



# Энергия, рожденная ветром

Использовать энергию ветра люди научились с незапамятных времен — достаточно вспомнить паруса или ветряные мельницы. Лет сто назад возникла проблема преобразования ветровой энергии в более удобные для всех электрические киловатты, а следом — и проблема ее накопления и сбережения.



To use a wind power people have learnt from times immemorial — it's enough to recollect sails or windmills. About hundred years ago there was a problem of wind energy transformation into more convenient for all electric kilowatts, and then — the problem of its accumulation and savings.

## Классификация ветроустановок

По расположению оси ротора выделяют ветрогенераторы (ВГ) с горизонтальной осью и вертикальной осью. Среди ветроустановок (ВЭУ) с вертикальной осью вращения нашли применение ветроустановки с ротором Дарье и ветроустановки с ротором Савониуса.

Подавляющее большинство современных ВГ имеют горизонтальную ось вращения благодаря следующим преимуществам:

- более высокий КПД, чем у ротора Савониуса (примерно в 3 раза), и высокие массогабаритные показатели;
- легче регулировать мощности и осуществлять буревую защиту, чем у роторов Савониуса и Дарье;
- лучшее страгивание ротора в слабый ветер, чем у ротора Дарье.

В то же время маломощные (менее 1 кВт) ВЭУ с вертикальной осью вращения нашли некоторое применение благодаря малому шуму, простоте

конструкции и отсутствию необходимости ориентации ротора на ветер. Далее рассматриваются только ВГ с горизонтальной осью вращения, мировая доля производства которых составляет более 95%.

По быстроходности и количеству лопастей ВГ делятся на быстроходные и тихоходные. Ротор быстроходных ВГ имеет 2 или 3 лопасти с аэродинамическим профилем. Тихоходные ВГ имеют 6 и более лопастей с упрощенным профилем из листового материала. Быстроходные ВГ имеют более высокий КПД и высокую частоту вращения, но малый стартовый момент ротора. Поэтому быстроходные ВГ выгодно использовать с электрическим генератором, имеющим высокую частоту вращения (для уменьшения массогабаритных характеристик) и малый момент страгивания. Тихоходные ВГ обычно агрегируются с водяными насосами, которые имеют большой момент страгивания и малую частоту вращения. Несмотря на более высокую стоимость, большее распространение получили быстроходные 3-лопастные ВГ, чем 2-лопастные.

По установленной мощности ВЭУ можно классифицировать следующим образом:

- ВЭУ малой мощности (установленная мощность до 100 кВт);
- ВЭУ средней мощности (установленная мощность от 100 до 1000 кВт);
- ВЭУ мегаваттного класса или ВЭУ большой мощности (установленная мощность больше 1000 кВт).

По типу вырабатываемой энергии ВЭУ бывают: электрические, водонасосные, пневматические и тепловые. В первом случае ротор посредством трансмиссии связывается с электро-

генератором, во втором случае ротор приводит в действие водяной насос, в третьем случае — компрессор, в четвертом — механическую тепловую мешалку. Подавляющее большинство современных ВЭУ электрические (более 95%), так как электроэнергию можно легко транспортировать и преобразовывать в любые другие виды энергии.

По типу потребителей энергии различают ВЭУ автономные и сетевого назначения. В первом случае ВЭУ осуществляют энергоснабжение удаленных от центральных электросетей потребителей. Во втором — сооружаются ветроэлектростанции (ВЭС), считающие несколько десятков или сотен крупных ВЭУ, которые отдают энергию в сеть. Как правило, сетевые установки имеют мощность более 100 кВт, а автономные менее 100 кВт.

Из-за непостоянства скорости ветра автономные ВЭУ не могут обеспечить гарантированное энергоснабжение. При работе ВЭУ на электрическую сеть проблема решается автоматически, так как ВЭУ не является основным источником энергии. Для обеспечения гарантированного энергообеспечения автономные ВЭУ дополняются системами аккумуляции энергии или используются совместно с традиционными энергоустановками, такими как дизельные и бензиновые электростанции, печи и тепловые котлы.

Системы аккумуляции электроэнергии являются громоздкими и составляют значительную долю стоимости ВЭУ, поэтому данные системы рассчитываются для перекрытия небольшого ветрового шторма (менее недели). Наибольшее распространение получили электрохимические аккумуляторные батареи (АКБ). Однако существуют примеры ВЭУ, в которых аккумуляция осуществляется с небольшими денежными затратами. Например, система водяного отопления, насосная или компрессорная станция. В первом случае тепловая энергия аккумулируется в виде горячей воды, во втором — энергия ак-



кумулируется в виде поднятой на определенную высоту воды или в виде сжатого воздуха.

В автономном энергоснабжении наибольшее распространение получили ветродизельные комплексы (ВДК), которые включают аккумуляторную батарею и ДЭС. ВДК способны обеспечить гарантированное автономное энергоснабжение. За счет экономии дизельного топлива ВДК конкурентоспособны с дизельными электростанциями.

### Элементы и системы ВЭУ

**Ротор и материалы для его изготовления.** Для улучшения аэродинамики и повышения прочности лопасти ротора должны обладать следующими признаками:

- использован профиль (обычно авиационный) с высоким аэродинамическим качеством (отношения подъемной силы профиля к силе лобового сопротивления);

- присутствует сужение лопасти (отношение ширины лопасти у основания к ширине лопасти на конце), которое может составлять от 2 до 6;

- присутствует кривая лопасти — изменение угла установки профиля лопасти (угол между плоскостью вращения и хордой профиля) по длине в соответствии с определенным законом (количественно кривая выражается разностью между углом установки профиля лопасти у основания и на конце и может составлять 10–20 град);

- для увеличения прочности лопасть может иметь переменную по длине относительную толщину профиля (отношение толщины профиля к его хорде), при этом относительная толщина увеличивается к основанию, например, от 0,2 до 0,1.

Для упрощения технологии изготовления лопастей геометрия может быть упрощена. В частности, может отсутствовать кривая и сужение. Упрощение формы лопасти может снизить мощность ВЭУ на 5–10%.

В настоящее время лопасти изготавливаются из алюминия, дерева (фанера), стеклопластика



(углепластика). Наибольшее распространение получили стеклопластиковые лопасти благодаря следующим преимуществам:

- высокой удельной и усталостной прочности;

- технологичности изготовления, что позволяет получать лопасти с любой геометрией;

- производство стеклопластиковых лопастей не требует высокотехнологического оборудования и может быть освоено без значительных капитальных вложений.

**Генератор.** Можно выделить следующие типы генераторов, которые используются на ВЭУ:

- тихоходный синхронный генератор с постоянными магнитами. Значительное преимущество данного генератора — отсутствие редуктора и, как следствие, повышение надежности и увеличение КПД преобразования энергии;

- быстроходный синхронный генератор с электрическим возбуждением, который используется совместно с мультипликатором. Преимущество данной схемы — меньшая стоимость по сравнению с тихоходным генератором;

- асинхронный генератор (по сути — серийный асинхронный электродвигатель). Ограниченно используется на сетевых ВЭУ. Для автономных ВЭУ асинхронный генератор широкого применения не нашел, так как существует проблема его возбуждения на частотах вращения ниже номинальной.

**Система ориентации.** Существуют следующие системы ориентации на направление ветра:

- флюгер для использования в ВЭУ мощностью до 50 кВт. Отличается простотой и надежностью, но не может ограничить угловую скорость разворота головки ВЭУ;

- виндрозный механизм, состоящий из 1–2 ветровых колес, которые через червячный редуктор ориентируют головку ВГ. По сравнению с флюгером требует обслуживания, но обеспечивает малую скорость разворота головки. Ограниченно используется

на ВЭУ мощностью от 10 до 250 кВт.

- электромеханическая система ориентации по команде от датчика направления ветра. Используется на ВЭУ мощностью более 50 кВт.

Необходимость ограничения угловой скорости разворота головки связана с тем, что с ростом скорости разворота растут нагрузки на лопасти и главный вал.

**Системы регулирования частоты вращения ротора и буревые защиты.** Существуют следующие системы регулирования и ограничения мощности:

- центробежно-пружинное регулирование,





которое осуществляется за счет изменения угла установки лопастей под воздействием центробежных сил. Обеспечивает регулирование частоты вращения ротора в пределах 5–10%. Используется для автономных ВЭУ мощностью от 5 до 50 кВт. Для обеспечения буревой защиты лопасти могут выводиться автоматически во флюгерное положение (угол установки близок к 90°) при скорости ветра более 25–30 м/с.

– увод ротора в косой поток. Регулирование осуществляется за счет изменения угла косого потока (угла между нормалью к плоскости ротора и направлением ветра). Точность поддержания частоты вращения мала — 20–30%. Используется для автономных ВЭУ мощностью до 10 кВт, предназначенных для заряда АКБ. При работе ВЭУ на выпрямитель не требуется стабильная частота электрического тока, а, следовательно, и стабилизация частоты вращения ротора. Данная система регулирования обеспечивает автоматически буревую защиту, так как при скорости ветра 25–30 м/с угол косого потока ротора близок к 90°, при этом мощность и частота вращения даже меньше, чем в номинальном режиме. Основное преимущество данной системы — простота и надежность, так как используются неповоротные лопасти;

– активное регулирование, осуществляемое за счет изменения угла установки лопастей электрическим или гидравлическим приводом по команде от автоматической системы управления. Используется для ВЭУ мощностью более 50 кВт. Для обеспечения буревой защиты лопасти выводятся автоматически во флюгер (угол установки близок к 90°) при скорости ветра более 25–30 м/с.

**Системы останова ВГ** (данные системы могут быть дополнены фрикционными тормозными устройствами главного вала):

– вывод лопастей во флюгерное положение. Данная система позволяет резко снизить частоту вращения ротора ВГ. Данная система может быть применима для ВГ с поворотными лопастями;

– поворот флюгера на 90 град. Данная система позволяет резко снизить частоту вращения ротора ВГ. Применима для ВГ с неповоротными лопастями;

– короткое замыкание генератора. Данная система позволяет резко

снизить частоту вращения ротора ВГ. Применима для ВГ с генератором на постоянных магнитах;

– вывод лопастей на отрицательные углы установки. Данная система позволяет остановить вращение ротора ВЭУ. Применима для ВЭУ с поворотными лопастями.

### **Системы токобъема:**

– токобъемник, состоящий из колец и щеток;

– закручивающийся кабель (который через определенный интервал времени приходится отсоединять и раскручивать вручную);

– автоматическая система раскручивания кабеля. Применяется на ВГ с электромеханической системой ориентации. По команде от датчика оборотов кабеля ВГ автоматически оста-



навливается, после этого электропривод раскручивает головку ВГ вместе с кабелем.

**Мачта и башня.** Мачта ВЭУ закрепляется растяжками. Башня растяжек не имеет. Преимущества мачты по сравнению с башней следующие:

– небольшая масса и стоимость благодаря небольшим нагрузкам на конструкцию;

– можно использовать гравитационный фундамент, состоящий из стандартных бетонных блоков;

– позволяет использовать модульную конструкцию, при этом можно

изменять высоту мачты при изменении количества секций и ярусов растяжек.

Вместе с тем мачта имеет следующие недостатки по сравнению с башней:

– необходимо регулировать растяжки в процессе эксплуатации, так как со временем растяжки вытягиваются;

– мачта с растяжками занимает достаточно большое пространство, так как для снижения нагрузки на фундамент опоры растяжек разнесены на значительное расстояние от мачты.

**Электрические схемы ВЭУ.** Электросхема сетевой ВЭУ является наиболее дешевой и простой. Данная схема включает ведомый сетью инвертор. Если генератор ВЭУ работает на переменной частоте вращения, то электрическая схема может включать еще управляемый выпрямитель.

Электросхема автономной ВЭУ в наиболее полном виде включает следующие элементы:

– ветроагрегат (ВА), состоящий из ветрогенератора (ВГ), мачты (башни) и кабеля;

– контроллер нагрузок, которые подключаются непосредственно после генератора ВЭУ. Так как энергия ветра постоянно меняется, то нагрузка, которая подключается после генератора, должна быть секционирована. Функция контроллера — подключать и отключать секции нагрузки;

– регулятор заряда аккумуляторной батареи (АКБ), который выполняет функцию выпрямителя и зарядного устройства для АКБ;

– АКБ;

– контроллер нагрузок постоянного тока. Для уменьшения мощности инвертора нагрузки постоянного тока могут быть подключены непосредственно к АКБ. Функция контроллера отключать данные нагрузки, если АКБ разряжена.

– термоэлектрический элемент (ТЭН) для рассеивания мощности ВЭУ в случае, когда АКБ заряжена. ТЭН должен присутствовать на ВЭУ с регулированием мощности выводом ротора в косой поток;

– инвертор — преобразователь напряжения АКБ в стандартное (220 В / 50 Гц или 380 В / 50 Гц).

**Аккумуляторные батареи** кислотные или щелочные. Среди кислотных АБ наибольшее распространение получили свинцово-кислотные аккумуляторы. Щелочные аккумуляторы бывают железоникелевые, никель-кадмиевые, серебряно-цинковые, никель-цин-

ковые и др. Никель-цинковые и серебряно-цинковые не представляют интереса для бытовых энергосистем из-за высокой стоимости. Для ВЭУ можно рекомендовать свинцово-кислотные или железоникелевые батареи.

**Инверторы** преобразуют энергию постоянного тока, запасенную в АКБ, в стандартное напряжение 220 В/50 Гц. Мощность инвертора выбирается, исходя из пиковой мощности потребления.

Есть две группы инверторов, которые различаются по стоимости примерно 1,5–2 раза. Первая группа более дорогих инверторов обеспечивает синусоидальное выходное напряжение. Вторая группа обеспечивает выходное напряжение в виде упрощенного сигнала, который называется «модифицированная синусоида». Для подавляющего большинства бытовых приборов можно использовать модифицированную синусоиду, хотя есть сведения, что данная синусоида уменьшает долговечность некоторых электроприборов.

Инвертор должен иметь следующие степени защиты (аварийное отключение): от перегрузки, от перезаряда

АКБ, от переряда АКБ, от ошибки подключения «плюса» и «минуса».

### Рекомендации по выбору места

Условия, желательные для места установки ВЭУ, следующие: большая среднегодовая скорость ветра; отсутствие высоких препятствий с подветренной стороны на расстоянии, которое определяется высотой препятствия. Наиболее желательное расположение: плоская вершина; возвышенность (с отлогими склонами) на плоской равнине или островах озер или морей; открытые равнины или побережье; горное ущелье, образующее туннель.

Можно привести следующие общие рекомендации по выбору места:

- ось ВГ должна располагаться на 10 м выше любых препятствий в радиусе 100 м;
- предпочтительными местами расположения ВГ являются открытые пространства, особенно на берегах больших водоемов;
- в холмистой местности ВГ следует располагать на наветренной стороне пологой возвышенности (если

известно доминирующее направление ветра);

– в горной местности ВГ следует располагать в горных проходах, на пологих безлесных склонах, по возможности, на меньшей высоте над уровнем моря.

Мощность ВЭУ пропорциональна кубу скорости ветра. Это означает, что на территории, где предполагается установить ВЭУ должно быть выбрано место с наивысшей скоростью ветра. Выбор места для ВЭУ достаточно просто сделать для равнинной местности, более сложно в случае гористой или холмистой местности.

Дополнительные факторы, которые должны учитываться при выборе места, следующие:

- торможение у земли;
- турбуленция, возникающая позади зданий, деревьев, гребней и т.д.;
- орфография местности, т.е. ускорение потока на вершинах холмов, гребней и т.д.;
- взаимное влияние ВЭУ при создании «ветропарков».

*Анна Казакова,  
по материалам интернет*

 **АвтоПромПодшипник**  
**ПОДШИПНИКИ**  
ремни, цепи, сальники



61052, г. Харьков,  
ул. Дмитриевская, 20  
т.: (057) 703-20-02,  
712-15-11, 715-51-60  
info@autopp.biz www.autopp.biz

**OTTOM**

торговая марка лучших  
общепромышленных и вакуумных  
электропечей сопротивления



[www.ottom.com.ua](http://www.ottom.com.ua) тел/факс 8 057 335-25-45  
61108, Украина, Харьков, а/я 10363  
[v.shulayev@kipt.kharkov.ua](mailto:v.shulayev@kipt.kharkov.ua)

**ТзОВ «Свіча»**  
Виготовляє:

- комплекси обладнання для автоматичного штампування деталей з стрічкового матеріалу або смуг.
- прес-автомат зусиллям 250 кН з нижнім приводом.
- штампи для виготовлення деталей кріплення гіпсокартону та автоматичної лінії для них.
- штампи і форми під замовлення.


**СВІЧА** Тел: (03422) 3-20-93, 50-13-45  
Тел/факс: (03422) 750-896

**WWW.MTT.COM.UA**