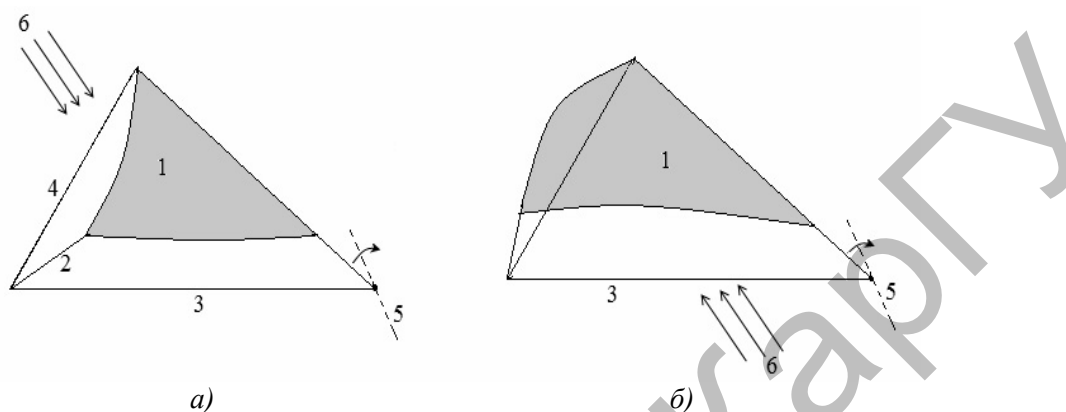


Рисунок 2. Схема работы лопасти ветротурбины при прямом (а) и обратном (б) направлениях ветра

Как показано на рисунке 2, лопасть (1) с динамически изменяемой формой поверхности за счет воздействия ветра, 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; 6 — стрелками показано направление ветра. Работа лопасти при прямом и обратном направлениях ветра обозначены буквами а и б соответственно.

Предлагаемая ветротурбина за счет саморегулируемой формы поверхности лопастей, под действием прямого потока ветра и радиального потока при вращательном движении обладает оптимальными аэродинамическими характеристиками. Ветротурбина 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 [2].

В широком диапазоне изменения направления ветра ветротурбина сохраняет работоспособность. При этом изменение направления ветра на противоположное не изменяет направление вращения оси ветротурбины. Это также является положительным эффектом, обладающим удобством при эксплуатации [3].

Имеется возможность поддержания постоянства оборотов ветротурбины при изменении скорости ветра путем изменения длины крепёжных нитей подвижного конца лопастей в зависимости от скорости ветра.

#### *Определение значения силы тяги в зависимости от различных параметров*

Для оценки эффективности преобразования энергии ветра в энергию вращательного движения проведен ряд исследований по определению аэродинамических характеристик одной лопасти уменьшенного экспериментального макета, выполненной в виде треугольного «паруса» с подвижным концом.

При экспериментах макет ветротурбины обтекался воздушным потоком при различных скоростях. Для этого уменьшенный макет ветродвигателя парусного типа был установлен в рабочей части аэродинамической трубы Т-1-М. На рисунке 3 показано расположение экспериментального макета ветротурбины в рабочей части аэродинамической трубы Т-1-М.

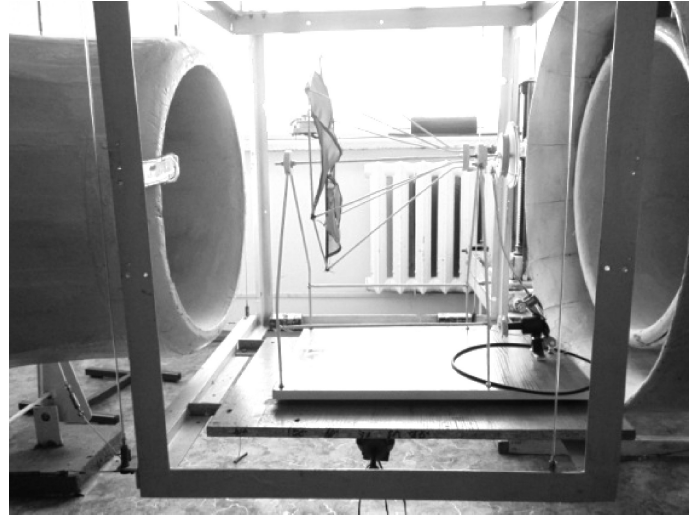


Рисунок 3. Расположение экспериментального макета ветротурбины в рабочей части аэродинамической трубы Т-1-М

Треугольная парусная лопасть уменьшенного экспериментального макета с подвижным концом была установлена в рабочей части аэродинамической трубы Т-1-М и закреплена к раме аэродинамических весов с помощью тонких металлических растяжек для уменьшения сопротивления вспомогательных элементов. Аэродинамические весы позволяют измерять силу лобового сопротивления, подъёмную силу и крутящий момент оси ветротурбины. У треугольного паруса основная площадь и, следовательно, нагрузка сосредоточены в нижней трети.

На рисунке 4 представлены зависимости момента силы тяги макета ветротурбины от скорости потока ветра при прямом направлении (навстречу передней части ветроколеса) и при противоположном направлении потока ветра относительно макета ветротурбины (с задней части ветроколеса).

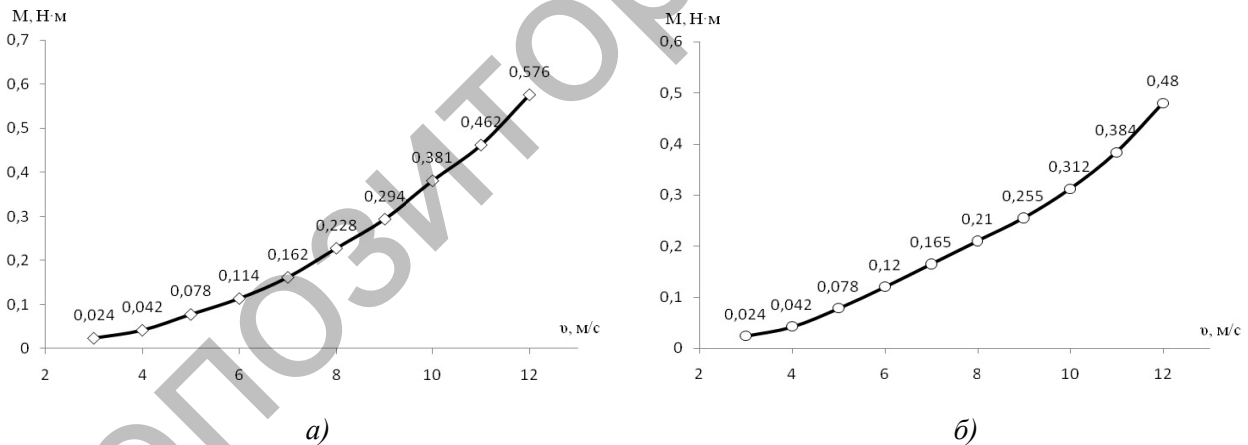


Рисунок 4. Зависимость момента сил тяги макета ветротурбины от скорости потока ветра при прямом (а) и противоположном направлениях потока (б)

Из рисунка 4 видно, что увеличение скорости потока ветра приводит к увеличению момента силы тяги макета ветротурбины. Таким образом, момент силы тяги прямо пропорционален скорости потока ветра. Также видно, что при прямом направлении потока ветра значение момента силы тяги несколько выше, чем при противоположном направлении потока. Это объясняется тем, что в задней части ветротурбины расположены рабочие элементы ветротурбины: шкив, генератор, опорные стержни и т.д., которые препятствуют потоку ветра обдувать парусные лопасти макета и, тем самым, привести его во вращательное движение.

На рисунке 5 представлена зависимость коэффициента силы тяги макета ветротурбины с динамически изменяемой формой поверхности лопастей от числа Рейнольдса.

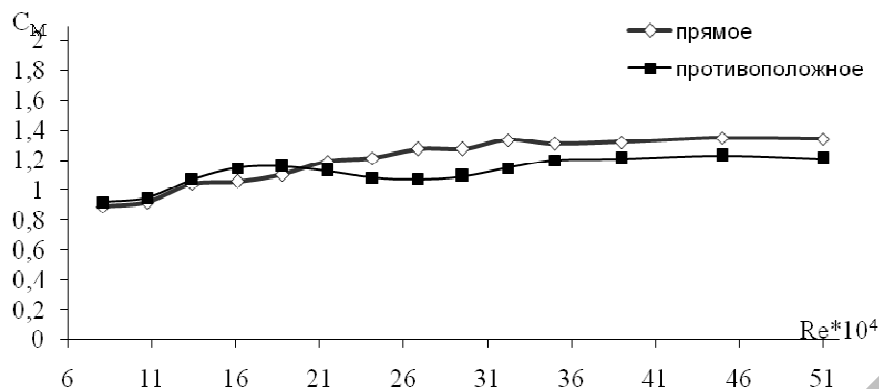


Рисунок 5. Зависимость коэффициента силы тяги макета ветротурбины от числа Рейнольдса

Из рисунка 5 видно, что с возрастанием числа Рейнольдса наблюдается незначительное увеличение коэффициента силы тяги ветротурбины для прямого и противоположного направлений потока ветра. Следует отметить, что характер зависимости для коэффициента силы тяги в обоих случаях практически совпадает.

#### Заключение

В данной работе был рассмотрен процесс работы ветротурбины с динамически изменяемой формой поверхности лопастей. Изучена схема работы лопасти ветротурбины при прямом и обратном направлениях ветра. Определены значения силы тяги элемента в виде зависимости от различных параметров. В статье приведены графики зависимости тяги макета ветротурбины от скорости воздушного потока, а также зависимость коэффициента силы тяги макета ветротурбины от числа Рейнольдса.

#### Список литературы

- 1 Кусаиынов К., Камбарова Ж.Т., Тургунов М.М., Омаров Н.Н., Ранова Г.А. Исследование аэродинамических характеристик модели ветротурбины с динамически изменяемой формой поверхности лопастей // Вестн. Караганд. ун-та. Сер. Физика. — 2013. — № 4 (72). — С. 55–61.
- 2 Sakipova S.E., Kambarova Zh.T., Turgunov M.M., Kussaiynov E.K., Kussaiynova A.K. Development of sail type wind turbine for small wind speeds // Eurasian Physical Technical Journal. — Karaganda: KarSU Publ., 2013. — Vol. 10. — № 2 (20). — P. 20–25.
- 3 Кусаиынов К., Жакатаев Т.А., Ботпаев Н.К. О возможности повышения КПД ветрогенератора на основе распределения наведенного магнитного поля по кольцевому контуру статора // Вестн. Караганд. ун-та. Сер. Физика. — 2013. — № 4 (72). — С. 80–87.

К.Кұсайынов, Н.Қ.Танашева, А.Р.Әлібекова, А.Қ.Кұсайынова,  
М.М.Тұрғынов, Г.А.Ранова

### Желтурбинасының үшбұрышты қалақшаларының аэродинамикалық тартылыс күшін зерттеу

Мақала қалақша бетінің динамикалық өзгеруімен желтурбинасының тәжірибелік макетін жасауға, сонымен қатар аэродинамикалық тартылыс күшінің мәнін есептеуге және анықтауға негізделген. Желтурбинаның тәжірибелік макетінің үшбұрыш элементінің сипаттамасы қарастырылған. Желтурбина қалақшаларының жұмыс істеу үрдісі зерттеліп, аэродинамикалық тартылыс күшінің мәнін анықтау бойынша есебі келтірілген. Ауа ағынының жылдамдығынан, Рейнольдс санынан аэродинамикалық тартылыс күшінің тәуелділік графиктері көрсетілген.

K.Kussaiynov, N.K.Tanasheva, A.R.Alibekova, A.K.Kussaiynova,  
M.M.Turgunov, G.A.Ranova

### Research of wind power wind turbine end triangular lobes

This article focuses on the development of experimental model wind turbines with a dynamically changeable surface shape of the blades, as well as the definition and calculation of the value of the aerodynamic force of traction. The article describes the characteristics of the triangular element experimental model wind turbines. The process of wind turbine blades. The calculation to determine the value of the aerodynamic force of traction. Displays graphics according to the aerodynamic thrust force from wind speed of the air flow, the Reynolds number.

#### References

- 1 Kussaiynov K., Kambarova Zh.T., Turgunov M.M., Omarov N.N., Ranova G.A. *Bull. Karaganda University, Series Physics*, 2013, 4 (72), p. 55–61.
- 2 Sakipova S.E., Kambarova Zh.T., Turgunov M.M., Kussaiynov E.K., Kussaiynova A.K. *Eurasian Physical Technical Journal*, Karaganda: KarSU publ., 2013, 10, 2 (20), p. 20–25.
- 3 Kussaiynov K., Zhakataev T.A., Botpaev N.K. *Bull. Karaganda University, Series Physics*, 2013, 4(72), p. 80–87.