

ИССЛЕДОВАНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНО-ОСЕВОЙ ТРЕХЛОПАСТНОЙ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

Ф.А. Ерохин

Филиал НИУ «МЭИ» в г. Волжском
404110 г. Волжский, Волгоградская обл., пр. Ленина, д. 69
Тел.: (8443) 210160, факс: (8443) 210166, e-mail: vfmei@vfmei.ru

Заключение совета рецензентов: 03.09.15 Заключение совета экспертов: 06.09.15 Принято к публикации: 09.09.15

На основе экспериментальных исследований определены показатели эффективности работы горизонтально-осевой трехлопастной ветроэнергетической установки. Получена зависимость коэффициента использования энергии ветра от быстроходности. Данная характеристика является наиболее важной для ветроэнергетической установки, поскольку показывает связь между двумя основными безразмерными параметрами для ветроэнергетической установки.

Ключевые слова: ветроэнергетическая установка, коэффициент использования энергии ветра, быстроходность.

RESEARCHES OF HORIZONTAL AXES THREE-BLADES WIND TURBINE

F.A. Erokhin

Volzhsy Branch of the National Research University «Moscow Power Engineering Institute»
69 Lenin str., Volzhsky, Volgograd reg., 404110, Russia
Tel.: (8443) 210160, fax: (8443) 210166, e-mail: vfmei@vfmei.ru

Referred: 03.09.15 Expertise: 06.09.15 Accepted: 09.09.15

On the basis of experimental studies determined the performance of horizontal axis three-bladed wind turbines. The dependence of the coefficient of utilization of wind energy from speed factor determined. This characteristic is most important for wind turbines, because it shows the relationship between the two main dimensionless parameters for the wind power plant.

Keywords: wind turbine, power efficiency, specific speed.



Федор Андреевич
Ерохин
Fedor A. Erokhin

Сведения об авторе: зав. лабораторией ВФ МЭИ.
Образование: ВФ МЭИ (2015).
Область научных интересов: нетрадиционные и возобновляемые источники энергии.
Публикации: 15.

Information about author: head of laboratory, Volzhsky Branch of Moscow Power Engineering Institute.

Education: Volzhsky Branch of Moscow Power Engineering Institute (2015).

Research area: alternative and renewable energy sources.

Publications: 15.

Современная ветроэнергетическая установка (ВЭУ) представляет собой сложную систему, которая состоит из ветродвигателя, преобразующего кинетическую энергию ветрового потока в механическую, электрического генератора, приемников электрической энергии, системы автоматического управления и защиты. Важно, чтобы были условия, обеспечивающие наиболее эффективное использование возможной выработки энергии при всех режимах работы.

Для оценки эффективности работы ветроколеса (ВК) экспериментальным путем необходимо знать его радиус, скорость ветра, частоту вращения и мощность. Прямое измерение механической мощности ВК представляет собой довольно непростую задачу. На практике для определения мощности ветроэнергетической установки измеряют электрическую мощность на клеммах генератора, напряжение U и силу тока I на электрогенераторе, а мощность P вычисляют по формулам.

Полученное значение характеризует мощность всей ветровой установки, т.е. учитывает КПД генератора, коэффициент использования энергии ветра (КИЭВ) ветроколеса или коэффициент мощности, потери, связанные с неравномерностью (турбулентными пульсациями) потока воздуха, потери на трение в подшипниках и т.д.

Были проведены эксперименты с горизонтально-осевой трехлопастной ветроэнергетической установкой мощностью 2 кВт, расположенной на полигоне по исследованию альтернативных источников энергии филиала МЭИ в г. Волжском [1]. Паспортные характеристики данной установки представлены в табл. 1.

Таблица 1
Паспортные характеристики ВЭУ 2 кВт

Table 1
Passport specifications of the 2 kW wind turbine

Параметр	Значение
Количество лопастей, шт.	3
Номинальная мощность, Вт	2000
Максимальная мощность, Вт	2800
Радиус ветроколеса, м	1,8
Номинальная частота вращения ротора, об/мин	400
Высота мачты, м	12
Номинальное напряжение, В	48
Оптимальная скорость ветра, м/с	10
Диапазон ветра генерации, м/с	3-35
Минимальная скорость ветра, при которой стартует ветроколесо, м/с	2,5

Полигон обладает всеми необходимыми средствами измерений для проведения экспериментов. Информационно-измерительная система полигона позволяет обрабатывать экспериментальные данные на ЭВМ. Эксперименты проводились с учетом данных метеорологической станции, расположенной на полигоне филиала. Для проведения экспериментов была использована информационно-измерительная и управляющая система полигона, запущенная в 2013 г. [2]. Целью экспериментов было определение коэффициента использования энергии ветра, быстроходности и построение экспериментально полученной зависимости коэффициента мощности от скорости ветра и быстроходности. Диапазон скоростей ветра для экспериментов выбран от 3 до 12 м/с, поскольку именно в этом диапазоне происходит выработка электроэнергии большую часть времени работы ВЭУ.

Для обработки результатов экспериментов и расчетов потребуются следующие зависимости. Мощность ВЭУ определяется по формуле [3]

$$P = \pi R^2 \xi \frac{\rho v^3}{2}, \quad (1)$$

где P – мощность ВЭУ, Вт; R – радиус ветроколеса, м; ρ – плотность воздуха, кг/м³; v – скорость ветра, м/с; ξ – коэффициент использования энергии ветра.

Быстроходность найдем по следующему выражению [4]:

$$Z = \frac{\omega R}{v} = \frac{2\pi f R}{60v}, \quad (2)$$

где ω – угловая скорость вращения, Гц; f – частота вращения, об/мин.

Для сравнения теоретически и экспериментально полученных значений мощности рассчитаем коэффициент использования энергии ветра как отношение энергии, воспринятой ветроколесом и преобразованной в работу, к полной энергии потока. Для исследуемой ВЭУ можно найти коэффициент использования энергии ветра по формуле [2]

$$\xi = \frac{2P}{A\rho v^3} = \frac{8P}{\pi d^2 \rho v^3} = \frac{8 \cdot 2000}{3,14 \cdot 3,6^2 \cdot 1,27 \cdot 10^3} = 0,309, \quad (3)$$

где A – ометаемая ветроколесом площадь, м²; d – диаметр ветроколеса, м.

Применяя полученный по (3) коэффициент использования энергии ветра, рассчитаем мощность для диапазона скоростей ветра от 3 до 12 м/с. Используя данные, полученные в экспериментах, рассчитаем экспериментальные значения коэффициента мощности по (3), а также значения быстроходности по (2). Данные, полученные в ходе экспериментов, и результаты их обработки сведены в табл. 2.

Таблица 2
Результаты обработки экспериментальных данных
Table 2
Results of experimental data processing

Скорость ветра v , м/с	Электрическая мощность P , Вт	Частота вращения f , об/мин	Быстроходность Z	Коэффициент использования энергии ветра, ξ
3	33	221	13,886	0,200
4	90	293	13,807	0,233
5	220	327	12,328	0,292
6	398	356	11,184	0,307
7	621	367	9,883	0,296
8	960	379	8,930	0,308
9	1333	388	8,126	0,299
10	1859	394	7,427	0,304
11	2338	397	6,803	0,288
12	2740	402	6,315	0,260

На рис. 1 отображена зависимость мощности от скорости ветра.

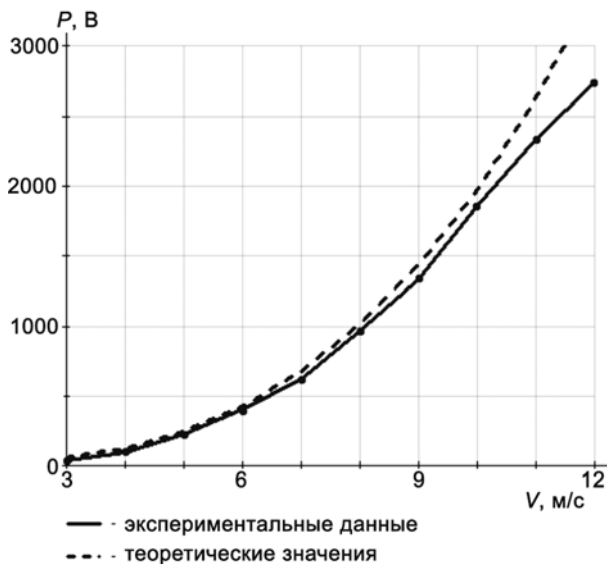


Рис. 1. Зависимость мощности ВЭУ от скорости ветра
Fig. 1. The dependence of the capacity of wind turbines on the wind speed

Из графика видно, что экспериментальные данные с достаточной точностью совпадают с теоретически полученной зависимостью мощности ВЭУ от скорости ветра. Спад выработки энергии при боль-

ших скоростях ветра может быть связан со срабатыванием системы защиты от сильного ветра, которая выводит ветроколесо из положения, перпендикулярного ветровому потоку.

На рис. 2 приведен график зависимости коэффициента мощности от скорости ветра.

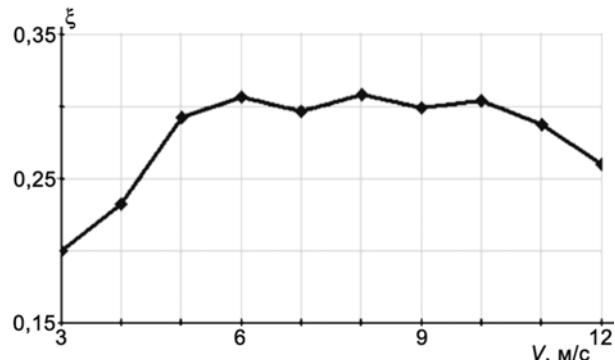


Рис. 2. Зависимость коэффициента мощности от скорости ветра
Fig. 2. The dependence of power efficiency on wind speed

Из графика видно, что ветроколесо выходит на значения, близкие к теоретическим, начиная со скоростей 5,5 м/с и в диапазоне от 6 до 10 м/с колеблется вблизи от теоретически рассчитанного значения. Дальнейшее уменьшение значения коэффициента мощности при скорости более 10 м/с может быть связано с началом срабатывания системы защиты от сильного ветра.

Наибольший интерес представляет зависимость двух безразмерных величин, характеризующих эффективность работы ветроэнергетической установки, а именно, зависимость коэффициента использования энергии ветра от быстроходности ветроколеса (рис. 3).

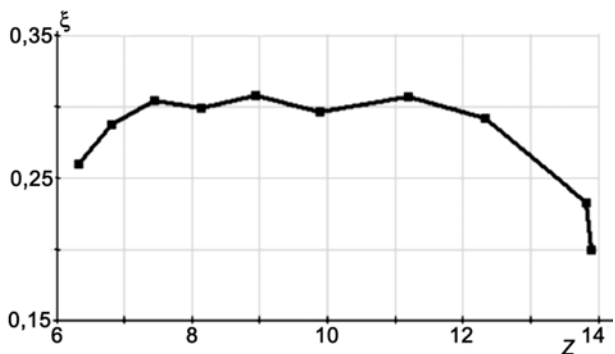


Рис. 3. Зависимость коэффициента мощности от быстроходности ветроколеса
Fig. 3. The dependence of the power efficiency on specific speed

Кривая на рис. 3 представляет собой зависимость двух основных безразмерных показателей работы ветроэнергетической установки. Коэффициент мощности показывает долю полезно используемой энер-

гии воздушного потока, а быстроходность характеризует безразмерную скорость вращения ветроколеса. Таким образом, имея такую экспериментально определенную зависимость для конкретной ветроэнергетической установки, можно определить частоту вращения для каждой скорости ветра, при которой коэффициент использования энергии ветра будет наибольшим. Данная задача актуальна для крупных ветроэнергетических установок, а также для малых и средних ветроэнергетических установок с регулируемой частотой вращения. Изменяя угол поворота лопасти в зависимости от скорости ветрового потока, можно добиться максимально возможной выработки электрической энергии. Для крупных ветроэнергетических установок это особенно актуально, поскольку при большой мощности даже небольшое снижение коэффициента мощности приводит к существенной недопроизводке энергии.

Для исследуемой ветроэнергетической установки наибольший коэффициент использования энергии ветра наблюдается при значении быстроходности 9. Это значит, что наиболее эффективна данная ветроэнергетическая установка при соотношении скорости движения конца лопасти к скорости ветра, равном 9. При испытании новых спроектированных ветроколес

следует провести подобные эксперименты и на основании их скорректировать профиль лопасти и вновь провести испытания. Данную ветроэнергетическую установку можно считать достаточно эффективной, поскольку кривая, характеризующая зависимость КИЭВ от быстроходности, не имеет ярко выраженного максимума и работает с близким к максимальному КИЭВ для данной ветроустановки при быстроходности от 7 до 12.

Выводы

Экспериментально получена зависимость коэффициента использования энергии ветра от величины быстроходности ветроколеса для трехлопастной горизонтально-осевой ветроэнергетической установки мощностью 2 кВт полигона по исследованию альтернативных источников энергии. Зависимость двух основных безразмерных показателей эффективности работы для конкретной ветроэнергетической установки позволяет определить оптимальную частоту вращения ветроколеса для каждой скорости ветра, при которой коэффициент использования энергии ветра будет наибольшим.

Список литературы

1. Кузеванов В.С., Болдырев И.А. Исследование эффективности функционирования комбинации нетрадиционных и возобновляемых источников электрической и тепловой энергии // Альтернативная энергетика и экология – ISJAE. 2013. №14. С. 49-51.
2. Курьянов В.Н., Курьянова Е.В. Планирование ремонтов ветрогенераторов по показаниям измерительной системы контроля выработки и потерь электроэнергии // Альтернативная энергетика и экология – ISJAE. 2013. № 14. С. 36-40.
3. Шефтер Я.И. Использование энергии ветра. М.: Энергоатомиздат, 1983.
4. Фатеев Е.М. Ветро двигатели и ветроустановки. М.: ОГИЗ, 1948.

References

1. Kuzevanov V.S., Boldyrev I.A. Issledovanie effektivnosti funkcionirovaniâ kombinacii netracionnyh i vozobnovlâemyh istočnikov êlektričeskoj i teplovoj ênergii // Al'ternativnaâ ênergetika i êkologiâ – ISJAE. 2013. №14. S. 49-51.
2. Kur'ânov V.N., Kur'ânova E.V. Planirovanie remontov vetrogeneratorov po pokazaniâmi izmeritel'noj sistemy kontrolâ vyrabotki i poter' êlektroênergii // Al'ternativnaâ ênergetika i êkologiâ – ISJAE. 2013. № 14. S. 36-40.
3. Šefter Â.I. Ispol'zovanie ênergii vetra. M.: Ènergoatomizdat, 1983.
4. Fateev E.M. Vetrodvigateli i vetroustanovki. M.: OGIZ, 1948.

Транслитерация по ISO 9:1995

