

УДК 621

**В.М. Благодарный, К. Василко, И. Андрейчак  
ПРИВОДЫ МАЛЫХ ВЕТРЯНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ***Технический университет Кошце,  
Прешов, Словакия*

Производство ветряных электростанций является одной из прибыльных и бурно развивающихся отраслей промышленности на Западе. В Западной Европе, Америке, Азии, Австралии в последнее время начали активно строить ветряные электростанции, способные обеспечить энергией жилища и отдавать излишки электроэнергии в промышленные сети. Ветряная энергия ежегодно в мире , а особенно в Европе, считается важным и перспективным источником обеспечения энергетических нужд. Она способна обеспечить более 10% энергетических потребностей.

Из 2% энергии Солнца, попадающей на Землю, почти  $10^{20}$  Джоулей превращается в энергию ветра. Из этого количества энергии можно использовать каждую секунду почти  $10^{15}$  Джоулей [1]. Оптимальная скорость ветра, используемая в настоящее время в ветряных установках, обычно в пределах от  $2,5 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$  до  $12 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ . Скорости до  $2,5 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$  и выше  $25 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$  не используются. Скорости ниже  $2,5 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$  недостаточны для раскрутки ротора ветряной установки, скорости выше  $25 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$  опасны для ветряных установок, поэтому при таких скоростях ветряная установка должна быть остановлена.

Первые ветряные установки появились в Персии еще в 900 году. В Европе первые ветряные мельницы появились лишь в XI веке [2]. В XV столетии мачтовые ветряные мельницы начали строить в Голландии. Мощность мельниц с лопатками длиной до 15 м составляла почти 30 кВт. Первая ветряная электростанция мощностью 20 киловатт была построена в Германии в 1982 году, до настоящего времени она исправно работает. В настоящее время общая мощность ветряных установок в мире достигла 30379 МВт, что достаточно для питания электричеством 17 млн. квартир или односемейных домов. Первое место по использованию энергии ветра удерживает Европа - мощность европейских установок составляет 74% от мировой, на втором месте - Северная Америка: 16,2%, на третьем месте Азия - 8,1%. Теоретически ветряная электростанция способна использовать 59% энергии ветра. С точки зрения теории гидродинамики добиться большей эффективности ветряной электростанции не удастся. Реально достижимый максимальный коэффициент полезного действия ветряной электростанции составляет около 41%, что соответствует к.п.д. паровых электростанций [3].

Самую большую в мире ветровую электростанцию планируется построить в Испании на море вблизи мыса Трафальгар. Согласно представленному проекту этот комплекс будет состоять из 500 эоловых установок - ветряков с лопастями каждая по 54 метра [4]. Комплекс сможет обеспечивать электроэнергией город с 2,5 млн.

жителей. Сваи, на которых будут установлены ветряки, будут закреплены на глубине 30 метров в нескольких километрах от берега в районе, где обычно дуют сильные ветры. Создание такого комплекса предотвратит попадание в атмосферу 3,5 млн. тонн вредных газов, которые бы возникли при сжигании традиционных видов топлива. Ветряки будут очищать атмосферу так, как это бы сделали бы 173 млн. деревьев. Стоимость проекта составляет 2 млрд. евро, однако специалисты уверены, что расходы окупятся быстро. Создание комплекса ведет компания *Enerchia hydroelektrika de Navarra*, которая одной из первых в Испании начала использовать ветряную энергию.

Большой рост ветряных установок ожидается также в Америке, Канаде, Южной Америке, в азиатских странах: Индии, Японии и Китае. Ожидается также развитие ветровой энергии в Бразилии, где ощущается недостаток энергии. Очень интересны для создания ветряных установок такие земли, как Северная Африка, Австралия и Новая Зеландия.

В Европе далее будет идти развитие использования ветровой энергии, прежде всего в Германии, Испании, Великобритании, Италии, Швеции и Дании.

Бурное развитие ветровой энергии ожидается в Германии несмотря на то, что и сейчас количество энергии, вырабатываемой ветряными установками, достаточно велико. Основными производителями ветряных установок являются Германия, Испания и Дания. Одна серийная установка имеет мощность примерно 1,7 мегаватт, высота установки 124 метра, диаметр лопастей ветряка 112 метров. Наибольшая доля произведенных ветряных установок приходится на фирмы *Enercon*, *GE Wind Energy*, *Vestas*, *AN Windentrgie*, *RE power AG*, *Nordex AG*, *Fuhrkmdr* и другие. Фирма *Enercon* построила в Германии недалеко от Магдебурга наибольшую в настоящее время ветряную электростанцию мощностью 4,5 мегаватт. Каждое крыло ветряка имеет длину 52 метра. Гондола в виде яйца равна величине целого дома, вместе с генератором весит около 500 тонн. Высота башни 120 метров. Установка предназначена прежде всего для проведения исследований.

В Австрии в конце 2002 года в эксплуатации находилось 170 ветряных электростанций общей мощностью 150 мегаватт и с годовой производительностью 320 гиговаттчасов. Ветровая энергия покрывает 0,6% всего потребления энергии в Австрии. Ожидается строительство ветряных установок на востоке страны и получать ежегодно энергию примерно 400-600 мегаватт. В северных предгорьях Альп ветряные установки стоят на высоте 800-1200 метров над уровнем моря. В Швейцарии ветряные установки находятся на высоте 2300 метров над уровнем моря.

В [7] показано мировое потребление энергии, здесь хорошо видно, что в течение 100 лет потребление первых трех источников энергии почти прекратится, и весь мир перейдет на обновительные источники энергии, значительную часть которых составляет энергия ветра.

Ученые Дании на основе богатого опыта, приобретенного ими за многолетнюю эксплуатацию ветряных электростанций, классифицировали местности, на которых можно строить ветряные установки, по потенциальным возможностям на четыре категории (Рис. 1) [8]. К первой категории относятся открытые моря с отлогим побережьем, где скорость ветра ничем не ограничена. Энергетический потенциал такой местности оценивается в 100%. Ко второй категории относятся местности без леса и других препятствий, скорость ветра несколько снижена. В этом случае энергетический потенциал оценивается 70%. Местность с невысокими холмами, лесистая, с редкими фермами и населенными пунктами оценивается по энергетическому потенциалу в 50%.

И, наконец, гористый ландшафт с лесами, с густо населенными пунктами оценивается по энергетическому потенциалу в 30%. Можно заметить, что согласно

приведенной классификации Беларусь можно отнести к местности третьей категории, т.е. с энергетическим потенциалом в 50%. Много это или мало? Если учесть, что такие страны, как Австрия, Чехия, Словакия, Швейцария относятся к четвертой категории с энергетическим потенциалом в 30%, и несмотря на это успешно и усиленно развивают строительство ветряных электростанций, планируя достичь в ближайшие годы получать 12-15% всей энергии от этих источников энергии, то совершенно ясно, что в Белоруссии, как и в других европейских странах, необходимо развивать эту отрасль. Ветряные электростанции по мощности подразделяются на три группы [5]:

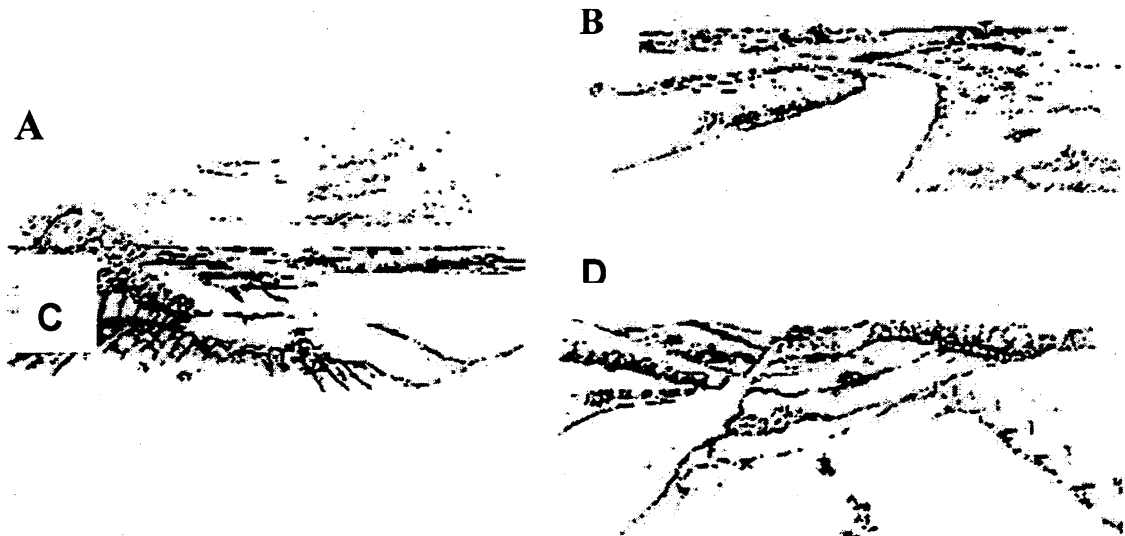


Рис. 1. Энергетический потенциал местностей с точки зрения размещения ветряных электростанций [8]:

А - открытое море, плоское побережье, скорость ветра неограничена (100%), В - равнинная местность без леса и других препятствий скорость ветра несколько снижена (70%), С - равнинная поверхность с невысокими холмами с лесами, фермами и редкими поселениями (50%), D - горная местность с лесами и другими растениями, с плотным заселением (30).

- малые с диаметром ротора до 10 м и мощностью до 10 кВт,
- средние с диаметром ротора до 50 м и мощностью 10 - 500 кВт.
- большие с диаметром ротора 50 - 200 м и мощностью 500 кВт - 10 МВт.

В настоящее время строят главным образом первые две группы ветряных электростанций. Малые ветряные электростанции используются для зарядки аккумуляторов и на нагрев воды в частных домах, фермах и т.д. Средние используют в основном для подачи энергии в сеть.

По расположению ротора встречаются два основных типа ветряных турбин:

- вертикальная, у которой лопадки смонтированы на вертикальной оси, в этом случае ротор не должен настраиваться на направление ветра; лопадки расположены низко над землей; мощность таких турбин невысокая;
- горизонтальная, с горизонтальной осью ротации, в настоящее время наиболее распространенная модель.

Схема привода типовой ветряной электростанции представлена на рис. 2. Привод ветряной электростанции размещается в специальном корпусе, называемым гондолой. Форма гондолы должна соответствовать аэродинамическим требованиям. Кроме того, гондола, в которой размещен привод генератора, расположена на

платформе, имеющей возможность поворачиваться вокруг вертикальной оси.

В качестве примера на рис. 3 показан привод ветряной установки *Vestas V20* [6].

Для устранения возможных перекосов осей валов редуктора и генератора между ними размещен карданный механизм. Кроме указанных на рис. 3 узлов привода ветряной установки, в гондоле размещено еще много других элементов, различных датчиков и приборов для регулирования и безопасности работы установки - температуры, вибрации, направления и скорости ветра, частоты вращения лопастей, мощности и температуры генератора и т.д. Кроме того, в гондоле должен находиться так называемый «черный ящик», который в случае аварии или катастрофы имеет все данные для проведения анализа причин случившегося.

Главными направлениями развития ветряных электростанций можно считать усовершенствование привода с целью увеличения его коэффициента полезного действия, возможность использования ветров малой силы, а также чрезмерно сильных ветров, обеспечение высокой надежности, а также удешевление производства ветряных электростанций.

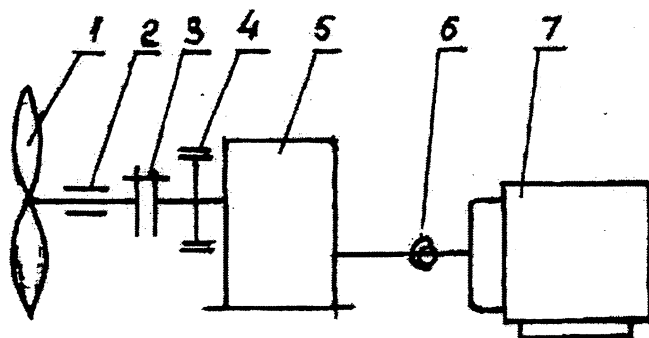


Рис. 2. Схема привода ветряной электростанции

1 - лопасти ветряка; 2 - главный вал; 3 - муфта; 4 - тормоз; 5 - редуктор; 6 - карданный механизм; 7 - генератор

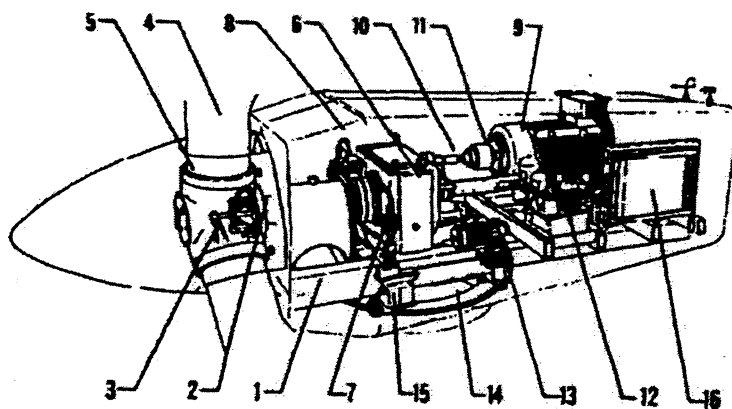


Рис. 3. Привод ветряной электростанции *Vestas V20*: 1 - рама; 2 - главный вал; 3 - втулка; 4 - лопасти ветряка; 5 - подшипник лопасти; 6 - редуктор; 7 - траверса; 8 - гидравлический тормоз; 9 - генератор; 10 - карданный механизм; 11 - муфта; 12 - гидроузел; 13 - электрические сервомоторы; 14 - торцовое зубчатое колесо; 15 - счетчик числа оборотов гондолы; 16 - центральный узел управления

**Заключение.** Энергия ветра в качестве постоянного источника энергии используется людьми уже очень давно, но в 20-21 столетии ветряная энергия получила новый виток в своем развитии. Благодаря общему техническому прогрессу в машиностроении, электротехнике в настоящее время можно создавать мощные ветряные электростанции, способные не только работать в качестве ветряных мельниц или приводить в движение насосные станции для подъема воды, как это происходило в древние и средние века, но и вырабатывать электроэнергию наравне с другими источниками энергии. При этом получение этой энергии экологически безопасно для окружающего пространства и экономически выгодно. Многие фирмы научились производить достаточно надежные и эффективные установки, но проблема повышения эффективности и коэффициента полезного действия ветряных электростанций остается важной и актуальной.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Obnovitelne energeticke zdroje/ Slovenska energeticka agentura. Bratislava: Klemo, 2002.-31s.
2. Vasilko Karol. Historia techniky a technologie. Sabinov: Drosco, 1999. - 210s.
3. Winkelmejer H. Rust instalovanych vykonu vetrnych elektraren ve svete k 31-12-2001// Veterna energia, 6.2, 2002, s. 18-19.
4. Наука и жизнь, №8. -2003. S.Obnovitelne energeticke zdroje: Veterna energia, vodna energia/ Slovenska energeticka agentura. Bratislava: Klemo, 2002.-40s.
6. Stibrany P. Veterna energetika. Bratislava: Porygrafia vedeckej literatury a casopisov SAV, 2002. -253s.
7. Noskievic Pavel. Fakta a o obnovitelnych zdrojich//
8. Nordjyllansvaerket Windmills. (Firemni literatura).

УДК 621.833

**В.М. Благодарный, С. Павленко**

## **ЧЕРВЯЧНЫЕ РЕДУКТОРЫ ПОНИЖЕННОЙ ВИБРОАКТИВНОСТИ**

*Технический университет Кошице  
Прешов, Словакия*

Вопросы повышения работоспособности червячных редукторов являются весьма актуальными и важными. В приводах кранов, лифтов и других подъемно-транспортных устройств червячные редукторы работают в сложных условиях. Большие переменные нагрузки, частые пуски и остановки, реверс - все это вызывает значительный износ рабочих поверхностей зубьев червячных колес и приводит к потере работоспособности редукторов. Одним из путей повышения их работоспособности является увеличение демпфирующей способности зубьев колес и витков червяков, противостоящей ударным импульсам, возникающим при пусках, остановках и реверсе[1].

Из опыта выполнения зубчатых колес пониженной виброактивности известно несколько путей их конструирования [2]:

1. Зубчатые колеса с повышенной податливостью зубьев, дисков, размещенных между венцом и ступицей;
2. Зубчатые колеса, имеющие накладные демпферы;
3. Составные зубчатые колеса, состоящие из венцов и ступиц, соединенных упругими сосредоточенными или размещенными вдоль поверхности разъема элементами;