

# ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВЕТРОВОГО ПОТЕНЦИАЛА ЮГА УКРАИНЫ

к. т. н. *Лысенко О. В.*

*Украина, Запорожская обл., г. Мелитополь,  
Таврический государственный агротехнологический университет,  
доцент кафедры «Электроэнергетики и автоматизации»*

---

## ARTICLE INFO

Received 30 January 2018  
Accepted 16 February 2018  
Published 12 March 2018

## KEYWORDS

wind power station,  
wind speed,  
weather data,  
wind energy indicators

---

## ABSTRACT

The paper presents the results of the analysis and evaluation of the energy characteristics of the wind regime in the south of Ukraine, which is one of the most important stages in determining the prospects of the region's territory for the development of wind energy. The study of data obtained on an array of 10-hill measurements of velocity and wind direction in meteorological station of Botievskaya wind farm, Priazovsky district, Zaporozhye region. Namely, the potential specific power of a typical wind power plant is determined to estimate the volumes of wind power generation. A comparative estimation of calculations by Weibull distribution and actual values of wind speed at different altitudes is carried out. According to the obtained results, the calculated power of the wind power of the unit power wind farm by the distribution of Weibull is somewhat less than the actual wind speed values. So at an altitude of 94 m the average error is approximately 4 %, and at an altitude of 66 m - 2 %. The dependence of the wind speed on the height of the measurement is analyzed, and the fluctuations of speed and wind direction are possible. As a result, the dependence of the distribution of the wind speed on altitude, at least at altitudes of 60-100 m, can be considered stationary.

© 2018 The Author.

---

**Введение.** Природные ресурсы и основанные на их использовании электрогенерирующие станции на сегодня являются ключевыми источниками энергии Украины. Их доля в общем балансе первичной энергии страны достигает 79 %; атомные электростанции в общем балансе производят около 18 % первичной энергии. Доля возобновляемых источников энергии (таких как энергия солнца, ветра, воды, биогаз и т.д.) в общем балансе незначительна и составляет лишь 3 % первичной энергии, несмотря на то, что Украина имеет огромный потенциал. Украина обеспечивает себя первичными ресурсами только на 61 %, а 39 % составляет дефицит, который обеспечивается импортом энергоресурсов из других стран. Время от времени зависимость от импортных энергоресурсов приводит к серьезным экономическим и конфликтам, которые существенно влияют на национальную безопасность Украины и тормозят рост экономики [1].

Анализу наблюдений метеорологических показателей и оценке энергетического потенциала ветрового режима территории Украины посвящен ряд работ отечественных специалистов. Но изучение

особенностей ветрового режима отдельных регионов Украины почти не проводилось из-за отсутствия необходимых данных для проведения таких исследований. Данные, которыми оперирует метеорологическая служба, не отвечают потребностям энергетики.

**Цель исследования.** Проведение анализа и оценки энергетических характеристик ветрового режима юга Украины с целью определения перспективности территории для развития ветроэнергетики.

**Материалы и методы исследования.** Для проведения исследований ветрового режима использовано двухлетний массив результатов 10-минутных измерений скорости и направления ветра, полученных по совместной метеовышки, на двух высотах - 66 и 94 м. Для анализа выбраны четыре месяца: январь, апрель, июль, октябрь - как репрезентативные для различных сезонов года.

Кроме оценки стохастичности параметров собственно ветра для ветроэнергетики важно энергетический потенциал ветровых потоков. Традиционным для оценки энергетического потенциала ветра является использование кубической

зависимости мощности от скорости ветра. Однако, поскольку реальные энергетические характеристики современных ветро-электрических установок (ВЭУ) имеют существенно нелинейную характеристику, только отчасти параболический характер, в данном исследовании использованы типичную кривую мощности ВЭУ условно единичной мощности. На рис. 1 изображена такая энергетическая характеристика и аппроксимации ее табличных значений, соответствующих популярным современным моделям ветроустановок мегаваттного класса.

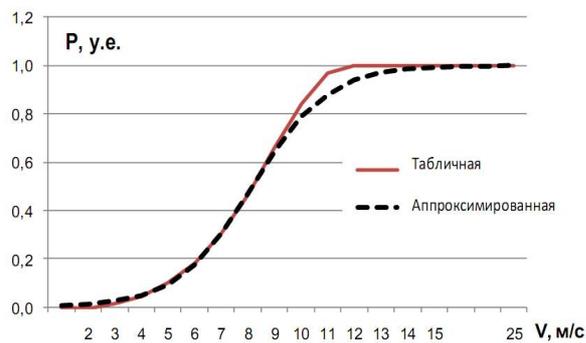


Рис. 1. Типовая кривая мощности ВЭУ (при  $P_n=1$  у.е.)

Произведенная ВЭУ за определенное время  $T$  электроэнергия определяется по выражению:

$$E_W = T \int_0^{\infty} P_W(v) f(v) dv \quad (\text{кВт. час}), \quad (1)$$

где  $f(v)$  — функция плотности распределения скорости ветра, как случайной величины;

$v$  — текущая скорость ветра.

Интеграл по выражению (1) определяет среднюю на временном интервале  $T$  мощность ВЭУ. Для описания функции плотности распределения скорости ветра обычно используют двухпараметрическое распределение Вейбула:

$$f(v) = \frac{\gamma}{\beta} \left(\frac{v}{\beta}\right)^{\gamma-1} \exp\left[-\left(\frac{v}{\beta}\right)^{\gamma}\right], \quad (2)$$

де  $\beta$  и  $\gamma$  — параметры масштаба и формы соответственно.

Вместе с тем, это распределение не всегда точно соответствует фактическому распределению скорости ветра, поэтому важно убедиться в размере полученной погрешности для оценки ее допустимости. При необходимости можно применить другие

варианты распределения или их комбинации, в отношении которых существуют многочисленные исследования.

Для оценки корреляции между значениями скорости и направления ветра, необходимо рассчитать корреляционный коэффициент по выражению [2]:

$$r^2 = \frac{(r_{vc} - r_{vs})^2}{1 - r_{cs}^2}, \quad (3)$$

где

$r_{vc} = \text{corr}(v, \cos\theta)$ ;  $r_{vs} = \text{corr}(v, \sin\theta)$ ;  $r_{cs} = \text{corr}(\cos\theta, \sin\theta)$ ;  $\theta$  — направление ветра (азимут).

**Результаты исследования.** Как следует из полученных результатов, расчетная мощность ВЭУ единичной мощности по распределению Вейбула несколько меньше полученной по фактическим значениям скорости ветра. Так на высоте 94 м средняя ошибка примерно равна 4 %, а на высоте 66 м — 2 %. Заметно также, что параметр формы на меньшей высоте несколько больше, что свидетельствует о меньшей дисперсии и вызвано устойчивым ветром, однако эта разница незначительна и может считаться статистически незначимой.

Таким образом, зависимость распределения скорости ветра от высоты, по крайней мере на высотах 60-100 м, можно считать стационарной в смысле вероятности. Для ландшафтов, подобных площадке рассматриваемой ВЭС, при оценке потенциальной производительности ветроустановок можно пользоваться параметрами вертикального распределения скорости ветра и плотности временного распределения согласно формулам Хеллмана и Вейбула. Возможная погрешность при этом сопоставима с погрешностью измерений, и на стадии подготовки проекта может считаться пренебрежимо малой.

Согласно результатам корреляционного анализа, зависимость скорости ветра от направления в пределах года статистически незначительная, хотя в отдельные месяцы достигает уровня слабой зависимости. Следовательно, при определении дислокации ВЭУ на площадке ВЭС достаточно пользоваться имеющейся в метеорологических справочниках диаграммой азимутального распределения (т.н. «розой ветров»).

**Обсуждение результатов.** Исследованные параметры пригодны для оценки производительности ВЭС на длительном временном горизонте. Это необходимо для определения пригодности территорий и целесообразности применения там ветровой энергетики. Однако

для оценки взаимодействия ВЭС с локальной электросетью важно знать также характер изменения генерируемой мощности, который зависит от характера кратковременных изменений скорости ветра, продолжительности отдельных режимов, и тому подобное. Это требует дальнейших исследований на соответствие требованиям работы энергосистемы в исследуемом регионе.

**Выводы.** Исследованные показатели ветрового режима позволяют точнее спрогнозировать длительное время работы

ветроэлектрической станции в исследуемом регионе и ее влияние на характер снабжения электроэнергией при работе в составе централизованной или локальной энергосистемы. При этом перечень исследованных параметров не является исчерпывающим, а потребность в дополнительных исследованиях определяется особенностями работы энергосистемы, как в части генерирования, так и потребления электроэнергии.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Практичний посібник із впровадження компоненту з енергоефективності проекту МРГ-II «Енергоефективні технології та відновлювальні джерела енергії» червень 2012 / Режим доступу: [http://cba.org.ua/images/stories/documents/EE\\_Manual\\_UKR.pdf](http://cba.org.ua/images/stories/documents/EE_Manual_UKR.pdf)

2. Carta, J. A., Ramirez, P., & Bueno, C. (2008). A joint probability density function of wind speed and direction for wind energy analysis. *Energy Conversion and Management*, 49(6), 1309-1320..