

УДК 533.601

К.К.Кусайынов, Н.С.Смакова, Н.Н.Омаров
Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова

ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОДИНАМИКИ ВРАЩАЮЩЕГОСЯ ТЕЛА С ОКРУГЛЕННЫМИ ТОРЦАМИ

Мақалада жел ағыны әсерінен цилиндрде пайда болатын күштер қарастырылған. Бұл күштер — маңдайлық кедергі және көтеру күші. Зерттеу жартылай сфералық цилиндрге жүргізілді. Алынған нәтижелер көмегімен графиктер тұрғызылды. Негізгі мақсатымыз маңдайлық кедергіні азайтып, көтеру күшін көбейту болып табылады. Бұл айырмашылықтар графиктерде көрсетілген. Алынған нәтижелер келешекте жел қозғалтқыштар жұмысын арттыруға мүмкіндік береді.

In this paper the emergence of forces in the cylinder of the influence of the wind flow. These forces are the drag and lift. The study was conducted in a cylinder with rounded ends. With the combined results, we construct graphs. The main objective is to minimize the frontal barrier and increase the force multiply. These differences are shown in the graphs. Taken results are given in the future to improve the work of the wind engine.

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 можно явление 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 обратном 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.

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 сло-

ем 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.

Цилиндр приводился во вращение с помощью ременной передачи, питаемой от автотрансформатора электродвигателем с переменными оборотами. Скорость вращения цилиндра фиксировалась с помощью тахометра. Воздушный поток в рабочей части аэродинамической трубы достаточно равномерный по всему сечению [3, 4].

Экспериментальный стенд был установлен в рабочей части аэродинамической трубы Т-1-М на аэродинамических весах с помощью тонких металлических растяжек для уменьшения сопротивления вспомогательных элементов. Трехкомпонентные аэродинамические веса с достаточно высокой степенью точности позволяют измерять подъемную силу и силу лобового сопротивления [5]. Скорость потока в рабочей части аэродинамической трубы изменялась плавно. Средняя погрешность измерения подъемной силы и силы лобового сопротивления составляла 5 %.

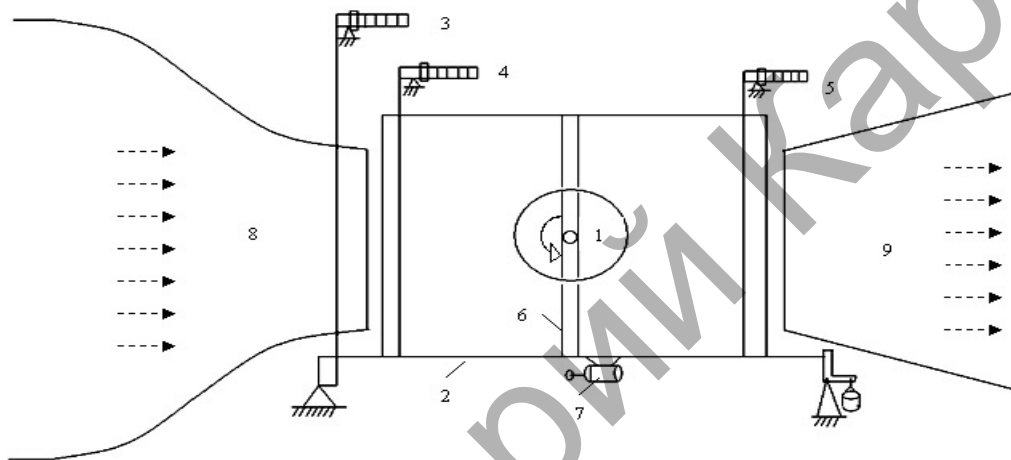


Рис. 1. Экспериментальный стенд для исследования аэродинамических характеристик вращающегося цилиндра: 1 — исследуемый цилиндр; 2 — рама аэродинамических весов; 3 — весы для определения силы лобового сопротивления; 4, 5 — весы для определения подъемной силы; 6 — крепление цилиндра; 7 — мотор для вращения цилиндра; 8, 9 — сопло аэродинамической трубы

Силу лобового сопротивления и подъемную силу измеряли динамическими весами, установленными в рабочей части аэродинамической трубы. Для этого, установив на подвеску рабочей части аэродинамической трубы цилиндр, приступают к измерению лобового сопротивления и подъемной силы при разных скоростях потока.

Поток воздуха, набегаая на лобовую часть цилиндра, прикладывает силу, которая отражается на весах (рис. 1).

Коэффициент K_r в соответствии с [6] и с учетом данных эксперимента может быть определен по формуле

$$K_r = \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2\pi}, \quad \varphi_1 \geq \varphi_2, \quad (1)$$

где φ_1 и φ_2 — положение точек отрыва потока на верхней и нижней сторонах цилиндра; K_r — коэффициент.

При безотрывном обтекании, а также непосредственно на поверхности цилиндра $K_r = 1$, что соответствует случаю $\varphi_1 + \varphi_2 = 2\pi$, при $\varphi_1 + \varphi_2 = \pi$ коэффициент K_r будет равняться 0,5.

Значение коэффициента силы Магнуса $C_{y1} = \pi\theta$ при $K_r = 0,5$ является максимальным (асимптотическим) для реального, отрывного обтекания цилиндра, что следует из экспериментальных данных, которые будут приведены ниже.

При наличии прямых концевых поверхностей, согласно имеющимся к настоящему времени экспериментальным данным, $C_{y1} \leq \pi\theta$ и $C_{x1} > 0$, причем в области $\theta < 0,5$ коэффициент C_{y1} может принимать отрицательные значения, где C_{x1} — коэффициент сопротивления.

Для иллюстрации характера обтекания вращающегося (и неподвижного) цилиндра на рисунке 2 приведены схемы течения для двух вариантов обтеканий, здесь A и B — передняя и задняя критиче-

ские точки течения; O — точка отрыва потока; φ — угловое положение точек отрыва; θ — относительная скорость вращения цилиндра; $Re_{кр}$ — критическое число Рейнольдса [6]. Видно существенное отличие отрывного обтекания цилиндра (b) от безотрывного (a). Схема (a) представляет теоретическое решение [6] для потенциального обтекания, при котором $C_{y1} = 2\pi\theta$ и $C_{x1} = 0$, что не соответствует действительности. Для отрывного течения на вращающемся цилиндре при рассматриваемых условиях, как отмечено выше, $C_{y1} \leq \pi\theta$ и $C_{x1} > 0$.

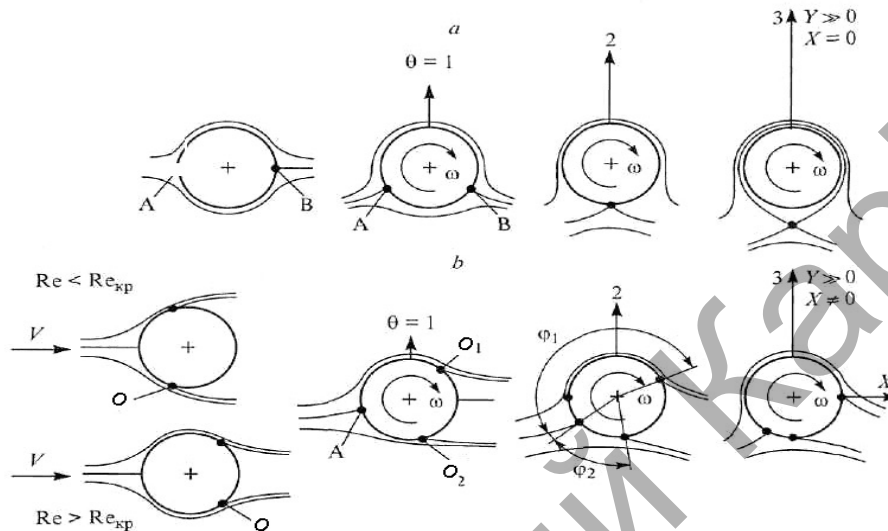


Рис. 2. Схемы обтекания цилиндра при $\theta > 0$: a — безотрывное потенциальное; b — с отрывом потока

На рисунках 3–6 приведены результаты экспериментального исследования аэродинамических характеристик цилиндра, проведенные в лаборатории гидродинамики и теплообмена.

Эксперимент проводился с цилиндрами переменного сечения в виде цилиндра с полусферическими и полуэллиптическими торцевыми элементами. Результаты измерения аэродинамических характеристик исследованных тел представлены на графиках в виде зависимостей:

- зависимости подъемной силы от числа оборотов изучаемого тела и от скорости набегающего потока (рис. 3, 4);
- силы лобового сопротивления и коэффициента лобового сопротивления зависят от числа оборотов вращения исследуемого тела (рис. 5, 6).

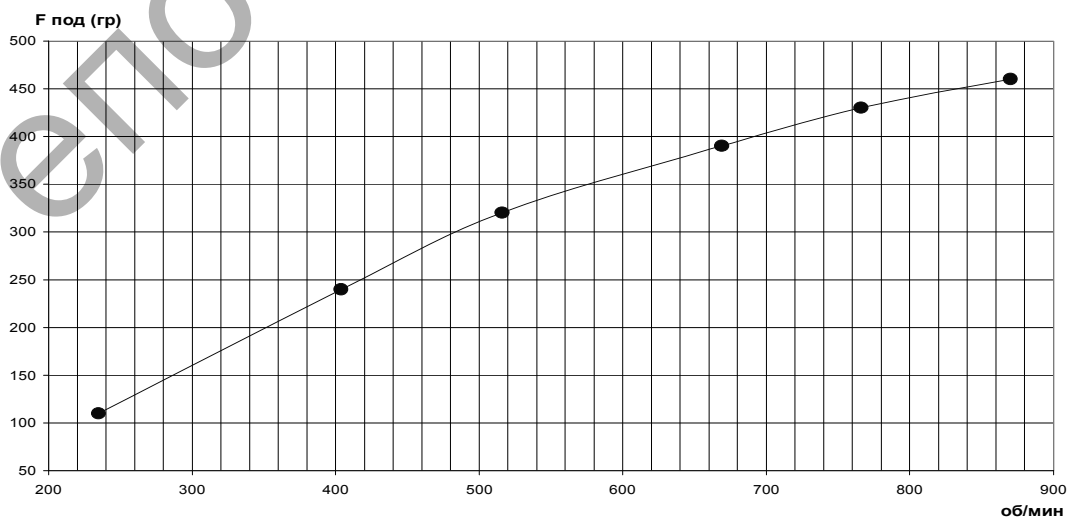


Рис. 3. Зависимость подъемной силы от числа оборотов в минуту для цилиндра с округленными торцами при $U = \text{const}$

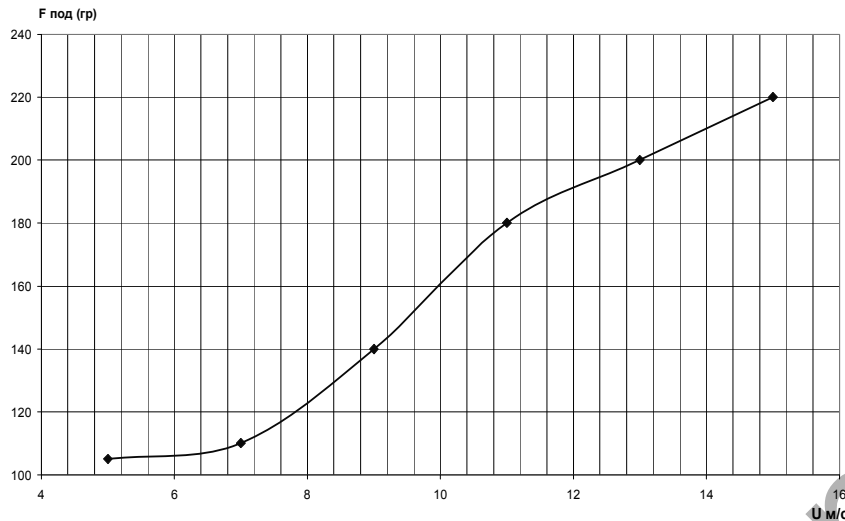


Рис. 4. Зависимость подъемной силы от скорости потока при $n = \text{const}$

Из графиков для подъемной силы видно, что с ростом количества оборотов цилиндра подъемная сила возрастает. Этот рост тем выше, чем больше скорость набегающего потока.

Но величина подъемной силы возрастает только до определенного значения скорости вращения цилиндра, при дальнейшем увеличении частоты вращения рост не наблюдается.

Расчет лобового сопротивления проводился по формуле

$$F_{л.с.} = \frac{F_{сопр}}{\kappa}, \quad (2)$$

где κ — коэффициент аэродинамических весов; $F_{л.с.}$ — сила лобового сопротивления.

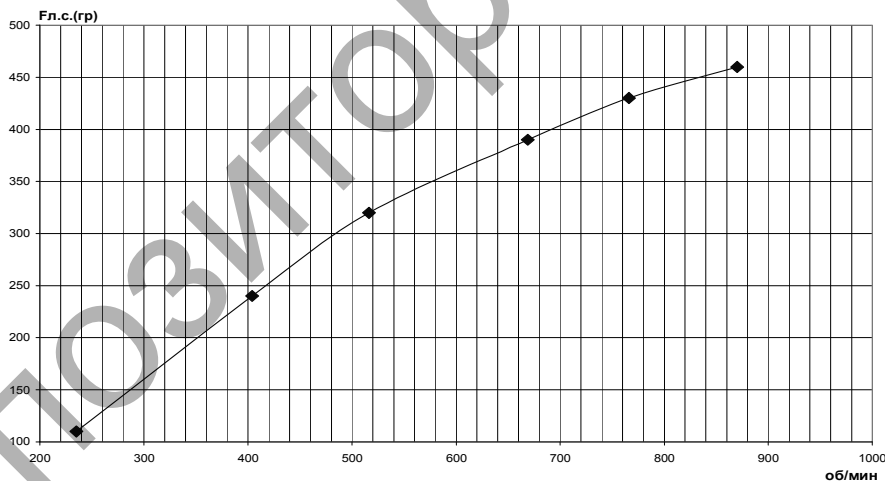


Рис. 5. Зависимость силы лобового сопротивления от числа оборотов в минуту для цилиндра с округленными торцами при $U = \text{const}$

Сводный график зависимости коэффициента лобового сопротивления от количества оборотов для цилиндра с округленными торцами представлен на рисунке 6. Расчет коэффициента сопротивления проводился по формуле

$$C_x = \Delta F_{л.с.} / \rho \frac{u^2}{2} \cdot S, \quad (3)$$

где C_x — коэффициент лобового сопротивления; $F_{л.с.}$ — сила лобового сопротивления; ρ — плотность воздуха; u — скорость потока; S — площадь лобовой части исследуемого тела (миделевого сечения).

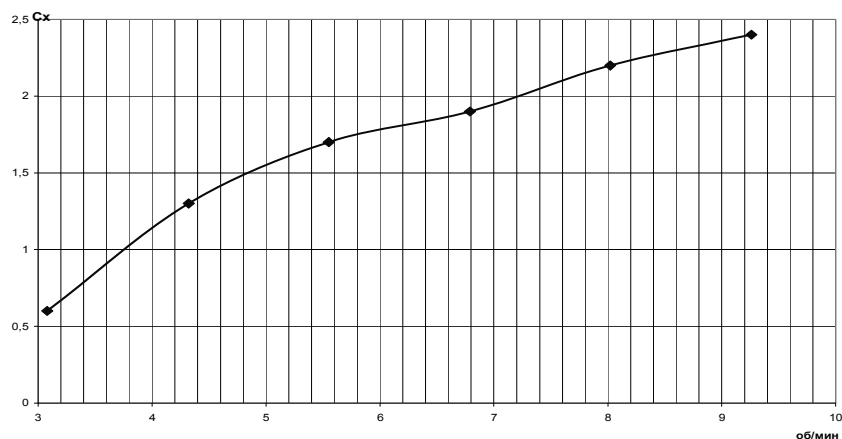


Рис. 6. Зависимость коэффициента лобового сопротивления от числа оборотов в минуту для цилиндра с округленными торцами при $U = \text{const}$

Из полученного графика видно, что с ростом количества оборотов в минуту лобовое сопротивление цилиндра со сферическими торцами возрастает.

Подводя итоги изучения зависимости подъемной силы и лобового сопротивления от скорости вращения цилиндра, приходим к выводу о том, что с ростом скорости потока, скорости вращения цилиндра возрастает как подъемная сила, так и сила сопротивления.

Вращающийся цилиндр с округленными торцами переменного сечения может быть использован в качестве элемента ветродвигателя, который работает значительно эффективнее, чем элемент в виде крыловых профилей при малых скоростях потока.

Список литературы

1. Исатаев С.И., Акылбаев Ж.С., Турмухамбетов А.Ж. Аэрогидродинамика и теплообмен криволинейных тел. — Алматы: Гылым, 1996. — 437 с.
2. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. — М.: Наука, 1974. — 712 с.
3. З.Кусаиынов К., Жуматаева Г.С. Влияние вращения цилиндрических элементов ветроустановки на ее аэродинамические характеристики // Возобновляемая энергетика: Тез. 1-й Центрально-Азиатской конф. — Караганда, 2005. — С. 49, 50.
4. Акылбаев Ж.С., Кусаиынов К., Сакипова С.Е. и др. Исследование подъемной силы вращающегося цилиндра при поперечном обтекании турбулентным потоком газа // Современные достижения физики и фундаментальное физическое образование. — Алматы: Изд. КазНУ, 2003. — С. 78.
5. Юшина Л.Е. Влияние формы необогреваемого торца на теплообмен поперечно обтекаемого цилиндра // Теплообмен и теплофизические свойства вещества: Сб. науч. тр. — Киев: Наук. думка, 1984. — С. 17–23.
6. Бычков Н.М. Ветроустройство с эффектом Магнуса. 2. Характеристики вращающегося цилиндра // Теплофизика и аэромеханика. — 2005. — Т. 12. — № 1. — С. 59–175.