

03

Исследование зависимости аэродинамических характеристик вращающихся цилиндров от угла скоса воздушного потока

© Н.К. Танашева¹, Н.Н. Шуюшбаева², Э.К. Мусенова³

¹ Институт прикладной математики, Караганда, Казахстан

² Кокшетауский государственный университет им. Ш. Уалиханова, Кокшетау, Казахстан

³ Карагандинский государственный университет им. Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан

E-mail: nazgulya_tans@mail.ru

Поступило в Редакцию 6 февраля 2018 г.

Приведены результаты экспериментальных исследований по определению подъемной силы и коэффициента подъемной силы вращающегося цилиндра с постоянным сечением. Проанализированы данные по влиянию угла скоса потока на аэродинамические характеристики вращающихся цилиндров в диапазоне углов от 0 до 90°. Установлено, что уменьшение коэффициента подъемной силы наблюдается при углах скоса потока свыше 30°, поэтому в пределах угла скоса $-30 \leq \alpha \leq 30^\circ$ элемент ветродвигателя показывает положительный результат. Данные экспериментальных исследований могут быть использованы при разработке ветродвигателей с лопастями в виде вращающихся цилиндров с гладкой поверхностью.

DOI: 10.21883/PJTF.2018.17.46572.17240

Исследования аэродинамики и закономерностей течения вокруг цилиндров конечной длины с разными формами торцов в свободном безграничном потоке воздуха при продольном и поперечном обтекании для различных геометрических и режимных параметров носят отрывочный характер и не охватывают широкого диапазона изменения указанных параметров. Как правило, при расчетах пользуются зависимостями, которые получены для бесконечно длинных цилиндров, но практика показывает, что при расчетах нужно обязательно учитывать отношение длины цилиндра к его диаметру (L/d). Установление зависимостей

для коротких цилиндров с различной геометрией торцов с учетом изменения относительной длины необходимо для многих инженерных расчетов. Эти зависимости подробно изучены в работах Исатаева [1].

Действительно, вблизи концов цилиндра конечной длины наблюдается значительное отступление от картины плоского течения: преобладает пространственное течение. Это в свою очередь влияет на всю аэродинамику обтекаемого тела [2].

Уменьшение относительной длины цилиндра приводит к существенному снижению подъемной силы и лобового сопротивления [3]. Показано, что при $L/d = 1.0$ сопротивление короткого цилиндра в 1.3 раза выше, чем для шара того же размера. Это обстоятельство позволяет сделать вывод о существенном влиянии формы торцов на аэродинамику коротких цилиндров. Теоретический расчет обтекания коротких цилиндров со сферическими торцами пока не представляется возможным даже для простейшего случая потенциального потока идеальной жидкости. Однако некоторое теоретическое представление о влиянии конечной длины поперечно обтекаемого цилиндра можно получать, рассматривая поперечное обтекание идеальной несжимаемой жидкостью эллипсоидов вращения в зависимости от их удлинения a/b , где a и b — длины большой и малой полуосей эллипсоида.

Существенное влияние на коэффициенты аэродинамического сопротивления цилиндра ограниченной длины показано в работе [4], в которой исследованы цилиндры с плоскими торцами. При относительной длине $L/d = 40$ значение этого коэффициента на 18% отличается от данных для бесконечного цилиндра.

Влияние загромождения потока на закономерности обтекания бесконечного цилиндра, на аэродинамическое и гидравлическое сопротивления исследовано и систематизировано в работе Акылбаева и др. [2]. Аэродинамика коротких цилиндров, достаточно широко встречающихся в элементах энергетических агрегатов и установок, изучена экспериментальными и теоретическими методами в [5].

Существуют работы в области аэробаллистики, где широко изучено влияние угла атаки (или угла скоса) на силы, формируемые вращающимся осесимметричным телом. Одним из таких исследований является работа [6], в которой рассматривается обеспечение безударного отделения носового блока управляемого артиллерийского снаряда за счет определения связанных углов атаки с учетом данных с датчика угловых скоростей.

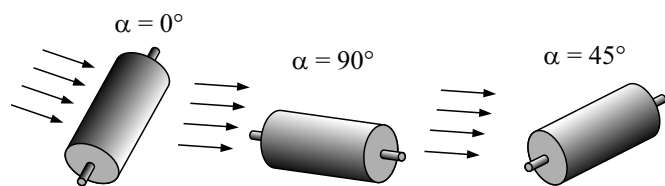


Рис. 1. Схема расположения цилиндра, установленного на оси рабочей части аэродинамической трубы.

Однако работ, посвященных исследованию аэродинамики сложного характера обтекания одиночного и системы вращающихся цилиндров, являющихся элементами разрабатываемого нами ветродвигателя, сопровождающейся турбулентным потоком группы взаимодействующих вихрей, в настоящее время крайне мало. Известные работы Бычкова [7] относятся к определению аэродинамических параметров вращающихся одиночных цилиндров в потоке воздуха.

На основании проведенного анализа имеющихся исследований была поставлена задача об экспериментальном изучении усложненной модели — аэродинамики вращающихся цилиндров, являющихся взаимовлияющими элементами ветродвигателя, работающего на основе эффекта Магнуса.

Цель работы — исследование влияния угла скоса потока на аэродинамические характеристики вращающегося цилиндра.

Ранее были проведены исследования аэродинамических характеристик вращающихся цилиндров переменного сечения, которые показали положительные результаты [8,9]. Эксперименты проводились в Лаборатории аэродинамических измерений. Собран опытный макет одиночного вращающегося цилиндра, который в последующем исследовался в поперечном потоке воздуха различной скорости. Макет устанавливался в рабочей части аэродинамической трубы Т-1-М и крепился с помощью тонких металлических растяжек к раме трехкомпонентных аэродинамических весов. Макет относится к ветроэнергетическим установкам на основе эффекта Магнуса.

Длина цилиндра составляет 20 см, а диаметр — 10 см. Цилиндр крепится на горизонтальном валу, который поддерживается двумя металлическими стойками с каждого конца вала. Стойки установлены

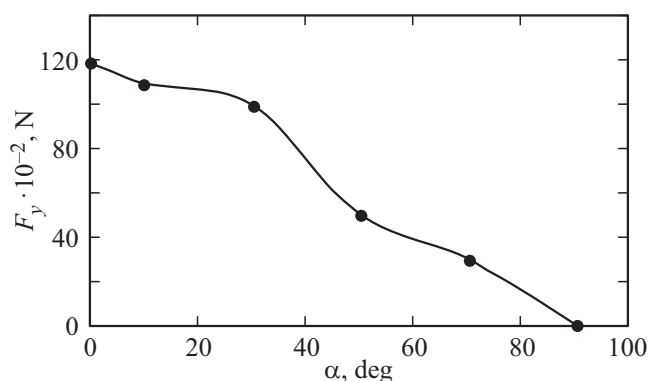


Рис. 2. Зависимость подъемной силы от угла схода потока для цилиндра диаметром 10 см с гладкой поверхностью при скорости $u = 5-15$ м/с и частоте вращения $n = 100-1500$ rpm.

на платформе. На главной оси (вал) крепятся гладкие цилиндры, двигатель, коллекторно-щеточная система, а в конце вала — шкив. Диапазон изменения частоты вращения цилиндра составил $n = 100-1500$ rpm.

Коэффициент подъемной силы C_y и число Рейнольдса (Re) определялись по следующим формулам:

$$C_y = \frac{\Delta F_y}{\rho \frac{u^2}{2} S}, \quad \text{Re} = \frac{ud}{\nu}, \quad (1)$$

где F_y — подъемная сила [N], ρ — плотность воздуха [kg/m^3], u — скорость потока [m/s], S — площадь миделева сечения цилиндра [m^2], d — диаметр исследуемого цилиндра [m], ν — кинематическая вязкость воздуха.

Подъемная сила измерялась с помощью трехкомпонентных аэродинамических весов. Скорость потока изменялась в пределах 5–15 м/с ($\text{Re} = 40\,000-105\,000$).

На рис. 1 показана схема расположения цилиндра, установленного на оси рабочей части аэродинамической трубы с углами схода $\alpha = 0, 45, 90^\circ$.

В результате экспериментальных исследований построена зависимость подъемной силы от угла схода воздушного потока (рис. 2).

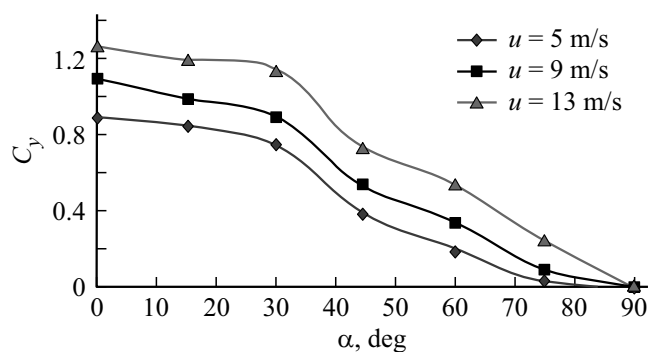


Рис. 3. Зависимость коэффициента подъемной силы от угла скоса при различных значениях скорости ветра и частоте вращения цилиндра $n = 100\text{--}1500$ rpm.

Из рис. 2 видно, что при увеличении угла скоса воздушного потока подъемная сила уменьшается. Положительный результат вращения цилиндра показал при углах скоса воздушного потока $\alpha = 0\text{--}45^\circ$.

На основе полученных результатов измерения подъемной силы нами рассчитан коэффициент C_y в зависимости от угла скоса при различных значениях скорости ветра (рис. 3).

В результате исследований влияния угла скоса воздушного потока на аэродинамические характеристики вращающегося цилиндра можно сделать следующие выводы:

1) уменьшение коэффициента подъемной силы наблюдается при углах скоса потока свыше 30° , поэтому в пределах углов скоса $-30 \leq \alpha \leq 30^\circ$ элемент ветродвигателя в виде вращающегося цилиндра работает эффективно;

2) при углах скоса потока $-45 \leq \alpha \leq 45^\circ$ силовой элемент ветродвигателя обеспечивает технически минимальный эффект работы, а при углах свыше 45° эффективность работы резко уменьшается.

Цилиндры при вращении увлекают за собой частицы воздуха, находящиеся вблизи их поверхности. Эти частицы будут двигаться по поверхности цилиндра по направлению вращения цилиндра, создавая вращательный воздушный поток.

При обтекании вращающегося цилиндра воздушным потоком частицы воздуха набегающего потока изменяют траекторию своего движения

по направлению вращения цилиндра. Увлечение частиц набегающего потока вращательным потоком и сгиб линии набегающего потока зависят от типа поверхности и скорости вращения.

Исследование выполнено за счет гранта № АР05131520 („Разработка и создание опытного образца ветроэнергетической установки для альтернативного электроснабжения с применением электрогенератора отечественного производства“).

Список литературы

- [1] *Исатаев С.И., Жангунов О.* // Исследование процесса переноса. Алма-Ата: КазГУ, 1985. С. 17–21.
- [2] *Акылбаев Ж.С., Кусаинов К., Сакипова С.Е., Никитина Л.А., Миньков Л.Л.* // Современные достижения физики и фундаментальное физическое образование. Алматы: Изд-во КазНУ, 2003. С. 78–82.
- [3] *Ахмадиев Б.А., Тургунов М.М., Дюсембаева А.Н., Тансыкбаева Н.К.* // Современная наука: исследования, идеи, результаты, технологии. 2013. В. 1(12). С. 420–425.
- [4] *Еронин М.В., Кратиров Д.В., Молочников В.М., Дунай О.В.* // Тр. Пятой Рос. нац. конф. по теплообмену. М.: Изд. дом МЭИ, 2010. Т. 2. С. 118–122.
- [5] *Молочников В.М., Михеев Н.И., Давлетишин И.А., Фасхутдинов Р.Э.* // Изв. РАН. Энергетика. 2007. В. 6. С. 80–86.
- [6] *Голомидов Б.А., Сладков В.Ю., Мызников Д.Е., Шамин М.С., Никулина О.А.* // Изв. ТулГУ. Техн. науки. 2016. В. 12. Ч. 1. С. 38–44.
- [7] *Бычков Н.М.* // Теплофизика и аэромеханика. 2005. Т. 12. В. 1. С. 59–175.
- [8] *Tanasheva N.K., Shragar E.R., Sakipova S.E., Dyusembaeva A.N., Nurgalieva Zh.G., Karsybekov R.* // Bull. of the Karaganda University. Phys. Ser. 2017. N 3(87). P. 60–64.
- [9] *Танашева Н.К., Кунакбаев Т.О., Дюсембаева А.Н., Шуюшбаева Н.Н., Дамекова С.К.* // ЖТФ. 2017. Т. 87. В. 11. С. 1628–1631.