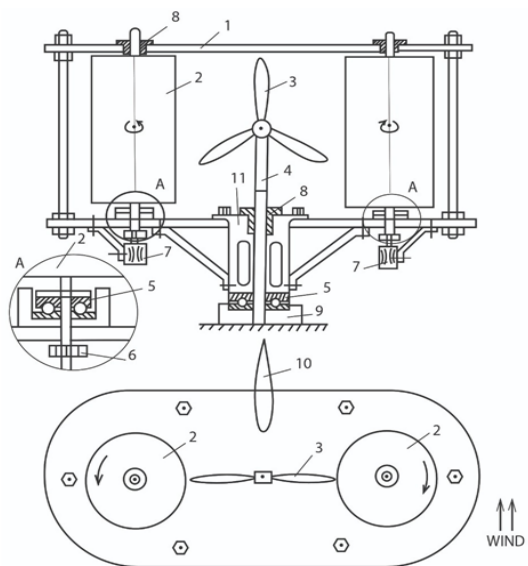


Ветряная турбина с усилителями ветра.



На этом рисунке обозначено: 1-силовая рама усилителя; 2-вращающиеся цилиндры; 3-турбина; 4-башня турбины; 5-опорный подшипник; 6-соединительная муфта; 7-электродвигатель; 8-подшипник скольжения; 9-фундамент; 10-аэродинамический стабилизатор; 11-поворотная муфта усилителя вокруг башни турбины.



Экспериментальная установка для проверки явления ускорения потока воздуха, обтекающего вращающийся цилиндр.

Экспериментальная установка состоит из ускорительного цилиндра 4, верхней и нижней платформы 1,2 для установки

Фото экспериментальной установки для определения степени ускорения ветра перед турбиной вращающимся круговым цилиндром.

цилиндра и двух анемометров 14 для измерения скорости потока около цилиндра и вдали от цилиндра. Привод цилиндра осуществляется от электродвигателя постоянного тока 24 вольт. Питание анемометров 220 вольт с помощью UPS EATON3s 550 . Воздушный поток создаётся вентиляторами. Для воспроизведения воздействия на цилиндр и анемометры открытого свободного потока воздуха экспериментальная установка может устанавливаться либо в поток атмосферного ветра, либо на крыше автомобиля. В последнем случае можно изучать поведение потока вблизи вращающегося цилиндра в широком диапазоне скоростей ветра. Для определения степени ускорения потока цилиндром эксперименты проводятся в следующем порядке. Вначале определяется скорость потока вдали от цилиндра анемометром 10. Показания анемометра усредняются, и фиксируется скорость потока. Затем анемометром 9 измеряется средняя скорость в точке на оси анемометра 9 в условиях близости неподвижного цилиндра. Далее включается электромотор 6 и цилиндр начинает вращаться с оборотами 1050 RPM. Снимаются и усредняются показания анемометра 9. Сравнивая между собой величины скоростей потока, полученные в этих 3-х экспериментах, можно получить степени ускорения потока при поперечном обтекании этим потоком стационарного и вращающегося цилиндра. Если вместо анемометра 9 устанавливать турбину Савониса с тем же диаметром, что и диаметр анемометра, то мощность этой турбины будет увеличиваться прямо пропорционально квадрату степени увеличения скорости потока. Таким образом, результаты экспериментов на этой установке можно использовать для определения реальной циркуляции потока в точке установки турбины.

8.2. Результаты испытаний обтекания вращающегося цилиндра в поперечном потоке воздуха.

Для выявления степени разгона потока воздуха вращающимся цилиндром были проведены испытания на разработанной экспериментальной установке. Поток воздуха создавался вентиляторами. Скорость воздуха вблизи цилиндра измерялась анемометром 9. В свободном потоке скорость измерялась анемометром 10. Показания обоих анемометров усреднялись на интервале скоростей от минимальной до максимальной скорости. Результаты экспериментов приведены в Таблице ниже.

Таблица

1	2	3	4	5	6
1.36	1.65	3.2	$\left(\frac{1.65}{1.36} - 1\right)100 = 21$	$\left(\frac{3.2}{1.36} - 1\right)100 = 135$	$\left(\left(\frac{3.2}{1.36}\right)^2 - 1\right)100 = 454$
1.45	1.84	3.69	$\left(\frac{1.84}{1.45} - 1\right)100 = 27$	$\left(\frac{3.69}{1.36} - 1\right)100 = 154$	$\left(\left(\frac{3.69}{1.45}\right)^2 - 1\right)100 = 548$
2	2.52	4.13	$\left(\frac{2.52}{2} - 1\right)100 = 26$	$\left(\frac{4.13}{2} - 1\right)100 = 107$	$\left(\left(\frac{4.13}{2}\right)^2 - 1\right)100 = 326$
1.46	1.66	2.63	$\left(\frac{1.66}{1.46} - 1\right)100 = 14$	$\left(\frac{2.63}{1.46} - 1\right)100 = 80$	$\left(\left(\frac{2.63}{1.46}\right)^2 - 1\right)100 = 224$
1.64	1.87	3.11	$\left(\frac{1.87}{1.64} - 1\right)100 = 14$	$\left(\frac{3.11}{1.64} - 1\right)100 = 90$	$\left(\left(\frac{3.11}{1.64}\right)^2 - 1\right)100 = 260$
1.72	2.27	3.89	$\left(\frac{2.27}{1.72} - 1\right)100 = 32$	$\left(\frac{3.89}{1.72} - 1\right)100 = 126$	$\left(\left(\frac{3.89}{1.72}\right)^2 - 1\right)100 = 411$
.96	1.16	2.58	$\left(\frac{1.16}{.96} - 1\right)100 = 21$	$\left(\frac{2.58}{.96} - 1\right)100 = 169$	$\left(\left(\frac{2.58}{.96}\right)^2 - 1\right)100 = 624$
1.09	1.28	2.49	$\left(\frac{1.28}{1.09} - 1\right)100 = 17$	$\left(\frac{2.49}{1.09} - 1\right)100 = 128$	$\left(\left(\frac{2.49}{1.09}\right)^2 - 1\right)100 = 422$
1.16	1.37	2.57	$\left(\frac{1.37}{1.16} - 1\right)100 = 18$	$\left(\frac{2.57}{1.16} - 1\right)100 = 122$	$\left(\left(\frac{2.57}{1.16}\right)^2 - 1\right)100 = 391$
1.12	1.47	2.8	$\left(\frac{1.47}{1.12} - 1\right)100 = 31$	$\left(\frac{2.8}{1.12} - 1\right)100 = 150$	$\left(\left(\frac{2.8}{1.12}\right)^2 - 1\right)100 = 525$
1.35	1.73	2.93	$\left(\frac{1.73}{1.35} - 1\right)100 = 28$	$\left(\frac{2.93}{1.35} - 1\right)100 = 117$	$\left(\left(\frac{2.93}{1.35}\right)^2 - 1\right)100 = 371$
1.46	1.87	2.98	$\left(\frac{1.87}{1.46} - 1\right)100 = 28$	$\left(\frac{2.98}{1.46} - 1\right)100 = 104$	$\left(\left(\frac{2.98}{1.46}\right)^2 - 1\right)100 = 317$
1.4	1.94	3.05	$\left(\frac{1.87}{1.4} - 1\right)100 = 34$	$\left(\frac{3.05}{1.4} - 1\right)100 = 118$	$\left(\left(\frac{3.05}{1.4}\right)^2 - 1\right)100 = 375$
1.52	1.97	3.03	$\left(\frac{1.97}{1.52} - 1\right)100 = 30$	$\left(\frac{3.03}{1.52} - 1\right)100 = 99$	$\left(\left(\frac{3.03}{1.52}\right)^2 - 1\right)100 = 297$
1.69	1.96	3.05	$\left(\frac{1.96}{1.69} - 1\right)100 = 16$	$\left(\frac{3.05}{1.69} - 1\right)100 = 80$	$\left(\left(\frac{3.05}{1.69}\right)^2 - 1\right)100 = 226$

В этой Таблице обозначено:

- 1 – Усреднённые показания анемометра 10 без цилиндра (свободный поток), $\frac{м}{с}$;
- 2 – Усреднённые показания анемометра 9 со стационарным (не вращающимся) цилиндром, $\frac{м}{с}$;
- 3 – Усреднённые показания анемометра 9 с вращающимся цилиндром, $\frac{м}{с}$;
- 4 – Процентное увеличение скорости потока стационарным цилиндром, %;
- 5 – Процентное увеличение скорости потока вращающимся цилиндром, %;
- 6 – Суммарное процентное увеличение мощности турбины типа Савониса в случае установки её вместо анемометра 9, %;

Эксперименты на разработанной установке позволяют определять приращения скорости потока на оси вращения анемометра при обтекании стационарного (не вращающегося) цилиндра и при обтекании вращающегося цилиндра отдельно. С другой стороны, эти составляющие приращений скоростей определяются теоретически, если известна величина циркуляции скорости, которую вращающийся цилиндр передаёт в обтекающий его поток воздуха. Будем называть эту циркуляцию реальной. Для каждого эксперимента реальную циркуляцию можно определить по величине приращения скорости только от вращения цилиндра. Покажем, как это можно сделать.

Обратимся к расчётной схеме обтекания вращающегося цилиндра. На этой схеме обозначено: т. O_1 – ось вращения цилиндра; т. O – ось вращения анемометра 9; тт. 1 и 2 – центры чашек анемометра 9; Расстояние между тт. 1 и 2 равно 200 мм. Расстояние от поверхности цилиндра до т. 1 равно 10 мм. Диаметр цилиндра равен $D = .25$ м. Поэтому расстояние между центрами цилиндра и анемометра будет равно $l = .125 + .1 + .01 = .235$ м. Из теории известно, что скорость потока в точке O при вращении цилиндра будет определяться уравнением:

$$V = wind + wind \frac{\left(\frac{D}{2}\right)^2}{l^2} - \frac{\pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 n * k}{30(y-l)}; \quad wind - \text{ветер в } \frac{м}{с}; n = RPM;$$

Первое слагаемое в этом уравнении – это скорость ветра без цилиндра, определяется в экспериментах; второе слагаемое – это приращение скорости ветра в точке O при обтекании неподвижного (стационарного) цилиндра; третье слагаемое – это приращение скорости ветра в точке O от вращения цилиндра. Сумма этих трёх слагаемых – это скорость ветра в точке O при вращении цилиндра в поперечном потоке ветра. Все эти три составляющие скорости определяются из эксперимента и сравниваются с теоретическими значениями. Второе слагаемое представим так:

$$\Delta V_{n=0} = wind \frac{\left(\frac{D}{2}\right)^2}{(y-l)^2}.$$

$$\text{Поэтому } \left(\Delta V_{n=0}\right)_{y=0} = wind \frac{.125^2}{.235^2} = 0.283 \, wind.$$

Третье слагаемое представим так:

$$\Delta V_n = - \frac{\pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 n^* k}{30(y-l)} = \frac{3.14 \cdot 125^2 \cdot 1030 \cdot k}{30 \cdot 235} = 7.168k$$

Чтобы определить приращение скорости ветра в точке O от вращения цилиндра надо для каждого эксперимента определить величину k — долю циркуляции скорости поверхности цилиндра, которую цилиндр передаёт в поток ветра.

$$3.2 - 1.65 = 7.168k; \quad k = .216;$$

$$3.69 - 1.84 = 7.168k; \quad k = .258;$$

$$4.13 - 2.52 = 7.168k; \quad k = .225;$$

$$2.63 - 1.66 = 7.168k; \quad k = .135;$$

$$3.11 - 1.87 = 7.168k; \quad k = .173;$$

$$3.89 - 2.27 = 7.168k; \quad k = .226;$$

$$2.58 - 1.16 = 7.168k; \quad k = .198;$$

$$2.49 - 1.28 = 7.168k; \quad k = .169;$$

$$2.57 - 1.37 = 7.168k; \quad k = .167;$$

$$2.8 - 1.47 = 7.168k; \quad k = .185;$$

$$2.93 - 1.73 = 7.168k; \quad k = .167;$$

$$2.98 - 1.87 = 7.168k; \quad k = .155;$$

$$3.05 - 1.87 = 7.168k; \quad k = .155;$$

$$3.03 - 1.97 = 7.168k; \quad k = .148;$$

$$3.05 - 1.96 = 7.168k; \quad k = .152;$$

Осреднённое значение величины k для всех экспериментов: $k_{cp} = .183$. По

экспериментам в работе [11, Figure 16] получено $k = .263$. Это хороший результат для наших экспериментов, который подтверждает правильность методики проведения экспериментов по изучению обтекания вращающегося цилиндра для точек, достаточно далеко расположенных от поверхности цилиндра. Решение этой задача очень актуально для ветряных турбин, так как открывает новую технологию извлечения энергии из энергии движущегося воздуха.

Сравним теоретические и экспериментальные увеличения скорости обтекания стационарного цилиндра в месте установки анемометра 9.

Теоретические приращения, м/с	Экспериментальные приращения, м/с
-------------------------------	-----------------------------------

$.283 * 1.36 = .385$	$1.65 - 1.36 = .29$
$.283 * 1.45 = .41$	$1.84 - 1.45 = .39$
$.283 * 2 = .566$	$2.52 - 2 = .52$
$.283 * 1.46 = .41$	$1.66 - 1.46 = .2$
$.283 * 1.64 = .46$	$1.87 - 1.64 = .23$
$.283 * 1.72 = .49$	$2.27 - 1.72 = .55$
$.283 * .96 = .272$	$1.16 - .96 = .2$
$.283 * 1.09 = .308$	$1.28 - 1.09 = .19$
$.283 * 1.16 = .328$	$1.37 - 1.16 = .21$
$.283 * 1.12 = .317$	$1.47 - 1.12 = .35$
$.283 * 1.35 = .382$	$1.73 - 1.35 = .38$
$.283 * 1.46 = .413$	$1.87 - 1.46 = .41$
$.283 * 1.4 = .396$	$1.94 - 1.4 = .54$
$.283 * 1.52 = .43$	$1.97 - 1.52 = .45$
$.283 * 1.69 = .478$	$1.96 - 1.69 = .27$

Средне теоретическое приращение $= .403 \frac{M}{c}$. Средне экспериментальное приращение $= .345 \frac{M}{c}$. Так как средний ветер в рассматриваемых экспериментах $1.42 \frac{M}{c}$, то среднее процентное увеличение мощности ветра при обтекании стационарного цилиндра будет следующим:

$$\left(\left(\frac{1.765}{1.42} \right)^3 - 1 \right) 100\% = 92\%$$

Из этого результата следует, что в усилителях ветра предлагаемой конструкции можно использовать стационарные цилиндры вместо вращающихся цилиндров. Это значительно упрощает конструкцию усилителя и, следовательно, значительно уменьшается стоимость постройки, установки и эксплуатации усилителя ветра.