

УДК 621.181; 621.548

К.Кусаиынов, С.Е.Сакипова, Б.Р.Нусупбеков, А.К.Хасенов

Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова

**СОЗДАНИЕ ДЕЙСТВУЮЩЕЙ ЛАБОРАТОРНОЙ МОДЕЛИ
ВЕТРОДВИГАТЕЛЯ НА ОСНОВЕ ЭФФЕКТА МАГНУСА**

Мақалада Магнус эффектісіне негізделген желқозғалтқыштың зертханалық моделі жасалып, зерттелген. Ұсынылып отырған модельдің жаңашылдығы — ротор элементінің айналмалы цилиндр түрінде жасалуында. Ауа ағынының әр түрлі жылдамдықтарында екі лопасти модельдің тәжірибелік зерттеулерінің нәтижелері келтірілген. Бұл ағында лопастер айналуы кезінде Магнус эффектісі есебінен пайда болатын қосымша күшті қолдануға мүмкіндік туады. Қондырғының сипаттамасы мен құрылымы қарастырылған. Желқозғалтқыш моделінің ерекшеліктері келтірілген. Сонымен қатар табиғи жел энергиясын пайдалана отырып, электр энергиясын алуға арналған желқозғалтқыштарын құрудың пайдалы жолдары ұсынылған. Алынған нәтижелер ғылыми, тәжірибелік көзқарас бойынша қызығушылық тудырады.

In work was investigated the laboratory model of a wind turbine working on the basis of effect of Magnusa. Novelty of offered model is the element of a rotor is executed in the form of rotating cylindrical elements of variable section. It allows to use arising at rotation of blades in a stream additional force due to Magnus effect. Results of experimental tests of two element models are resulted at various speeds of an air stream. Data about change of size of elevating force from frequency and are obtained directions of rotation of cylindrical elements with a various surface. The basic characteristics and the device of installation are considered, the description of the some features of a wind turbine are shown. Besides, practical ways of use of energy of a natural wind for electric power development are proved. The received results have the important practical application.

Необходимость развития альтернативных источников энергии для Казахстана отмечена в разработанной по поручению Президента страны Национальной Программе развития ветроэнергетики Республики Казахстан на 2007–2015 гг. Данная программа подготовлена в рамках совместного проекта Министерства энергетики и минеральных ресурсов РК и Программы развития ООН «Казахстан — инициатива развития рынка ветроэнергии». На внеочередном XII съезде партии «Нұр Отан» 15 мая 2009 г. Президентом Н.Назарбаевым сформулированы основные аспекты «важности развития нетрадиционных источников энергии за счет использования силы ветра и солнечного света». Действительно, на большей части республики расположены зоны с низкими значениями среднегодовых скоростей ветра, для которых пока нет промышленных ветродвигателей малой и средней мощности, а использование выпускаемых экономически невыгодно. С другой стороны, развитие сельской ветроэнергетики направлено на улучшение доступа к электроэнергии удаленных сельских населенных пунктов. В районах, где централизованное электроснабжение отсутствует или экономически нерентабельно, поддержка использования ветроустановок для автономного энергоснабжения отдельных сельских потребителей (фермы, крестьянские хозяйства) будет осуществляться через региональные программы поддержки сельскохозяйственного производства с созданием фондов для оказания финансовой помощи* [1, 2]. Все это обуславливает актуальность создания ветродвигателей малой и средней мощности, рассчитанных для работы при низких скоростях ветра, и в то же время, выдерживающих напор штормовых ураганов.

* Национальная программа развития ветроэнергетики до 2015 года с перспективой до 2024 года; План развития электроэнергетической отрасли РК. Министерство энергетики и минеральных ресурсов РК. 2007 год.

В плане решения указанной технической задачи в лаборатории Гидродинамики и теплообмена создана действующая модель ветроэлектрической установки нового типа. Такая установка может эффективно работать в условиях низких среднегодовых скоростей ветра, что весьма актуально. Новизной предлагаемого ветродвигателя является то, что элемент ротора выполнен в виде вращающихся цилиндрических элементов переменного сечения, что позволяет использовать возникающую при вращении в потоке дополнительную движущую силу за счет эффекта Магнуса. Использование переменного сечения и нелинейного, выпуклого профиля поверхности вращающихся цилиндрических элементов позволяет обеспечить их плавное, безвихревое обтекание и уменьшить аэродинамическое сопротивление ротора при достаточно больших скоростях набегающего воздушного потока.

Цилиндрическое тело классически является неотъемлемым элементом практически всех аэрогидродинамических аппаратов и теплообменных устройств. Особый интерес представляют особенности аэродинамики при поперечном обтекании и одновременном вращении цилиндра вокруг своей оси. В монографии [1] приведено описание использования вращения поперечно обтекаемого цилиндра как способа устранения разности между скоростью внешнего потока и скоростью стенки с целью предотвращения образования и отрыва пограничного слоя. На верхней стороне цилиндра, где течение жидкости и вращение стенки направлены в одну и ту же сторону, отрыв пограничного слоя полностью отсутствует. На нижней стороне, где течение жидкости и вращение стенки направлены в противоположные стороны, отрыв почти не возникает [2].

Линии тока подтверждают появление большой поперечной силы, направленной вверх, что связано с явлением, известным под названием эффекта Магнуса. Для тел иной формы осуществить движение обтекаемой стенки технически очень трудно, в связи с чем этот способ управления пограничным слоем почти не нашел практического применения. Современный уровень развития техники и высоких технологий позволяет использовать вращающийся цилиндр в качестве специального элемента аэродинамических аппаратов для создания большой подъемной силы, направленной поперек направления обтекаемого потока.

Исследование законов воздействия воздуха на движущиеся в нем тела возможно двумя методами: сообщением телу некоторой скорости относительно неподвижного воздуха или сообщением воздуху некоторой скорости по отношению к неподвижно укрепленному телу.

Большинство задач экспериментальной аэродинамики связано с изучением движения тел относительно неподвижного воздуха или жидкости. Однако данное явление можно обратить и исследовать движение воздуха или жидкости относительно неподвижного тела. Результаты такого рода исследований, при желательном соблюдении условий обращения движений (при исключении из опытов дополнительных явлений, связанных с границами потоков), дают полное соблюдение законов обтекания тел при прямом и обращенном движении.

Натурные испытания позволяют в опытах выдержать полное динамическое подобие. Но их главный недостаток состоит в том, что помимо дороговизны и сложности, натурные исследования технически затруднены. Во многих случаях совершенно невозможно проведение исследований многочисленных вариантов аппарата, выявление взаимного влияния отдельных его элементов, например, крыла и оперения или винта и фюзеляжа. Поэтому аэромеханические испытания в натуре дополняют и завершают испытания в аэродинамических трубах.

Первоначальные сведения о величине скорости естественного ветра, приводимые в литературных источниках по Карагандинской области, $U = 4,2$ м/с, на самом деле оказались отличными от действительности [3–6]. По данным ближайшей к университетскому городку метеостанции, расположенной в районе аэропорта г. Караганды, среднемесячная скорость ветра за декабрь месяц составляет 3 м/с, что существенно меньше. В сложившейся ситуации, когда скорости ветра малы ($\approx 2,5$ – $3,0$ м/с), никакие разработанные ветродвигатели и ветротурбины не могут работать эффективно, с достаточно высокой энергоотдачей, так как они начинают работать более-менее эффективно при скорости ветра ≈ 5 м/с и выше. С увеличением скорости ветра эффективность работы ветродвигателей резко возрастает.

Для исследования возможности использования вращающегося цилиндрического ротора в конструкции ветродвигателя в лабораторных условиях изготовлена модель, которая имеет два элемента с противоположным вращением (рис. 1). Причем для стабилизации вращения оба элемента имеют одинаковые конструкции, вес и размеры. Диаметр модели цилиндрического ротора можно изменять с помощью применения наращивающих элементов. При этом для изменения шероховатости поверхности используются листы наждачной бумаги с различной зернистостью. Вращение осуществляется электромоторами, питающимися от сети постоянного тока с регулируемым напряжением. Изменяя

напряжение, можно изменить частоту вращения элементов. Для выработки электроэнергии установлен микрогенератор, к нему подключена контрольная лампа с напряжением 3,5 В и мощностью 5 Вт. Воздушный поток в рабочей части аэродинамической трубы достаточно равномерен по всему сечению.

Геометрические размеры цилиндрических элементов следующие:

1-я конструкция $d = 5$ см;

2-я конструкция $d = 10$ см;

3-я конструкция $d = 15$ см.

Регулируемый диапазон изменения скорости вращения цилиндров был порядка 300–1500 оборотов в минуту. Измерение оборотов вращающихся цилиндров проводилось цифровым тахометром марки ТЦ-3М с фотоэлектрическим датчиком ДФ-1. Модель ветродвигателя с двумя вращающимися элементами была установлена в рабочей части аэродинамической трубы Т-1-М на аэродинамических весах с помощью тонких металлических растяжек для уменьшения сопротивления вспомогательных элементов.

Трехкомпонентные аэродинамические весы с достаточно высокой степенью точности позволяют измерять подъемную силу и силу лобового сопротивления. Скорость потока в рабочей части аэродинамической трубы изменялась плавно. Средняя погрешность измерения подъемной силы и силы лобового сопротивления составляет 5 %.

Лабораторные исследования проведены на модели из двух элементов ветротурбины специальной конструкции, работающих при малых скоростях естественного ветра. Фотография закрепленного к раме ветродвигателя представлена на рисунке 2.

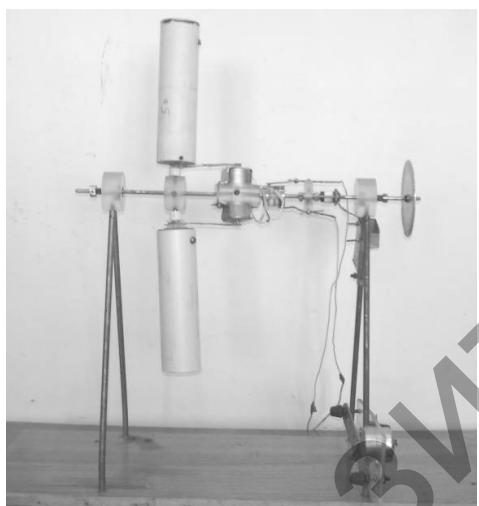


Рис. 1. Лабораторная модель ветродвигателя

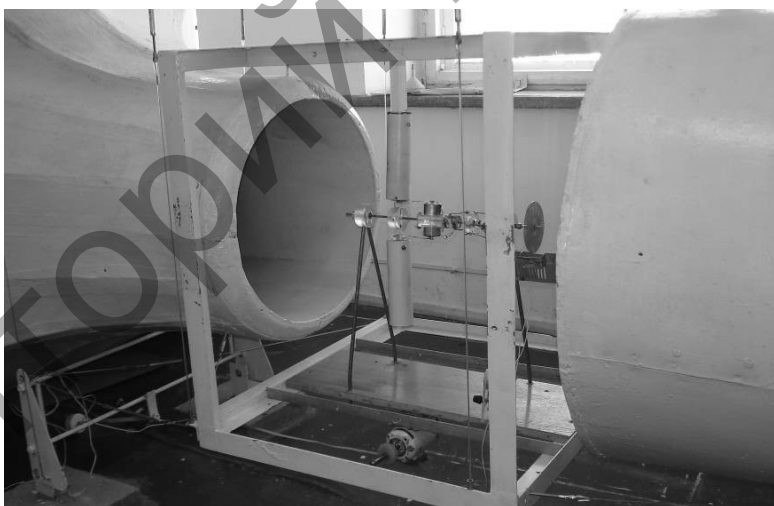


Рис. 2. Модель ветродвигателя с двумя вращающимися элементами, расположенная в рабочей части аэродинамической трубы

В настоящее время проведены опыты с первыми вариантами модели трех конструкций с элементами указанных диаметров. Результаты опытов подтверждают возможность использования вращающихся цилиндров в конструкции ветродвигателя, так как модель начинает работать при скорости 3 м/с и работает эффективно при скоростях ветра от 8 м/с до 12 м/с. Для уменьшения сил трения, устранения «качения» и «заедания» осей установлены подшипники.

Экспериментальные результаты по определению количества оборотов лопастей и вращающегося цилиндра в минуту представлены на рисунках 3 и 4. экспериментальные зависимости получены для диапазона изменения скоростей потока от 3 м/с до 11 м/с. Как видно из графиков, с увеличением скорости потока ветра и частоты вращения вращающихся цилиндров количество оборотов лопастей ветродвигателя возрастает и достигает своего максимального значения. Используя полученные результаты по скорости вращающихся цилиндров, можно регулировать количество оборотов лопастей ветродвигателя.

На рисунке 5 приведены результаты экспериментального исследования аэродинамических характеристик вращающегося цилиндрического элемента ветротурбины.

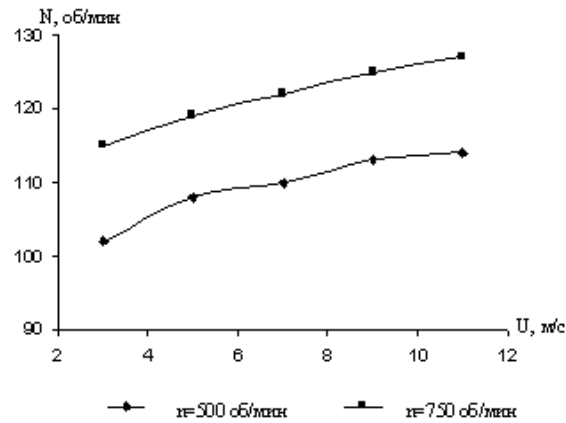


Рис. 3. Зависимость количества оборотов лопастей ветродвигателя от скорости ветра

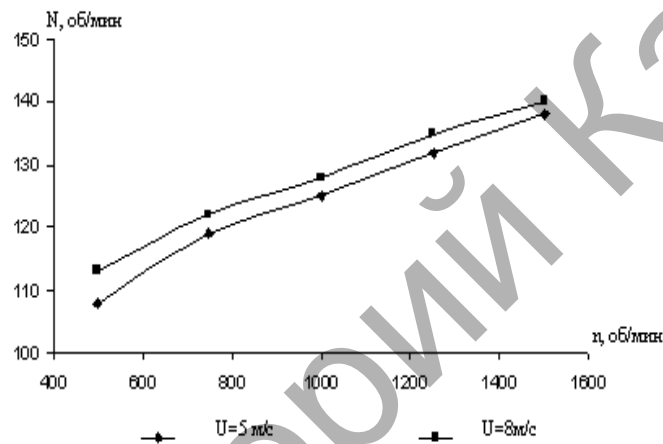


Рис. 4. Зависимость количества оборотов лопастей ветродвигателя от скорости вращающихся цилиндров

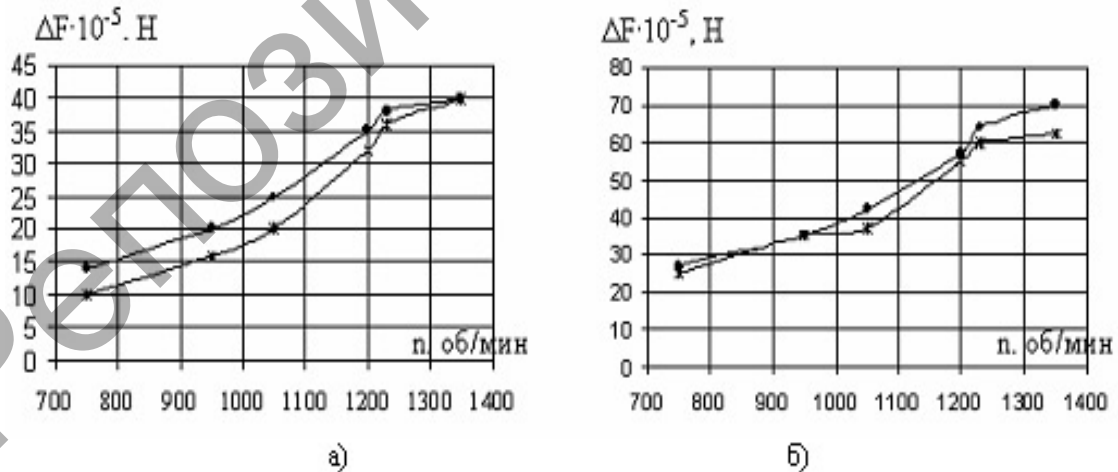


Рис. 5. Зависимость подъемной силы от частоты и направления вращения цилиндра с гладкой поверхностью в потоке: $d = 50$ мм; U : а — 8 м/с; б — 12 м/с; * — вращение по потоку; O — вращение против потока

Опытные зависимости подъемной силы для цилиндров с гладкой и шероховатой поверхностью при скоростях $U = 8$ м/с и 12 м/с представлены на рисунке 6. Из графиков видно, что с увеличением скорости вращения цилиндра подъемная сила возрастает и достигает своего максимума при скорости вращения $n \approx 1300$ об/мин.

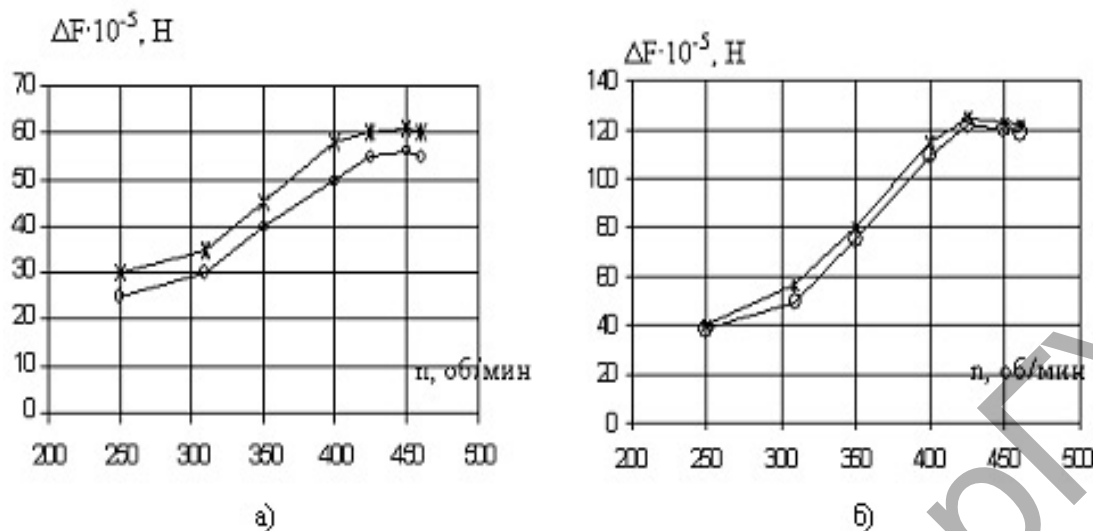


Рис. 6. Зависимость подъемной силы от частоты и направления вращения цилиндра с шероховатой поверхностью в потоке: $d = 50$ мм; U : а — 8 м/с; б — 18 м/с; * — вращение по потоку; O — вращение против потока

Данные, полученные при вращении цилиндра по потоку и против потока, качественно повторяют друг друга, некоторые отличия имеются только в числовых данных. Аналогичная картина наблюдается при обтекании вращающегося цилиндра с шероховатой поверхностью, с ростом скорости потока увеличивается подъемная сила.

Наличие зернистой шероховатости приводит к увеличению подъемной силы на 30 %. С ростом диаметра цилиндра подъемная сила увеличивается. К примеру, при скорости потока 18 м/с рост диаметра от 50 до 150 мм приводит к увеличению подъемной силы более чем в 2,5 раза. Но величина подъемной силы возрастает только до определенного значения скорости вращения цилиндра, при дальнейшем увеличении частоты вращения возрастания не наблюдается.

Таким образом, проведенные испытания подъемной силы при поперечном обтекании вращающегося цилиндра при скоростях набегающего потока от 5 м/с до 18 м/с и угловых скоростях вращения цилиндра от 300 об/мин до 1300 об/мин показывают удовлетворительное согласие с расчетными данными.

Список литературы

1. Шефтер Я.И. Использование энергии ветра. — М.: Энергоатомиздат, 1983. — 200 с.
2. Исатаев С.И., Акылбаев Ж.С., Турмухамбетов А.Ж. Аэрогидродинамика и теплообмен криволинейных тел. — Алматы: Ғылым, 1996. — 437 с.
3. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. — М.: Наука, 1974. — 712 с.
4. Бычков Н.М. Ветродвижитель с эффектом Магнуса. 1. Результаты модельных исследований // Теплофизика и аэромеханика. — 2004. — Т. 11. — № 4. — С. 583–596.
5. Kusaiynov K., Sakipova S.E. Aerodynamics of the cylinder in a cross flow // Eurasian Physical Technical Journal. — 2004. — Vol. 4. — № 1. — P. 71–75.
6. Kusaiynov K., Sakipova S.E., Nikitina L.A. Aerodynamics of the transversally streamlined rotated barrel // Methods of aerophysical research: Materials of 12th international conference. ICMAR-2004. — Novosibirsk, 2004. — Vol. 4. — P. 195–198.