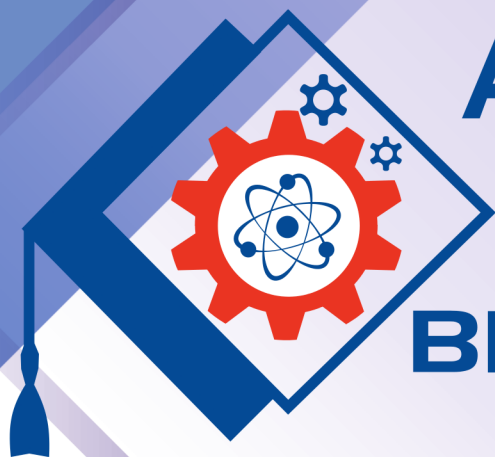


**Влияние аэродинамических свойств лопастей
на работу ветрогенератора**



**Ассоциация
СФ МЭИ
ВЫПУСКНИКОВ**



**ФОНД
ПРЕЗИДЕНТСКИХ
ГРАНТОВ**



**МЕТОДИЧЕСКИЕ
УКАЗАНИЯ**

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Работа ветрогенератора определяется характером взаимодействия вращающейся лопасти с набегающим перпендикулярно (или под некоторым углом) к плоскости вращения потоком воздуха.

В простейшем случае лопасть имеет форму крыла, и при обтекании ее потоком воздуха возникает подъемная сила, имеющая составляющую, направленную в плоскости вращения лопастей. Эта сила создает вращательный момент, приводящий лопасти в движение (рис.1)

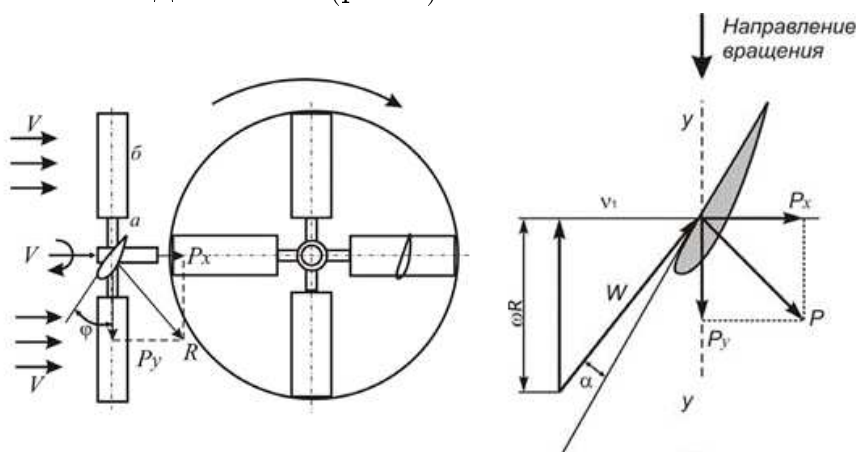


Рис. 1: Силы, действующие на лопасть ветрогенератора

Важную роль в динамике ветроколеса играет *угол атаки* α , который, в свою очередь, зависит от *угла заклинивания* φ , то есть угла, под которым лопасть установлена к плоскости вращения.

Анализ показывает, что максимальное значение сила P_y , приводящая ветроколесо в движение, имеет при некотором определенном угле атаки.

При этом, угол атаки для элементов лопасти, расположенных на различном удалении от оси вращения различен, из-за того, что линейная скорость лопасти возрастает с ростом расстояния, а скорость потока воздуха в первом приближении постоянна.

Поэтому современные крылья ветрогенераторов имеют так называемую *крутку*, то есть угол заклинивания (или угол установки) в них меняется по мере удаления от оси вращения.

Так как линейная скорость вращения возрастает, то для поддержания оптимального значения угла атаки необходимо *уменьшать* угол заклинивания.

Правильные углы заклинивания лопасти при хорошем аэродинамическом качестве профиля, а также ширине, соответствующей заданной быстроходности, обеспечивают высокий коэффициент использования энергии ветра. У хорошо выполненных моделей он достигает 46%.

При увеличении числа лопастей возрастает крутящий момент, но при этом возрастает так называемый *коэффициент заполнения* - то есть доля площади круга вращения ветроколеса, закрытая лопастями.

Каждая новая лопасть вносит вклад не только в крутящий момент, но и в момент силы трения, который возникает при обтекании воздухом ее поверхности.

Поскольку трение в газах пропорционально квадрату скорости, то многолопастные ветроколеса имеют относительно низкую рабочую частоту вращения.

Это ухудшает параметры работы ветрогенератора. Рабочие колеса с большим числом лопастей применяются для прямого привода насосов, где не важна скорость вращения, но большую роль играет момент вращения.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1. Собрать установку в конфигурации "Изучение ветроэнергетики". **ВНИМАНИЕ:** запрещается прикладывать чрезмерные усилия для закрепления разъема, соединяющего модуль управления с генератором воздушного потока, так как это как может повредить соединительные элементы. **ВНИМАНИЕ:** При сборке установки расположить ветрогенератор так, чтобы непосредственно за ним не располагались легкоподвижные предметы, которые могут быть унесены потоком воздуха!
2. Установить лопасти ветрогенератора в положение, соответствующее первому значению угла заклинивания (рис.2).



Рис. 2: Указатель угла заклинивания лопастей

3. Расположить генератор воздушного потока таким образом, чтобы стрелка на его основании была направлена вдоль белой черты на основании ветрогенератора.
4. Убедиться, что регулятор скорости воздушного потока на модуле управления установлен в крайнее левое положение, соответствующее нулевому значению скорости.



Рис. 3: Органы управления

5. Включить установку. При правильной сборке на пульте управления загорится белый светодиод 2.
6. Включить термоанемометр нажатием кнопки 3.
7. Используя регулятор нагрузки 4 модуля управления, установить значение нагрузки в положение "отключена", о чем будет свидетельствовать свечение соответствующего зеленого светодиода.
8. Плавно вращая регулятор добится устойчивого вращения лопастей ветрогенератора.
9. Занести в таблицу 1 значение скорости воздушного потока.

Таблица 1: Зависимость частоты вращения ветрогенератора и напряжения холостого хода от угла заклинивания лопастей

Угол атаки лопасти	1	2	3	4	5
Скорость воздушного потока, м/с					
Частота вращения ветрогенератора, об/мин					
Напряжение холостого хода, В					
Скорость воздушного потока, м/с					
Частота вращения ветрогенератора, об/мин					
Напряжение холостого хода, В					
Скорость воздушного потока, м/с					
Частота вращения ветрогенератора, об/мин					
Напряжение холостого хода, В					

10. Занести в таблицу 1 значение частоты вращения ветрогенератора и напряжение холостого хода.
11. Выключить ветрогенератор, затем выключить установку. **ВНИМАНИЕ:** запрещается производить смену угла заклинивания лопастей ветрогенератора при включенной установке!
12. Установить лопасти ветрогенератора в положение 2.
13. Включить установку
14. Вращением регулятора скорости воздушного потока установить скорость воздушного потока, соответствующее первому опыту.
15. Занести в таблицу 1 значение частоты вращения ветрогенератора и напряжения холостого хода.
16. Выключить ветрогенератор, затем выключить установку.
17. Повторить пункты 12-16 для всех углов атаки.
18. Установить лопасти ветрогенератора в положение, соответствующее первому углу атаки.
19. Включить установку.
20. Используя регулятор скорости воздушного потока увеличить скорость потока воздуха ориентировочно на 10% по сравнению с установленной в первом опыте.
21. Повторить пункты 9-16.
22. Повторить эксперимент, еще раз увеличив скорость воздушного потока на 10% относительно использовавшейся во втором эксперименте.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

1. Используя данные, приведенные в таблице 1, построить график зависимости частоты вращения ветрогенератора от угла заклинивания лопастей при различных значениях скорости воздушного потока.

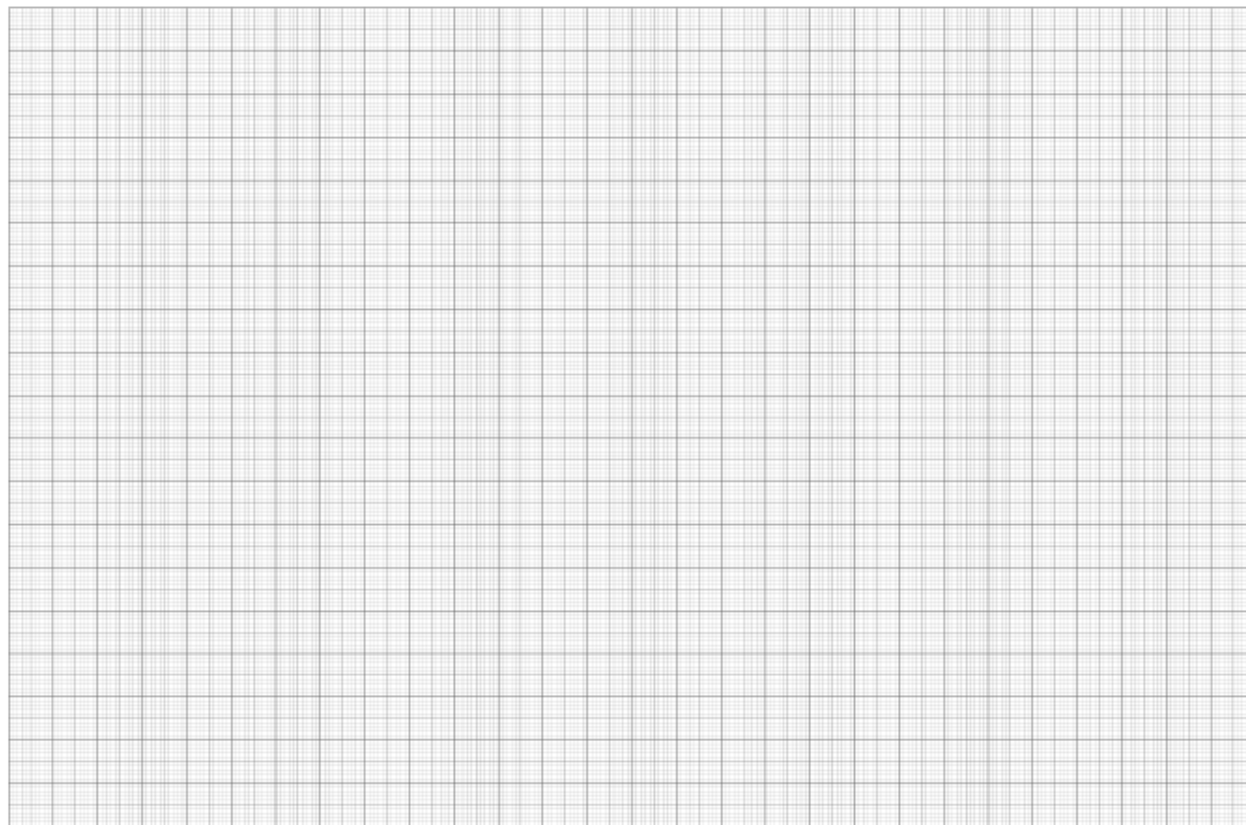


Рис. 4: Зависимость частоты вращения ветрогенератора от угла атаки при различных скоростях воздушного потока

- Используя данные, приведенные в таблице 1, построить график зависимости напряжения холостого хода ветрогенератора от угла атаки лопастей при различных значениях скорости воздушного потока.

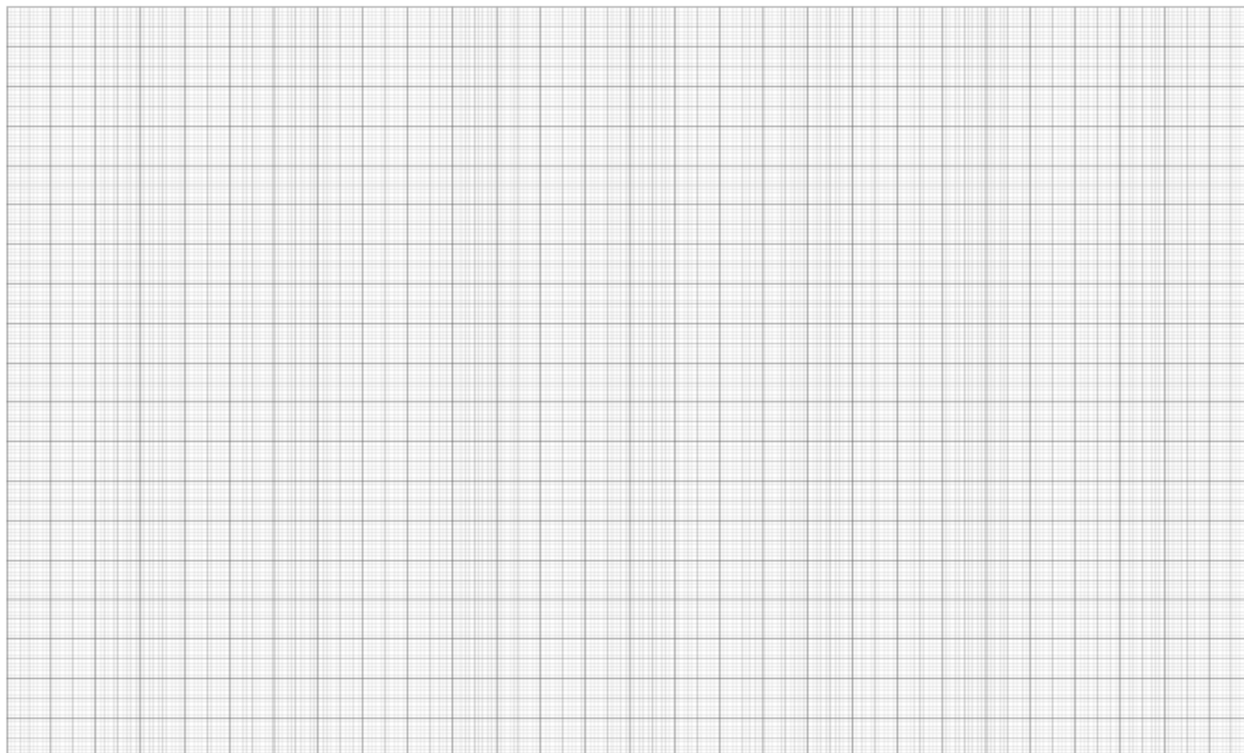


Рис. 5: Зависимость частоты напряжения холостого хода ветрогенератора от угла атаки при различных скоростях воздушного потока