

## УСЛОВИЯ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ ВЕТРА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЭУ

Русан В.И., Казак А.В.,

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск

РУП «НПЦ НАН Б по механизации сельского хозяйства», г. Минск

В последнее время в различных странах мира все большее внимание уделяется использованию нетрадиционных и возобновляемых источников энергии (ВИЭ), в том числе энергии ветра. При этом темпы роста ветроэнергетики очень велики: в 2000 – 2005 гг. доля ветроэнергетики увеличилась примерно на 30%. Особенно это касается европейских стран, на долю которых приходится примерно две трети мировой установленной мощности ветроэнергетических установок (ВЭУ).

В Государственной комплексной программе модернизации основных производственных фондов Белорусской энергосистемы ветровой энергопотенциал оценен в 2,4 млрд. кВт\*ч. Годовой объем его использования возрастет с 3,04 млрд. кВт\*ч в 2006 г. до 6,62 млрд. кВт\*ч в 2010 г.

Экономическая эффективность ВЭУ определяется скоростью ветра и условиями эффективного использования его энергии, а так же ее стоимостью.

Условиям эффективного использования площадей для внедрения ветроэнергетических агрегатов отвечают любые открытые пространства. По данным исследований РУП «Белэнергосетьпроект» на территории Беларуси обнаружено 1840 площадок со средней скоростью ветра 5 – 6 м/с.

Для эффективного использования энергии ветра необходимо иметь исчерпывающую информацию о его потенциале. Общеметеорологические характеристики, полученные от метеостанций, для этого недостаточны. Нужны характеристики, учитывающие природную структуру ветрового потока, пределы достоверности исходных данных и т.д.

Средняя многолетняя скорость ветра является только одним из критериев оценки эффективности ветрового потока. По ее величине в первом приближении можно судить о перспективности применения ветроустановок в том или ином районе.

Анализ существующих ветроэнергетических установок показывает, что их применение возможно, если среднемесячная скорость ветра превышает 3 м/с. Наиболее экономично применение их при скоростях ветра более 5 м/с.

На основании данных о среднемесячных скоростях ветра по данным метеостанций Беларуси можно сделать вывод о том, что ВЭУ наиболее экономично использовать для энергоснабжения на территории Минской возвышенности, в Гродненской области, у озера Нарочь. Для этих регионов среднемесячная скорость ветра превышает 4 м/с, а в отдельные месяцы года - 5 м/с.

В летние месяцы скорость ветра также снижается (с июня по сентябрь). Поэтому можно заключить, что наиболее перспективно использовать ВЭУ для энергоснабжения сельскохозяйственных объектов с октября по июнь месяцы.

Для более точного определения возможностей использования ВЭУ необходимы измерения скоростей ветра в течение определенного периода времени в тех районах, где среднемесячные скорости ветра превышают 3 м/с. На основании проведенных измерений следует определить ветроэнергетические запасы района, а затем по сравнению экономической целесообразности - источник энергоснабжения.

Для расчета основных технических характеристик и последующего выбора ВЭУ прежде всего необходимо определить энергетические параметры ветрового потока в данной местности.

Для определения энергетических параметров ветрового потока какого-либо района, необходимы данные метеонаблюдений станций Гидрометеоцентра или же измерения скоростей ветра, проводимые в местах предполагаемого строительства ветроэнергетических установок (ВЭУ).

В случае пользования данными метеонаблюдений станций Гидрометеоцентра необходимо брать наблюдения за скоростями ветра за 5-7 летний период времени. При наличии аппаратуры для измерения скорости ветра вполне достаточным является также почасовая регистрация в течение 7-9 месяцев в месте предполагаемого строительства ВЭУ.

Вероятность появления определенной градации скорости ветра определяется выражением закона распределения вероятностей Вейбулла

$$P(v) = 1 - e^{-bv^a} \quad (1)$$

где  $P$  - вероятность того, что скорость ветра достигнет или превысит величину  $v$ ;

$a, b$  - параметры закона распределения Вейбулла.

Параметры закона распределения Вейбулла необходимо определять для каждого месяца.

Вероятность появления определенной градации скорости ветра равна разнице между предыдущей и последующей вероятностью появления скорости ветра, т.е.

$$p_i = p_{i-1} - p_i$$

Удельная мощность ветрового потока, приходящаяся на  $1 \text{ м}^2$  площади поперечного сечения, определяется

$$P_{уд.i} = 1/2 \cdot \rho \cdot v_i^3 \quad (2)$$

где  $P_{уд.i}$  - удельная мощность ветрового потока, соответствующая скорости ветра  $v_i$ ;  $\rho$  - плотность воздуха, зависящая от температуры.

Удельная энергия ветрового потока, приходящаяся на  $1 \text{ м}^2$  площади поперечного сечения, определяется

$$E_{уд.i} = P_{уд.i} \cdot t_i \quad (3)$$

где  $E_{уд.i}$  - удельная энергия, соответствующая скорости ветра  $v_i$ ;

$t_i$  - ожидаемое время длительности градации ветра со скоростью  $v_i$ .

Ожидаемая длительность каждой градации скорости ветра определяется

$$t_i = \Delta p_i \cdot T \quad (4)$$

где  $T$  - число часов в месяце.

Определив удельную энергию ветрового потока, приходящуюся на  $1 \text{ м}^2$  площади поперечного сечения, необходимо составить табл.1.

Для получения данных в столбцах 26 и 27 необходимо просуммировать соответствующие показатели за каждый месяц по строкам столбцов 2, 4, 6, ..24 и 3, 5, 7, ..25. В результате в столбцах 26 и 27 получаем соответственно годовые удельные значения потенциальной энергии ветрового потока по градациям скоростей ветра и времени наблюдения этой градации.

Таблица 1 Данные ветроэнергетических расчетов по определению потенциальной энергии ветрового потока

Скорость ветра $V_i$ м/с	Месяц												Год														
	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12				
	$E_{v,i}$	$t_{v,i}$	$E_{v,i}$	$t_{v,i}$	$E_{v,i}$	$t_{v,i}$	$E_{v,i}$	$t_{v,i}$	$E_{v,i}$	$t_{v,i}$	$E_{v,i}$	$t_{v,i}$	$E_{v,i}$	$t_{v,i}$	$E_{v,i}$	$t_{v,i}$	$E_{v,i}$	$t_{v,i}$	$E_{v,i}$	$t_{v,i}$	$E_{v,i}$	$t_{v,i}$	$E_{v,i}$	$t_{v,i}$			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	
1																											
2																											
...																											
$V_{imax}$																											

Основными техническими характеристиками ВЭУ, знание которых необходимо для выбора ВЭУ, следует считать:

- начальную, расчетную и максимальную скорости ветра;
- номинальную мощность;
- высоту башни и диаметр ветроколеса;
- коэффициент использования энергии ветрового потока;
- быстроходность или модульность;
- КПД.

Для определения расчетной скорости ветра ВЭУ необходимо рассчитать возможное производство электрической энергии с  $1 \text{ м}^2$  сметаемой ветроколесом площади согласно выражения

$$W_{уд} = \sum_{i=1}^m P_i t_i + \sum_{k=1}^n P_n t_k \quad (5)$$

где  $P_i$  - мощность ветрового потока, соответствующая скорости ветра  $V_i$ , меньшей расчетной;  $(n-m)$  - градации скорости ветра меньше расчетной и находящейся в пределах  $V_{нач} < V < V_p$ ;  $t_i$  - время, соответствующее скоростям ветра находящимся в пределах  $V_{нач} < V < V_p$ ;  $P_n$  - расчетная или номинальная мощность;  $(k-1)$  - градация скоростей ветра соответствующее отношению  $V_p < V < V_{max}$ ;  $t_j$  - время, соответствующее скоростям ветра находящимся в пределах  $V_p < V < V_{max}$ .

Для расчетов согласно формуле (5) необходимо задаваться значениями расчетной скорости ветра от 4 до 15 м/с с интервалом 1 м/с.

Начальная скорость, при которой ВЭУ начинает вырабатывать электрическую энергию, может быть определена исходя из соотношения  $V_{нач} = V_p/2$ .

Строится зависимость  $W = f(V_p)$ . Перпендикуляр опущенный из точки перегиба зависимости  $W = f(V_p)$  на ось, по которой откладывается значение  $V_p$ , будет отсекал на этой оси численное значение расчетной скорости ветра ВЭУ исходя из условия получения максимального возможного количества вырабатываемой электроэнергии.

Согласно найденному численному значению расчетной скорости ветра по каталогу выбирается ВЭУ.

Номинальная мощность единичной ветроэнергетической установки определяется, кВт

$$P_p = 0,48 \cdot 10^{-3} \cdot D^2 \cdot V_p^3 \cdot \epsilon \cdot \eta_r \cdot \eta_n \quad (6)$$

где  $D$  - диаметр ветроколеса, м;  $V_p$  - расчетная скорость ветра;  $\epsilon$  - коэффициент использования энергии ветрового потока;

$\eta_r, \eta_n$  - соответственно КПД генератора и передачи.

Для определения расчетной или номинальной установленной мощности ВЭУ необходимо воспользоваться зависимостями расчетной мощности ВЭУ от численного значения расчетной скорости ветра и диаметра ветроколеса.

Так как в метеорологических ежемесячниках скорость ветра приводится на высоте 10 м от земной поверхности, то необходимо производить пересчет ско-

рости ветра в зависимости от выбранной по каталогу высоты башни ВЭУ согласно выражения

$$V = V_1 \frac{\ln h/h_0}{\ln h_1/h_0} \quad (7)$$

где  $V$  - скорость ветра на высоте  $h$  (высота башни выбранной ВЭУ);  $V_1$  - известная скорость ветра на высоте  $h_1$  ( $h_1 = 10$  м);  $h_0$  - высота, на которой скорость ветра в месте измерения равна нулю.

Численные значения коэффициента использования энергии ветрового потока, модульность и к.п.д. ВЭУ будут соответствовать выбранной ВЭУ согласно каталогу.

Максимально возможное производство электрической энергии в течение года при помощи выбранной ВЭУ определяется

$$W_{\text{год}} = W_{\text{уд.год}} \cdot A = W_{\text{уд.год}} (\pi \cdot D^2/4) \quad (8)$$

где  $W_{\text{уд.год}}$  - удельное годовое производство электроэнергии при заданных значениях расчетной скорости и коэффициента использования энергии ветрового потока, кВт·ч/м<sup>2</sup>;  $D$  - диаметр ветроколеса выбранной ВЭУ, м;  $A$  - площадь, ометаемая ветроколесом, м<sup>2</sup>.

Выводы:

1. К достоинствам ветровой энергии, прежде всего, следует отнести доступность данного ресурса, повсеместное его распространение и практическую неисчерпаемость. Энергоресурс не нужно добывать и транспортировать к месту потребления. Эта особенность ветра имеет особое значение для труднодоступных районов, удалённых от источников централизованного энергоснабжения, и для относительно мелких потребителей энергии, рассредоточенных на значительной территории.

2. Мощность ветрового потока пропорциональна кубу скорости ветра. Следовательно, даже относительно небольшие его изменения приводят к значительным колебаниям мощности, развиваемой ветродвигателем, в диапазоне

скоростей от минимальной рабочей, при которой ветродвигатель начинает вырабатывать полезную мощность, до расчётной, которой соответствует установленная мощность ветроэнергетической установки.

3. Для того, чтобы использование ВЭУ было экономически эффективным, необходимо руководствоваться следующими показателями:

- соответствие номинальной рабочей скорости ветра для данного типа ВЭУ показателям среднегодовой скорости ветра;
- необходимая мощность ВЭУ определяется исходя из требований потребителя;
- эксплуатационная надежность ВЭУ.

Литература

1. Падалко Л.П. Техничко-экономические предпосылки развития ветроэнергетики. //Энергетика и ТЭК. - Мн. – 2006. - №10 (43). - с. 18 – 21.
2. Фуад Хадж Али. Энергообеспечение автономных потребителей на основе комбинированного использования ВИЭ. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Мн. – БГАТУ. – 2001 г.

## **РЕГИОНАЛЬНЫЙ УРОВНЬ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ**

Русан В.И., Ходыко С. С.

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск

Большинство промышленно развитых стран уже подошло к тому рубежу, когда с дальнейшим ростом производства энергии издержки начинают превышать прибыль и главными лимитирующими факторами становятся вопросы (наряду с экономикой) экологии, связанные с улавливанием и очисткой вредных выбросов. «Тепловое загрязнение» планеты, «парниковый эффект», «кислородное голодание», «канцерогенная угроза» - далеко не полный перечень бед, которыми расплачивается человечество за цивилизацию и комфорт.

Это вынудило мировое сообщество принять целый ряд международных соглашений в области охраны окружающей среды, в т.ч. и Глобальный Экологич-