

## ВЕТРОДВИГАТЕЛИ ДЛЯ ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

**Бырладян А.С.**

**Аннотация.** В статье рассматривается задача выбора ветродвигателя для ветроэлектрических установок. Путём сравнения показателей и характеристик ветродвигателей показано, что для существующих режимов и скоростей ветра на территории Республики Молдова необходимо использовать тихоходные (многолопастные) ветродвигатели крыльчатого класса.

**Ключевые слова:** ветродвигатель, ветроэлектрическая установка, энергия ветра, аэродинамическая характеристика, асинхронный генератор.

## AEROMOTOARE PENTRU INSTALAȚII EOLIENE ELECTRICE

**Bârladean A.S.**

**Rezumat** În articol se examinează problema alegerii aeromotorului pentru instalații electrice eoliene. Prin compararea indicilor și caracteristicilor aeromotoarelor se arată, că pentru regimurile și vitezele vântului existente pe teritoriul Republicii Moldova este necesar de a utiliza aeromotoare lente multipale cu ax orizontal de rotație.

**Cuvinte cheie:** aeromotor, instalație electrică eoliană, energia vântului, caracteristică aerodinamică, generator asincron.

## WIND TURBINES FOR WIND POWER INSTALLATIONS

**Barladean A.S.**

**Abstract.** The problem of wind turbine choice for wind power installations is examined in this paper. It is shown by comparison of parameters and characteristics of wind turbines, that for existing modes and speeds of wind in territory of Republic of Moldova it is necessary to use multi-blade small speed rotation wind turbines of fan class.

**Key words:** wind turbine, wind power station, wind power, aerodynamic characteristic, asynchronous generator.

Известно, что ветродвигатели преобразуют энергию ветра в механическую работу. По устройству и положению ветродвигателей (ВД) в потоке ветра, они разделяются на следующие классы: крыльчатые, карусельные, роторные и барабанные. Преимущества и недостатки различных классов ВД изложены в соответствующей литературе, например [1].

Наиболее совершенными ВД являются ветродвигатели **крыльчатого класса** [1]. Они изготавливаются двух типов: малолопастные с числом лопастей 2,3,4 и многолопастные с числом лопастей 6,9,12,18 и 24. По данным [2] коэффициент использования энергии ветра у ВД крыльчатого типа примерно в 2-3 раза выше чем у ВД карусельного, роторного и барабанного классов. В большинстве стран, около 95% всех ветроустановок производят и эксплуатируют крыльчатые ВД, так как они имеют несколько принципиальных преимуществ, а именно: малый удельный вес, полностью открыта ометаемая площадь (90-95%), высокий коэффициент использования энергии ветра (0.35-0.48). Кроме того плоскость их вращения перпендикулярна направлению ветра и, следовательно, кинетическая энергия ветра практически полностью воспринимается ВД.

В зависимости от числа лопастей, крыльчатые ВД разделяются на быстроходные и тихоходные. Их быстроходность определяется отношением окружной скорости конца лопасти ВД к скорости ветра

$$Z = \frac{\omega R}{V}, \text{ где } \omega = \frac{\pi n}{30} - \text{угловая скорость конца лопасти при числе оборотов "n" ВД,}$$

об/мин; R – радиус ветродвигателя, м; V- скорость ветра, м/сек.

Характеристики и параметры ВД удобно сопоставлять при помощи аэродинамических характеристик (АДХ), которые показывают, как изменяются коэффициент использования энергии ветра и крутящий момент в зависимости от быстроходности [1]. АДХ строят в относительных величинах, поэтому они являются общими для ВД любых размеров, если у них соблюдено геометрическое подобие: число и профили лопастей, отношения всех

линейных размеров лопасти к диаметру ВД и их углы заклинивая. АДХ трехлопастного и многолопастных ВД представленные в работе [3] позволили определить их основные параметры, которые приведены в таблице 1.

Таблица 1

Основные параметры многолопастных ветродвигателей

Наименование показателя/число лопастей	3 лопасти	12 лопастей	18 лопастей
Коэффициент использования энергии ветра	0.42	0.34	0.36
Относительный момент трогания	<b>0.03</b>	<b>0.28</b>	<b>0.48</b>
Нормальная быстроходность	<b>4.0</b>	<b>2.5</b>	<b>1.5</b>
Синхронная быстроходность	8.0	6.0	2.6
Скорость ветра начала вращения ВД, м/с	5.0-7.0	2.5-3.0	3.0-4.0

Сравнивая данные табл. 1, приходим к следующим выводам:

- многолопастной ВД отличается большим моментом трогания и малой быстроходностью;
- малолопастной – малым моментом трогания и большой быстроходностью.

При этом, следует отметить, что их мощность практически не зависит от числа лопастей и будет одинаковой, если равны диаметры ВД и коэффициенты использования энергии ветра, который определяется как доля первоначальной энергии воздушного потока преобразованная ВД в механическую. Мощность ВД в зависимости от его диаметра, скорости ветра и коэффициента использования энергии ветра определяется выражением

$$P = \frac{D^2 V^3 \xi}{2080} [kW]$$

откуда следует, что мощность ВД изменяется пропорционально квадрату диаметра и кубу скорости ветра, где  $\xi$  – коэффициент использования энергии ветра.

Из приведенных данных табл.1 следует, что технические параметры рассматриваемых ВД по некоторым показателям отличаются существенно. Следовательно, их эксплуатационные показатели будут весьма различными в процессе их работы при одних и тех же ветровых режимах. Поэтому, для правильной и эффективной их эксплуатации важно знать, не только конструктивные параметры ВД, но и сколько часов в год может работать ветроэлектрическая установка (ВЭУ) с данным ВД, а также среднегодовую полезную мощность, ветроэнергетические параметры и коэффициент использования установленной мощности ВЭУ [2,4]. Отметим что коэффициент использования установленной мощности определяется отношением фактической выработки ВЭУ за определённый период времени, к выработке за тот же период времени работы ВЭУ с установленной мощностью. Изменение данного коэффициента в зависимости от минимальной рабочей скорости ветра и среднегодовой представлено в таблице 2.

Таблица 2

Коэффициент использования установленной мощности при разных скоростях ветра

$V_{\text{мин}}$ , м/сек	$V_{\text{ср. год}}$ , м/сек					
	3	4	5	6	7	8
<b>3</b>	0.118	<b>0.23</b>	0.35	0.46	0.56	0.61
<b>4</b>	0.108	<b>0.22</b>	0.34	0.45	0.55	0.63
<b>5</b>	0.090	<b>0.20</b>	0.32	0.44	0.54	0.62

Проведённый анализ данных таблицы 2 показывают, что при  $V_{\text{ср. год}} = 3.9-4.2$  м/сек и при различных рабочих скоростях ветра (3,4,5 м/сек) ВД будет работать с коэффициентом использования ВЭУ порядка 0.22. Кроме того, следует иметь в виду, что и коэффициент заполнения графика нагрузки меняется в зависимости от времени года: весна - 0.73, лето - 0.75, осень - 0.70 и зима 0.57. Все вышеуказанные показатели и условия оказывают существенное влияние на эксплуатационную эффективность работы ВЭУ. Безусловно, что эффективность работы установки зависит и от конструкции ВД, его технического состояния, среднегодовой скорости ветра в данной местности и выбранной структуры кинематической схемы привода электрогенератора.

Следовательно, основным затруднением непрерывного получения электрической энергии от ВЭУ, прежде всего, является неравномерность скорости ветра, которая приводит к значительным колебаниям мощности, напряжения и частоты переменного тока. Однако в настоящее время на ВЭУ устанавливается автоматическая система стабилизации выходного напряжения и частоты переменного тока электрогенератора, что позволяет отдавать потребителю качественную электрическую энергию [5]. Такая система была создана в Институте энергетики АНМ при разработке тихоходной ВЭУ с самовозбуждающимся асинхронным генератором. Новизна такой электрической системы защищена авторским свидетельством [6] и внедрена в опытный образец ВЭУ с 12-тью лопастным ВД и установленной мощностью асинхронного генератора мощностью 3,0 kW, который разработан Институтом энергетики и изготовлен на Опытном заводе "ASELТЕН" АНМ. Опытный образец ВЭУ с новой электрической системой испытан в естественных условиях на территории Опытного завода "ASELТЕН", техническая характеристика которой представлена ниже:

- нормальная быстроходность -----1.2-1.8
- синхронная быстроходность-----2.5-2.7
- относительный начальный момент трогания -----0.28-0.32
- коэффициент использования энергии ветра -----0.3-0.32
- скорость ветра начало вращения ВД -----2.5-3.0 м/с
- диаметр ВД -----5.0 м
- число лопастей ВД -----12
- мощность генератора-----3.0кВт
- выходное напряжение-----220 В
- частота переменного тока -----50 Гц

Отличительной особенностью разработанной электрической системы ВЭУ является наличие принципиально нового асинхронного генератора и более совершенная система стабилизации напряжения. Кроме того, в предлагаемом решении реализуется электромеханическая система выработки электроэнергии без преобразователей напряжения, тока или частоты, что повышает надёжность электрической системы и снижает ее стоимость.

Важно отметить и то, что эффективность эксплуатации разработанной ВЭУ в значительной мере зависит от выбранной конструкции тихоходного ВД, которая соответствует ветровым условиям нашей Республики [7] и ВЭУ может обеспечить потребителя электроэнергией в течение 70% годового времени.

В заключение следует отметить, что быстроходные (малолопастные) ВД обладают малым пусковым моментом и большей стартовой скоростью ветра 5-7 м/с, следовательно, эксплуатация ВЭУ с быстроходными ВД при действующих скоростях ветра на территории Молдовы практически неприемлема для надёжного и эффективного использования энергетических ресурсов ветра. С другой стороны, применение быстроходного ВД в районах

с низкими среднегодовыми скоростями ветра приводит к снижению коэффициента использования расчётной мощности ВД, длительным простоям и меньшей эффективности работы ВЭУ и генерируют низкочастотные составляющие шума и вибраций, отрицательно влияющие на окружающую живую популяцию..

Таким образом, как показали результаты исследований, правильный выбор конструктивного исполнения ВД для ВЭУ, во многом определяется полнотой учёта ветровых режимов и хозяйственных условий эксплуатации на территории, мощности и режимов работы токоприёмников, а также требований предъявляемых к энергоснабжению потребителя. Несомненно, что оптимальная конструкция многолопастного ВД, кинематической передачи и электрической системы установки обеспечат более эффективную работу ВЭУ и позволит успешно решать вопросы использования энергии ветра.

### **Выводы**

В результате анализа аэродинамических характеристик и технических показателей ВД различного конструктивного исполнения показано, что для существующих скоростей и режимах ветров на территории Республики Молдова выбор типа ВД для ВЭУ определяется его пригодностью для практического и эффективного использования энергетических ресурсов ветра. С этой точки зрения эксплуатация ВЭУ наиболее выгодна при ВД крыльчатого класса многолопастного исполнения. Применение тихоходных ВД обосновывается и тем, что многие ветровые зоны в нашей республике имеют низкие среднегодовые скорости ветра (3.9-4.5 м/с) что обуславливает экономичность их эксплуатации. Считается также что ВЭУ с тихоходным ВД проще по конструкции и в изготовлении, дешевле и надёжнее в эксплуатации.

### **Литература**

1. Фатеев Е.М. Ветро двигатели и ветроустановки. Москва, 1957, 533 с.
2. Шефтер Я.И. Использование энергии ветра. Москва, 1983, 201 с.
3. Фатеев Е.М. Ветро двигатели и их применение в сельском хозяйстве. 1962,246с.
4. Энергетическое строительство 1991, № 3, С. 50-53
5. Surse regenerabile de energie . “TEHNICA - INFO”, Chişinău, 1999,434p.
6. Brevet de invenție “Generator asincron cu excitație capacitivă”, MD 2089 C2
7. Романенко Н.Н. Ветроэнергетические ресурсы и их использование. Кишинэу, 1964, 136 с.

### **Сведения об авторе**

**Бырладян А.С.** Научный сотрудник Института энергетики Академии Наук Молдовы. Сфера научных интересов: электрические машины, асинхронные генераторы, автоматизированный электропривод, диагностика энергооборудования и электрические системы ветроустановок. Тел. (+37322) 73-53-84.