

УДК 533.682

К. Кусаинов, Н. Танашева, М. Тургунов, А. Дюсембаева, А. Алибекова**ИССЛЕДОВАНИЕ ЛОБОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ДВУХЛОПАСТНОГО
ВЕТРОДВИГАТЕЛЯ В РАБОЧЕМ РЕЖИМЕ**

Приведены результаты экспериментальных исследований по определению силы лобового сопротивления и коэффициента лобового сопротивления двухлопастного ветродвигателя на основе эффекта Магнуса с гладкими вращающимися цилиндрами в диапазоне скоростей воздушного потока 4–13 м/с ($Re = 26800–105000$) при постоянном числе вращения цилиндра вокруг собственной оси. Результаты показали, что увеличение числа Рейнольдса приводит к уменьшению коэффициента лобового сопротивления, так как коэффициент лобового сопротивления прямо пропорционален силе лобового сопротивления, однако обратно пропорционален квадрату скорости.

Ключевые слова: эффект Магнуса, сила лобового сопротивления, число Рейнольдса, ветродвигатель, подъёмная сила.

Интерес альтернативных источников энергии в мире стал особенно актуален в последнее время. Для экономии топливно-энергетических ресурсов, снижения негативного влияния на окружающую среду, а также обеспечения электроэнергией регионов требуется развитие возобновляемых источников энергии. Одним из наиболее развивающихся типов возобновляемых источников энергии в мире выступает ветроэнергетика.

Из возобновляемых источников энергии наиболее эффективной является ветроэнергия, хотя ее использование связано с определенными климатическими условиями [1]. Ветер является одним из наиболее мощных энергетических источников и может быть утилизирован в народном хозяйстве в значительно больших масштабах, чем в настоящее время. Потенциальные возможности использования энергии ветра практически неограничены в большинстве зон. Однако эти возможности постоянно меняются в зависимости от совершенствования технических средств.

Актуальной задачей является разработка ветродвигателя, который может эффективно работать даже при низких значениях скорости ветра. Особый интерес представляет ветродвигатель на основе вращающихся цилиндров постоянного сечения, который эффективно работает при низких значениях скорости ветра. Для повышения эффективности работы такого ветродвигателя необходимо изучение аэродинамических характеристик вращающихся цилиндров [2]. За цилиндрами при обтекании потоком воздуха появляется вихревая зона обратных течений, которая является причиной появления области пониженного давления в следе за цилиндром. Таким образом, данная задача является актуальной как в научном плане, так и с точки зрения практического использования.

Цель работы – исследование силы лобового сопротивления и коэффициента лобового сопротивления двухлопастного ветродвигателя на основе эффекта Магнуса.

Для достижения поставленной цели авторами статьи в лаборатории аэродинамических измерений кафедры инженерной теплофизики им. проф. Ж.С. Акылбаева собран лабораторный макет из двух вращающихся цилиндров.

Экспериментальная установка относится к ветроэнергетическим установкам с использованием эффекта Магнуса. Основной частью экспериментальной модели являются гладкие цилиндры противоположного вращения при диаметрах 5 и 10 см и длинах каждого цилиндра 20 см. Цилиндры крепятся на горизонтальном валу, который поддерживается двумя металлическими стойками с каждого конца вала. Стойки установлены на платформе. На главной оси (вал) крепятся гладкие цилиндры, двигатель, коллекторно-щеточная система и в конце вала – шкив.

Методика эксперимента

Для того чтобы привести в действие вращения цилиндров, к двигателю через щеточно-коллекторный механизм подается электроток (напряжение). Коллектор установлен на валу и изолирован от него с помощью изоляционного материала. После коллектора ток направляется к генератору, который приводит во вращение цилиндрические лопасти.

Ниже приведена схема вращения цилиндров ветродвигателя.

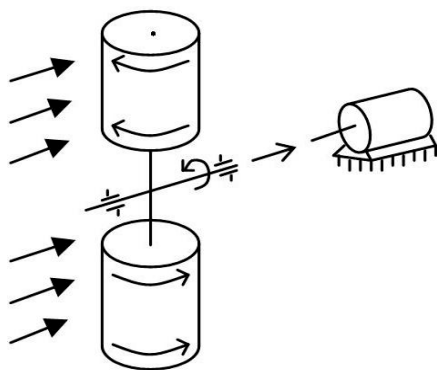


Рис. 1. Схема вращения цилиндров ветродвигателя

Силу лобового сопротивления и подъемную силу измеряли динамическими весами, установленными в рабочей части аэродинамической трубы. Экспериментальный макет обтекался поперечным воздушным потоком, создаваемым в рабочей части аэродинамической трубы. Цилиндры приводились во вращение с помощью электромотора [3].

Погрешность измерения силы лобового сопротивления составляет 5–6 %.

Результаты эксперимента

Исследование лобового сопротивления гладких цилиндров проводилось при диаметрах 5 и 10 см и длинах каждого цилиндра 20 см.

На рис. 2 и 3 приведены зависимости силы лобового сопротивления двухлопастного ветродвигателя от скорости ветра при диаметрах цилиндров 5 и 10 см. Цилиндры имели следующие угловые скорости вращения: 400, 357 и 315 об/мин.

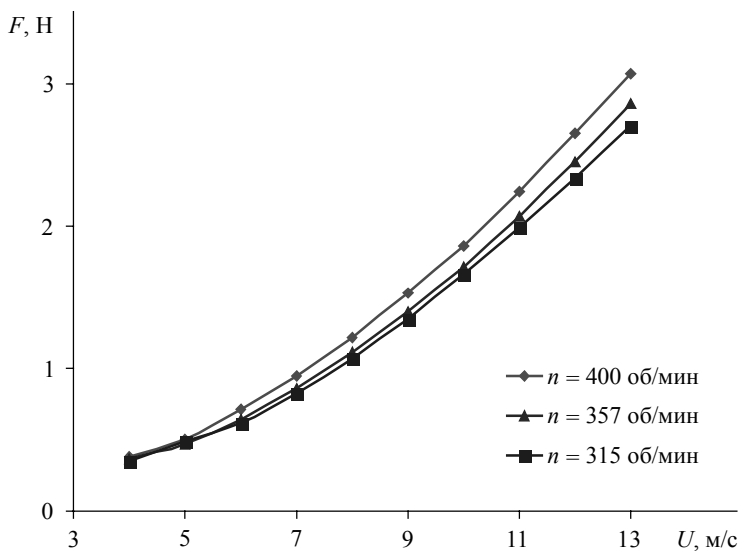


Рис. 2. График зависимости силы лобового сопротивления от скорости потока двухлопастного ветродвигателя с вращающимися гладкими цилиндрами. Диаметр цилиндров 5 см, длина каждого цилиндра 20 см

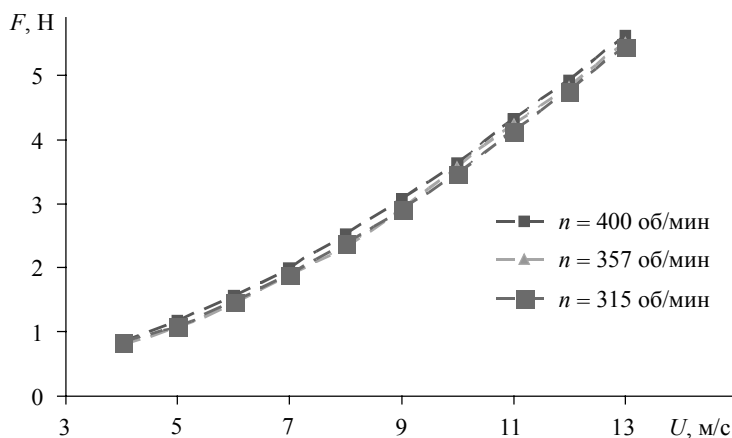


Рис. 3. График зависимости силы лобового сопротивления от скорости потока двухлопастного ветродвигателя с вращающимися гладкими цилиндрами. Диаметр цилиндров 10 см, длина каждого цилиндра 20 см

Из рис. 2 и 3 видно, что силы лобового сопротивления увеличивается с увеличением скорости ветра при числе вращения 400, 357 и 315 об/мин. Сравнивая графики зависимости (рис. 2 и 3), можно увидеть, что при большем диаметре равном 10 см лобовое сопротивление больше. Это связано с тем, что при увеличении диаметра цилиндра увеличивается миделовое сечение, которое противодействует движению потока. Также с ростом количества оборотов лобовое сопротивление увеличивается. Это объясняется тем, что при увеличении скорости ветра увеличивается напорное давление потока, действующие на переднюю часть вра-

щающегося цилиндра. Таким образом, при увеличении скорости потока будет увеличиваться лобовое сопротивление двухлопастного ветродвигателя.

На рис. 4 и 5 представлены графики зависимости коэффициента лобового сопротивления двухлопастного ветродвигателя от числа Рейнольдса.

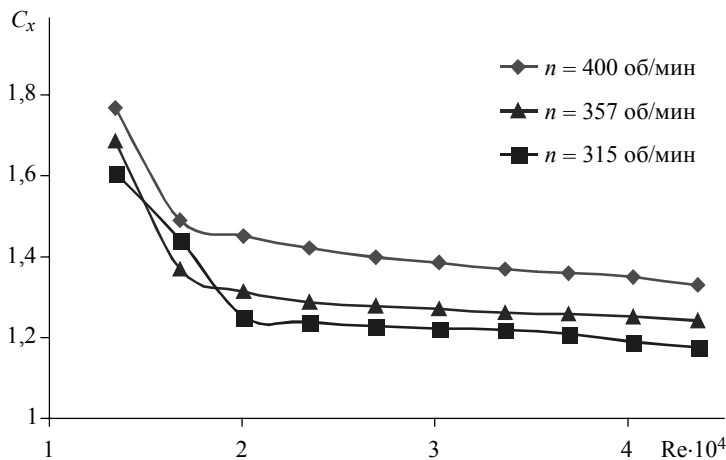


Рис. 4. График зависимости коэффициентов лобового сопротивления от числа Рейнольдса. Диаметр цилиндров 5 см, длина каждого цилиндра 20 см

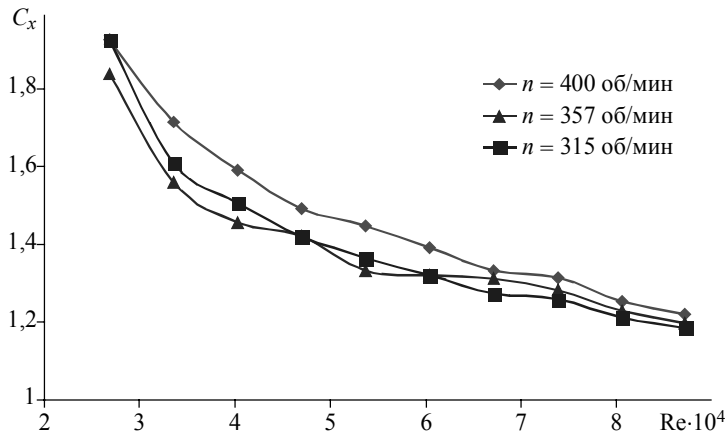


Рис. 5. График зависимости коэффициентов лобового сопротивления от числа Рейнольдса. Диаметр цилиндров 10 см, длина каждого цилиндра 20 см

Из рис. 4 и 5 видно, что при увеличении числа Рейнольдса уменьшается коэффициент лобового сопротивления.

Такой характер поведения кривых объясняет физическую картину обтекания вращающихся цилиндров потоком воздуха. Как известно, за цилиндрами при обтекании потоком воздуха появляется вихревая зона обратных течений, которая является основной причиной образования лобового сопротивления цилиндров. Вращающиеся движения цилиндров приводят к образованию за цилиндрами доста-

точно объемной вихревой зоны обратных течений, размеры которые зависят от скорости набегающего потока.

Заключение

Таким образом, при малых скоростях потока, соответствующих малым числам Рейнольдса ($2 \cdot 10^4 - 6 \cdot 10^4$), увеличение скорости потока приводит к интенсивному перемешиванию и уменьшению объема вихревой зоны обратных течений. Мы наблюдаем относительно резкое уменьшение коэффициента лобового сопротивления вращающихся цилиндров.

При достаточно больших скоростях потока, соответствующих числам Рейнольдса $8 \cdot 10^4$ и выше, за цилиндрами образуется достаточно сильная интенсивно турбулизованная вихревая зона обратных течений, на размер которой увеличение скорости потока практически не влияет, и как следствие этого, коэффициент лобового сопротивления цилиндров остается практически постоянным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бычков Н.М. Ветродвижитель с эффектом Магнуса. 2. Характеристики вращающегося цилиндра // Теплофизика и аэромеханика. 2005. Т. 12. № 1. С. 159–175.
2. Акылбаев Ж.С., Кусаинов К., Сакипова С.Е., Никитина Л.А., Миньков Л.Л. Исследование подъемной силы вращающегося цилиндра при поперечном обтекании турбулентным потоком газа // Современные достижения физики и фундаментальное физическое образование. Алматы: Изд. КазНУ, 2003. С.78–83.
3. Dusembaeva A.N., Kussaiynov K., Sakipova S.E., Tansykbaeva N.K Experimental research of aerodynamics of the system of the revolved cylinders in a turbulent stream // Turbulence, Heat and Mass Transfer: 7th International Symposium (September 24–27). Italy, 2012. P. 125–128.

Статья поступила 15.05.2014 г.

Kussaiynov K., Tanasheva N.K., Turgunov M.M., Dyusembaeva A.N., Alibekova A. STUDYING THE DRAG OF A TWO-BLADED WIND TURBINE IN THE OPERATING MODE

In this paper, we consider aerodynamic characteristics of two rotating cylinders transversely streamlined by an air flow. The paper presents the results of experimental studies on determining the force of drag and drag coefficient of a two-bladed wind turbine based on the Magnus effect with smooth rotating cylinders in the range of air flow velocities from 4 to 13 m/s ($Re = 26800 - 105000$) at a constant number of the cylinder rotation around its own axis. From the experimental data, the optimum value for the development of wind turbines operating based on the Magnus effect is determined. The results showed that an increase in the Reynolds number leads to a decrease in the drag coefficient since the drag coefficient is proportional to the force of drag but inversely proportional to the square of the speed value. It is shown that the coefficient of drag and the coefficient of lift depend on the Reynolds number and the number of revolutions of the cylinder. Conditions under which the Magnus effect helps to maximize the lifting force and, consequently, to increase the efficiency of the wind turbine are experimentally determined.

Keywords: Magnus effect, drag force, Reynolds number, wind turbine lift.

KUSSAIYNOV Kappas (Buketov Karaganda State University, Karaganda, Kazakhstan)
E-mail: kappas090108@mail.ru

TURGUNOV Muratshan Miryusupovich (Buketov Karaganda State University, Karaganda, Kazakhstan)
E-mail: turgun@mail.ru

TANASHEVA Nazgul Kadyralievna (Buketov Karaganda State University,
Karaganda, Kazakhstan)
E-mail: nazgulya_tans@mail.ru

DYUSEMBAEVA Ainura Nurtaevna (Buketov Karaganda State University,
Karaganda, Kazakhstan)
E-mail: aikabesoba88@mail.ru

REFERENCES

1. Bychkov N.M. Vetrodvigatel' s эффектом Magnusa. 2.Kharakteristiki vrashchayushchegosya tsilindra (2005) *Teplofizika i aeromekhanika*, v. 12, no. 1, pp. 159–175. (in Russian)
2. Akyibaev Zh.S, Kusaibayev K., Sakipova S.E., Nikitina L.A., Min'kov L.L. Issledovanie pod'emnoy sily vrashchayushchegosya tsilindra pri poperechnom obtekanii turbulentnym potokom gaza. *Sovremennye dostizheniya fiziki i fundamental'noe fizicheskoe obrazovanie*. Almaty, KazNU Publ., 2003, pp.78–83. (in Russian)
3. Dusembaeva A.N., Kusaibayev K., Sakipova S.E., Tansykbayeva N.K. Experimental research of aerodynamics of the system of the revolved cylinders in a turbulent stream (2012) *Turbulence, Heat and Mass Transfer, 7th International Symposium* (September 24–27, 2012), Italy, pp.125–128.