

УДК 621.311.245

К.А. ОВСЯНИКОВ, бакалавр гр. БАЭ-22-01 (УГНТУ)
Д.З. ГАЛЕЕВ, бакалавр гр. БАЭ-22-01 (УГНТУ)
г. Уфа

ВЛИЯНИЕ КОЛИЧЕСТВА И ФОРМЫ ЛОПАСТЕЙ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЕТРОТУРБИН

Аннотация

В работе рассмотрено влияние количества и формы лопастей на эффективность ветротурбин. Проанализированы основные геометрические параметры – профиль, угол атаки, крутка, длина и ширина лопастей. Показано, что оптимальной конструкцией являются трёхлопастные турбины, обеспечивающие высокий коэффициент использования энергии ветра ($C_p = 0,45-0,5$) и устойчивую работу.

Ключевые слова: ветротурбина, лопасть, коэффициент использования энергии ветра и ветроэнергетическая установка.

Ветроэнергетика является одной из наиболее перспективных областей возобновляемой энергетики. Главным элементом ветроэнергетической установки (ВЭУ) является ветротурбина, преобразующая кинетическую энергию ветра в механическую, а затем в электрическую энергию [1]. Эффективность данного преобразования во многом зависит от аэродинамических характеристик ротора, в частности от количества и формы лопастей. Правильный выбор этих параметров обеспечивает максимальное использование энергии ветра, повышение устойчивости работы турбины и снижение нагрузок на конструкцию при изменяющихся погодных условиях. Количество лопастей ротора оказывает прямое влияние на аэродинамические свойства ветроустановки, её стабильность и коэффициент использования энергии ветра. Рассмотрим влияние различных конфигураций.

Однолопастные конструкции отличаются простотой и низкой стоимостью (рис.1). При одинаковом диаметре ротора они вращаются с высокой частотой, что позволяет использовать компактные генераторы [2]. Однако из-за дисбаланса масс и сильных вибраций такие турбины требуют массивных противовесов и сложных систем балансировки. Их коэффициент использования энергии ветра не превышает 0,25-0,3, а механическая надёжность – низкая.

Двухлопастные установки обладают более высоким коэффициентом использования энергии ветра (около 0,35-0,4) и меньшей стоимостью по сравнению с трёхлопастными (рис.1). Они легче по массе и проще в транспортировке, но имеют высокий уровень шума, аэродинамические колеба-

ния при изменении угла атаки и требуют точного регулирования шага лопастей. Такие конструкции применяются в районах с ограниченными ветровыми скоростями или на малых установках [3].

Три лопасти обеспечивают оптимальный баланс между аэродинамической эффективностью, устойчивостью вращения и механической прочностью (рис.1). Трёхлопастные ВЭУ работают более плавно, создают минимальные вибрации и имеют высокий коэффициент использования энергии ветра – 0,45-0,5, что близко к теоретическому пределу по закону Беца (0,593). Кроме того, трёхлопастные турбины производят меньше шума и имеют эстетичный внешний вид, что также важно для массового внедрения.

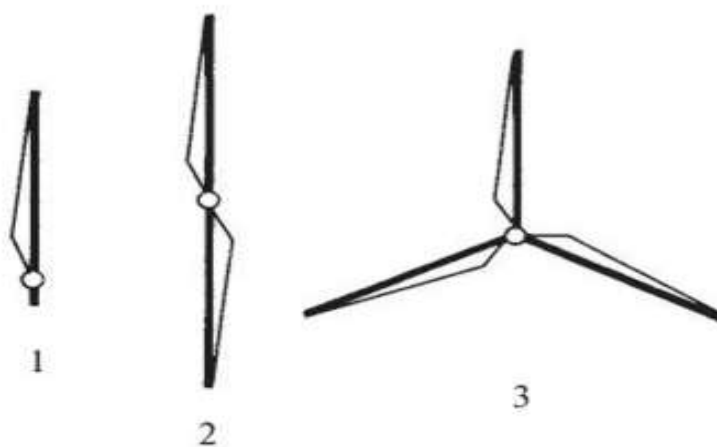


Рис. 1. Количество лопастей ротора для ветроэнергетической установки [4]: 1 – однолопастное колесо; 2 – двухлопастное колесо; 3 – трехлопастное колесо.

При обтекании лопасти ветровым потоком скорость воздуха над выпуклой поверхностью увеличивается, давление уменьшается, а под лопастью, наоборот, давление выше. В результате возникает сила, перпендикулярная направлению потока, – подъемная сила, создающая вращающий момент на валу. Профиль лопасти обычно выбирается из серий NACA (National Advisory Committee for Aeronautics), например NACA 4412, NACA 63-618.

Угол атаки – это угол между направлением потока и хордой профиля. Оптимальный угол составляет $5-10^\circ$, при котором достигается максимальное отношение подъёмной силы к сопротивлению. При увеличении угла атаки свыше критического ($\sim 15^\circ$) происходит срыв потока, что резко снижает коэффициент использования энергии ветра [5]. Крутка лопасти представляет собой постепенное изменение угла атаки от корня к концу лопасти. Это необходимо, поскольку скорость движения концов лопасти больше, чем у основания. Благодаря крутке каждая часть лопасти работает

в оптимальном режиме, что обеспечивает равномерное распределение нагрузки по всей длине.

Таким образом, проектирование высокоэффективной ВЭУ требует комплексного подхода, при котором трехлопастная конфигурация ротора сочетается с тщательно рассчитанной геометрией лопастей, включая их профиль, крутку и размеры. Это позволяет максимально приблизиться к теоретическому закону Беца, обеспечивая высокую энергоэффективность, устойчивость и долговечность ветроэнергетической установки [6].

Список литературы:

1. Патент на полезную модель № 219734 U1 Российская Федерация, МПК H02P 9/00. Ветроэнергетическое двухгенераторное устройство для выработки электроэнергии в расширенном диапазоне ветровых скоростей : № 2023105593 : заявл. 09.03.2023 : опубл. 02.08.2023 / Р. Р. Саттаров, А. В. Махиянов, А. А. Евдокимов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет».

2. Патент на полезную модель № 228169 U1 Российская Федерация, МПК F03D 9/25, F03D 7/06, F03D 3/06. Горизонтально-турбинный девятифазный ветрогенератор : № 2024107865 : заявл. 26.03.2024 : опубл. 16.08.2024 / Р. Р. Саттаров, А. В. Махиянов, Д. Н. Крылов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет».

3. Патент на полезную модель № 230315 U1 Российская Федерация, МПК F03D 9/30, F03D 3/00, F03D 7/06. Аэростатное ветроэнергетическое устройство с девятифазным генератором : № 2024109988 : заявл. 11.04.2024 : опубл. 26.11.2024 / Р. Р. Саттаров, А. В. Махиянов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет».

4. Ветроэнергетические установки: сайт. – URL : https://ozlib.com/837446/tehnika/vetroenergeticheskie_ustanovki?utm_medium=organic&utm_source=yandexsmartcamera (дата обращения: 23.10.2025). – Текст : электронный.

5. Патент на полезную модель № 227868 U1 Российская Федерация, МПК H02P 9/10, F03D 9/30. Аэростатно-ветроэнергетическое устройство : № 2024104806 : заявл. 26.02.2024 : опубл. 07.08.2024 / Р. Р. Саттаров, А. В. Махиянов, И. И. Балгазин ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет».

6. Состояние и перспективы ветроэнергетики / С. В. Захаров, Н. Н. Виноградов, Е. Ю. Мирошник, Д. Е. Кузьмин // Инновационные технологии в АПК, как фактор развития науки в современных условиях : Сборник VI Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию со дня рождения доктора технических наук, профессора Станислава Антоновича Корниловича (9 декабря 1931 г. - 25 октября 2020 г.), Омск, 18 ноября 2021 года. – Омск: Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, 2021. – С. 57-61.

Информация об авторах:

Овсяников Константин Андреевич, бакалавр гр. БАЭ-22-01, УГНТУ, 450064, г. Уфа, ул. Космонавтов, д. 1, kostiaovsan0301@gmail.com

Галеев Данил Зинфирович, бакалавр гр. БАЭ-22-01, УГНТУ, 450064, г. Уфа, ул. Космонавтов, д. 1, galeevdanil0309@gmail.com