УДК 533.682

ВЛИЯНИЕ ПОРИСТОСТИ НА АЭРОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВРАЩАЮЩЕГОСЯ ЦИЛИНДРА

Кусаиынов К., Тургунов М.М, Ахмадиев Б.А., Танашева Н.Т., Дюсембаева А.Н.

Карагандиский Государственный Университет имени Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан

Работа выполнена по грантовому проекту Министерства образования и науки Республики Казахстан.

АННОТАЦИЯ

В работе приведены результаты экспериментальных исследований по определению лобового сопротивления и подъемной силы вращающегося цилиндра с пористой поверхностью в диапазоне скоростей воздушного потока 5...13 м/с (Re=40000...105000) при постоянном числе вращения цилиндра вокруг собственной оси. Так же приведены результаты исследований лобового сопротивления и подъемной силы одиночного вращающегося цилиндра в диапазоне числа оборотов цилиндра вокруг собственной оси 400...1400 обр/мин при постоянной скорости воздушного потока. Показано, что коэффициент лобового сопротивления и коэффициент подъемной силы зависят от числа Рейнольдса и от числа оборотов цилиндра. Установлена зависимость коэффициентов аэродинамических характеристик от степени пористости поверхности вращающегося цилиндра.

ВВЕДЕНИЕ

С целью экономии топливо-энергетических ресурсов, снижения негативного влияния на окружающую среду, а также обеспечения электроэнергией регионов, требуется развитие использования возобновляемых источников энергии. Республика Казахстан обладает огромным потенциалом возобновляемых источников энергии. Так например, на большей части территории Республики Казахстан среднегодовая скорость ветра составляет 3-5 м/с, в связи с чем актуальной задачей является разработка ветродвигателя. Особый интерес представляет ветродвигатель на основе вращающихся цилиндров постоянного и переменного сечения, который может эффективно работать даже при низких значениях скорости ветра. Для повышения эффективности работы такого ветродвигателя необходимо изучение аэродинамических характеристик элемента ветродвигателя - вращающейся цилиндра. Таким образом, данная задача является актуальной как в научном плане, так и с точки зрения практического использования.

Аэродинамические характеристики при поперечном обтекании неподвижных одиночных цилиндров в бесконечном потоке достаточно хорошо исследованы в работах С.И. Исатаева [1]. Влияние загромождения потока на закономерности обтекания бесконечного цилиндра на аэродинамическое и гидравлическое сопротивления исследованы и систематизированы в работе Акылбаева Ж.С. [2, 3]. Аэродинамика коротких цилиндров, достаточно широко встречающихся в элементах энергетических агрегатов и установок, изучена экспериментальными и теоретическими методами в работе Жангунова О.Н. [4].

Однако, работ посвященных исследованию аэродинамики сложного характера обтекания одиночного и системы вращающихся цилиндров, являющихся элементами разрабатываемого нами ветродвигателя, сопровождающихся турбулентным потоком группы взаимодействующих вихрей, в настоящее время крайне мало. Известные работы Бычкова Н.М. [5, 6] относятся к определению аэродинамических параметров вращающихся одиночных цилиндров в потоке воздуха.

На основании проведенного анализа имеющихся исследований была поставлена задача

© Кусаиынов К., Тургунов М.М, Ахмадиев Б.А., Танашева Н.Т., Дюсембаева А.Н.

об экспериментальном исследовании влияний пористости на аэродинамические характеристики вращающегося цилиндра, являющегося элементом ветродвигателя с использованием эффекта Магнуса.

Использование эффекта Магнуса при вращении цилиндра в потоке известно с давних времен [4], однако возможность практического использования в качестве движущей силы ветродвигателей нового поколения для малых скоростей потока систематизированно изучается только в последние годы.

Цель работы — исследование влияния пористости поверхности на аэродинамические характеристики вращающегося одиночного цилиндра — основного элемента ветродвигателя, работающего на малых скоростях ветра с использованием эффекта Магнуса.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Экспериментальная установка представляла собой аэродинамическую трубу замкнутого типа с открытой рабочей частью, где установлена металлическая рама, подвешенная к трехкомпонентным аэродинамическом весам. Диаметр рабочей части – 0,5 м, длина – 0,8 м.

Исследования проводились в диапазоне скоростей воздушного потока 5...13 м/с (Re=40000...105000) при постоянном числе оборотов цилиндра вокруг собственной оси. Сила лобового сопротивления и подъемная сила вращающегося цилиндра измерялась с помощью трехкомпонентных аэродинамических весов. Трехкомпонентные аэродинамические весы с достаточно высокой степенью точности позволяют измерять силу лобового сопротивления и подъемную силу.

Схема расположения основных элементов установки в рабочей части аэродинамической трубы показана на рис.1.

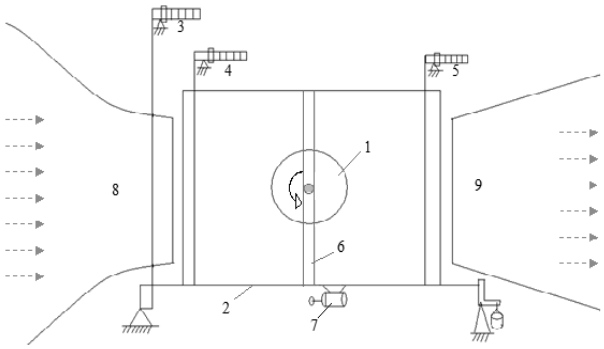

Рис.1 Схема экспериментальной установки для исследования аэродинамических характеристик цилиндра.

Здесь, 1 - исследуемый цилиндр; 2 - рама для крепления макета с аэродинамическими весами; 3 - весы, измеряющие силу лобового сопротивления; 4, 5 - весы, измеряющие подъемную силу; 6 - стойка для крепления цилиндров; 7 - двигатель для вращения цилиндров; 8, 9 - диффузор и конфузор аэродинамической трубы.

Экспериментальный макет обтекался поперечным воздушным потоком, создаваемым в рабочей части аэродинамической трубы. Цилиндр приводился во вращение с помощью электромотора.

Поток воздуха, набегая на лобовую часть цилиндра, прикладывает силу, которая отражается на весах.

Испытания проводились с двумя видами вращающегося цилиндра диаметром 120 мм и длиной 330 мм: с гладкой поверхностью и с пористой поверхностью.

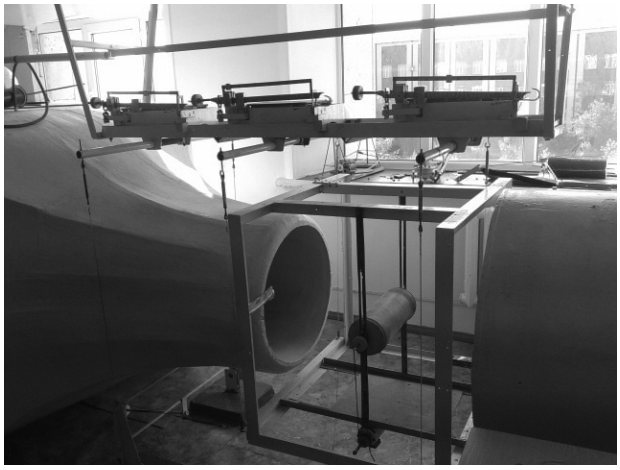

Рис.2 Фото исследуемого цилиндра, установленной в рабочей части аэродинамической трубы Т-1-М.

Число Рейнольдса и коэффициенты аэродинамических характеристик вычислялись следующим образом:

Формула для определения числа Рейнольдса:

$$\mathrm{Re} = \frac{ud}{\nu}, \quad (1)$$

где u - скорость потока воздуха, набегающего на цилиндр; d – внешний диаметр исследуемого цилиндра; ν – кинематическая вязкость воздуха.

Формула для определения коэффициента лобового сопротивления:

$$C_x = \frac{F_{л.с}}{\frac{\rho u^2}{2} S}, \quad (2)$$

где $F_{л.с}$ - сила лобового сопротивления;

u - скорость воздушного потока;

ρ - плотность воздуха;

S - площадь миделевого сечения исследуемого цилиндра.

Формула для определения коэффициента подъемной силы:

$$C_y = \frac{F_{п.с}}{\frac{\rho u^2}{2} S}, \quad (3)$$

где C_y - подъемная сила.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВРАЩАЮЩЕГОСЯ ЦИЛИНДРА С ПОРИСТОЙ ПОВЕХРНОСТЬЮ

Зависимости коэффициента лобового сопротивления C_x и подъемной силы от числа Re приведены на рисунках 3 и 4.

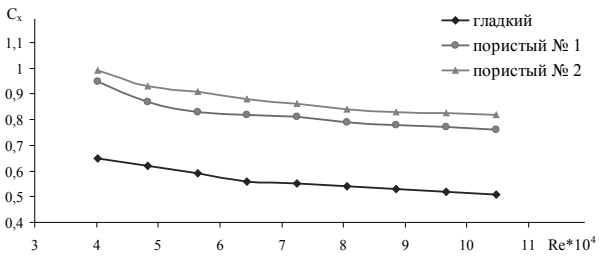

Рис.3 Зависимость C_x от числа Рейнольдса.

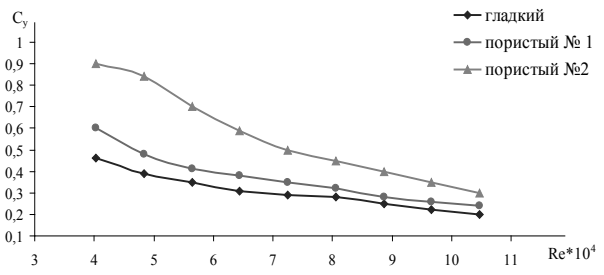

Рис.4 Зависимость коэффициента подъемной силы от числа Рейнольдса.

Из рисунков 2 и 3 видно, что коэффициент лобового сопротивления и коэффициент подъемной силы вращающегося цилиндра уменьшается с увеличением скорости потока (чисел Re).

В ходе эксперимента помимо исследований зависимостей коэффициентов аэродинамических характеристик исследована зависимость коэффициента лобового сопротивления и коэффициента подъемной силы от частоты вращения цилиндра вокруг собственной оси при постоянной скорости набегающего потока.

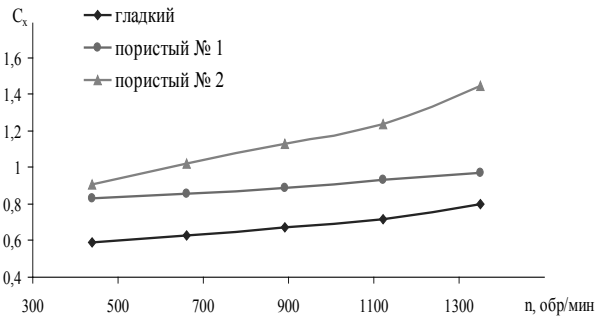

Рис.5 Зависимость коэффициента лобового сопротивления вращающегося цилиндра от частоты вращения.

На рисунке 5 приведен график зависимости коэффициента лобового сопротивления от частоты вращения при постоянной скорости воздушного потока, набегающего на цилиндр.

Из рис.5 видно, что при увеличении частоты вращения цилиндра повышается коэффициент лобового сопротивления. Это связано с тем что, когда поток с определенной скоростью обтекает вращающейся цилиндр за ним образуются вихревые потоки. Эти вихревые потоки будут взаимодействовать с частицами воздуха на поверхности цилиндра с задней стороны и препятствовать к набегающему потоку. С увеличением частоты вращения силы препятствия цилиндра к потоку увеличивается. Следовательно,

увеличивается лобовое сопротивление вращающегося цилиндра.

На рис.6 приведена зависимость коэффициента подъемной силы от частоты вращения цилиндра при постоянной скорости поперечно обтекающего потока.

Из рисунка 6 видно, что коэффициент подъемной силы вращающегося цилиндра повышается с увеличением частоты вращения цилиндра при постоянной скорости воздушного потока. Это обусловлено с тем что, когда цилиндр начинает вращаться, он образует вихревое движение вокруг себя. При своем вращении цилиндр увлекает прилегающие слои воздуха; в результате окружающий воздух получает, кроме поступательного движения, еще и вращения вокруг цилиндра. В тех местах, где скорость поступательного и вращательного движений складывается, результирующая скорость превосходит скорость потока, набегающего на цилиндр. А с противоположной стороны цилиндра скорости вычитаются и результирующая скорость меньше чем скорость потока вдали от цилиндра. В результате появляется разность давлений в поверхности цилиндра, которая влияет на коэффициенты аэродинамических характеристик вращающегося цилиндра. С увеличением частоты вращения цилиндра увеличивается разность давлений на поверхности цилиндра. Следовательно, увеличиваются коэффициенты аэродинамических характеристик вращающегося цилиндра.

Из приведенных графиков видно, что с увеличением пористости поверхности цилиндра численно увеличиваются коэффициенты аэродинамических характеристик вращающегося цилиндра. Причина заключается в следующем: при обтекании вращающегося цилиндра с пористой поверхностью воздушным потоком на поверхности цилиндра образуется пограничный слой, который с увеличением степени пористости будет расширятся.

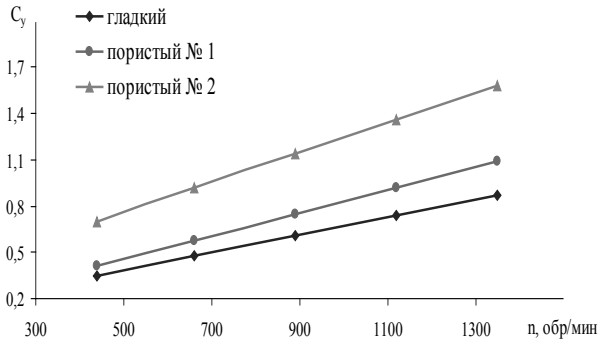

Рис.6 Зависимость коэффициента подъемной силы вращающегося цилиндра от частоты вращения.

ВЫВОДЫ

Из полученных данных исследований влияния пористости на аэродинамические характеристики вращающегося цилиндра можно сделать следующие выводы:

- коэффициенты лобового сопротивления и подъемной силы вращающегося цилиндра - элемента ветродвигателя на основе эффекта Магнуса зависят от числа Рейнольдса. При увеличении скорости потока (чисел Re) коэффициенты подъемной силы и лобового сопротивления уменьшаются на 5-10 %.
- при увеличении частоты вращения цилиндра вокруг собственной оси увеличиваются численные значения аэродинамических характеристик вращающегося цилиндра – коэффициента лобового сопротивления и коэффициента поъемной силы.
- аэродинамические характеристики вращающегося цилиндра зависят от степени пористости поверхности цилиндра. С повышением пористости численно увеличивается коэффициент лобового сопротивления и коэффициент подъемной силы.

Таким образом, полученные результаты могут использованы при разработке и создании ветродвигателей для малых скоростей на основе эффекта Магнуса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Исатаев С.И., Акылбаев Ж.С., Турмухамбетов А.Ж. Аэрогидродинамика и теплообмен криволинейных тел. - Алматы: Гылым, 1996. – 437 с.

Issatayev, S. I., Akylbayev, Zh. S., Turmukhambetov, A. Zh., (1996), Aerogidrodinamika I teploobmen krivolineinyh tel [Aerohydrodynamics and heat ex-

change of curvilinear solids], Gylym, Almaty
2. Акылбаев Ж.С., Кусаиынов К., Сакипова С.Е., Никитина Л.А. Особенности аэродинамики вращающегося цилиндра в потоке. // Промышленная теплотехника, Киев, 2003, №4, Том.25. – С.279 – 281. Akylbayev, Zh. S., Kussainov, K., Sakipova, S. E., Nikitina, L. A. (2003), Osobennosti aerodinamiki vrashchayushchegosya tsilindra v potoke// Promyshlennaya teplotekhnika #4, T. 25 [The peculiarities of rotating cylinder aerodynamics in a flow//Industrial heat process engineering], #4, Vol. 25, Kiev
3. Акылбаев Ж.С, Кусаиынов 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. Akylbayev, Zh. S., Kussainov, K., Sakipova, S. E., Nikitina, L. A., Minkov, L.L. (2003), Issledovaniya podemnoi sily vrashchayushchegosya tsilindra pri poperechnom obtekanii turbulentnym potokom gaza// Sovremennie dostizheniya fiziki I fundamentalnoe fizicheskoe obrazovanie [The research of drag force of a rotating cylinder at cross flow turbulent gas flow//Achievement of modern physics and the fundamental physical education], Pub. KazNU, Almaty.
4. Жангунов О.Н. Аэродинамика и теплообмен цилиндрических тел конечной длины. Диссерт. на соискание уч. степени канд. наук, Алматы.- 1987. – 148с. Zhangunov, O. N., (1987), «Aerodynamics and heat exchange of cylindrical solids of an ultimate length», Abstract of Cand. Sci. dissertation, Almaty.
5. Бычков Н.М. Ветродвигатель с эффектом Магнуса. 2.Характеристики вращающегося цилиндра // Теплофизика и аэромеханика. - 2005, Т. 12, № 1. – С. 159 – 175. Bychkov, N. M., (2005), Vetrodvigatel s effectom Magnusa 2. Kharakteristiki vrashchayushchegosya tsilindra // Teplofizika I aeromekhanika T. 12, #1 [Wind turbine with Magnus effect. 2. Rotating cylinder characteristics// Thermal physics and aero mechanics V. 12, #1].
6. Карман Т. Аэродинамика: научное издание. - Ижевск. 2001. - 208 с. Karman, T., (2001), Aerodinamika: nauchnoe izdanie [Aerodynamics: scientific edition], Izhevsk.

© Кусаиынов К., Тургунов М.М, Ахмадиев Б.А., Танашева Н.Т., Дюсембаева А.Н.