

## ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА С ВЕРТИКАЛЬНОЙ ОСЬЮ ВРАЩЕНИЯ

И.М. Кирпичникова\*, Е.В. Соломин\*\*

\*г. Челябинск, ЮУрГУ, \*\*г. Миасс, ГРЦ «Вертикаль»

## VERTICAL AXIS WIND TURBINE

I.M. Kirpichnikova, E.V. Solomin

Chelyabinsk, SUSU, Miass, "SRC-Vertical", Ltd.

В статье дается описание ветроэнергетической установки с вертикальной осью вращения, особенности ее конструкции, методика расчета мощности. Представлены основные технические характеристики ВЭУ и схема ее подключения.

*Ключевые слова:* возобновляемая энергетика, ветроэнергетические установки, ветроколесо, ветроротор, электрогенератор, мощность ветроустановки

The article describes the vertical axis wind turbine, features of its design, power calculation procedure. The main technical parameters and connection diagram are represented.

*Keywords:* renewable energy, wind turbine, wind wheel, wind rotor, electric alternator, wind turbine power.

Интерес человечества к использованию возобновляемой, или «зеленой» энергии в последнее время стал проявляться все более заметно. Разрабатываются новые установки, использующие принципы преобразования природной энергии в тепловую, электрическую и т.д., которые не наносят ущерб окружающей среде.

Одним из видов таких устройств являются ветроэнергетические установки (ВЭУ), использующие энергию ветра. Ветер является источником, существующем в окружающем пространстве независимо от желания человека и его деятельности.

На сегодняшний день имеется огромное многообразие машин, механизмов и установок, которые «ловят» ветер и превращают его в полезную электроэнергию. Самые распространенные из них – ветротурбины с горизонтальной осью вращения (рис. 1). Однако у этих машин есть один существенный недостаток – они долго «думают», прежде чем развернуть свои лопасти «на ветер», направление которого может измениться каждую секунду.

В зависимости от направления ветра меняется площадь, ометаемая ветроколесом, которая является основой для расчета выходной мощности ветроэнергетической установки [1]:

$$P_{ВЭУ} = 0,4D^2v^3\xi\eta_{мех}\eta_{ген}, Вт \quad (1)$$

где  $D$  – диаметр ветроколеса, м;  $v$  – скорость ветра, м/с;  $\xi$  – коэффициент использования ветровой

энергии;  $\rho$  –  $0,125 \text{ кг с}^2/\text{м}^4$  – плотность воздуха;  $\eta_{мех}$  – к.п.д. редуктора;  $\eta_{ген}$  – к.п.д. генератора.

Обычно в технических характеристиках установок с горизонтальной осью площадь, ометаемая ветроколесом, принимается равной площади, охватываемой лопастями ветроустановки. Однако из рис. 2 видно, что ометаемая площадь зависит от направления ветра по отношению к оси ротора и в некоторые моменты может быть значительно меньше площади ветроколеса. Следовательно, мощность, вырабатываемая ветроустановкой, также будет непостоянной.

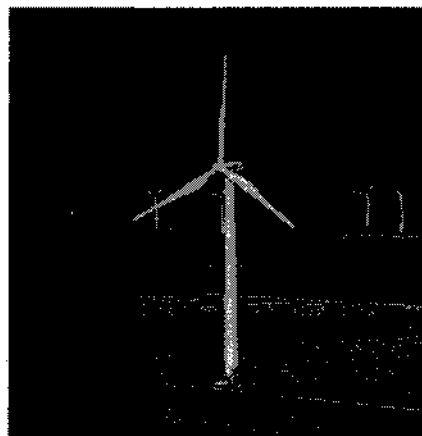


Рис. 1. ВЭУ с горизонтальной осью вращения

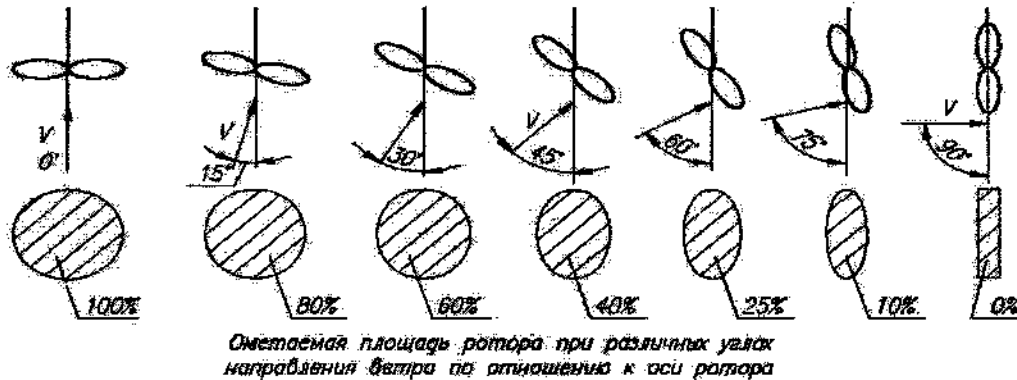


Рис. 2. Площадь, ометаемая ветроколесом

Это не относится к установкам с вертикальной осью вращения, хотя и они имеют свои преимущества и недостатки.

На рис. 3 показана схема работы установки с вертикальной осью вращения, разработанной в ООО «ГРЦ-Вертикаль» [2].

При наличии ветра ветроустановка, состоящий из лопастей, закрепленных между кольцами, вращается и приводит в движение генератор, который с помощью электронного регулятора вырабатывает постоянный электрический ток с напряжением 48 В. Далее постоянный ток с помощью инвертора преобразуется в переменный ток с напряжением 220 В и поступает непосредственно потребителю. Аккумуляторные батареи включены параллельно с кабелем выхода генератора и подпитывают инвертор в случае отсутствия ветра. Выход инвертора подключается к клеммам, от которых должна идти внутренняя разводка по помещению потребителя.

ВЭУ стартует (самораскручивается) при по-

рывах ветра 3,5 м/с (в это время анемометр может показать более низкую скорость ветра). Выработка энергии начинается при скорости ветра 4 м/с.

ООО «ГРЦ-Вертикаль» разрабатывает ветроэнергетические установки (ВЭУ) с 1991 года на базе ФГУП «Государственного Ракетного Центра» (КБ им. Академика В.П.Макеева), г. Миасс Челябинской области и ФГУП «Кумертауского Авиационного Предприятия», г. Кумертау. За это время были исследованы различные конструкции ВЭУ.

С 2004 года разработки ООО «ГРЦ-Вертикаль» в области ветроэнергетики, создания ветро-водородных комплексов, установок по очистке воды и многое другое финансируются Национальной Лабораторией Беркли (США) под патронажем Департамента Энергетики США, Международных фондов, Правительства РФ и Российского Ракетно-Космического Агентства.

В результате совместной работы российских и американских ученых была предложена оптималь-

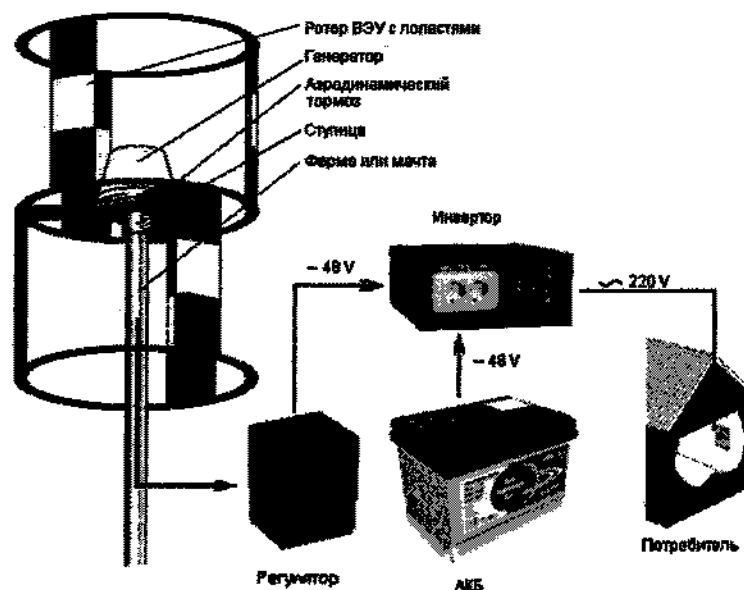


Рис. 3. Схема работы ветроустановки конструкции ООО «ГРЦ-Вертикаль»

## Электроэнергетика

ная форма лопасти по соотношению хорды и ширины лопасти, которая запатентована в России и США [3, 4].

Скорость вращения ВЭУ по достижении 180 оборотов в секунду при дальнейшем усилении ветра стабилизируется за счет аэродинамических тормозов (рис. 4). Благодаря этому ВЭУ не идет «вразнос».

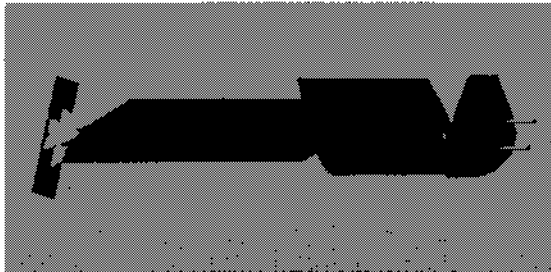


Рис. 4. Аэродинамические тормоза

Для работы в условиях низких температур, например в районах Крайнего Севера, лопасти ВЭУ комплектуются специальной углепластиковой пленкой, предотвращающей обледенение поверхности лопастей.

Оригинальной научно-технической разработкой является запатентованный ветроротор (ветроколесо) ветроэнергетической установки. К его достоинствам можно отнести самораскрутку при скорости ветра 3,5 м/с, плавную работу за счет смещения верхних лопастей относительно нижних

на 60°, оптимальный угол атаки лопастей. Одним из основных достоинств ротора считается то, что данная конструкция «ловит» порывы ветра. Т.е. при замерах анемометра скорость ветра может составить 3 м/с, а ротор ВЭУ будет крутиться как при скорости 6 м/с. Оригинальная форма ротора в совокупности с оптимальным профилем лопастей дают КПД до 43 % при любом направлении ветра.

К уникальным разработкам можно отнести две принципиально новые конструкции генераторов:

1. С аксиальным зазором, разработанную совместно с Empire Magnetics, Inc. [5, 6].

2. С комбинированным возбуждением, где стабилизация напряжения на клеммах генератора при изменении нагрузки и частоты вращения осуществляется с помощью изменения тока возбуждения генератора [7].

Ступица содержит специально сконструированную систему подшипников, позволяющую предельно уменьшить потери от момента сопротивления.

В качестве аккумуляторов для ВЭУ производства ООО «ГРЦ-Вертикаль» используются обычные автомобильные аккумуляторы (12 В). Инвертор также может использоваться стандартный или специального исполнения.

В виде инвертора может быть использован практически любой прибор, преобразующий постоянный ток с напряжением 48 В в переменный ток с напряжением 220 В. Схема подключения ветроустановки показана на рис. 5.

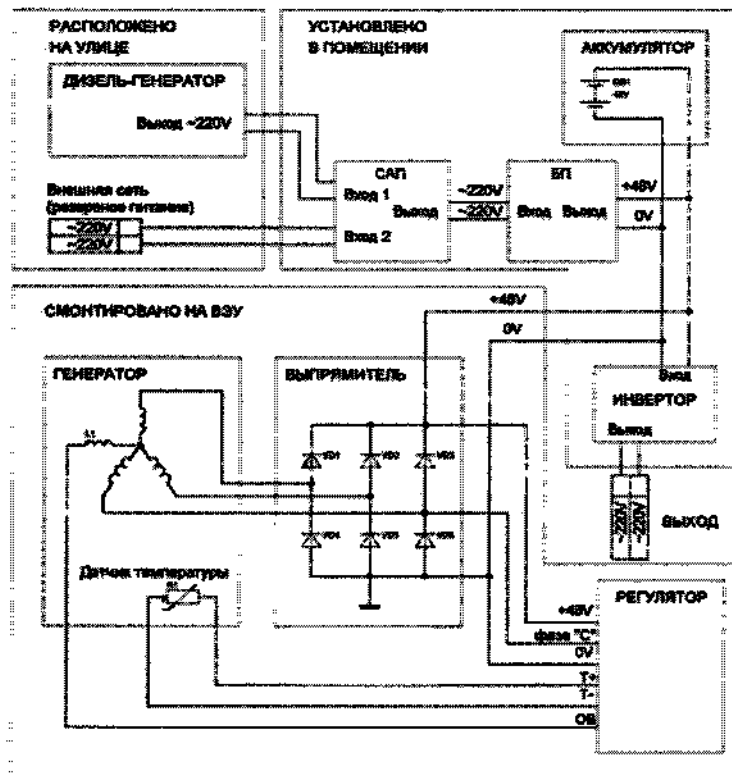


Рис. 5. Схема подключения ВЭУ мощностью 3 кВт: ВЭУ – ветроэнергетическая установка; САП – система автоматического пуска дизель-генератора; БП – блок питания (преобразователь напряжения ~220 В +48 В)

Техническая характеристика ВЭУ  
мощностью 3 кВт

Мощность генератора номинальная	3 кВт
Выходное напряжение генератора постоянного тока	48 В
Рабочий диапазон скоростей ветра	4...30 м/с
Номинальная скорость ветра	10,4 м/с
Диаметр ротора	3,4 м
Высота ротора	4,2 м
Число лопастей (стеклопластик)	6 шт.
Частота вращения ротора	60...180 об/мин
Высота мачты	8, 12, 16 или 20 м
Расчетная скорость бурового ветра	до 60 м/с
Диапазон температур эксплуатации	-50...+50 °С
Срок службы силовых узлов	20 лет
Срок между капитальными ремонтами	5 лет
Масса ВЭУ	620 кг

Мощность, вырабатываемая такой ветроустановкой, определяется [2]:

$$P_{ВЭУ} = P_{\sigma} \eta_{\text{мех}} \eta_{\text{ген}} \eta_{\text{инв}}, \text{ Вт}, \quad (2)$$

где  $P_{\sigma} = \frac{m \cdot v^3}{2}$  – мощность, получаемая от ветра за 1 с, Вт;  $m = v_{\sigma} \rho_{\sigma}$  – масса воздуха, проходящая через ометаемую площадь за 1 с, м<sup>3</sup>;  $\rho = 0,125 \text{ кг} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$  – плотность воздуха;  $v$  – скорость ветра, м/с;  $\eta_{\text{мех}}$  – к.п.д. ветроустановки;  $\eta_{\text{ген}}$  – к.п.д. генератора;  $\eta_{\text{инв}}$  – к.п.д. инвертора.

Для 3-киловаттной ВЭУ при размере ометаемой площади 24 м<sup>2</sup> и номинальной скорости ветра 10,4 м/с реальный выход электрической мощности ветроустановки составит 3305 Вт.

Таким образом, непрерывно работающая ветроустановка может питать все бытовые приборы, подключенные в коттедже, офисе (освещение, телевизор, холодильник, сигнализацию, и т.д.) заряжать аккумуляторы, которые можно использовать во время пиковых нагрузок, например, утром и вечером, когда мощности ветроэнергетической установки может быть недостаточно, тем более, при отсутствии ветра.

## Литература

1. Безруких П.П. Использование энергии ветра. Техника, экономика, экология. – Колос, 2008. – 196 с.
2. [www.src-vertical.com](http://www.src-vertical.com)
3. Патент № 2244996 (Российская Федерация). Генератор переменного тока / С.А. Ганджа, Е.В. Соломин, А.Д. Шауфлер // Бюл. изобр. – 2005. – № 2.
4. Патент № PCT/US2006/019326 (WO2006/125118) (Соединенные Штаты Америки) Ветроустановки с вертикальной осью вращения / Vertical axis wind turbines / Dahlbacka Glenn (USA), Halstead Richard (USA), Krivcov, Vladimir (RU), Krivospitsky Vladimir (RU), Maksimov Vasili (RU) // Бюл. изобр. – F03B 13/00 (2006.01).
5. [www.wind-sail.com](http://www.wind-sail.com)
6. [www.empiremagnetics.com](http://www.empiremagnetics.com)
7. [www.nii-uralmet.narod.ru/comb-rus/index.htm](http://www.nii-uralmet.narod.ru/comb-rus/index.htm)

Поступила в редакцию 10.01.2008 г.

Кирпичникова Ирина Михайловна в 1979 году окончила Челябинский институт механизации и электрификации сельского хозяйства (ныне Челябинский государственный агроинженерный университет), в 2001 году защитила докторскую диссертацию, профессор. С 2007 года работает заведующей кафедрой электротехники Южно-Уральского государственного университета. Научные интересы – электронно-ионная технология, использование нетрадиционных возобновляемых источников энергии.

Kirpichnikova Irina Mikhailovna in 1979 has ended the Chelyabinsk institute of mechanization and electrification of an agriculture, in 2001 has protected the thesis for a doctor's degree, the professor. Since 2007 works as managing faculty electrical engineers of the South-Ural state university. Scientific interests: electro-ionic technology, use of nonconventional renewed energy sources.

Соломин Евгений Викторович, генеральный директор ООО «ГРЦ «Вертикаль», в 1990 году окончил Будапештский технический университет, Венгрия, по специальности «Робототехника» Область научных интересов – ветроэнергетика.

Solomin Evgenie Viktorovich, the general director of Open Company "GRC- Vertical", in 1990 has ended the Budapest technical university, Hungary, on a speciality "A robotics". Area of scientific interests – windenergie.