

УДК 533.601

Экспериментальное исследование аэродинамики системы из двух вращающихся цилиндров

Experimental study of aerodynamics of the system of two rotating cylinders

Дюсембаева А.Н.¹, Кусаиынова А.², Тургунов М.М.¹, Тансыкбаева Н.К.¹

¹Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова (E-mail: nazgulya_tans@mail.ru);

²Школа для одаренных детей «Дарын» (E-mail: asia0804@mail.ru)

Мақалада айналмалы қозғалыстағы цилиндрдің ауа ағыны көлденең бағытта аққан кездегі аэродинамикалық сипаттамаларын зерттеу нәтижелері келтірілген. Олар тәуелділік графиктер түрінде: маңдайлық кедергі және көтеру күші коэффициентінің ағын бағытының және айналмалы цилиндрлердің беттері арасындағы арақашықтықтан тәуелділігі. Тәжірибелік мағлұматтардан коэффициенттердің тиімді мәні анықталды. Цилиндрлер арасындағы қашықтықтан тәуелді алынған коэффициенттер максималды тарту күшімен қамтамасыздандыратын желқозғалтқыш қалақшаларының тиімді санын анықтауға мүмкіндік береді. Зерттеу нәтижелері Магнус эффектісі негізіндегі желқозғалтқыштардың жаңа түрін жасауда қолданылуы мүмкін.

This article presents the results of experimental investigations of aerodynamic characteristics of two rotating cylinders in crossflow air flow. Results are presented in the form of graphic dependences of the coefficients of drag and lift of the flow direction and the distance between the surfaces of rotating cylinders. From experimental data the optimal values of the coefficients are determined. Identified coefficients depending on the distance between the cylinders take the possibility to determine the optimal number of wind turbine for maximum traction. The results can be used for development of a new generation wind turbine based on Magnus effect.

С целью экономии топливно-энергетических ресурсов, снижения негативного влияния на окружающую среду, а также обеспечения электроэнергией регионов требуется развитие возобновляемых источников энергии. Республика Казахстан обладает огромным их потенциалом. Так, например, на большей части территории Республики Казахстан среднегодовая скорость ветра составляет 4 м/с, в связи с чем актуальной задачей является разработка ветродвигателя. Особый интерес представляет ветродвигатель на основе вращающихся цилиндров переменного сечения, который может эффективно работать даже при низких значениях скорости ветра. Для повышения эффективности работы такого ветродвигателя необходимо изучение аэродинамических характеристик его элементов — системы вращающихся цилиндров переменного сечения. Следовательно, 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, А.А. Жукаускаса [1, 2]. Влияние загромождения потока на закономерности обтекания бесконечного цилиндра на аэродинамическое и гидравлическое сопротивления исследованы и систематизированы в работе Ж.С. Акылбаева [3]. Аэродинамика коротких цилиндров, достаточно широко встречающихся в элементах энергетических агрегатов и установок, изучена экспериментальными и теоретическими методами в работе С.И. Исатаева, О.Н. Жангунова [4].

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

На основании проведенного анализа имеющихся исследований была поставлена задача — экспериментальное исследование усложненной модели — аэродинамики системы из двух вращающихся цилиндров, являющихся взаимовлияющими элементами ветродвигателя с использованием эффекта Магнуса.

Использование эффекта Магнуса при вращении цилиндра в потоке известно с давних времен [7], однако возможность практического использования в качестве движущей силы ветродвигателей нового поколения для малых скоростей потока систематизированно изучается только в последние годы.

Авторами статьи в Лаборатории аэродинамических измерений кафедры инженерной теплофизики им. проф. Ж.С. Акылбаева собран опытный макет из двух вращающихся цилиндров, который в последующем исследовался в поперечном потоке воздуха различной скорости (см. рис. 1). Макет закреплялся в рабочей части аэродинамической трубы Т-1-М с помощью тонких металлических растяжек к раме трехкомпонентных аэродинамических весов. Трехкомпонентные аэродинамические весы с достаточно высокой степенью точности позволяют измерять подъемную силу (4, 5) и силу лобового сопротивления (3).

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

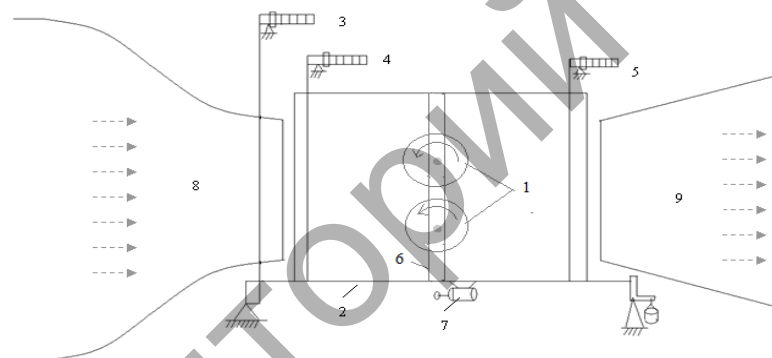


Рис. 1. Схема экспериментальной установки двух вращающихся цилиндров для исследования аэродинамических характеристик: 1 — исследуемые цилиндры; 2 — рама для крепления макета с аэродинамическими весами; 3 — весы, измеряющие силу лобового сопротивления; 4,5 — весы, измеряющие подъемную силу; 6 — стойка для крепления цилиндров; 7 — двигатель для вращения цилиндров; 8,9 — диффузор и конфузор аэродинамической трубы

Силу лобового сопротивления и подъемную силу измеряли динамическими весами, установленными в рабочей части аэродинамической трубы.

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

Экспериментальный макет обтекался поперечным воздушным потоком, создаваемым в рабочей части аэродинамической трубы. Цилиндры приводились во вращение с помощью электродвигателя (7).

Испытания проходили с двумя вращающимися цилиндрами диаметром 100 мм. При этом скорость набегающего потока и частота вращения цилиндров оставались неизменными.

Лабораторные исследования проводились при разных расстояниях между цилиндрами.

Согласно [8] формула для определения коэффициента лобового сопротивления

$$C_x = \frac{F_{л.с.}}{\rho \frac{u^2}{2} S}, \quad (1)$$

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

Формула для определения коэффициента подъемной силы [8]

$$C_y = \frac{F_{n.c.}}{\rho \frac{u^2}{2} S} \quad (2)$$

где $F_{n.c.}$ — подъемная сила.

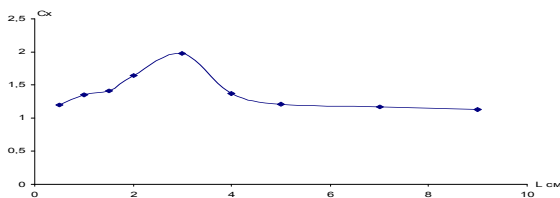
При исследовании аэродинамических характеристик двух вращающихся цилиндров были рассмотрены два случая вращения цилиндров:

- 1) оба цилиндра вращаются в одну сторону, против потока воздуха;
- 2) цилиндры вращаются противоположно друг другу.

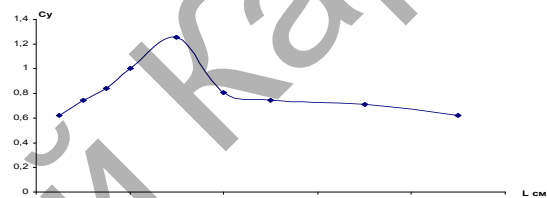
Эти зависимости приведены на рисунках 2 (*a*, *b*), 3 (*a*, *b*).

В первом варианте цилиндры вращались в одном направлении против потока воздуха. Во время эксперимента были получены экспериментальные данные и построены графики зависимости коэффициентов аэродинамических характеристик от расстояния между цилиндрами L .

На графиках, которые показаны на рисунке 2 (*a*, *b*), приведены результаты измерения коэффициента лобового сопротивления и коэффициента при вращении против потока подъемной силы.



a



b

Рис. 2 *a*. Зависимость коэффициента лобового сопротивления от расстояния между цилиндрами при вращении против потока воздуха

Рис. 2 *b*. Зависимость коэффициента подъемной силы от расстояния между цилиндрами при вращении против потока воздуха

Из рисунка 2 видно, что коэффициент подъемной силы и коэффициент лобового сопротивления вращающихся цилиндров повышаются до определенного расстояния между цилиндрами (в нашем случае $L=3$ см), после чего коэффициенты подъемной силы и лобового сопротивления уменьшаются. Причина заключается в следующем: если расстояние между цилиндрами минимально, то возникающие спутные потоки в области протекания потоков между цилиндрами создают пониженное давление, что приводит к уменьшению кинетической энергии потока.

Если расстояние между цилиндрами увеличить, то влияние спутных потоков будет значительно уменьшаться, соответственно, кинетическая энергия потока повышается до расстояния, на котором пограничный слой первого вращающегося цилиндра достигает поверхности второго цилиндра. После срыва пограничных слоев вращающиеся цилиндры не будут влиять друг на друга, что приводит к уменьшению коэффициента подъемной силы и коэффициента лобового сопротивления.

В следующем варианте цилиндры вращаются противоположно друг другу, т.е. нижний цилиндр вращается против набегающего потока, а верхний — по потоку.

В этом случае возникающие в следе за вращающимися цилиндрами вихри будут приближаться друг к другу, затем сливаться, как бы создавая область, похожую на хорошо обтекаемое тело.

Полученные данные второго варианта исследования приведены в виде графической зависимости на рисунке 3 (*a*, *b*).

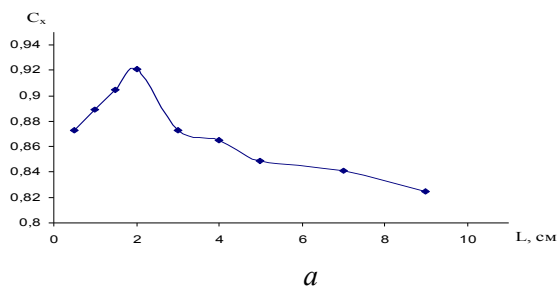


Рис. 3 а. Зависимость коэффициента лобового сопротивления от расстояния между цилиндрами, вращающимися в противоположном направлении

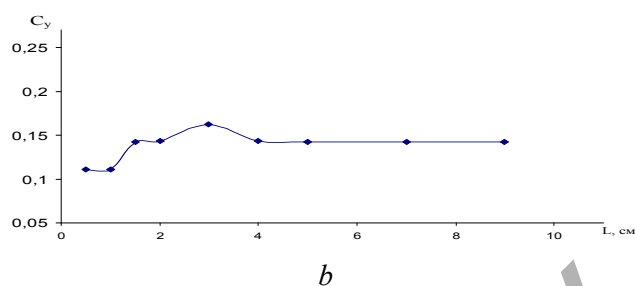


Рис. 3 б. Зависимость коэффициента подъемной силы от расстояния между цилиндрами, вращающимися в противоположном направлении

Если сравнить результаты исследования двух приведенных серий экспериментов, то увидим, что были получены схожие графики, отличающиеся численными значениями. Полученные численные значения измеряемых аэродинамических характеристик для цилиндров, которые вращаются противоположно друг другу, против набегающего потока, меньше, чем когда цилиндры вращались в одном направлении, против потока воздуха. Эту разницу можно объяснить тем, что когда два цилиндра вращаются противоположно друг другу, то возникающие на поверхности спутные потоки, протекая между цилиндрами к встречному набегающему потоку, будут взаимодействовать и увеличивать кинетическую энергию. Взаимодействующие спутные потоки будут сопротивляться основному набегающему потоку, что приведет к уменьшению давления набегающего потока, действующего на поверхности цилиндров. В связи с этим аэродинамические коэффициенты исследуемых вращающихся цилиндров будут увеличиваться до расстояния срыва пограничных слоев исследуемого макета. После полного срыва пограничного слоя цилиндров спутные потоки не будут взаимодействовать между собой, что объясняет уменьшение аэродинамических коэффициентов с увеличением расстояния между цилиндрами.

Таким образом, на основе полученных результатов можно будет использовать данную методику для определения оптимального расстояния L между поперечно обтекаемыми цилиндрами, при котором эффект Магнуса способствует максимальному увеличению подъемной силы, что, в свою очередь, позволяет увеличить коэффициент полезного действия ветродвигателя.

References

1. Isatayev S.I., Akylbaev J.S., Turmuhambetov A.J. Aerohydrodynamics and heat transfer of curved bodies. — Almaty: Gylym, 1996. — 437 p.
2. Jukauskas A.A. The convective transport of heat exchangers. — M.: Science, 1982. — 191 p.
3. Akylbaev J.S. Aerodynamics and heat transfer in the flow of bodies of finite sizes. — Almaty, 1984. — P. 87.
4. Isatayev S.I., Jangunov O.N. Effect of the face and the relative lengths of short cylinders on exchange rate // Diffusion and convective transport of gases and liquids. — Almaty, 1986. — P. 62–68.
5. Bychkov N.M. Magnus wind turbine // Thermophysics and Aeromechanics. — 2005. — Vol. 12. — № 1. — P. 59–175.
6. Bychkov N.M. Features a rotating cylinder // Thermophysics and Aeromechanics. — 2005. — Vol. 12. — № 1. — P. 59–175.
7. Fateev E.M. Wind turbines and wind turbine. — London, 1948 — 203 p.
8. Krassnov N.F. Fundamentals of aerodynamics calculations: Aerodynamics of bodies of rotation, the bearing and turn control. Aerodynamics of aircraft. — M., 1981. — 496 p.