

Н.К. ТАНАШЕВА, А.Н. ДЮСЕМБАЕВА,
С.Б. БАГДАТОВА, В.И. КИВРИН

ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМ ВРАЩАЮЩИХСЯ ЦИЛИНДРОВ НА ОСНОВЕ ЭФФЕКТА МАГНУСА

Карагандинский государственный университет имени академика Е.А. Букетова,
Караганда, Казахстан
E-mail: nazgulya_tans@mail.ru

The article is devoted to the development of wind turbines on the basis of the Magnus effect. This paper presents the results of experimental research of aerodynamic characteristics of the rotating cylinder systems on the basis of the Magnus effect. Results have shown that at low flow rates corresponding to low Reynolds numbers ($2 \cdot 10^4 - 6 \cdot 10^4$) increasing the flow rate leads to intensive mixing and reduce the volume of the vortex zone of reverse currents.

Введение

Потенциал возобновляемых энергетических ресурсов (гидроэнергия, ветровая и солнечная энергия) в Казахстане весьма значителен. К их числу относится в первую очередь ветроэнергетика, для развития которой чрезвычайно важно иметь достоверную информацию о режиме ветра на территории предполагаемого размещения ветроэнергетических установок. Следует отметить, что ветровая энергия не загрязняет окружающую среду и способна производить чистую, неиссякаемую энергию в локальной местности [1].

Но, несмотря на это, процент выработки альтернативной энергии в Казахстане лишь около 1% от общего количества [2]. Это связано с тем, что на большей части территории Казахстана расположены зоны с низкими значениями среднегодовых скоростей ветра. Имеющиеся ветродвигатели различной конструкции при малых скоростях ветра не всегда обладают достаточной эффективностью. Работоспособность некоторых конструкций ветродвигателей в настоящее время мало исследована. Одним из мало исследованных перспективных ветродвигателей является ветроустановка с лопастями в виде вращающихся цилиндров переменного сечения [3].

В связи с этим создание ветроэнергетических установок с цилиндрическими лопастями переменного сечения, эффективно работающих в условиях низких среднегодовых скоростей ветра, является весьма актуальным и соответствует приоритетам развития науки в Республике Казахстан. Данная проблема на современном этапе развития науки в нашей республике приобрела еще большую актуальность в связи с подготовкой Казахстана к Всемирной выставке достижений науки и техники «EXPO-2017». Основные тематические направления «EXPO-2017» — «Энергетика будущего» и «Экологически чистая энергетика».

На основании проведенного анализа имеющихся исследований была поставлена задача об экспериментальном исследовании аэродинамических характеристик вращающихся цилиндров, являющийся элементами ветродвигателя с использованием эффекта Магнуса [4, 5].

Использование эффекта Магнуса при вращении цилиндра в потоке известно с давних времен [5], однако возможность практического использования в качестве движущей силы ветродвигателей нового поколения для малых скоростей потока систематизированно изучается только в последние годы.

Цель работы — исследование аэродинамических характеристик систем вращающихся цилиндров на основе эффекта Магнуса.

Методика исследования

Экспериментальные исследования проводились аэродинамических характеристик ветродвигателя с двумя вращающимися элементами, расположенными линейно друг к другу [6].

Исследование гладких цилиндров проводилось при диаметре 5 и 10 см, длина каждого цилиндра равнялась 20 см.

Ниже приведена схема вращения цилиндров ветродвигателя в противоположных направлениях (рис. 1).

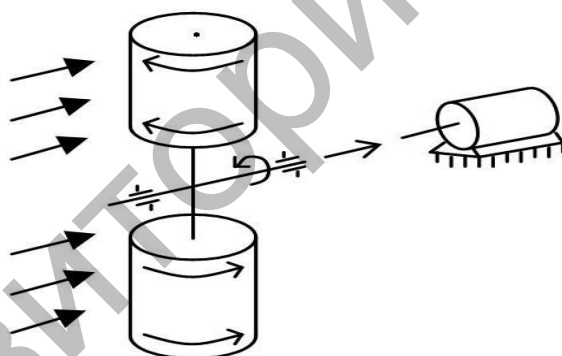


Рисунок 1 - Схема вращения цилиндров ветродвигателя

Число Рейнольдса и коэффициенты аэродинамических характеристик вычислялись следующим образом.

Формула для определения числа Рейнольдса:

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

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

На рисунках 2 и 3 представлены графики зависимостей силы лобового сопротивления от скорости с потока диаметрами цилиндра 5 и 10 см.

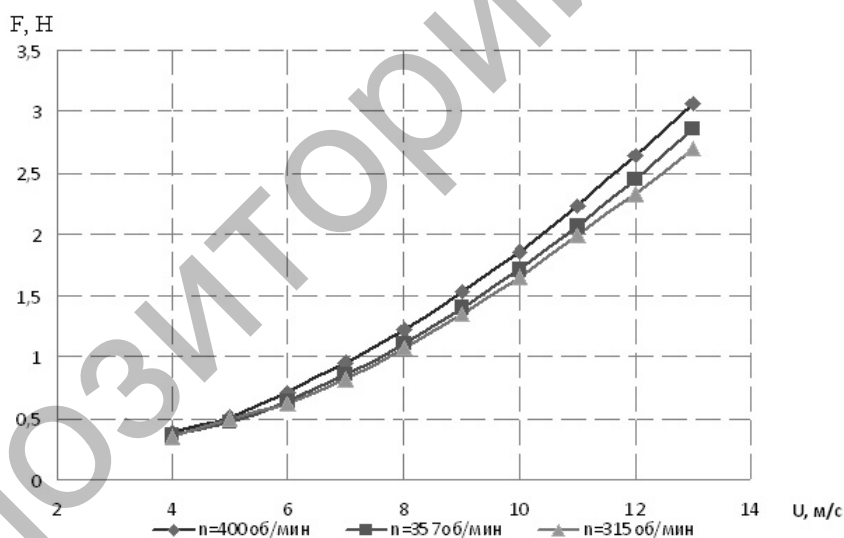


Рисунок 2 - График зависимости силы лобового сопротивления от скорости потока двухлопастного ветродвигателя с вращающимися гладкими цилиндрами. Диаметр цилиндров 5 см, длина каждого цилиндра 20 см

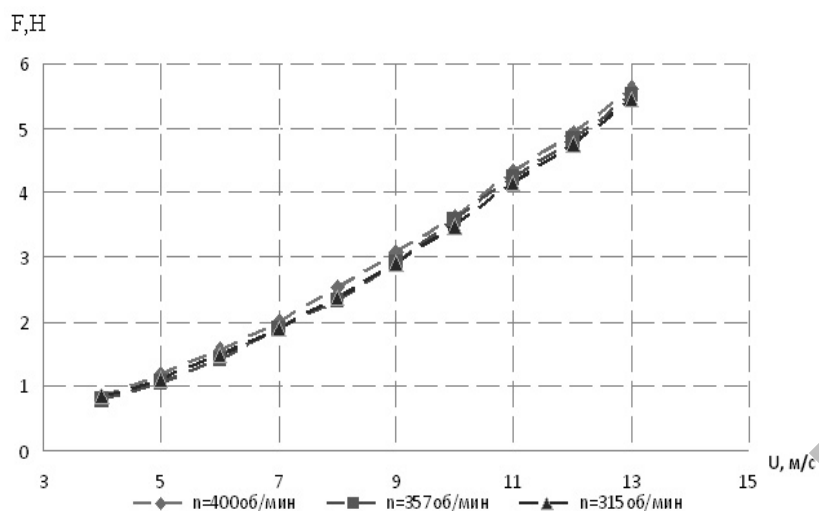


Рисунок 3 - График зависимости силы лобового сопротивления от скорости потока двухлопастного ветродвигателя с вращающимися гладкими цилиндрами. Диаметр цилиндров 10 см, длина каждого цилиндра 20 см

Из рисунков 2 и 3 видно, что сила лобового сопротивления увеличивается с увеличением скорости ветра при диаметрах цилиндров 5 и 10 см, при числе вращения 400 об/мин, 357 и 315 об/мин. Сравнивая графики зависимости, 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, действующее на переднюю часть вращающегося цилиндра. Таким образом, при увеличении скорости потока будет увеличиваться лобовое сопротивление двухлопастного ветродвигателя [6].

На рисунках 4, 5 представлены графики зависимости коэффициента лобового сопротивления двухлопастного ветродвигателя от числа Рейнольдса с диаметрами цилиндра 5 и 10 см.

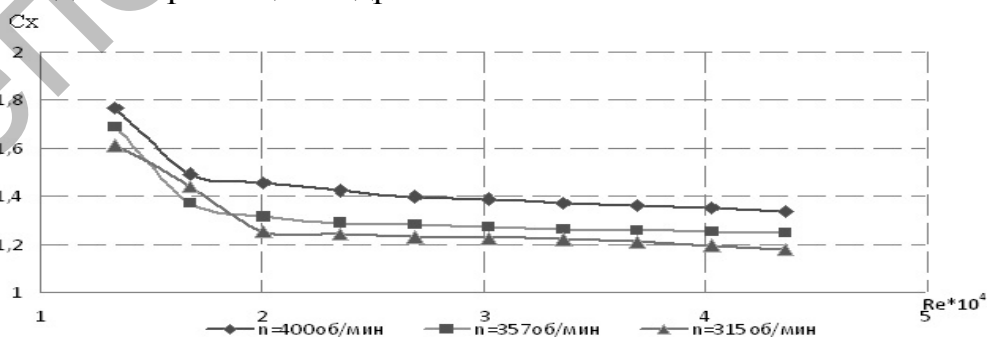


Рисунок 4 - График зависимости коэффициентов лобового сопротивления от числа Рейнольдса. Диаметр цилиндров 5 см, длина каждого цилиндра 20 см

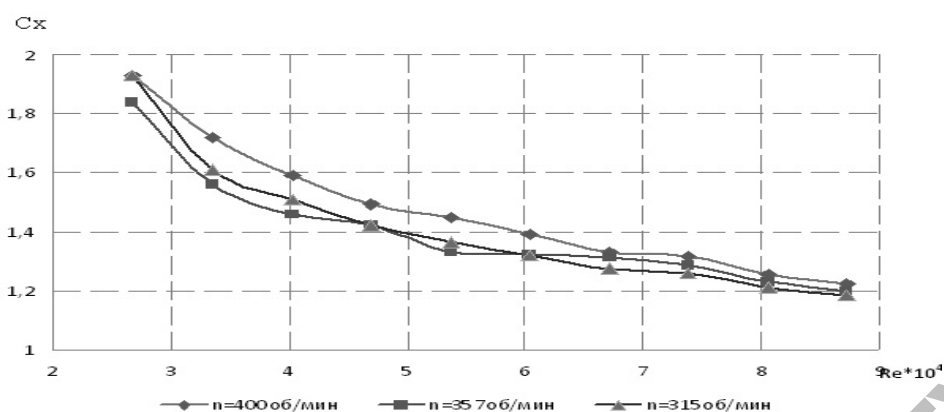


Рисунок 5 - График зависимости коэффициентов лобового сопротивления от числа Рейнольдса. Диаметр цилиндров 10 см, длина каждого цилиндра 20 см

Из рисунков 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 – основная причина образования лобового сопротивления цилиндров. Вращающиеся движения цилиндров приводят к образованию за цилиндрами достаточно объемной вихревой зоны обратных течений, размеры которой зависят от скорости набегающего потока.

Заключение

Из полученных данных исследований аэродинамических характеристик вращающихся цилиндров можно сделать следующие выводы:

- 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 которых увеличение скорости потока практически не влияет, и, как следствие этого, коэффициент лобового сопротивления цилиндров остается практически постоянным.

Литература

1. Мукажанов В.Н. Проблемы и состояние использования возобновляемой энергетики в Казахстане // Вестник АИЭС. – 2008. – №1. – С. 41–47.
2. Ершина А.К. Некоторые вопросы экологии Казахстана // Материалы респуб. научно–практич. конф. "Педагогические аспекты экологического образования и воспитания молодого поколения в свете стратегии "Казахстан – 2030". – Алматы, 1999. – С. 179–181.

3. 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. 78–82.

4. Kusaiynov K., Sakipova S.E. Aerodynamics of the cylinder in a cross flow. // Eurasian Physical Technical Journal. – 2004. – Vol.4, № 1. – P. 71–75.

5. Kusaiynov K., Sakipova S.E., Nikitina L.A. Aerodynamics of the transversally streamlined rotated barrel // Methods of aerophysical research: 12th international conference ICMAR–2004. – Novosibirsk, 2004. – Vol.4. – P. 195–198.

6. Kusaiynov K., Tanasheva N.K., Turgunov M.M., Alibekova A.R. Analysis of aerodynamic characteristics of rotating porous cylinders // Technical Physics. Pleiades Publishing. – 2015. – V.60, № 5. – P. 656–659.

Репозиторий КазНУ