

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ  
**Институт транспортных систем и технологий "Трансмаг"**  
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ  
**Государственное высшее учебное заведение  
«Национальный горный университет»**

**ВЕТРОЭНЕРГЕТИКА  
ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ  
ОБЗОР ПО АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ**

**Монография**

Под общей редакцией  
**В.А. Дзензерского и Г.Г. Пивняка**

**Днепропетровск  
НГУ  
2014**

УДК 621.311.245  
ББК 31.62  
В39

*Рекомендовано до видання вченою радою  
Державного ВНЗ “Національний гірничий університет”  
(протокол № 9 від 13.11.2014)*

**Рецензенти:**

В.Г. Сиченко – д-р техн. наук, професор (Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна);

Ю.Г. Качан – д-р техн. наук, професор (Запорізька державна інженерна академія).

**В39** **Ветроэнергетика.** Информационно-аналитический обзор по альтернативной энергетике: монография / С.В. Тарасов, Ф.П. Шкрабец, В.А. Задонцев, С.В. Отчич; под общ. ред. В.А. Дзензерского и Г.Г. Пивняка; М-во образования и науки Украины, Нац. горн. ун-т. – Д.: НГУ, 2014. – 156 с.

ISBN 978-966-350-524-4

Представлены итоги и прогнозы развития мирового рынка ветроэнергетики, включая результаты деятельности ведущих стран мира, а также стран СНГ, в том числе Украины. Приведены результаты анализа мирового рынка наземной и оффшорной ветроэнергетики с указанием долей ведущих стран мира по развитию указанного вида альтернативной энергетики, последние научные достижения и технические разработки в области ветроэнергетики, позволяющие определить основные направления развития научно-технического прогресса в указанной сфере и основные тенденции развития мирового рынка ветроэнергетики.

Для специалистов, работающих в сфере разработки, строительства и эксплуатации ветроэнергетических систем, а также для аспирантов и студентов специальности “Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии”.

УДК 621.311.245  
ББК 31.62

ISBN 978-966-350-524-4

© С.В. Тарасов, Ф.П. Шкрабец,  
В.А. Задонцев, С.В. Отчич, 2014  
© Державний ВНЗ «Національний  
гірничий університет», 2014

## ВВЕДЕНИЕ

---

Ветроэнергетика - отрасль энергетики, специализирующаяся на использовании энергии ветра - кинетической энергии воздушных масс в атмосфере. Энергию ветра относят к возобновляемым видам энергии, так как она является следствием деятельности солнца.

В наследство от прошлого промышленного века нам достались нерешенные проблемы, связанные с загрязнением окружающей среды и реальной угрозой глобального потепления. XXI век диктует новые подходы к энергетической безопасности наций, представляя новые экологически чистые технологии, применение которых не оказывает негативного воздействия на окружающую среду. Именно возобновляемая энергетика сможет решить вопрос обеспечения национальной энергобезопасности и энергонезависимости Украины. "Уже сегодня Украина может покрыть половину своих нужд в электроэнергии за счет возобновляемой и небалансовой энергии" - такие оптимистические выводы прозвучали на круглом столе "Возобновляемые источники энергии - путь к энергетической независимости и экологической безопасности Украины". Люди все больше задумываются о том, чтобы пользоваться надежными, безопасными и экологичными альтернативными источниками энергии. Например – энергией ветров.

Если промышленный выпуск электродвигателей для механического привода машин был налажен в начале XX в, а электрических ветроагрегатов с генераторами небольшой мощности – примерно в 20-годах. В 1937 году вблизи Ялты была построена ВЭС мощностью 100 кВт, находящейся от нее на расстоянии 32 км. Годовая выработка энергии составляла около 280 тыс. кВт\*ч при коэффициенте использования энергии ветра 0,32.

Рассматривая историю развития мировой ветроэнергетики, следует отметить значительный вклад украинских ученых в ее развитие. Именно в Украине рождались принципиально новые технические решения, явив-

шиеся стандартом для современных ВЭУ и за которыми до настоящего времени сохраняется украинский приоритет. Одним из выдающихся украинских ученых в области аэрогидродинамики и теории авиации был Г.Ф. Проскура, которому принадлежит приоритет в развитии теории пропеллерных ветротурбин. В 1933 году под руководством Г.Ф. Проскуры спроектирована ветросиловая станция мощностью 4500 кВт (диаметр колеса 80 м, высота башни 150 м). Конфигурация этой ВЭУ соответствовала европейской концепции того периода. Экспериментальный ветроагрегат мощностью 100 кВт был разработан и установлен в Балаклаве в 1931-м. Он вырабатывал электроэнергию для трамвайной линии Балаклава – Севастополь и был разрушен во время войны. Это первая сетевая установка мощностью 100 кВт, диаметром 30 м.

Потенциал ветровой энергии, который может быть использован до 2030 г., оценивается в 16 ГВт, причем ежегодно можно производить от 25 до 30 ТВт·час электроэнергии. Кроме того, Агентство по вопросам обеспечения эффективного использования энергетических ресурсов считает, что до 2050 г. может использоваться до 30 ТВт·час ветровой энергии, тогда как общий технический потенциал ветровой энергии составляет 42 ТВт·час. В украинской Энергетической стратегии планируется, что до 2030 г. в Украине 2 ТВт·час электроэнергии будут производиться ветровыми установками.

Преимущества ветровой энергетики:

- низкая себестоимость – ветроэнергетика может конкурировать с ядерной, угольной и газовой энергетикой;
- нулевая стоимость топливной составляющей, неисчерпаемый источник энергии и доступен в неограниченном количестве;
- экологически приемлемая энергетика – производство энергии не сопровождается выбросом диоксида углерода;
- ветроэнергетика не имеет рисков, связанных с нестабильностью цен на ископаемое топливо;
- надежность поставок – ветроэнергетика позволяет избежать зависимости от импорта энергоресурсов;
- модульный дизайн, быстрый монтаж;

– электроснабжение по объёмам становится сопоставимым с традиционными способами генерации;

– ветроэнергетика не мешает ведению сельского хозяйства и промышленной деятельности вблизи ветростанций.

В мире было проведено несколько исследований по оценке ресурсов ветровой энергетики и наиболее детально для Европы. Эти исследования подтверждают, что ветровые ресурсы огромны и равномерно распределены практически по всем регионам и странам. Недостаточная сила ветра вряд ли может стать сдерживающим фактором развития ветровой энергетики в мире. Анализ ресурсов, проведенный для отдельных стран и регионов, часто указывает на более высокий потенциал, чем тот, что показывали глобальные исследования.

Ветровая энергетика часто характеризуется как "скачкообразная" и по этой причине ненадежный источник энергии. На самом деле остановки (выключения) и включения ветровых турбин не являются хаотичными. Их мощность переменная, как и в любой другой энергетической системе. Потоки энергии – как при потреблении, так и при производстве – находятся под влиянием ряда прогнозируемых и непрогнозируемых факторов. Например, изменения в погоде вынуждают людей включать и выключать отопление и освещение. С другой стороны, в системе электроснабжения, когда крупная электростанция через аварию или плановое отключение отключается от сети, это происходит мгновенно и ведет к немедленным потерям в сети сотен мегават. Ветровая энергетика не дает таких неожиданных сбоев. Колебания воспринимаются мягче благодаря сотням и тысячам генераторов (что предпочтительнее нескольких крупных электростанций), упрощающих прогнозирование и управление этими колебаниями. Общий эффект от прекращения ветра в одном определенном месте незначителен, так как ветер всегда где-то есть).

Ветровая энергетика всегда будет влиять на резервы энергетической системы, величина которых будет зависеть от размера энергосистемы, вида генерации, колебаний, управление спросом и степенью интеграции с другими системами. При этом крупные энергосистемы могут использовать преимущество, заключающееся в разнообразии источников генера-

ции. У таких систем есть гибкие механизмы для сопровождения изменений нагрузки и остановки станций, которые не всегда можно точно прогнозировать.

По прогнозам аналитиков, в ближайшие годы ветроэнергетика в Украине будет развиваться быстрее, по сравнению с другими видами возобновляемой энергетики, а общая мощность ветропарков превысит мощность солнечных станций в 10 раз. По мнению экспертов, это обусловлено тем, что по сравнению с фотоэлектрическими модулями, при одинаковой мощности, ветроустановки занимают меньшую площадь и стоят намного дешевле.

Согласно прогнозу [5] мировое потребление первичной энергии будет расти примерно на 1,6% в год до 2030 г., что даст общий прирост потребления на 36%. Темпы роста снизятся с 2,5% в год в 2000 - 2010 гг. до 2,1% в год в 2010 - 2020 гг. и 1,3% в год в 2020 - 30 гг. Сравнивая динамику приростов народонаселения и потребления энергии видно, что прирост энергопотребления будет выше, т.е. жителям земли будет необходимо все больше и больше энергии для удовлетворения своих жизненных потребностей.

# 1. ЭНЕРГИЯ ВЕТРА

---

Энергия ветра, являясь производной энергии Солнца, образуется за счет неравномерного нагревания поверхности Земли. Каждый час Земля получает 100 000 000 000 000 кВт·ч энергии Солнца. Около 1-2 % солнечной энергии преобразуется в энергию ветра. Этот показатель в 50-100 раз превышает количество энергии, преобразованной в биомассу всеми растениями Земли. На протяжении нескольких тысячелетий человечество использует энергию ветра. Ветер надувал паруса кораблей, заставлял работать ветряные мельницы. Кинетическая энергия ветра всегда была и остается доступной практически во всех уголках Земли. Энергия ветра привлекательна и с точки зрения экологии: при ее использовании нет выбросов в атмосферу, нет опасных радиоактивных отходов.

Ветер, как первичный источник энергии, ничего не стоит. К тому же, этот источник энергии может использоваться децентрализованно. Нет необходимости в создании таких инфраструктур как, например, при производстве и передаче электроэнергии, выработанной за счет сжигания нефти или природного газа. Как источник энергии, ветер является менее предсказуемым в отличие от, например, Солнца, однако в определенные периоды наличие ветра наблюдается на протяжении целого дня. На ветровые ресурсы влияет рельеф Земли и наличие препятствий, расположенных на высоте до 100 метров. Поэтому ветер в большей степени зависит от местных условий, чем энергия Солнца. В гористой местности, к примеру, два участка могут обладать одинаковым солнечным потенциалом, но вполне возможно, что их ветровой потенциал будет различен, в первую очередь из-за различий в рельефе и направлений ветровых потоков. Важно также помнить, что количество энергии, произведенной за счет ветра, зависит от плотности воздуха, от площади, охваченной лопастями ветротурбины при вращении, а также от скорости ветра.

Скорость ветра является наиболее важным фактором, влияющим на количество энергии, которое ветрогенератор может преобразовать в электроэнергию. Большая скорость ветра увеличивает объем проходящих

воздушных масс. Поэтому с увеличением скорости ветра возрастает и количество электроэнергии, выработанной ветроэлектростанцией. Энергия ветра изменяется пропорционально кубу скорости ветра. Таким образом, например, если скорость ветра удваивается, кинетическая энергия, полученная ротором, увеличивается в восемь раз. Приведенная ниже таблица (согласно Датской ассоциации производителей ветротурбин) показывает значения энергии ветра в стандартных условиях (сухой воздух, плотность – 1,225 кг/м<sup>3</sup>, атмосферное давление над уровнем моря 760 мм рт. столба).

<i>м/с</i>	<i>Вт/м<sup>2</sup></i>
1	1
3	17
5	77
9	477
11	815
15	2067
18	3572
21	5672
23	7452

Ветровой поток, встречая при движении на своём пути лопасти, отдает свою энергию ветроколесу. Вследствие наличия аэродинамических потерь ветроколесо использует только часть мощности ветрового потока. При этом в результате непрерывного изменения мгновенных скоростей ветра в значительных пределах изменяется энергия ветрового потока, а следовательно, мощность, развиваемая ветроколесом.

Природные ветровые условия постоянно изменяются, меняется также и скорость ветра. Конструкция ветрогенератора рассчитана для работы при скорости ветра в диапазоне 3 - 30 м/сек. Более высокая скорость ветра может разрушить ветряк, поэтому большие ветрогенераторы осна-



щены тормозами. Малые ветряки могут работать и при скорости ветра меньше, чем 3 м/сек.

Поверхность Земли с ее растительностью и строениями, находящимися на ней, является основным фактором, влияющим на уменьшение скорости ветра. Это явление описывают как влияние неровности рельефа. С удалением от поверхности Земли уменьшается и влияние неровности рельефа, при этом ламинарные воздушные потоки увеличиваются. Другими словами, чем выше - тем больше скорость ветра. На высоте около 1 км рельеф практически не влияет на скорость ветра. В более низких слоях атмосферы на скорость ветра большое влияние оказывает трение с поверхностью Земли. Для ветроэнергетики это означает, что чем больше неровность рельефа, тем ниже будет скорость ветра. Скорость ветра в значительной степени замедляется из-за лесов и больших городов, в то время как большие водные пространства или, к примеру, территории аэропортов почти не оказывают замедляющего эффекта на ветер. Здания, леса и другие препятствия не только замедляют скорость ветра, но и создают турбулентные потоки.

Как уже было отмечено, меньше всего на скорость ветра влияют водные пространства. Оценивая пригодность данной территории для установки ветряка, т.е. ее ветровой потенциал, специалисты пользуются классификацией неровности рельефа. Более высокий класс неровности рельефа означает большее количество препятствий на поверхности и, соответственно, большее замедляющее влияние на скорость ветра. Поверхность моря определяется как неровность класса 0.

Классификация неровностей поверхности и рельефа:

- 0 - водная поверхность;
- 0.5 - полностью открытый рельеф с гладкой поверхностью (взлетные полосы на территории аэродромов, покосы);
- 1 - открытая сельскохозяйственная местность без заборов, изгородей и низких строений; малые возвышенности;
- 1.5 - сельскохозяйственные угодья с несколькими зданиями и навесами высотой до 8 м, расположенными друг от друга на расстоянии около 1250 м;

- 2 - сельскохозяйственные угодья с несколькими зданиями и навесами высотой до 8 м, расположенными друг от друга на расстоянии около 500 м;
- 2.5 - сельскохозяйственные угодья с большим количеством зданий, с деревьями, кустарниками или навесами высотой до 8 м, расположенными друг от друга на расстоянии около 250 м;
- 3 - деревни, поселки, сельскохозяйственные земли с большим количеством или с очень высокими изгородями, лесами, а также очень неровный рельеф;
- 3.5 - города с высокими зданиями;
- 4 - большие города, мегаполисы с высокими зданиями и небоскребами.

В промышленности также существует такое понятие как сдвиг ветра. Оно описывает процесс уменьшения скорости вихревых потоков по мере их приближения к поверхности земли. Сдвиг ветра также необходимо учитывать во время проектирования ветроустановки. Так, если ветротурбина имеет большой диаметр ротора, но высота ее башни незначительна, то в результате ветер, воздействующий на конец лопасти, находящейся в верхней позиции, будет иметь максимальную скорость, а ветровой поток, воздействующий на конец лопасти, находящейся внизу, будет минимальным, что может привести к разрушению ветряка.

Ветроэнергетические установки обычно используют ветер в приземном слое на высоте до 50–70 м, реже – до 100 - 150 м от поверхности Земли, поэтому наибольший интерес представляют характеристики движения воздушных потоков именно в этом слое. Важнейшей характеристикой, определяющей энергетическую ценность ветра, является его скорость. В силу ряда метеорологических факторов (возмущения атмосферы, изменения солнечной активности, количества тепловой энергии, поступающей на Землю, и других причин), а также вследствие влияния рельефных условий, непрерывная длительность ветра в данной местности, его скорость и направление изменяются по случайному закону. Поэтому мощность, которую может вырабатывать ветроустановка в различные периоды времени, удастся предсказывать с очень малой вероятностью. В то

же время суммарную выработку агрегата, особенно за длительный промежуток времени, можно рассчитать с высоким уровнем достоверности, так как средняя скорость ветра и частота распределения скоростей в течение года или сезона изменяются незначительно.

Важнейшее значение для надежности и долговечности ветроэнергетической установки имеют значения предельных скоростей ветра в зоне. Они определяют принимаемые расчетные нормативы при проектировании узлов и конструкций установки на прочность, параметры регуляторов, аэродинамические характеристики лопастей.

Важной характеристикой является вертикальный профиль ветра, т.е. изменения его скорости по высоте в приземном слое. Влияние земной поверхности на скорость и направление ветра уменьшается по мере увеличения высоты. Поэтому скорость обычно возрастает, а порывистость и ускорения потока снижаются. Градиент скоростей летом, как правило, меньше, чем зимой, когда вертикальный перепад температур относительно небольшой.

На основании данных наблюдения скоростей ветра по высоте некоторыми исследователями выведены обобщающие формулы для определения скорости ветра по высоте. Из них наиболее простая зависимость для высоты от 5 м и выше имеет следующее выражение:

$$V = V_0 \left( \frac{h}{h_0} \right)^{\frac{1}{5}},$$

где:  $V_0$  и  $h_0$  – соответственно скорость и высота, замеренные вблизи земли;  $V$  – скорость, определяемая для высоты  $h$ .

Различные препятствия на земной поверхности сильно влияют на скорость и направление воздушных течений. Часть воздушного потока при обтекании препятствий из прямолинейного движения переходит в беспорядочное, вихревое. Воздушные струи, непосредственно обтекающие края препятствий, срываются с них и закручиваются в вихри, которые уносятся в направлении воздушного потока. На месте унесённых появляются новые вихри и т. д. Это вихреобразование, происходя на гранях препятствия, далеко за ним постепенно затухает и совершенно прекращается на расстоянии приблизительно пятнадцати кратной высоты препят-

ствия. Вследствие этого скорость воздушного потока при прохождении его над крышей дома значительно повышается, а позади препятствия убывает не только на уровне самого препятствия, но даже на несколько большей высоте.

Влияние препятствий на скорость ветра по мере увеличения высоты над земной поверхностью уменьшается и на некоторой высоте оно почти пропадает. Ветры нижних слоев следуют рельефу местности. Встречающиеся при этом неровности вызывают вихри, неблагоприятные для работы ветродвигателей. Неустойчивость ветра как по скорости, так и по направлению простирается в высоту около 80 м над землёй.

Кинетическая энергия ветрового потока как всякого движущегося со скоростью  $v$  тела, имеющего массу  $m$ , равна:

$$A = \frac{mV^2}{2} t .$$

В свою очередь масса воздуха в сечении перед ветроагрегатом является массовым расходом воздуха, который мог бы пройти через ометаемую площадь  $F$  ветроколеса за единицу времени, имея плотность  $\rho$

$$m = \rho VF ,$$

где  $\rho = \frac{\gamma}{g}$  – массовая плотность воздуха;  $\gamma$  – удельный вес воздуха;  $g$  – ускорение силы тяжести;  $F$  – площадь, через которую протекает ветровой поток;  $V$  – скорость ветра.

С учетом последнего выражения получим формулу для кинетической энергии ветрового потока

$$A = \frac{\rho FV^3}{2} t ,$$

т.е., энергия ветрового потока изменяется пропорционально кубу его скорости, а мощность ветрового потока определяется как

$$P = \frac{A}{t} = \frac{mV^2}{2} = \frac{\rho FV^3}{2} .$$

Практический интерес представляет вопрос: какое количество энергии ветра вообще возможно использовать современными техническими средствами? Непостоянство скорости ветра по времени и высоте, отсутствие опыта эксплуатации групп ветроэнергетических установок и стан-

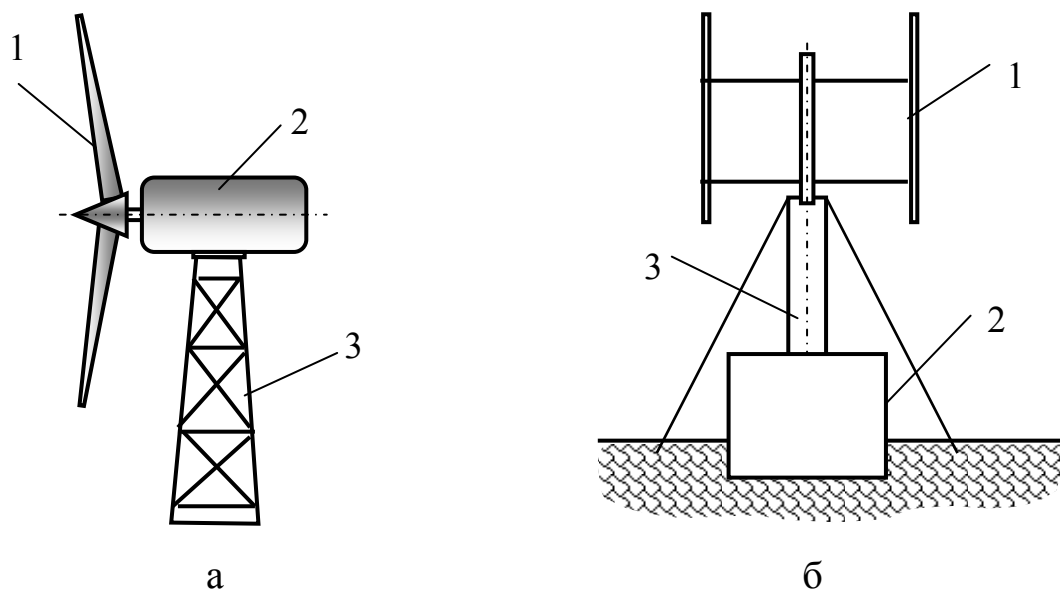
ций, не позволяют точно определить величину энергии ветра, возможную к практическому использованию. Приближенный теоретический подсчёт используемой ветроэнергетическими установками энергии ветра можно выполнить исходя из распределения ветроустановок на поверхности суши, а для определения годовой выработки энергии необходимо знать характеристику ветроэнергетической установки и повторяемость ветра в районе ее размещения. В таблице 1 представлены расчетные данные значений установленной мощности генераторов ветроэнергетических установок, которые можно разместить на 1 кв. км земной поверхности и значения вырабатываемой ими энергии для различных значений среднегодовой скорости ветра.

Таблица 1

Среднегодовые скорости ветра (в м/с)	3	4	5	6	7	8	9	10
Установленная мощность генераторов, работающих от ветродвигателей на 1 кв. км, кВт	297	435	618	790	1100	1480	1880	2 400
Годовая выработка энергии, получаемая с 1 кв. км, тыс. кВт*ч,	445	680	1060	1 550	2 220	3040	3950	5 120

В общем случае ветроэнергетическая установка (ВЭУ) представляет собой комплекс взаимосвязанного оборудования и сооружений, предназначенный для преобразования энергии ветра в другие виды энергии (электрическую, механическую, тепловую и т. п.). Учитывая явные преимущества электрической энергии с точки зрения ее генерации, передачи, распределения и преобразования, преимущественное развитие и распространение получили ветроэлектрические установки. Современные ветроэлектрические установки (в зарубежной литературе их называют ветротурбины) представляют собой сложную автоматизированную электромеханическую систему по преобразованию кинетической энергии движущихся масс воздуха

(ветрового потока) в электрическую с заданным качеством. Мировой опыт использования ВЭУ показал, что конструктивно она должна состоять из ветродвигателя 1, машинного отделения 2, опоры 3 (рис. 1).



**Рис. 1. Общий вид ветроэлектрической установки:**

а - с горизонтально-осевым ротором; б - с вертикально-осевым ротором.

Ветродвигатель непосредственно преобразует энергию ветрового потока в механическую, которая в дальнейшем используется для привода различных механизмов и машин (например, насосов) или трансформируется в электрическую энергию. Ветродвигатели, используемые в качестве привода электрического генератора ВЭУ, делятся на два основных типа:

- *горизонтально-осевые (ГО)*, характеризующиеся коллинеарностью вектора угловой скорости вращения ветродвигателя и аксиальной составляющей вектора скорости ветрового потока (рис. 1-а.);

- *вертикально-осевые (ВО)*, характеризующиеся ортогональностью вектора угловой скорости вращения ветродвигателя и аксиальной составляющей вектора скорости ветрового потока (рис. 1-б).

Несмотря на свое внешнее различие, ветряки с вертикальной и горизонтальной осями вращения представляют собой похожие системы. Кинетическая энергия ветра, получаемая при взаимодействии воздушных потоков с лопастями ветряка, через систему трансмиссии передается на

электрический генератор. Благодаря трансмиссии генератор может работать эффективно при различных скоростях ветра. Выработанная электроэнергия может использоваться напрямую, поступая в электросеть или накапливаться в аккумуляторах для более позднего использования.

ВЭУ классифицируют по следующим признакам: виду вырабатываемой энергии, уровню мощности, назначению, областям применения, признаку работы с постоянной или переменной частотой вращения ветроколеса, способам управления, типу системы передачи ветровой мощности потребителю.

В зависимости от вида вырабатываемой энергии ВЭУ подразделяют на ветроэлектрические и ветромеханические. Электрические ВЭУ, в свою очередь, подразделяются на ветроустановки, вырабатывающие электроэнергию постоянного либо переменного тока. Механические ВЭУ служат для привода рабочих машин.

По уровню мощности ВЭУ подразделяют на четыре группы: очень малой мощности, менее 5 кВт; малой мощности, от 5 до 100 кВт; средней мощности, от 100 до 1 000 кВт; большой мощности, свыше 1 МВт. Ветроустановки каждой группы отличаются друг от друга прежде всего конструктивным выполнением, типом фундамента, способом установки ветроагрегата на ветер, системой регулирования, системой передачи ветровой мощности, способом монтажа и способом обслуживания.

В зависимости от назначения электрические ВЭУ постоянного тока подразделяют на ветрозарядные, гарантированного электроснабжения потребителя, негарантированного электроснабжения. Электрические ВЭУ переменного тока подразделяют на автономные, гибридные, работающие параллельно с энергосистемой соизмеримой мощности (например, с дизельной установкой), сетевые, работающие параллельно с мощной энергосистемой.

Механические ВЭУ по назначению подразделяют на ветронасосные для привода водяных насосов и ветросиловые для работы с промышленными и бытовыми механизмами.

Классификация ВЭУ по областям применения определяется их назначением. При расчете и проектировании ветродвигателя и выборе его номинальных параметров необходим учет типа нагрузки (электрогенератор, водяной насос и т. п.), типа системы передачи ветровой мощности к потребителю, типа системы генерирования и аккумуляирования электроэнергии.

Как правило, ветроэлектрические установки состоят из следующих функциональных частей:

- первичного преобразователя;
- электрического генератора;
- опорно-поворотного устройства;
- системы управления ВЭУ.

Горизонтально-осевые ВЭУ средней и большой мощности могут иметь механизм регулирования угла установки лопастей ротора и механизм ориентации ветроагрегата. *Первичный преобразователь* включает в себя ветродвигатель и предназначен для преобразования кинетической энергии ветра во вращательное движение ротора электрического генератора. *Электрический генератор* предназначен для преобразования механической энергии вращения в электрическую энергию. Первичный преобразователь и электрический генератор образуют ветроагрегат (ВА). *Опорно-поворотное устройство* предназначено для размещения ветроагрегата на башне (опоре).

Одна или несколько групп ветроэлектрических установок образуют ветровую электрическую станцию (ВЭС), в состав которой входят (кроме ВЭУ):

- система управления ВЭС;
- одна или несколько метеовышек;
- трансформаторные подстанции (ТП);
- подстанция.

*Система управления ВЭС* осуществляет управление, контроль и учет работы ВЭС в целом и каждой ВЭУ в отдельности. *Метеовышка* предназначена для определения скорости и направления ветра и выдачи этой информации в систему управления ВЭС. *Трансформаторная подстанция* обслуживает несколько ВЭУ (группу) и обеспечивает повышение напряжения от генераторов ВЭУ до величины линии электропередачи на подстанцию. *Подстанция ВЭС* предназначена для распределения и передачи энергии от ВЭС в электросеть энергосистемы.



Функциональная схема ВЭС на базе типовой ветротурбины большой мощности представлена на рис. 2.

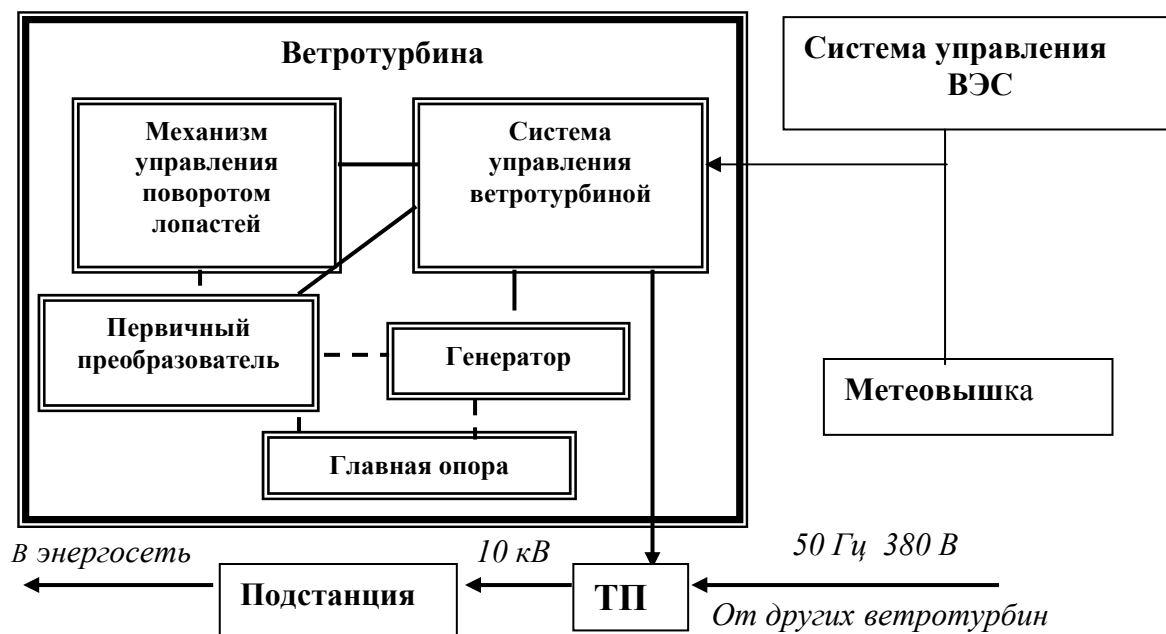


Рис. 2. Функциональная схема ВЭС

Ветро двигатели классифицируют по ряду различных признаков, как основных, так и второстепенных. Одним из основных признаков классификации является ориентация вектора угловой скорости вращения ротора ветродвигателя относительно вектора скорости ветра в свободном атмосферном потоке. По этому признаку ветродвигатели подразделяют на коллинеарные и ортогональные.

Коллинеарным называют ветродвигатель, для которого векторы скорости ветра и угловой скорости вращения ротора ветродвигателя, параллельны или антипараллельны. Таким является горизонтально-осевой ветродвигатель. Ортогональным в общем случае называют ветродвигатель, для которого векторы скорости ветра и угловой скорости вращения ротора ветродвигателя, перпендикулярны. Возможны два частных случая вариантов их сочетания:

- вектор вращения угловой скорости вращения ротора ветродвигателя перпендикулярен поверхности земли; таким ветродвигателем является вертикально-осевой ветродвигатель, называемый иногда роторным, или карусельным;

- вектор вращения угловой скорости вращения ротора ветродвигателя параллелен поверхности земли; такой ветродвигатель называется иногда барабанным.

Возможен ветродвигатель, у которого угол между векторами скорости ветра и угловой скорости вращения ротора ветродвигателя является острым (от 0 до 90°). Такой ветродвигатель можно назвать наклонно-осевым. Примером реализации этой схемы является шнековый ветродвигатель.

По другому основному признаку, по принципу силового аэродинамического взаимодействия лопастной системы ветродвигателя с потоком набегающего на него воздуха, ветродвигатели можно подразделить на два типа:

- ветродвигатели, которые используют во время движения лопастной системы подъемную силу, возникающую на рабочих элементах лопастной системы (жестких лопастях, вращающихся цилиндрах) и создающую крутящий момент;

- ветродвигатели, которые используют во время движения лопастной системы различие в аэродинамических силах, возникающих на различных элементах лопастной системы (крыловых лопастях или каких-либо других поверхностях), в моменты движения этих поверхностей по направлению ветра и против направления ветра, т. е. различие в аэродинамическом сопротивлении, возникающем на элементах лопастной системы.

Несмотря на многообразие теоретически возможных и практически реализованных схем ВЭУ, современные ветроагрегаты независимо от уровня мощности являются либо пропеллерными горизонтально-осевыми, либо ортогональными вертикально-осевыми ветродвигателями (использующими подъемную силу на лопастях), поскольку именно эти два типа ветродвигателя обладают наиболее высокими технико-экономическими показателями.

Горизонтально-осевые ветродвигатели по сравнению с вертикально-осевыми имеют следующие преимущества:

- возможность самостоятельного пуска без вспомогательного привода за счет изменения угла установки лопастей;
- большее значение коэффициента использования энергии ветра;

- большее значение коэффициента быстроходности  $X$  и, как следствие этого, большую частоту вращения ветродвигателя, что позволяет уменьшить массогабаритные показатели электромеханического оборудования;

- исключение необходимости в угловой передаче крутящего момента.

К основному недостатку пропеллерных горизонтально-осевых двигателей следует отнести необходимость в устройстве ориентации на направление ветра.

Ортогональные вертикально-осевые двигатели по сравнению с пропеллерными горизонтально-осевыми обладают такими преимуществами:

- независимостью функционирования от направления ветрового потока, что устраняет необходимость ориентирования ветродвигателя на это направление;

- вертикальным валом, позволяющим размещать электромеханическое оборудование у основания ВЭУ, что снижает требования к прочности и жесткости опоры, не ограничивает массогабаритные показатели оборудования, упрощает техническое обслуживание и ремонт;

- возможностью крепления лопастей к ротору в нескольких местах, что снижает требования по прочности и жесткости лопасти;

- меньшим значением окружной скорости лопасти из-за меньших значений коэффициента быстроходности  $X$ ;

- относительной простотой изготовления лопастей.

К числу недостатков вертикально-осевых ветродвигателей следует отнести: меньший коэффициент использования энергии ветра; меньшую быстроходность.

Основные параметры ВЭУ:

*Размер ВЭУ* - обычно указывается диаметр ветротурбины. Ометаемая площадь ветротурбины пропорциональна квадрату ее диаметра, а номинальная мощность и выработка энергии ветроустановкой пропорциональна площади ветроприемного устройства. Таким образом, если диаметры ветроустановок различаются, например в 1.5 раза, их энергетические возможности различаются в  $1.5 \times 1.5 = 2.25$  раза.

*Номинальная мощность* - мощность развиваемая ветроустановкой при выбранной расчетной скорости. Этот параметр часто ошибочно при-

нимается основным при выборе и сравнении различных ВЭУ между собой. На самом деле он не настолько важен, так как, практически никогда нагрузка не подключается к ВЭУ напрямую. Важна мощность преобразователя, который берет энергию от ВЭУ и аккумуляторной батареи. Реальная мощность ВЭУ не равна номинальной, а изменяется в зависимости от текущей скорости ветра. Номинальная мощность ветроустановки пропорциональна квадрату диаметра ветротурбины и кубу выбранной расчетной скорости. Таким образом, сравнивать ВЭУ по номинальной мощности корректно только при равных расчетных скоростях ветра, а еще лучше сравнивать их по диаметру и выработке энергии.

*Расчетная скорость ветра* - скорость ветра, при которой ветроустановка достигает номинальной мощности. Обычно при превышении расчетной скорости ветра начинает работать система регулирования, которая ограничивает дальнейший рост оборотов и мощности.

*Стартовая скорость ветра* - скорость ветра при которой ветроустановка начинает вращаться и заряжать аккумуляторы. Обычно находится в диапазоне 2.5-3.5 м/с. Может быть выше машин с узкими жестко установленными лопастями. Завышенная стартовая скорость приводит к снижению суммарной выработки энергии из-за частых простоев.

*Максимальная эксплуатационная скорость ветра* - скорость ветра, которая может привести к разрушению не остановленной ветроустановки. Для стационарной ветроустановки должна быть не менее 45-50 м/с. Иначе ее эксплуатация становится достаточно опасной.

*Выработка энергии за месяц, год* - это основной параметр ветроустановки, который должен быть согласован с известной или проектной энергией, потребляемой нагрузками за тот же промежуток времени. К сожалению, достаточно часто этот параметр подается как второстепенный или даже не указывается. Он зависит от средней скорости ветра в месте работы ветроустановки, размера ВЭУ и конструктивного совершенства ВЭУ.

Основными параметрами, характеризующими работу ветродвигателя и ветроустановки являются следующие величины.

*Коэффициентом быстроходности ветродвигателя*, представляющий собой отношение окружной скорости конца лопасти на периферии  $V_l$  к скорости невозмущенного потока ветра  $V_0$

$$Z = \frac{V_l}{V} = \frac{\omega R}{V},$$

при этом местный коэффициент быстроходности ветродвигателя для текущего радиуса  $r$  определяется выражением

$$z = \frac{\omega r}{V_0},$$

где  $\omega = \frac{\pi n}{30}$  - угловая скорость вращения ротора ветродвигателя, Рад/с;  $R$  – радиус ротора по концам лопастей, м;  $n$  – число оборотов ротора в минуту.

*Коэффициент крутящего момента  $M_{кр}$* , развиваемого ветродвигателем,

$$C_m = \frac{M_{кр}}{\pi R_l^3 \rho \frac{V_0^2}{2}}.$$

На ветроколесо действует сила осевого (лобового) давления, являющаяся суммарной аэродинамической нагрузкой на поверхность лопастей ветроколеса, образующаяся в результате осевого сопротивления профиля лопасти ветровому потоку. Отношение осевой силы  $P$  (силы лобового давления), действующей на лопастную систему ветродвигателя, к скоростному давлению (напору)  $\frac{\rho V_0^2}{2} A$  на ометаемую лопастями поверхность называют *коэффициентом осевого (лобового) давления*

$$B = \frac{P}{\frac{\rho V_0^2}{2} A}.$$

Располагаемая мощность воздушного потока  $P_{ветро}$ , натекающего на ветродвигатель (т. е. полная кинетическая энергия набегающей воздушной струи со скоростью  $V$  и площадью поперечного сечения, равной площади, ометаемой его лопастной системой):

$$P_{\text{ветро}} = \frac{\rho F V^3}{2}.$$

Ветродвижитель извлекает из ветрового потока только часть этой мощности и передает ее затем потребителю, например электрогенератору. Обозначим мощность, развиваемую ветродвижателем, как  $P_{\text{вд}}$ . Отношение мощности ветродвижателя (механической энергии, развиваемой ветроколесом) к располагаемой мощности ветрового потока (полной энергии, проходящей через ометаемую площадь ветроколеса)

$$C_p = \frac{P_{\text{вд}}}{P_{\text{ветро}}},$$

называют коэффициентом использования энергии ветра. Таким образом, механическая мощность ветродвижателя:

$$P_{\text{вд}} = C_p \frac{\rho F V^3}{2}.$$

Величины  $C_p$ ,  $C_M$ ,  $X$  связаны между собой зависимостью

$$C_p = C_M Z.$$

Важной характеристикой ветродвижателя является развиваемый им крутящий момент, который определяется развиваемой ветродвижателем мощностью и угловой скоростью вращения ротора

$$M_{\text{кр}} = \frac{P_{\text{вд}}}{\omega} = C_p \frac{\rho F V^3}{2\omega}.$$

Наибольший крутящий момент создают многолопастные горизонтально-осевые ветродвигатели. Малолопастные горизонтально-осевые ветродвигатели имеют наименьшее значение относительного момента, но они быстроходны, и поэтому требуют мультипликатор с меньшим передаточным числом.

Мощностной (энергетической) характеристикой ветроагрегата называется размерная зависимость мощности  $N_{\text{вд}}$ , развиваемой на валу ветродвижателя, от скорости ветра  $V_0$  незаторможенного потока перед ним (рис. 3). Ветродвижитель под действием силы ветра начинает свое вращение без нагрузки с некоторого минимального значения скорости ветра  $V_{\text{min}}$  (скорость страгивания с места). Обычно эта скорость составляет 2,5...5 м/с. При достижении скорости потока, равной расчетной скорости ветра  $V_{\text{расч}}$ , ветродвижитель развивает но-

минальную мощность  $N_{вд.ном}$ . Номинальная мощность – это максимальное значение выходной мощности, на которую рассчитан ветроагрегат в длительном режиме работы. Обычно в диапазоне скоростей ветра от  $V_{min}$  до  $V_{расч}$  регулирования ветродвигателя, кроме момента пуска, не происходит, но затем в диапазоне скоростей от расчетной скорости  $V_{расч}$  до максимальной  $V_{max}$  вступает в действие система регулирования.

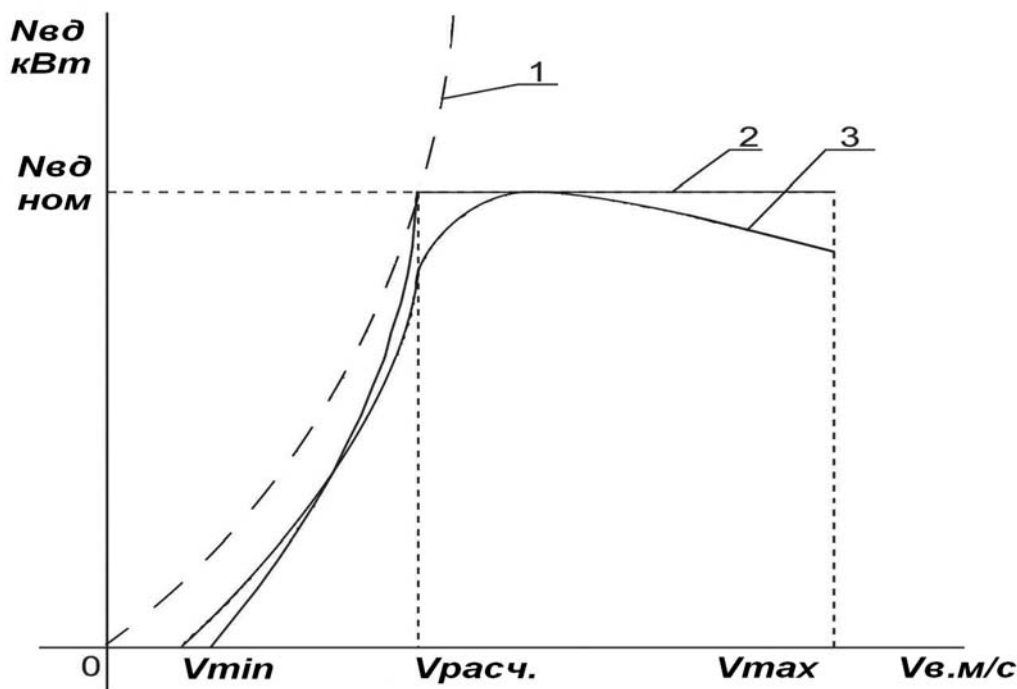


Рис. 3. Зависимость мощности ветродвигателя от скорости ветра:  
 1 –  $N_{ветро}$  – мощность ветрового потока; 2 –  $N_{вд}$  – мощность ветродвигателя, регулируемого поворотом лопастей; 3 –  $N_{вд}$  – мощность ветродвигателя, регулируемого за счет сброса потока с лопастей

Максимальная рабочая скорость ветра  $V_{max}$  – это скорость ветра, при которой расчетная прочность ветроагрегата позволяет ему работать (производить электроэнергию) без повреждений. Если регулирование осуществляется поворотом лопастей, то можно удерживать мощность ветродвигателя в этом диапазоне ветра, близкой к постоянной (кривая 2, рис. 3). При достижении максимальной рабочей скорости ветра (обычно 25...30 м/с) ветродвигатель останавливают и выводят из-под ветра, ставя его лопасти во флюгерное положение.

Значительная часть выпускаемых сегодня горизонтально-осевых ветроагрегатов мощностью более 500 кВт имеет неповорачивающиеся лопасти, что облегчает их конструктивное выполнение. В этом случае регулирование мощности ветродвигателя с ростом скорости ветра осуществляется за счет выполнения профиля лопасти изменяющимся вдоль радиуса специальным образом. В результате, начиная с некоторой скорости ветра, на периферии лопасти возникает срыв потока, охватывающий с ростом скорости ветра все большее расстояние, начиная от периферии лопасти в направлении к ее втулочной части. Наличие срыва уменьшает развиваемую ветродвигателем мощность, и мощностная характеристика принимает вид кривой 3 (см. рис. 3).

Технико-экономическое совершенство ветроустановки характеризуется рядом параметров, одним из которых является коэффициент  $K_{уст}$  использования установленной мощности ветроустановки. Он представляет собой отношение действительной выработки электроэнергии за какой-либо период времени, например за год ( $W_{год}$ ), к максимально возможной выработке ( $W_{max} = 8760 N_{ном}$ ) энергии в случае, если бы ветроустановка работала весь этот период времени на номинальной мощности  $N_{ном}$ :

$$K_{уст} = \frac{W_{год}}{8760 N_{ном}}$$

Величина коэффициента  $K_{уст}$  установленной мощности зависит от работоспособности (надежности), графика нагрузки, времени ремонтов ветроустановки, наличия ветра и его скорости. Обычно ВЭУ, подключенные к энергосистеме, работают с коэффициентом  $K_{уст} = 0,2...0,35$  (максимально до 0,5).

Другим интегральным параметром технико-экономического совершенства ветроэлектрической установки является среднегодовая удельная выработка электроэнергии на  $1 \text{ м}^2$  ометаемой площади лопастной системы. Для лучших ВЭУ мощностью более 100 кВт эта величина составляет 1250... 1500 кВт\*ч на  $1 \text{ м}^2$ , чаще всего средняя годовая удельная выработка находится в диапазоне 700... 850 кВт\*ч на  $1 \text{ м}^2$  при благоприятной ветровой обстановке.



## 2. АККУМУЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГИИ ВЕТРА

---

Изменения скоростей ветра, а соответственно и колебания энергии ветра, по величине и по времени обуславливают применение в практике как буферных, так и ёмкостных аккумуляторов энергии.

*Буферные аккумуляторы* способны запасать и отдавать потребителю накопленную энергию в короткие промежутки времени, исчисляемые секундами, минутами и до одного часа.

*Ёмкостные аккумуляторы* способны запасать и отдавать потребителю накопленную энергию в течение продолжительного времени – от 1 до нескольких часов.

По принципу действия применяемые в ветротехнике аккумуляторы можно подразделить на следующие типы: механические, электрические, гидравлические, тепловые, пневматические и водородные.

*Механические аккумуляторы* запасают избыток энергии и отдают при её недостатке с помощью механизмов, как-то: маховика, пружины, подъёмника и т. д. Эти механизмы отдают накопленную энергию рабочей машине либо сейчас же, как маховик, либо в определённые моменты времени, как пружина.

Из существующих механических аккумуляторов известен дисковый аккумулятор (аккумулятор Уфимцева – Ветчинкина), который состоит из стального диска с осью, подвешенной на шарикоподшипниках; диск заключён в герметически закрывающийся кожух. Ось диска через специальную муфту приключена к генератору и является продолжением оси последнего. Этот генератор приводится в движение от вертикального вала ветродвигателя посредством ремённой передачи. Муфта, приключающая ось диска к оси генератора, построена так, что при увеличении оборотов, что бывает в момент возрастания скорости ветра, диск накапливает живую силу. Как только скорость ветра снижается, снижаются обороты ветродвигателя, диск продолжает вращаться с теми оборотами, которые он развил к этому моменту, и муфтой вращает генератор уже за счёт той энергии, которую он накопил в момент возрастания скорости

ветра. Таким образом, генератор работает непосредственно от ветродвигателя, или от инерционного аккумулятора. Частота переключений муфты зависит от длительности порывов ветра. В результате ветроустановка выдаёт до некоторой степени ровную энергию, несмотря на пульсирующий характер ветра. Это и есть тип буферного инерционного аккумулятора.

Основным недостатком инерционных аккумуляторов является потеря на трение воздуха. Что же касается потерь на трение в подшипниках, то, при хорошем их выполнении и правильной смазке, эти потери представляют очень малый процент от потерь на трение воздуха. С целью снижения потерь на трение воздуха, заключают вращающийся диск в герметически закрывающийся кожух, в котором делается некоторое разрежение.

К механическим аккумуляторам относятся также упругие аккумуляторы, в которых для запаса энергии используются упругие свойства тел. Примером простейшего буферного аккумулятора являются резиновые амортизаторы, применяемые в авиации для шасси самолётов.

*Электрические аккумуляторы* – устройства, позволяющие накапливать и сохранять электрическую энергию в виде постоянного тока для расходования её по графику потребления. Элемент электрического аккумулятора состоит из сосуда, наполненного разведённой серной кислотой, и опущенных в него электродов – свинцовых пластинок.

Число ампер-часов, которое аккумулятор может отдавать в сеть, называют ёмкостью аккумулятора. Ёмкость зависит от числа и размеров пластин каждого элемента и от силы разрядного тока при одинаковых размерах пластин. Опыт показывает, что чем медленнее происходит разрядка, тем ёмкость аккумулятора оказывается больше, т. е. тем большее число ампер-часов может он развить, пока напряжение каждого элемента не упадёт с 2,05 до 1,8 вольт. Например, если аккумуляторная батарея способна при разрядке давать 70 ампер в течение 3 часов, то она обладает при этом ёмкостью в 210 ампер-часов. При силе тока этой же батареи только в 28 ампер, для её разрядки потребуется не 3, а 10 часов, т. е. её ёмкость при этих условиях возрастает до  $28 \times 10 = 280$  ампер-часов. Коэф-

фициентом полезного действия аккумулятора называют отношение работы, получаемой при полной разрядке, к работе, затраченной при заряде. Величина этого коэффициента колеблется в пределах от 70 до 80%.

Электрические аккумуляторы работают только на постоянном токе. Поэтому в сетях переменного тока перед зарядкой переменный ток преобразовывают в постоянный, а при разрядке постоянный ток аккумулятора трансформируется в переменный ток сети. Такая двойная трансформация снижает коэффициент полезного действия аккумуляторной батареи и увеличивает капитальные затраты установки.

*Гидроаккумулятор* представляет силовую установку, где энергия ветра или другая какая-либо энергия преобразуется в потенциальную энергию в виде поднятой на некоторую высоту воды, которая при своём обратном падении может совершать работу. Например, ветродвигатель расположен в наиболее высокой точке, в открытом для ветра месте и работает на генератор. Получаемый от ветроэлектроустановки электрический ток, приводит в движение электродвигатель с центробежным насосом, подающим воду по трубопроводу в напорный бассейн. При отсутствии ветра вода по этому же трубопроводу поступает в турбину, которая приводит в движение генератор. Наиболее серьёзным сооружением гидроаккумуляторной установки является напорный бассейн для запаса воды. Количество воды, потребное на единицу запасаемой энергии, определяется исходя из мощности гидротурбины.

Коэффициент полезного действия гидроаккумуляторной установки определяется как произведение КПД агрегатов установки, а именно:

$$\tau_1 = \tau_{1пер} \cdot \tau_{1нас} \cdot \tau_{1тр} \cdot \tau_{1турб} \cdot \tau_{1басс};$$

принимая:  $\tau_{1пер}=0,95$  –КПД передачи от двигателя насосу,  $\tau_{1нас}=0,8$  – КПД насоса,  $\tau_{1тр}=0,9$  – КПД трубопровода,  $\tau_{1турб}=0,85$  – КПД турбины,  $\tau_{1басс}=0,9$  – КПД бассейна (испарение, просачивание) и подставляя цифровые значения в уравнение (256), получим:

$$\tau_1 = 0,95 \cdot 0,8 \cdot 0,9 \cdot 0,85 \cdot 0,9 = 0,525.$$

*Тепловые аккумуляторы* – сооружение, в котором энергия ветра превращается в тепло, запасаемое либо в виде горячей воды для подогрева помещений, либо в виде пара, используемого в паровой машине или турбине или для отопления. Теплоаккумулятор, предназначенный для отопительных целей, строится по следующей схеме. В периоды, когда мощность ветроустановки превышает нагрузку, необходимую для потребителей, избыток электроэнергии направляется в электродкотлы, в которых вода нагревается до парообразования, а затем используется в отопительных системах.

*Аккумуляторы сжатого воздуха* используют, упругие свойства воздуха. Компрессированный воздух запасается под большим давлением в баллонах или резервуарах. Таким образом кинетическая энергия ветра с помощью ветрокомпрессорной установки может быть превращена в потенциальную энергию сжатого воздуха, которую можно использовать для работы либо машин-орудий, либо воздушных турбин. Работа расширения воздуха в двигателе составляет не более 60% от работы, затраченной на сжатие этого воздуха в компрессоре. Вес аккумулятора сжатого воздуха, независимо от степени его сжатия, равен около 18 кг на 1 кг воздуха.

*Водородный аккумулятор.* Большой интерес для практического использования представляет водородный способ аккумуляирования. Российский ученый Г. А. Уфимцев в 1918 г. предложил аккумуляировать энергию ветра путём электрического разложения воды на кислород и водород. Кислород идёт для промышленных целей, а водород для сжигания в двигателе внутреннего сгорания. Так как водород можно запасать в баллонах, то представляется возможность аккумуляировать энергию в виде горючего водорода, который, по мере необходимости, должен быть израсходован на работу теплового двигателя.

Самый распространенный в настоящее время метод электролиза воды основан на реакции:  $\text{электроэнергия} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$ . Электролиз может осуществляться в жидкой фазе при низкой температуре. Работают установки низкотемпературного электролиза воды мощностью до 3 МВт. Электролитические ванны оборудованы никелевыми электродами, в воду добавляются соли калия. КПД процесса электролиза достигает 85%. Для

широкого распространения производства водорода электролизом необходима дешевая электроэнергия, которую можно получать от нетрадиционных источников, а также с ТЭС и АЭС в часы провала нагрузки.

Водород является оптимальным сырьем для топливных элементов, в которых электрический ток генерируется из химической энергии потребляемых компонентов, минуя тепловую энергию. Прямое преобразование химической энергии в электрическую происходит в топливных элементах без потерь, связанных с необходимостью отдавать часть подведенной теплоты в окружающую среду по второму закону термодинамики, поэтому топливные элементы имеют высокий КПД. При их работе практически не загрязняется окружающая среда. По принципу действия работа топливного элемента противоположна электролизу воды.

Электричество является чрезвычайно универсальной формой энергии, но имеет один большой недостаток: аккумуляторные батареи могут сохранять большое количество энергии, но это занимает несколько часов для их зарядки. Конденсаторы, с другой стороны, заряжаются почти мгновенно, но могут хранить небольшое количество энергии. В нашем электроприводном будущем, когда будет нужно аккумулировать и быстро расходовать большое количество электроэнергии, вполне вероятно, мы обратимся к *суперконденсаторам*, которые сочетают в себе лучшее от обычных батарей и конденсаторов.

Батареи, так и конденсаторы предназначены для хранения электричества, но принцип работы у них совершенно разный. Батареи имеют два электрических контакта (электрода), разделенных химическим веществом, называемым электролитом. При включении питания, химические реакции происходят с участием обоих электродов и электролита. Эти реакции преобразования химических веществ внутри батареи в другие вещества, сопровождаются выделением электрической энергии. Как только эти химические вещества истощаются, реакции останавливаются, и аккумулятор становится разряженным. В конденсаторах же применяется принцип статического электричества (электростатика), а не химии для хранения энергии. Внутри конденсатора помещаются две проводящих ме-

таллические пластины с изоляционным материалом (диэлектриком) между ними.

Конденсаторы имеют много преимуществ по сравнению с аккумуляторами: они весят меньше, как правило, не содержат вредных химических веществ и токсичных металлов, также их можно заряжать и разряжать миллиард раз, без износа. Но у них есть и большой недостаток: чтобы сохранить значительное количество энергии, вам нужно использовать огромные металлические плиты или же искать более эффективный материал для диэлектрика.

Изучение варианта усовершенствования диэлектрического материала между металлическими пластинами привело ученых в середине 20 столетия к суперконденсаторам. Суперконденсаторы (часто называемые ультраконденсаторами) имеют много общего и с батареей и с конденсаторами. Как и обычный конденсатор, суперконденсатор состоит из двух пластин, разделенных диэлектриком. Но пластины сделаны не из металла, а из пористого вещества, например, порошкообразного углерода, который дает им эффективно большую площадь для хранения соответственно большего заряда.

Как и батареи, суперконденсаторы имеют электролит, электрически активное химическое вещество внутри него, которое отделяет его пластины, что больше похоже на электролит в батарее, чем на диэлектрик в обычных конденсаторах. Электролит, электрически активный слой суперконденсатора, добавляет еще один аспект: заряженные пластины поляризуют электролит, заставляя положительные ионы в нем двигаться в одну сторону, а отрицательные в противоположную, вызывая последующую систему зарядки, что образует, так называемый, электрический двойной слой, который позволяет пластинам сохранять большое количество энергии. Это, кстати, объясняет, почему суперконденсаторы еще называют двухслойными конденсаторами. В отличие от батарей, положительные и отрицательные заряды в суперконденсаторах образуются исключительно за счет статического электричества, а не во время химических реакций.

Коммерческие версии суперконденсаторов, сделанные крупнейшими компаниями, имеют емкости мощностью до нескольких тысяч фарад, что все еще представляет собой только часть (может быть, 10-20 процентов) электрической энергии, которую можно «упаковать» в батарею. Но большое преимущество суперконденсаторов состоит в том, что он может заряжаться энергией почти мгновенно, гораздо быстрее, чем батареи. Это объясняется тем, что суперконденсатор работает путем создания статических электрических зарядов на твердых телах, в то время как батареи зависят от медленно текущих химических реакций, часто при участии жидкостей.

Суперконденсаторы функционируют по электростатическому принципу, а не через обратимые химические реакции, теоретически они могут заряжаться и разряжаться любое количество. Они практически не имеют внутреннего сопротивления, что позволяет развить близкую к 100% эффективность их работы.

### **3. РЕЖИМЫ РАБОТЫ ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК**

---

В общем случае генерирующие установки традиционных электрических станций можно разделить на три основные группы:

- 1) для покрытия основной нагрузки, характеризуются непрерывной выработкой электрической энергии;
- 2) для покрытия промежуточной нагрузки, характеризуются циклической работой и изменяемой частью суммарного графика нагрузки;
- 3) для покрытия пиковых нагрузок, создания энергетического резерва.

В этой связи принципиально возможно использование ВЭУ в трех основных режимах электроснабжения: автономном, избирательном и параллельном.

*Автономный режим* должен предусматривать полное обеспечение непрерывного электроснабжения потребителя от ветроэнергетической установки в течение установленного срока ее эксплуатации.

*Избирательный режим* характеризуется тем, что нагрузка должна соответствующим образом распределяться между энергосистемой и ВЭУ. При этом вырабатываемая ВЭУ электромагнитная мощность, превышающая мощность нагрузки, подается непосредственно в энергосистему, а ее дефицит для покрытия графика нагрузки удовлетворяется за счет энергосистемы. Поэтому в те периоды, когда скорость ветрового потока находится вне интервала рабочих скоростей или равна нулю, энергосистема должна самостоятельно нести данную нагрузку.

*Параллельный режим* работы с энергосистемой представляет собой работу не на конкретного потребителя, а должен быть направлен либо на увеличение суммарной выработки электрической энергии, либо на частичное покрытие суммарного графика нагрузки энергосистемы, обеспечивая при этом существенную экономию органического топлива. Колебания мощности ветрового потока будут приводить к существенным колебаниям вырабатываемой мощности, при этом периоды, когда скорости потока находятся вне рабочего интервала, можно предсказать лишь с определенной вероятностью. Даже в тех районах, где постоянно имеется наличие энергии ветрового потока, вырабатываемая электромагнитная мощность ВЭУ будет оптимальным образом подобрана для данного ветрового кадастра, так как он сам по себе испытывает часовые, суточные и сезонные изменения. Вследствие этого попытки непосредственно согласовать вырабатываемую ВЭУ электромагнитную мощность с профилем графика нагрузки приведут к потерям мощности, которые могут серьезно отразиться как на работе отдельных потребителей, так и энергосистеме в целом.

В общем случае указанные особенности работы ВЭУ, графиков нагрузки и энергосистемы делают невозможным самостоятельное использование ВЭУ без соответствующих систем резервирования, так как оно не способно будет обеспечивать надежное и бесперебойное электроснабжение потребителей. В зависимости от типа используемой системы ре-



резервирования ВЭУ следует разделить на ВЭУ с резервированием от энергосистемы и ВЭУ с аккумулярованием энергии.

В первом случае полная утилизация энергии ветрового потока требует от энергетической системы принятие преобразованной ВЭУ электрической энергии в любое время и в любом количестве. При этом традиционные электрические станции, за исключением атомных, должны сглаживать случайные колебания вырабатываемой ВЭУ электромагнитной мощности и соответствующим образом согласовывать мощности генерации с суммарным графиком нагрузки энергосистемы, что приводит к необходимости наличия резервных энергетических установок, находящихся в постоянной готовности.

Во втором случае, если вырабатываемая ВЭУ электромагнитная мощность превышает потребление энергосистемы, ее избыток подается в накопитель. Если число ВЭУ достаточно велико, а система накопления энергии построена с учетом ветрового режима, то это позволит усреднить суммарную выработку электрической энергии, и в энергосистему будет непрерывно поступать постоянная магнитная мощность. В результате электрическая энергия будет вырабатываться в любое время года.

Режим работы ветродвигателя полностью определяет для ВЭУ способ преобразования энергии ветрового потока в электрическую энергию. Поэтому, в зависимости от структурного построения преобразовательной электрической части, ветроэлектрические установки подразделяются на ВЭУ с непосредственным преобразованием и с промежуточным частотным преобразованием. К первому типу относятся синхронные и асинхронные ВЭУ, ко второму – ВЭУ с каскадным включением электрических машин (генератора, выпрямителя, инвертора, преобразователя).

Широкомасштабное использование ВЭУ для параллельной работы с энергосистемой должно представлять собой создание разветвленной электрической сети ВЭУ большой мощности, которая накладывается на существующую сеть электроснабжения от традиционных электрических станций.

Для того, чтобы обеспечить динамическую устойчивость и синхронность работы ВЭУ с энергосистемой, необходимо использовать ре-

жим фиксированной угловой частоты вращения ветродвигателя. При этом произведение фиксированной номинальной частоты вращения вала ветродвигателя и передаточного отношения мультипликатора должно соответствовать частоте энергосистемы с учетом числа пар полюсов генераторов. Величина электромагнитной мощности, вырабатываемой синхронными ВЭУ и отдаваемой в энергосистему, определяется, как

$$P_g = 3UI \cos \varphi - \Delta P_{\Sigma} ,$$

где  $\Delta P_{\Sigma}$  – суммарные потери в генераторе, представляющие собой механические потери, потери в стали и меди статора;  $U$  – напряжение в фазе статора;  $I$  – ток в фазе статора;  $\cos \varphi$  - коэффициент мощности, определяется параметрами энергосистемы, в которую синхронная ВЭУ отдает электрическую мощность.

При работе синхронной ВЭУ параллельно с энергосистемой допускаются только слабые по амплитуде колебания частоты вращения ротора синхронного генератора, равные 1-2 % от номинальной, в течение короткого промежутка времени, порядка долей секунды. Поэтому необходимо, чтобы синхронная ВЭУ обладала достаточной динамической электрической устойчивостью в те периоды, когда она подвергается воздействию внезапно изменяющихся порывов ветрового потока, ибо вынужденные колебания, вызванные неравномерностью вращения ветродвигателя, налагаются на свободные колебания, обусловленные свойствами самого синхронного генератора ВЭУ и энергосистемы, что может привести к резонансу тока или напряжения. Так, внезапное изменение скорости ветрового потока на 25 % при фиксированной скорости вращения ветродвигателя увеличивает величину крутящего аэродинамического момента ветродвигателя почти в два раза.

Таким образом, синхронная ВЭУ в режиме фиксированной угловой частоты вращения при постоянном возбуждении с увеличением скорости ветрового потока будет сопровождаться ростом частоты вращения вала ветродвигателя, увеличением угла мощности и увеличением развиваемой электромагнитной мощности. Поэтому при определенных условиях синхронная ВЭУ может выпасть из синхронной работы с энергосистемой. Во

избежание этого вектор ЭДС при работе синхронной ВЭУ всегда должен опережать вектор напряжения в сети. При этом увеличение угла мощности  $\theta$  и электромагнитной мощности будет продолжаться до тех пор, пока не наступит равновесие крутящего аэродинамического момента ветродвигателя, приведенного к валу синхронного генератора и момента нагрузки, представляющего собой сумму развиваемого электромагнитного момента и момента потерь. В результате синхронная ВЭУ будет продолжать работать уже с большей нагрузкой и, соответственно, с меньшим запасом динамической устойчивости и удельной синхронизирующей мощности.

Для того, чтобы повысить развиваемую электромагнитную мощность и тем самым обеспечить равновесие на валу синхронного генератора ВЭУ, необходимо увеличить ЭДС. Увеличение ЭДС при этом должно достигаться быстрым нарастанием тока возбуждения. Поэтому следует использовать независимое возбуждение синхронного генератора, так как оно с этой точки зрения намного предпочтительнее самовозбуждения.

При работе асинхронной ВЭУ параллельно с энергосистемой, статор асинхронного генератора подключен к энергосистеме, а произведение частоты вращения вала ветродвигателя и передаточного отношения мультипликатора больше синхронной частоты. Для поддержания высокого КПД в генераторном режиме абсолютные значения скольжения асинхронной машины должны быть того же порядка, что и в двигательном. Электромагнитная мощность, генерируемая асинхронной ВЭУ, также определяется частотой вращения ветродвигателя, как и в случае синхронной ВЭУ. Поэтому для такой ВЭУ должен быть обеспечен режим фиксированной угловой частоты вращения ротора асинхронного генератора по отношению к выбранной номинальной частоте вращения. При этом асинхронная ВЭУ будет иметь значительный запас динамической устойчивости по моменту. Однако, несмотря на это, асинхронная ВЭУ должна обладать защитой от повышения частоты вращения, поскольку сильный порыв ветрового потока может значительно увеличить аэродинамический крутящий момент, в результате чего асинхронная ВЭУ может перейти на неустойчивый участок механической характеристики. При этом генери-

руемая электромагнитная мощность начнет быстро снижаться, а частота вращения будет продолжать увеличиваться, что может привести к аварийной ситуации.

Запуск асинхронной ВЭУ в работу фактически представляет собой на определенном этапе работу асинхронного генератора в режиме двигателя на холостом ходу. Эта фаза работы ВЭУ продолжается до тех пор, пока не будет достигнута подсинхронная частота вращения ротора, начиная с которой подключается вращающийся ветродвигатель и переводит ВЭУ в генераторный режим.

Суммарный коэффициент использования энергии ветрового потока асинхронной ВЭУ ниже, чем у синхронной ВЭУ; коэффициент мощности в результате потребления реактивного тока от энергосистемы также снижается. Это объясняется тем, что ток намагничивания асинхронной ВЭУ, составляющий 20-25 % номинального тока, при этом мощность возбуждения синхронной ВЭУ составляет менее 1 % номинальной мощности синхронного генератора.

Если асинхронная ВЭУ должна работать параллельно с энергосистемой, то для корректировки коэффициента мощности ее генератор должен самовозбуждаться от блока статических конденсаторов. Наличие такого самовозбуждения дает возможность асинхронной ВЭУ устойчиво работать на нагрузку любого характера.

Для режима параллельной работы с энергосистемой асинхронные ВЭУ с учетом специальных условий работы предпочтительнее синхронных, поскольку они отличаются следующими преимуществами:

- отсутствием необходимости точной синхронизации с энергосистемой, что допускает колебания аэродинамического крутящего момента, которые постоянно имеют место из-за порывистого характера ветрового потока;
- значительным запасом устойчивости по развиваемому электромагнитному моменту;
- наличием незначительного запаса по частоте вращения вследствие частотного разделения между частотой вращения ротора асинхронного генератора и частотой энергосистемы;

- более низкой стоимостью, надежностью и простотой в эксплуатации, управлении и обслуживании.

Каскадная ВЭУ способна генерировать электромагнитную мощность трехфазного переменного тока с постоянным напряжением и частотой в режиме изменяемой угловой частоты вращения, что обеспечивает максимальный суммарный коэффициент использования энергии ветрового потока. В каскадной ВЭУ принципиально возможно использование следующих типов генераторов: синхронного; постоянного тока; с постоянными магнитами; асинхронного с фазным ротором. При работе в режиме изменяемой угловой частоты вращения генератор каскадной ВЭУ будет вырабатывать напряжение, пропорциональное частоте вращения ветродвигателя. Поэтому для стабилизации генерируемого напряжения должен использоваться тиристорный преобразователь. При этом вначале генерируемое напряжение должно стабилизироваться и выпрямляться, после чего полученное стабилизированное напряжение постоянного тока преобразуется в переменное напряжение постоянной частоты и выдается в энергосистему.

Использование синхронного генератора в каскадной ВЭУ нецелесообразно, поскольку эта электрическая машина будет практически постоянно работать в переходных режимах, что значительно ухудшает ее эксплуатационные характеристики и, в конечном итоге, приводит к снижению суммарного КПД.

Применение генераторов постоянного тока является неэкономичным из-за большой стоимости и создания дополнительных сложностей электромеханического характера, так как в результате засорения электрической машины пылью, образующейся при срабатывании щеток, что также усугубляется колебаниями крутящего момента и ухудшением условий коммутации, необходимо чаще проводить техническое обслуживание.

Генератор с постоянными магнитами имеет определенное преимущество по сравнению с предыдущими в плане обеспечения относительно высокого КПД, однако последний достигается при высокой частоте вращения ротора и возможен только для малых мощностей.

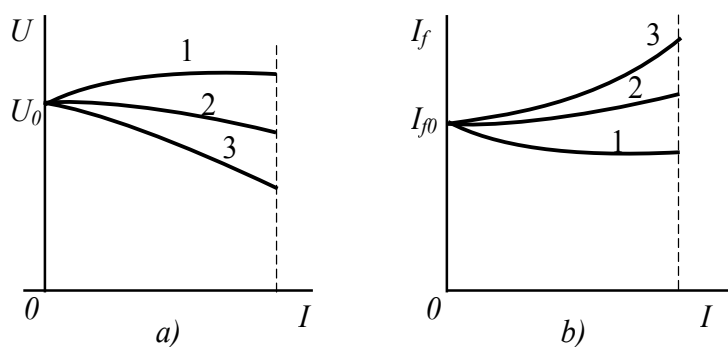
Каскадная ВЭУ с асинхронным генератором с фазным ротором обеспечивает отбор электромагнитной мощности, как со стороны статора, так и со стороны ротора. Каскадная ВЭУ с асинхронным генератором с фазным ротором обеспечивает высокое быстродействие при регулировании вырабатываемой магнитной мощности и значительную гибкость при согласовании с заданным режимом эксплуатации.

*Работа синхронной ВЭУ на автономную нагрузку.*

Основными характеристиками генераторов синхронных ВЭУ, работающих на автономную нагрузку, являются внешние и регулировочные характеристики. Внешние характеристики синхронных генераторов (СГ) представляют собой зависимости напряжения  $U$  от тока нагрузки  $I$  при неизменном токе возбуждения  $I_v$ , в частоте вращения ротора  $n$  и коэффициенте мощности нагрузки  $\cos \varphi$ . Регулировочные характеристики представляют собой зависимости тока возбуждения  $I_v$  от тока нагрузки  $I$  при  $U, n$  и  $\cos \varphi = \text{const}$ . Они показывают, как нужно изменять ток возбуждения генератора, чтобы поддерживать напряжение постоянным при изменении нагрузки. Эти характеристики при различных по характеру нагрузках, но при неизменных значениях  $\cos \varphi$  приведены на рис. 4.

При холстом ходе напряжение на зажимах генератора равно ЭДС холостого хода,  $U_0 = E_0$ . Ха-

актеризм изменения напряжения при включении нагрузки определяется в основном действием реакции якоря. Если внешняя нагрузка чисто активная ( $\cos \varphi = 1$ ), то реакция якоря является преимущественно поперечной и ее размагничивающее действие невелико. Внешняя характеристика имеет слабый наклон к оси  $I_a$  (рис. 4-а, кривая 2). При смешанной активно-индуктивной нагрузке ( $\cos \varphi > 0$ ) размагничивающее действие продольной реакции якоря проявляется сильнее и внешняя характеристика (рис. 4-а, кривая 3) идет ниже, чем при активной нагрузке. В этих случаях для поддержания



**Рис.4. Внешние (а) и регулировочные (б) характеристики синхронного генератора**

напряжения неизменный ток возбуждения должен быть увеличен (рис. 4-б, кривые 2 и 3).

Если нагрузка генератора активно-емкостная ( $\cos \varphi < 0$ ), реакция якоря оказывает подмагничивающее действие и с увеличением тока якоря до определенного значения напряжение на зажимах якоря повышается (рис. 4-а, кривая 1), а ток возбуждения для поддержания  $U = const$  необходимо уменьшать (рис. 4-б, кривая 1).

При эксплуатации генераторов в реальных условиях стабилизация напряжения осуществляется регуляторами возбуждения, которые воздействуют на величину магнитного потока, а следовательно, и на ЭДС  $E_0$  за счет увеличения (при активно-индуктивной нагрузке) тока возбуждения  $I_e$  ротора.

#### *Работа ВЭУ с асинхронным генератором в автономном режиме.*

Известно, что во всех эксплуатационных режимах (двигательный, генераторный), асинхронная машина (АМ) потребляет из сети реактивную мощность, необходимую для создания магнитного поля. При автономной работе АМ в генераторном режиме магнитное поле в воздушном зазоре создается в результате взаимодействия МДС всех фаз и МДС обмотки ротора и характер распределения МДС определяет характер распределения магнитного поля на полюсном делении. В асинхронном генераторе (АГ) этот поток весьма близок к синусоидальному и при вращении ротора индуцирует в фазах статора и в обмотке ротора ЭДС  $E_1$  и  $E_2$ , которые можно принять синусоидальными.

Асинхронный двигатель, подключенный к трехфазной сети переменного тока, при частоте вращения ротора, больше, чем частота вращения поля статора, переходит в генераторный режим и отдает в сеть активную мощность, потребляя из сети реактивную мощность, необходимую для создания вращающегося магнитного поля взаимной индукции. Тормозной электромагнитный момент, действующий на роторе, преодолевается приводным двигателем – ветродвигателем.

Для возбуждения автономно работающего АГ необходимо наличие источника реактивной мощности – батареи конденсаторов или синхронного компенсатора, подключенных к обмотке статора. При этом почти

естественной представляется работа АГ при сверхсинхронном скольжении, когда скорость вращения ротора выше скорости вращающегося магнитного поля ( $n_2 > n_1$ ). Однако практически АГ может возбуждаться при частоте вращения ротора, значительно меньшей синхронной, причем значения напряжения и частоты тока оказываются пропорциональны частоте вращения ротора и, кроме того, зависящими от схемы соединения конденсаторов.

Автономная работа АГ в режиме самовозбуждения от потока остаточного намагничивания возможна, если к выводам обмотки статора подключить конденсаторы, необходимые как источник реактивной мощности  $Q_c$ , для возбуждения магнитного поля АГ, а при его работе на активно-индуктивную нагрузку  $Q_n$  конденсаторы должны служить источником реактивной мощности  $Q_n$  и для нагрузки (рис. 5).

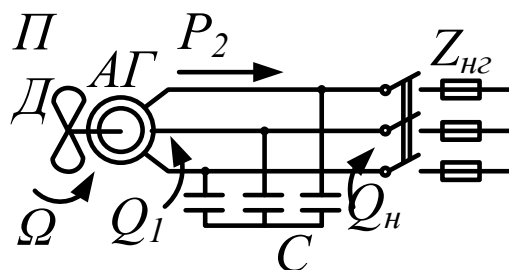


Рис. 5. Схема конденсаторного возбуждения асинхронного генератора

Процесс самовозбуждения АГ происходит так же, как и у генератора постоянного тока, при условии наличия потока остаточного намагничивания  $\Phi_{ост}$ . При вращении ротора от приводного двигателя магнитный поток остаточного намагничивания  $\Phi_{ост}$  индуцирует в обмотке статора ЭДС  $E_{ост} \approx (0,02 \dots 0,03)U_n$ , которая вызывает в конденсаторах  $C$  ток. Этот ток, будучи емкостным (опережающим), протекая по обмотке статора, подмагничивает АГ, усиливает  $\Phi_{ост}$ , что приводит к возрастанию ЭДС  $E_{ост}$ , дальнейшему росту тока и потока и т.д. Для изменения нагрузки АГ емкость конденсаторов необходимо регулировать. Естественно, что ее нужно регулировать и при изменении угла  $\varphi_n$  нагрузки.

Получили применение электромашинные источники энергии с АГ, возбуждаемыми с помощью вентильных преобразователей, например, автономных инверторов напряжения (АИН), или работающих в режиме самовозбуждения с применением конденсаторов или с использованием аккумуляторной батареи.



При оценке общих показателей автономного АГ необходимо учитывать, кроме рассмотренного выше существенного изменения напряжения, такие эксплуатационные факторы, как изменение частоты генерируемого напряжения, которая варьирует с изменением нагрузки и скольжения, если частота вращения ротора поддерживается постоянной, а также колебания выходного напряжения  $U$ , появляющиеся вследствие электрической и магнитной несимметрии ротора.

При оценке технико-экономических показателей автономного АГ учитывается также необходимость в конденсаторной батарее как источнике реактивной мощности для создания магнитного поля и компенсации реактивности нагрузки. Значение реактивной мощности, затрачиваемой на создание магнитного поля АГ с магнитной индукцией в зазоре  $B_m$ , определяется из соотношения

$$Q = \omega_1 W_m V_\delta = \frac{\pi f_1}{\mu_0} B_m^2 V_\delta$$

где  $W_m = \frac{1}{2\mu_0} B_m^2$  – удельная энергия магнитного поля;  $V_\delta$  – полный объем воздушного зазора,  $\omega_1 = 2\pi f_1$  – угловая частота.

С другой стороны, величина реактивной мощности конденсаторной батареи

$$Q_c = m\omega_1 C_k U_c^2$$

и может регулироваться или изменением емкости конденсаторов  $C_k$ , или же величиной напряжения  $U_c$ .

Стабилизировать выходное напряжение АГ возможно в основном изменением магнитного потока, что может быть достигнуто:

- изменением емкости конденсаторов, подключенных к обмоткам статора или фазного ротора;
- применением управляемых реакторов или нелинейных конденсаторов (варикондов);
- изменением напряжения на конденсаторах;
- подмагничиванием сердечника статора.

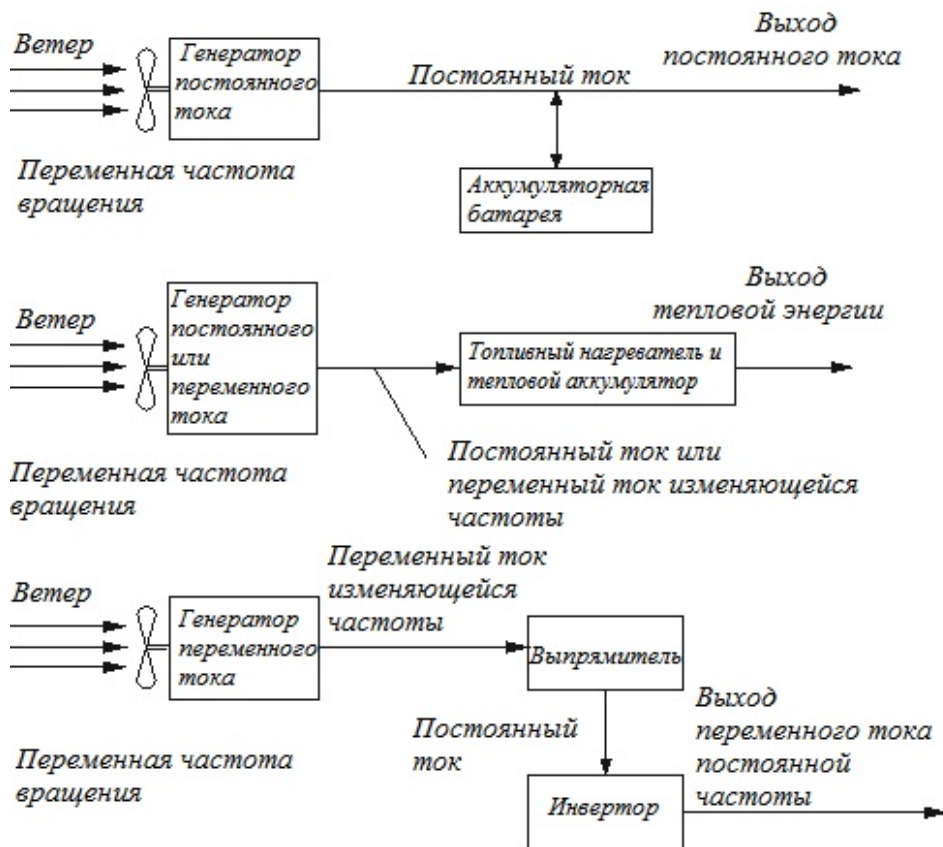
Наиболее сложно стабилизировать напряжение АГ при переменной частоте вращения ротора и изменении нагрузки, когда одновременно изменяется и величина, и частота выходного напряжения

## **4. ОСНОВНЫЕ СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК**

---

Основными параметрами, которые должны быть рассмотрены при выборе структуры и схем ветроэнергетических установок, предназначенных для преобразования энергии ветра в электрическую энергию, являются: вид вырабатываемой электроэнергии (переменное напряжение переменной или постоянной частоты; постоянное напряжение); частота вращения ветродвигателя (постоянная, близкая к постоянной, переменная); характер использования вырабатываемой электрической энергии (применение аккумуляторных батарей, аккумулялирования с помощью других способов, выдача электроэнергии в сеть переменного тока энергосистемы). В настоящее время разработано и применяется значительное количество схем для преобразования энергии ветра в электрическую энергию постоянного или переменного напряжения с помощью электрических генераторов постоянного тока и соответственно асинхронных или синхронных генератор. Проще всего система используется с электрогенератором постоянного тока - получается постоянное напряжение в сети при разной скорости ветра благодаря регулированию возбуждения.

Возможные технологические схемы эффективного получения электрической энергии за счет энергии ветра для автономной работы ВЭУ представлены на рис. 6. Генерирование постоянного тока осуществляется в настоящее время практически только на малых ВЭУ мощностью не более 10-20 кВт. В этом случае не требуется постоянная частота вращения ветродвигателя и обычно применяются аккумуляторные батареи.



**Рис. 6. Структурные схемы систем генерирования и использования электроэнергии при автономной работе ВЭУ**

В современных ВЭУ преобразование энергии ветра осуществляется в основном только в схемах с генерированием переменного тока. Например, аккумулялирование энергии в виде теплоты с использованием ее для отопления помещений может быть осуществлено при применении ВЭУ переменного напряжения с изменяющейся частотой или ВЭУ постоянного напряжения. Частота вращения ветродвигателя в этом случае не обязательно должна быть постоянной. Применение выпрямительных устройств дает возможность получить постоянное напряжение, которое может быть использовано непосредственно или же после его инвертирования в переменное напряжение постоянной частоты.

Непостоянство ветра и сильная зависимость мощности ВЭУ от скорости ветра затрудняют обеспечение высокого качества электроэнергии и надежности электроснабжения потребителей в автономном режиме рабо-

ты ВЭУ. Число часов использования генерирующей мощности ВЭУ зависит от среднегодовой скорости ветра и лежит в пределах 2–4 тыс. ч в год. Наиболее благоприятны для работы ВЭУ осенне-зимний и ранний весенний периоды года, что в целом совпадает с условиями изменения электрической и тепловой нагрузок объектов автономного энергоснабжения.

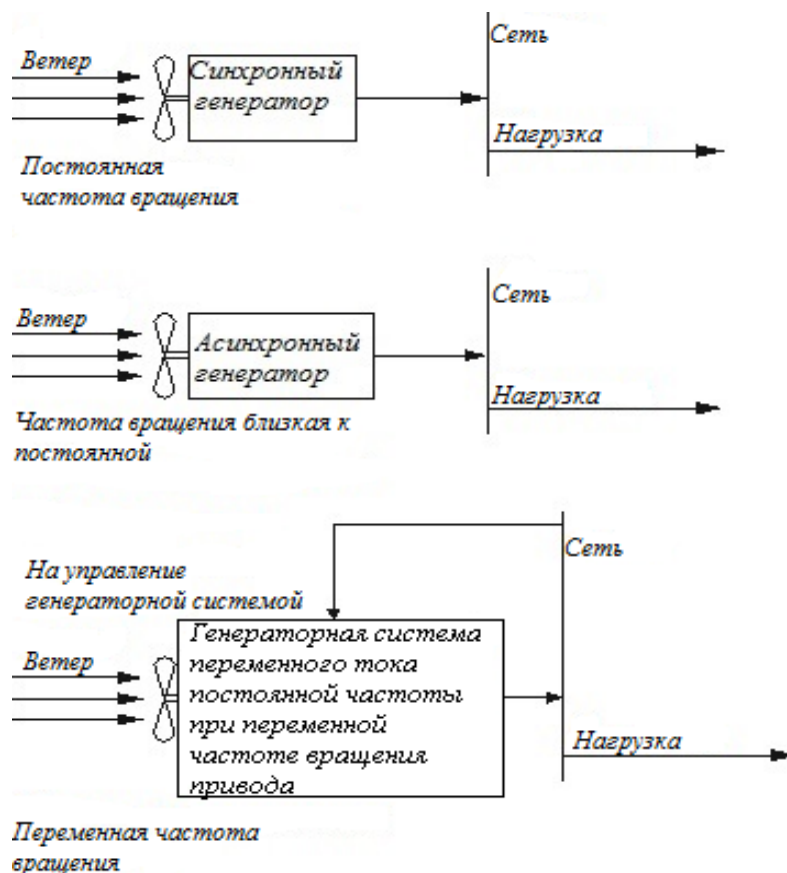
В настоящее время признано, что крупномасштабное получение электрической энергии за счет использования энергии ветра должно производиться в виде переменного напряжения постоянной частоты для возможности подачи вырабатываемой электроэнергии в сети существующих энергосистем. Возможные технологические схемы эффективного получения электрической энергии за счет энергии ветра при параллельной работе ВЭУ с энергосистемой, представлены на рис. 7.

Усилия по созданию ВЭУ большой мощности в значительной мере связаны с использованием ветродвигателя с постоянной частотой вращения, соединенного с синхронным генератором или, при использовании асинхронного генератора, обеспечения вращения ветродвигателя с частотой, близкой к постоянной.

В последнее время привлекает внимание другой подход согласования работы ВЭУ с энергосистемой, заключается в том, чтобы дать возможность ветродвигателю вращаться с переменной оптимальной частотой, регулируемой в соответствии с изменением скорости ветра, и с применением специальных генерирующих систем обеспечивать получение переменного напряжения постоянной частоты, соответствующей частоте напряжения энергосистемы.

Методы получения переменного напряжения постоянной частоты при переменной частоте вращения вала ветродвигателя в общем случае сводятся к двум обширным группам дифференциальным и недифференциальным. Дифференциальные методы реализуются в системах ВЭУ с синхронными генераторами с помощью механических устройств, обеспечивающих получение постоянной частоты вращения генераторов (редукторы с переменным передаточным отношением, устройства с гидравлической передачей мощности и т.п.), а также с помощью электрических устройств, компенсирующих изменение частоты вращения посредством

питания обмотки возбуждения напряжением с частотой, равной разности частоты вращения ротора генератора и частоты напряжения энергосистемы, на которую работает генератор.



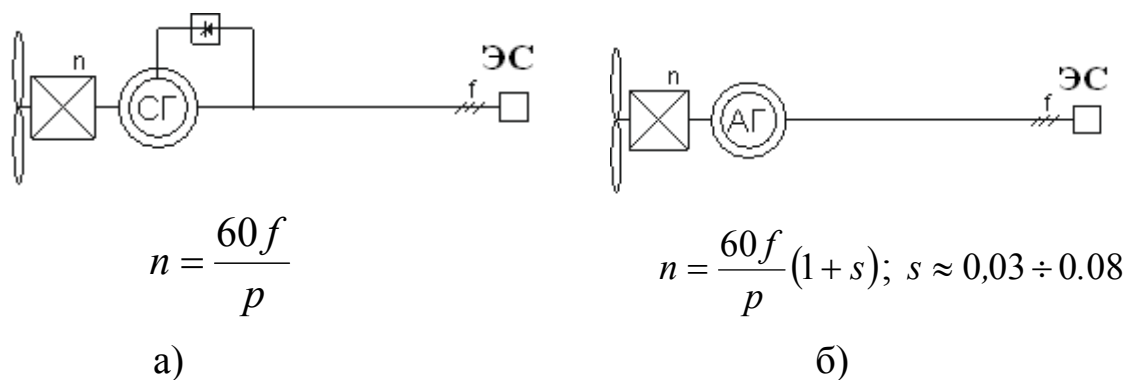
**Рис. 7. Структурные схемы систем генерирования и использования электроэнергии при сетевой работе ВЭУ**

Недифференциальные методы могут быть реализованы через статические устройства изменения частоты по схеме преобразования: переменное напряжение — постоянное напряжение — переменное напряжение.

Сложность практической реализации таких схем заключается в необходимости иметь в системе звено (в силовой цепи или в системе управления ветродвигателем), обеспечивающее согласование частоты и уровня напряжения ВЭУ с этими же параметрами в точке подключения к энергосистеме.

Существует множество схем подключения ВЭУ к энергосистеме, основные отличия которых состоят в конструкции и типе генераторов, а

также наличии и типе преобразовательных устройств. На рис. 8 показаны схемы прямого подключения к энергосистеме ВЭУ с синхронным генератором (рис. 8-а) и асинхронным (рис.8-б) генератором с короткозамкнутым ротором, подключенными к ветродвигателю через мультипликатор (редуктор)  $n$ . Для реализации таких схем параллельной работы ВЭУ с сетью энергосистемы необходимым условием является постоянное поддержание синхронной скорости вращения ротора  $СГ$  и надсинхронной скорости – для  $АГ$ .



**Рис. 8. Непосредственное подключение к сети ВЭУ с синхронным (а) и асинхронным (б) генератором**

В случае параллельной работы нескольких ВЭУ с синхронными генераторами, частота вращения валов генераторов может поддерживаться стабильной путем следующих возможных вариантов подключения:

- каждый генератор имеет собственное устройство синхронизации;
- устройства автоматической синхронизации синхронизируют генераторы между собой в группах, а затем происходит синхронизация групп с сетью;
- устройства автоматической синхронизации синхронизируют генераторы между собой в группе, затем синхронизируются группы, а с сетью синхронизация происходит непосредственно на главной повышающей подстанции.

Очевидно, что первый вариант наиболее полно отвечает эксплуатационным требованиям и позволяет устанавливать минимальное количество синхронизирующих устройств. В этом случае любой из генераторов может подключаться к сети независимо от других.

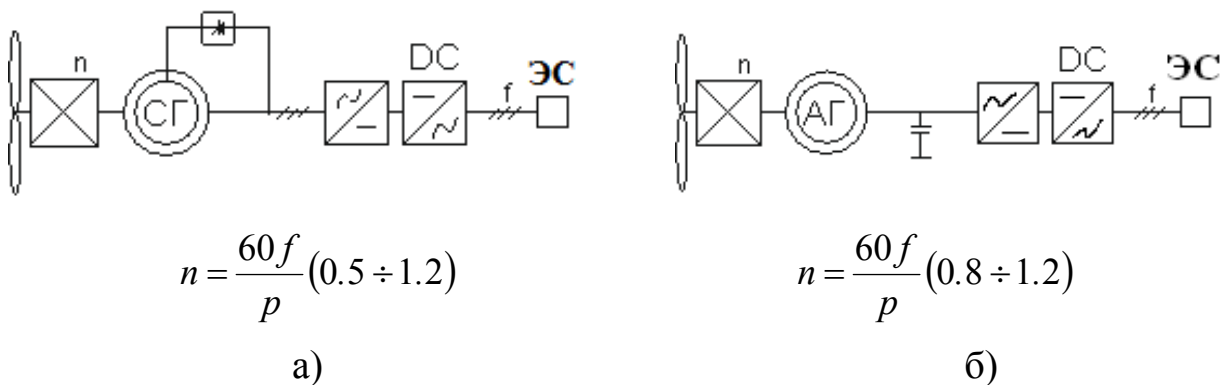
Применение асинхронных генераторов позволяет исключить из главной схемы ВЭС синхронизирующие устройства. Однако в этом случае собственнику ВЭС приходится либо расплачиваться с сетевой компанией за реактивную мощность, потребляемую установками из сети. На рис. 8-б в схеме применён асинхронный генератор (АГ) классической конструкции, имеющий короткозамкнутый ротор. В асинхронном генераторе скорость вращения ротора должна быть выше синхронной скорости и скольжение является отрицательным, но по абсолютному значению примерно одинаковым с двигателем – 3...8 %. Рассмотренная схема характеризуется постоянством скорости вращения ветроколеса, что не является оптимальным с точки зрения использования энергии ветра.

Для повышения эффективности использования ветра позднее стали использовать ступенчатое (обычно двухступенчатое) регулирование скорости. Для чего в статоре генератора закладывается две обмотки с различным количеством пар полюсов. При низкой скорости ветра, для сохранения оптимальной быстроходности применяется низкая скорость вращения ветроколеса и в генераторе включается обмотка с наибольшим числом пар полюсов. При возрастании скорости ветра выше определенного предела, происходит переключение на наименьшее значение числа пар полюсов и допускается увеличение скорости вращения. Двухскоростные ВЭУ получили широкое распространение, т.к. их конструкция существенно проще, чем схемы с преобразователями.

Второй способ подключения ВЭУ к энергосистеме, в отличие от предыдущего способа, предусматривает последовательное преобразование электроэнергии перед подачей ее в энергосистему с помощью выпрямителей и инверторов, что не требует применения систем поддержания постоянства и синхронизации скорости генераторов ВЭУ (рис. 9).

На рис. 9-а изображена схема подключения на параллельную работу с энергосистемой ВЭУ с синхронным генератором без устройства синхронизации. В этой схеме на выходе генератора частота тока меняется в широком диапазоне в соответствии с изменением скорости ветродвигателя. Далее переменный ток преобразуется в выпрямителе (В) в постоянный и по двухжильному кабелю подается на находящийся внизу в башне

ВЭУ инвертор (И), где и преобразовывается в переменный ток частотой 50 Гц. Тип инвертора – "ведомый сетью", и это означает, что частота на выходе инвертора задается фактически существующей в каждое мгновение частотой сети. Известно, что с помощью инвертора можно менять угол между током и напряжением. Если ток "отстает" от напряжения, то генератор потребляет реактивную мощность, а если ток "опережает" напряжение, то генератор производит наряду с активной и реактивную мощность. Другими словами, ветроустановка может участвовать в регулировании напряжения сети в точке присоединения ВЭУ к энергосистеме. Естественно, что выпрямитель и инвертор в схеме рассчитаны каждый на полную мощность генератора, что приводит к удорожанию электрической части ВЭУ.

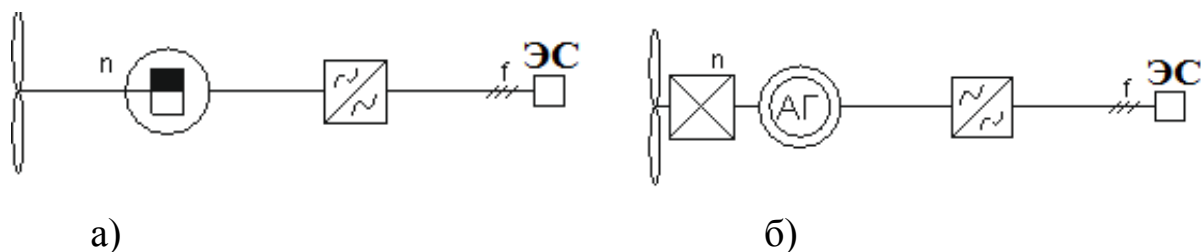


**Рис.9. Подключение к сети через выпрямитель и инвертор ВЭУ с синхронным (а) и асинхронным (б) генератором.**

На рис. 9-б изображена схема подключения на параллельную работу с энергосистемой ВЭУ с асинхронным генератором с короткозамкнутым ротором. Скорость ветродвигателя и частота тока на выходе асинхронного генератора также изменяются в широком диапазоне, а дальнейшее преобразование и выдача вырабатываемой ВЭУ электроэнергии в энергосистему осуществляется точно так же, как в схеме рис.9-а. Так как асинхронный генератор для намагничивания ротора должен потребляет реактивную мощность и, за счет последовательно включенных выпрямителя и инвертора, не может получить ее из сети, в схему на выход генератора включена конденсаторная батарея, как источник реактивной мощности.



На рис. 10 представлены схемы подключения ВЭУ к энергосистеме, характерной особенностью которых является наличие преобразователя частоты (ПЧ). В этих схемах преобразователи частоты также рассчитываются на полную мощность генератора ВЭУ.



**Рис.10. Подключение к сети посредством преобразователя частоты ВЭУ с (а) синхронным (без механической передачи) и (б) асинхронным генератором**

На рис. 10-а в качестве примера, показана схема подключения к энергосистеме ВЭУ с синхронным генератором и без мультипликатора. Фирмой Enercon (Германия) разработан тихоходный синхронный многополюсной генератор, что позволило отказаться от редуктора и существенно упростить механическую часть ВЭУ. Однако электрическая часть существенно усложнилась за счет включения в схему преобразователя частоты, но при этом приобрела дополнительные положительные качества. В таких системах может использоваться также асинхронный генератор с короткозамкнутым ротором (рис.10-б). Так, например, при изменении скорости вращения ветроколеса соответственно изменяется скорость вращения ротора генератора, что приводит к изменению частоты на выходе генератора и входе в преобразователе. Далее на выходе преобразователя частота поддерживается равной частоте сети (50Гц в Европе и 60 Гц в США). Схема обеспечивает поддержку оптимального значения быстроходности в большом диапазоне изменения скорости ветра. Однако это достигнуто ценой увеличения общей стоимости электрооборудования ВЭУ на величину стоимости преобразователя частоты.

## 5. МЕСТО ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ В МИРЕ

---

Во многих уголках мира ветровая энергетика уже достигла уровня, который позволяет ей стать основным источником энергии. Рост ветроэнергетики в развитых странах, особенно в Европе, длительное время был обусловлен проблемой глобального изменения климата /5, 9/.

Изменение климата - сложная и серьезная проблема. Если правительства не примут меры по сокращению парниковых эмиссий, разрушительная сила таких ураганов, как Катрина и Рита окажется ничем по сравнению с теми бедами, которые могут обрушиться на планету в результате изменения климата. Сокращение выбросов парниковых газов имеет как экономическое, так и экологическое значение. Во избежание разрушительных климатических последствий международная политика в области сохранения климата должна быть направлена на то, чтобы удерживать рост средней глобальной температуры не более чем на 2 градуса по Цельсию по сравнению с доиндустриальным периодом. Для решения этой задачи миру в ближайшее десятилетие необходимо кардинально изменить подходы к выработке и потреблению энергии.

Однако есть и другие факторы такие, как энергетическая безопасность, неустойчивость цен на углеводородное топливо, которые оказывают влияние на рынок и страны Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСД). Зависимость от поставок из нескольких стран-импортеров углеводородного сырья, которые являются большей частью политически нестабильными государствами, а также неустойчивость цен на нефть и газ делают ситуацию шаткой, что ведет к значительным потерям в мировой экономике.

Ветровая энергетика является наиболее привлекательным решением мировых энергетических проблем. Она не загрязняет окружающую среду и не зависит от топлива. Более того, ветровые ресурсы присутствуют в любой части мира и их достаточно, чтобы обеспечить растущий спрос на электроэнергию. Предлагаемый доклад демонстрирует, что ветровая энергетика – это не мечта далекого будущего. Это существующая реальность и практика, которая может применяться повсеместно. За двадцать

лет ветровые установки прошли долгий путь усовершенствования. В результате современный ветропарк по своим характеристикам не уступает традиционной электростанции. Более того, выработка электроэнергии на ветровых станциях становится все более конкурентоспособной по сравнению с традиционными источниками энергии на ископаемом топливе: уже сегодня ветровая энергетика сравнима с новыми угольными и газовыми электростанциями.

Росту рынка ветровой энергетике способствует ряд факторов. Совокупность этих факторов побудила правительства некоторых государств оказать развитию ветровой индустрии политическую поддержку.

*Энергетическая безопасность:* Международное энергетическое агентство (МЭА) прогнозирует, что в отсутствие активных мер в области энергосбережения мировая потребность в энергии к 2030 г. вырастет на 60%. В то же время поставки ископаемого топлива сокращаются. Некоторые крупнейшие мировые экономические системы вынуждены все больше полагаться на импорт топлива из регионов, где конфликты и политическая нестабильность ставят под угрозу безопасность поставок энергоресурсов. По сравнению с ископаемыми ресурсами ветер – мощный естественный источник энергии, который постоянно доступен практически в любой стране мира и не зависит от колебаний цен на топливо.

*Проблемы окружающей среды:* Стимулом для развития ветровой энергетике стала и необходимость принятия срочных мер по предотвращению дальнейшего изменения климата. Изменение климата признано самой серьезной глобальной проблемой. Киотский протокол (1997 г.) возложил на страны Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСД) обязательства по сокращению выбросов CO<sub>2</sub> в среднем на 5,2%. В странах третьего мира наибольшую озабоченность вызывает непосредственное воздействие сжигания органического топлива на окружающую среду (в первую очередь загрязнение воздуха). Другие экологические проблемы, связанные с использованием ископаемых ресурсов для выработки энергии, возникают при геологоразведочных работах, разработках месторождений ископаемого топлива, разливах нефти, радиационном воздействии. Использование возобновляемых источников энергии, в том числе энергии ветра, позволяет избежать этих рисков и угроз.

*Экономика:* Расширение мирового рынка ветроэнергетики привело к значительному падению цен на энергию, производимую ветром. Современные ветровые турбины ежегодно производят в 180 раз больше электроэнергии, чем 20 лет назад. При этом киловатт·час производимой энергии подешевел как минимум в 2 раза. При удачном расположении ветроэнергетические станции могут конкурировать по экономическим показателям с ТЭС на угле и газе.

Конкурентоспособность ветровой энергетики увеличилась благодаря недавнему повышению цен на ископаемое топливо. Кроме того, если бы скрытые издержки, связанные с воздействием на окружающую среду и здоровье людей при использовании ископаемого топлива и ядерной энергии, были включены в стоимость электроэнергии, выработка электричества ветровыми электростанциями оказалась бы еще дешевле. Ветровая энергетика также дает экономический эффект за счет создания новых рабочих мест. В развивающихся странах ветровая энергетика открывает экономические возможности для удаленных территорий, не имеющих доступа к электрическим сетям.

*Технологии и индустриальное развитие:* С 1980-х годов, когда было начато использование первых коммерческих ветровых установок, произошло значительное повышение единичной мощности и эффективности ветровых турбин, усовершенствовался их внешний дизайн. Одна современная турбина 2 МВт-класса может производить энергии больше, чем 200 установок образца 1980-х гг. Самые крупные на сегодняшний день турбины имеют мощность свыше 5 МВт и диаметр ветроколеса более 100 метров. Современные ветроустановки складываются из модулей и легко возводятся. Ветровые станции могут быть различной мощности - от одного до нескольких сотен мегаватт.

Ветровая энергетика стала крупным бизнесом. Реагируя на спрос, основные производители ветровых турбин открывают производства с многомиллионными оборотами по всему миру. Исследования мировых ветровых ресурсов показывают, что данные ресурсы огромны и равномерно распределены практически по всем регионам и странам. Недостаточная сила ветра вряд ли может стать фактором, сдерживающим развитие ветровой энергетики в мире.

Среди возобновляемых источников энергии ветроэнергетика занимает важное место. По оценкам Pacific Northwest Laboratory (США), площадь, на которой среднегодовая скорость ветра на высоте флюгера (8-10 м) превышает 5,1 м/с, составляет 25% поверхности земли. Оценка глобального потенциала ветровой энергии на поверхности Земли составляет около 1200 ТВт.

Запасы энергии ветра более чем в сто раз превышают запасы гидроэнергии всех рек планеты. Мощность высотных потоков ветра (на высотах 7-14 км) примерно в 10-15 раз выше, чем у приземных. Эти потоки обладают постоянством, почти не меняясь в течение года. Возможно использование потоков, расположенных даже над густонаселёнными территориями (например — городами), без ущерба для хозяйственной деятельности.

Турбины занимают только 1 % от всей территории ветряной фермы. На 99 % площади фермы возможно заниматься сельским хозяйством или другой деятельностью, что и происходит в таких густонаселённых странах, как Дания, Нидерланды, Германия. Фундамент ветроустановки, занимающий место около 10 м в диаметре, обычно полностью находится под землёй, позволяя расширить сельскохозяйственное использование земли практически до самого основания башни. Земля сдаётся в аренду, что позволяет фермерам получать дополнительный доход.

Два новых исследования (Стэнфордского университета и Института Карнеги), которые проводились независимо друг от друга, дали возможность уверенно заявить, что все энергетические потребности мира можно обеспечить лишь благодаря ветряным станциям. Для этого их количество необходимо увеличить примерно в сто раз. Сейчас человечество потребляет около 18 тераватт энергии, если же полностью воспользоваться потенциалом ветряной энергетики, то можно получить как минимум в 10 раз больше.

В результате исследований, которые проводила электролаборатория Института Карнеги был сделан вывод, что благодаря энергии, которую можно получить с помощью ветра, можно в 20 раз перекрыть энергетические потребности человечества. В заключении исследования делается

вывод, что вопрос потенциала ветряной энергии как основной заключается не в природных условиях, а скорее в политических и экономических факторах. Именно это заключение и вызвало много дискуссий в американской прессе. Критики заострили внимание на том, что обеспечить весь мир «чистой» энергией невозможно с технической точки зрения.

Однако повсеместное использование ветряков, если все же его организовать, перекрыло бы затраты на организацию ветряных электростанций. Об этом говорится в другом исследовании, которое опубликовал профессор Стэнфордского университета Марк Джейкобсон (Mark Jacobson). Ученый отмечает, что потенциал ветряной энергии теоретически может покрыть энергетические потребности всего мира по крайней мере в 10 раз. Это меньше, чем говорится в исследовании Института Карнеги, но такого объема энергии было бы тоже вполне достаточно всем людям.

Энергия ветра могла бы быть преобразована в электричество, которое использовалось бы во всем мире. Но для этого необходимо построить слишком много ветряных электростанций, чем сейчас готово человечество. Однако выводы, сделанные благодаря исследованиям, все же еще раз говорят в пользу того, что мир мог бы быть полностью обеспечен электричеством благодаря альтернативным источникам энергии.

Ветроэнергетика присутствует сегодня в более чем 79 странах, из которых 24 страны имеют более 1 ГВт установленной ветроэнергетической мощности (рис.11).

Наиболее подходящими местами для производства энергии из ветра считаются прибрежные зоны, поэтому оффшорные (морские) ветряные электростанции на сегодняшний день можно назвать перспективной отраслью ветроэнергетики. Сейчас это направление в основном развивается в Европе и США. В мировом масштабе подобные сооружения пока не распространены в силу своей высокой капиталоемкости, недостаточного уровня разработки, отсутствия квалифицированного персонала, нехватки соответствующих вспомогательных служб (например, плавучие краны), конкуренции за место с другими пользователями морских ресурсов и прочих нерешенных вопросов. Тем не менее, морской ветер обладает

значительным энергетическим потенциалом, что требует динамичного развития соответствующих технологий. В последнее время в данном направлении наблюдается существенный прогресс, разработаны проекты крупномасштабных ветростанций, которые смогут работать в морях и океанах.

Возможность установки ветротурбин в море открыла новые горизонты для ветровой энергетики, особенно в северной части Европы, для которой характерно относительно мелководье прибрежных акваторий и наличие спроса на осуществление более масштабных проектов по сравнению с проектами на суше.

## **6. РЫНОК ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ В МИРЕ**

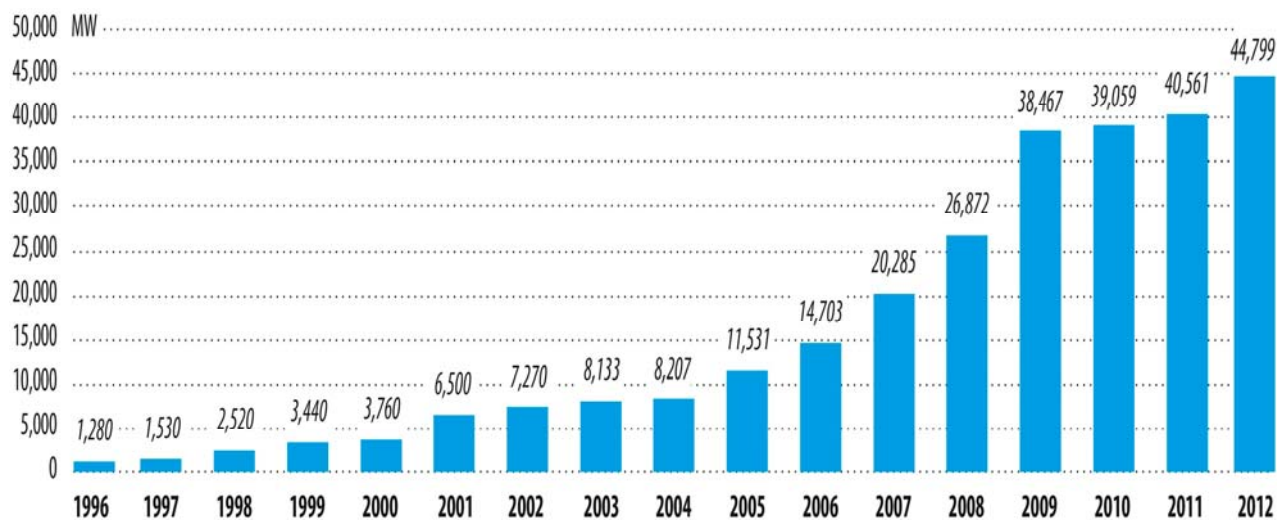
---

Согласно Отчету Global Wind Energy Council (GWEC) в 2012 году в мире было установлено около 44,8 ГВт новых мощностей ветроэлектростанций (динамика по годам показана на рис. 12). Суммарная установленная мощность ветроэлектростанций в мире также растет значительными темпами (рис.13) и в 2012 году составила более 282,5 ГВт. В 2012 году темп роста ветроэнергетики составил 19%.

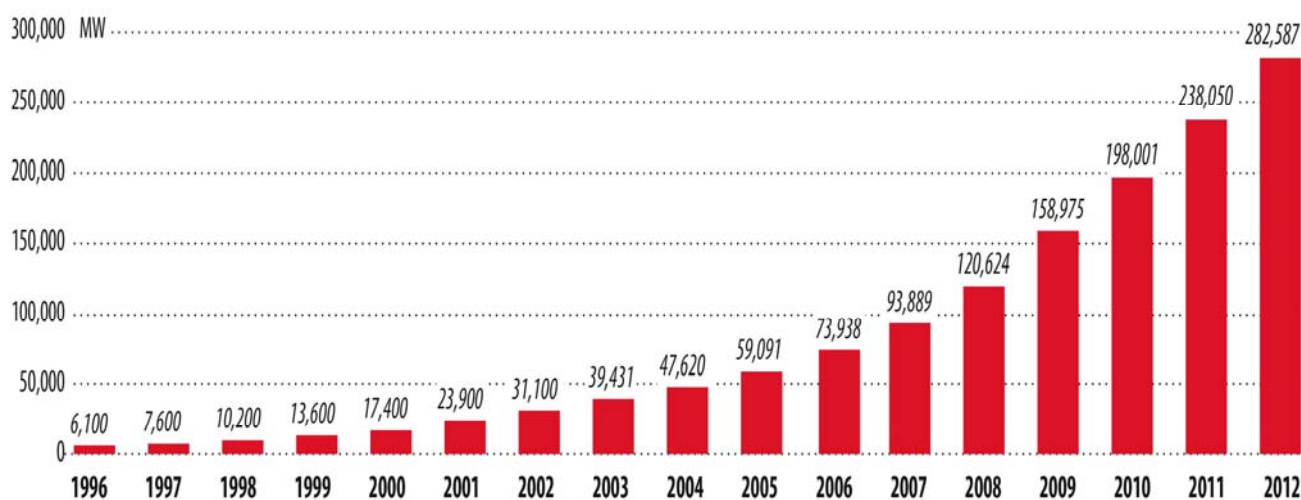
Все ветровые турбины планеты, которые были установлены на конец 2012 года, могут сгенерировать 580 ТВт-ч в год, что составляет более 3% общего спроса на электроэнергию.

Энергия ветра может быть переменной, но наибольшую угрозу для продолжения стабильного роста отрасли представляет собой изменчивость и непредсказуемость политиков, устанавливающих основы развития энергетического сектора. В то же самое время, все движущие силы развития ветроэнергетических технологий, существовавшие до сегодняшнего дня, по-прежнему актуальны, а именно: энергетическая безо-

пасность, стабильность цен, развитие местной экономики, смягчение последствий изменения климата, вопросы, связанные с загрязнением воздуха и водных ресурсов.



**Рис. 12. Динамика ежегодных установленных мощностей ветроэлектростанций в мире в 1996-2012гг. (МВт)**



**Рис.13. Динамика суммарных установленных мощностей ветроэлектростанций в мире в 1996-2012гг. (МВт)**

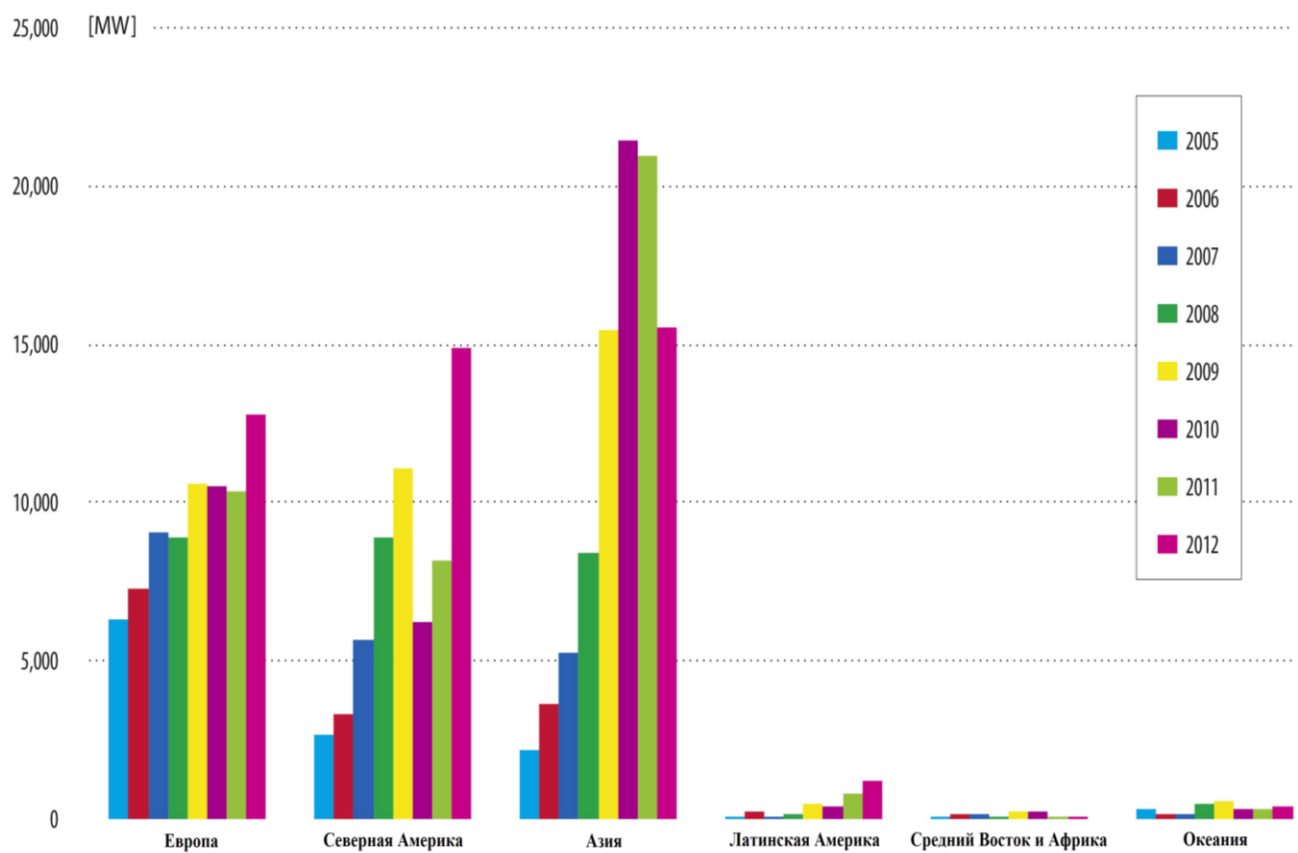
Количество рынков, где ветроэнергетические технологии сегодня являются конкурентоспособными, постоянно увеличивается, несмотря на размер субсидий, выделяемых для технологий с использованием ископаемого топлива. Так, размер субсидий, стимулирующих выбросы CO<sub>2</sub> в атмосферу, в 2012 году составил около 110 долларов США за тонну.



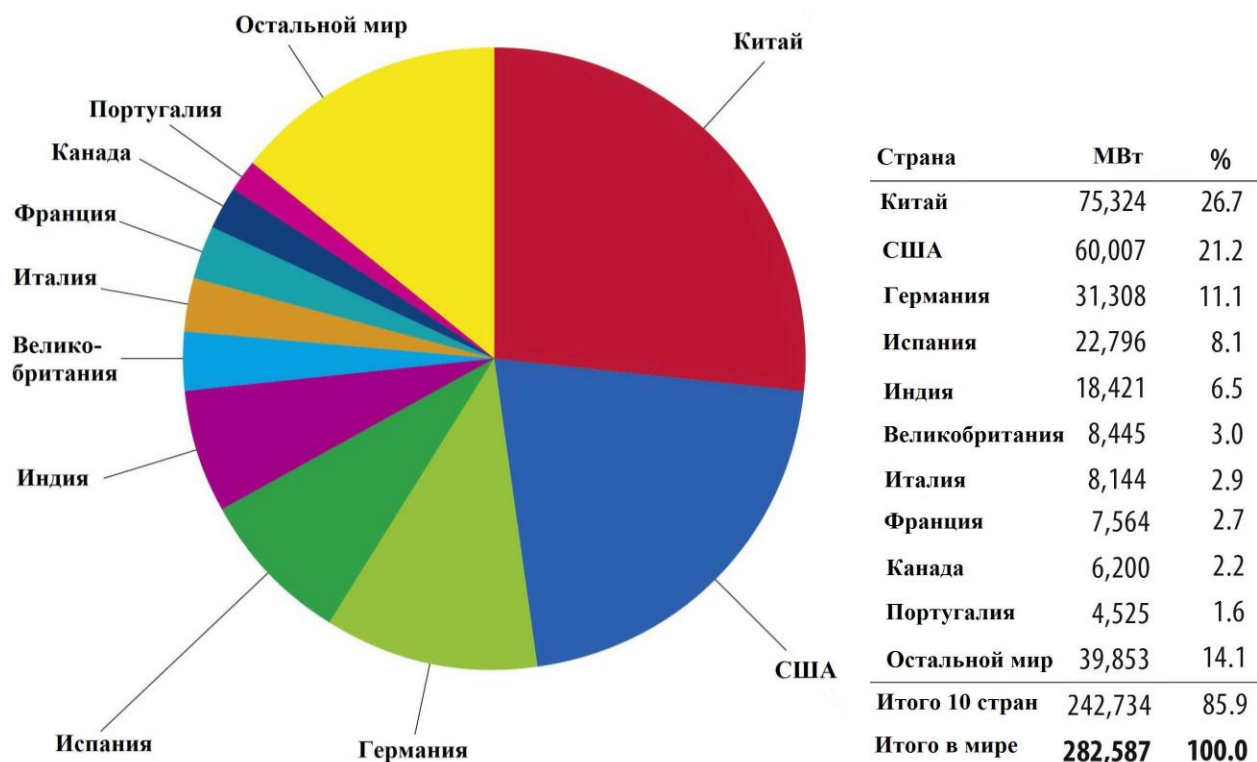


📍 - более 1 ГВт; 📍 - менее 1 ГВт; 📍 - оффшорные

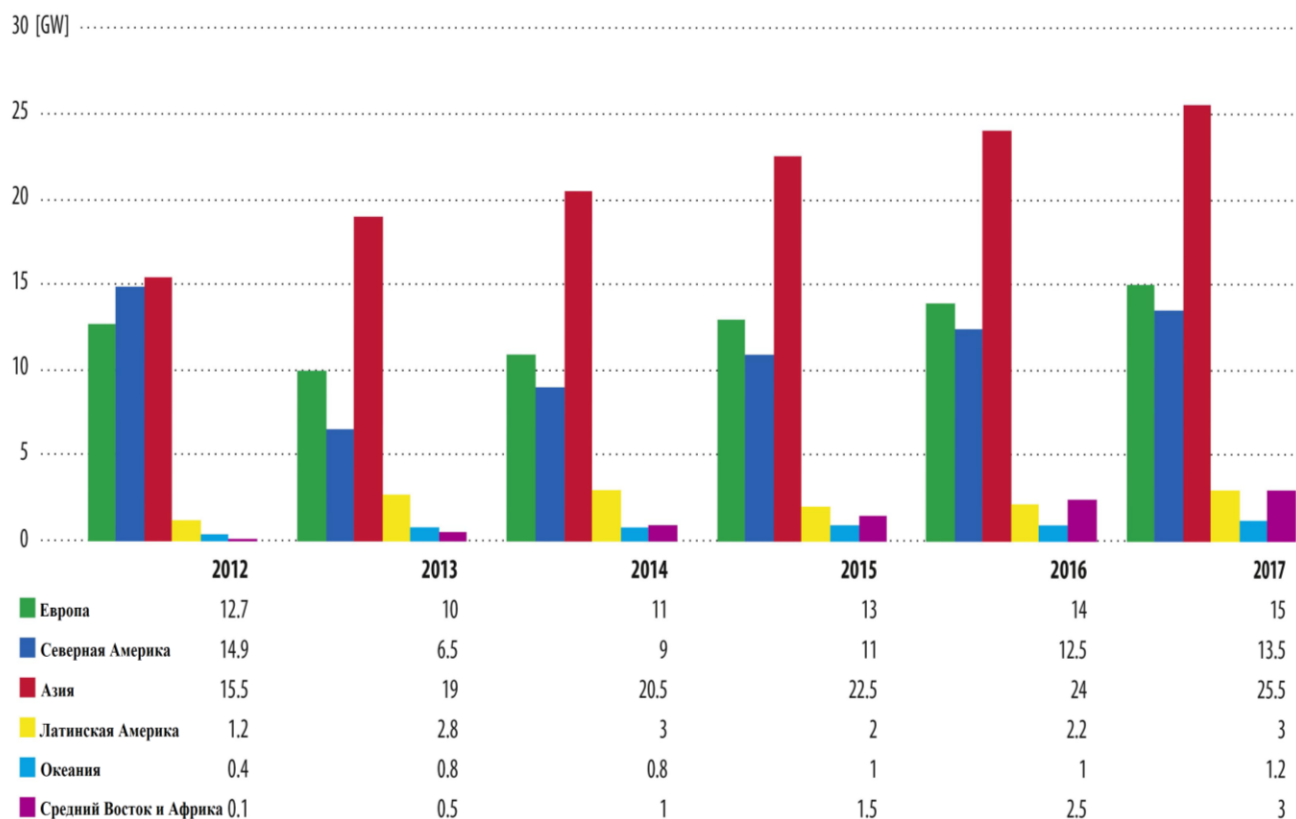
**Рис.11. Региональное расположение крупнейших ветроэлектростанций в мире**



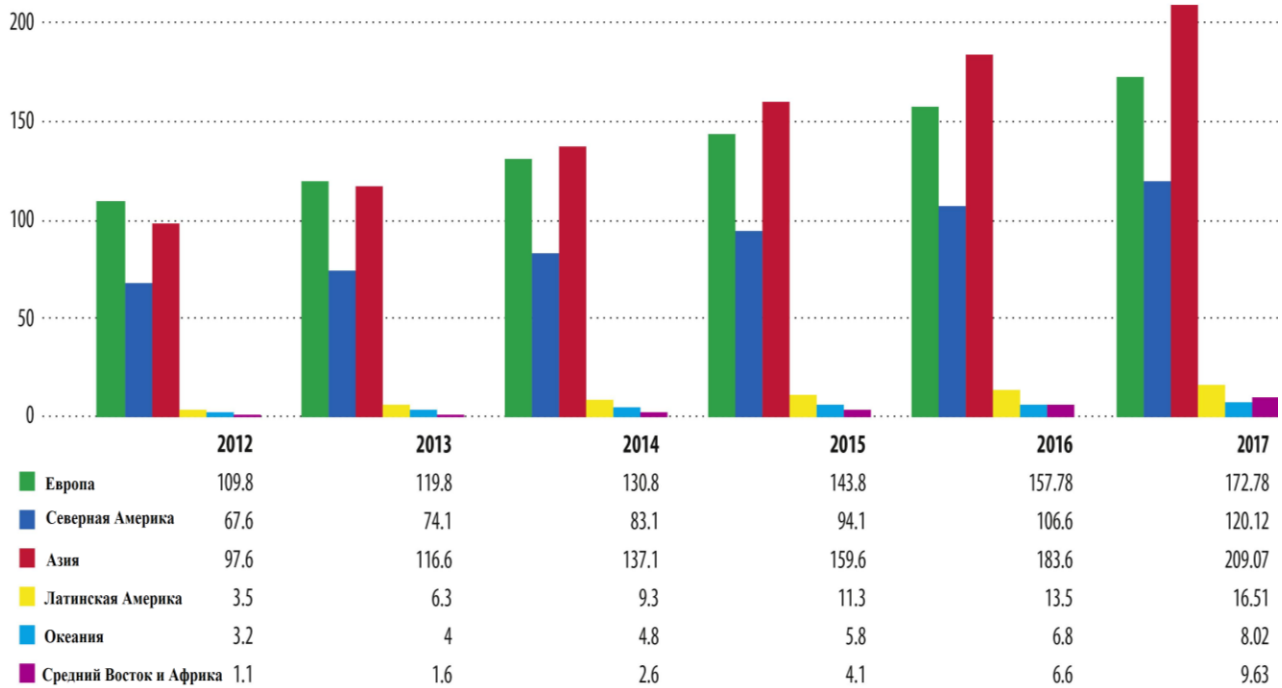
**Рис.14. Ежегодная установленная мощность ветроэлектростанций по регионам мира в 2005-2012 гг. (МВт)**



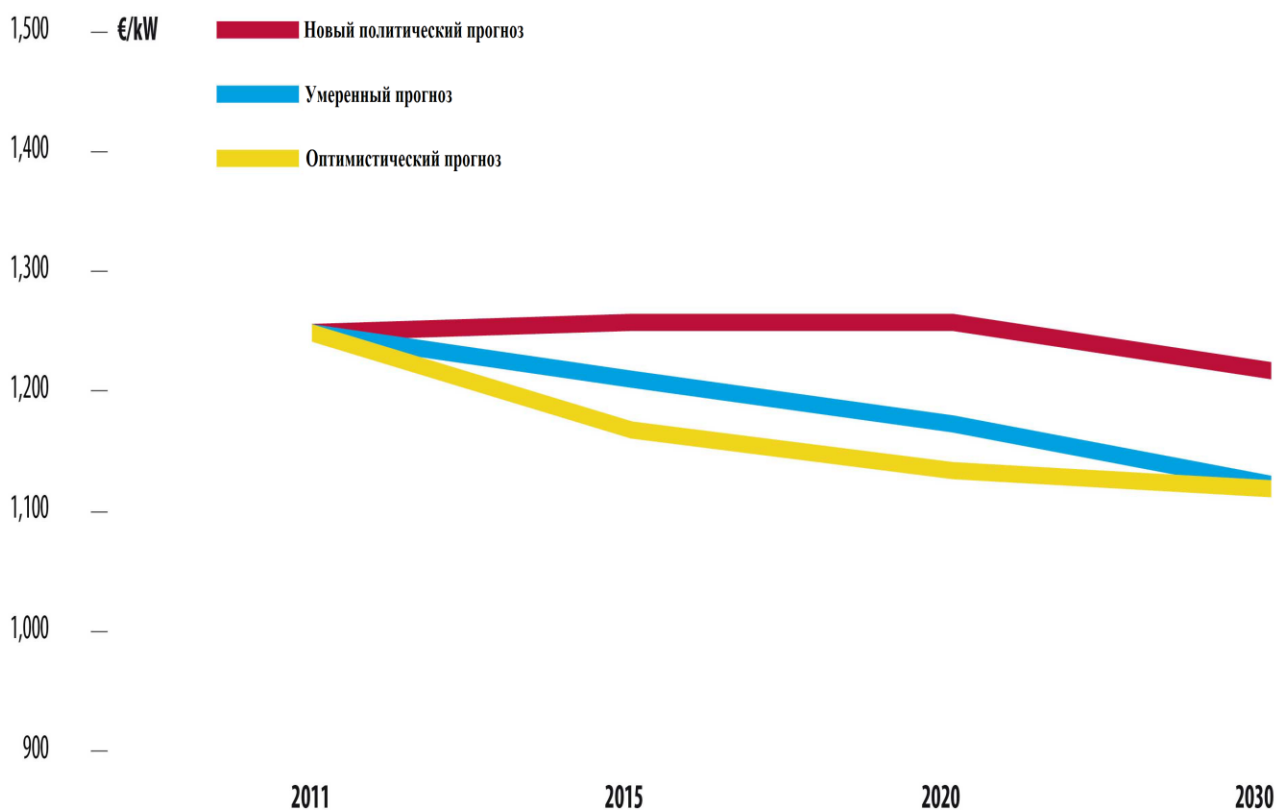
**Рис.15.** ведущих стран мира по установленным мощностям ветроэлектростанций в 2012 году (МВт, %)



**Рис.16.** Ежегодная установленная мощность ветроэлектростанций по регионам мира в 2012 г. и прогноз на 2013-2017 гг. (ГВт)



**Рис.17. Суммарная установленная мощность ветроэлектростанций по регионам мира в 2012 г. и прогноз на 2013-2017 гг. (ГВт)**



**Рис.18. Прогнозы изменения стоимости установленной ветроэнергетической мощности до 2030 года (€/кВт)**

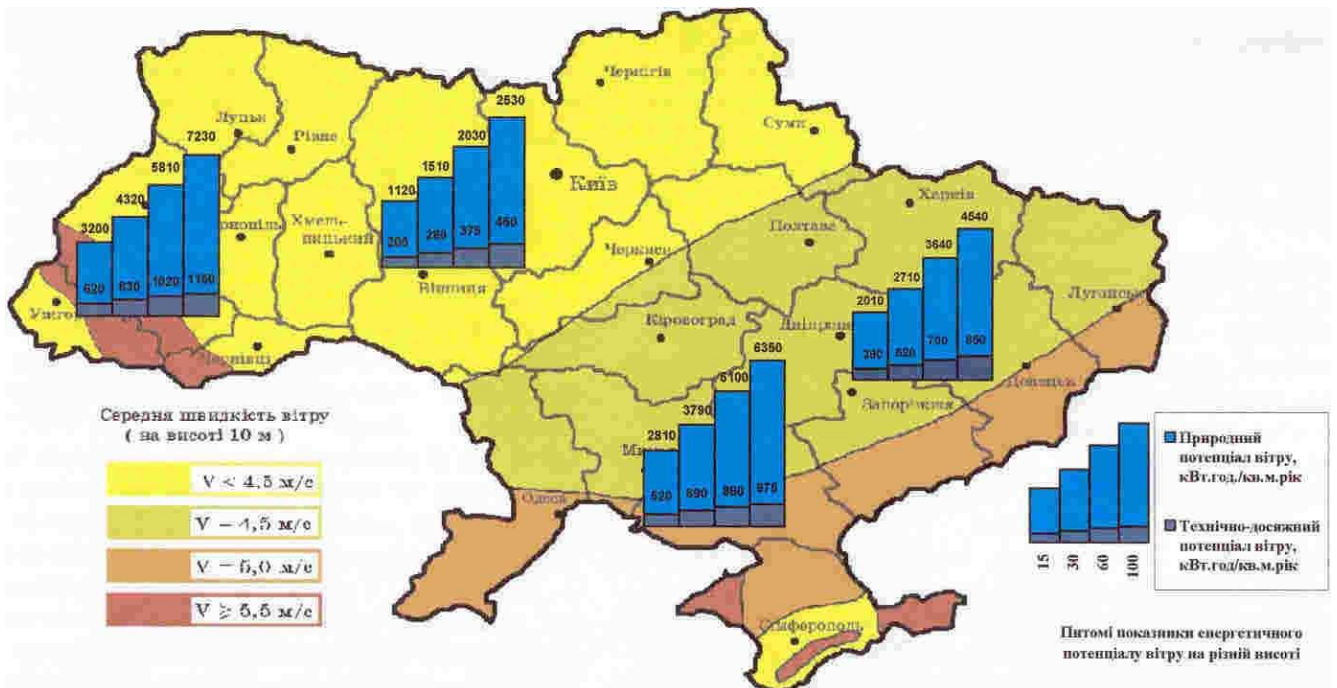


Рис. 37. Ветроэнергетический потенциал и скорость ветра в Украине

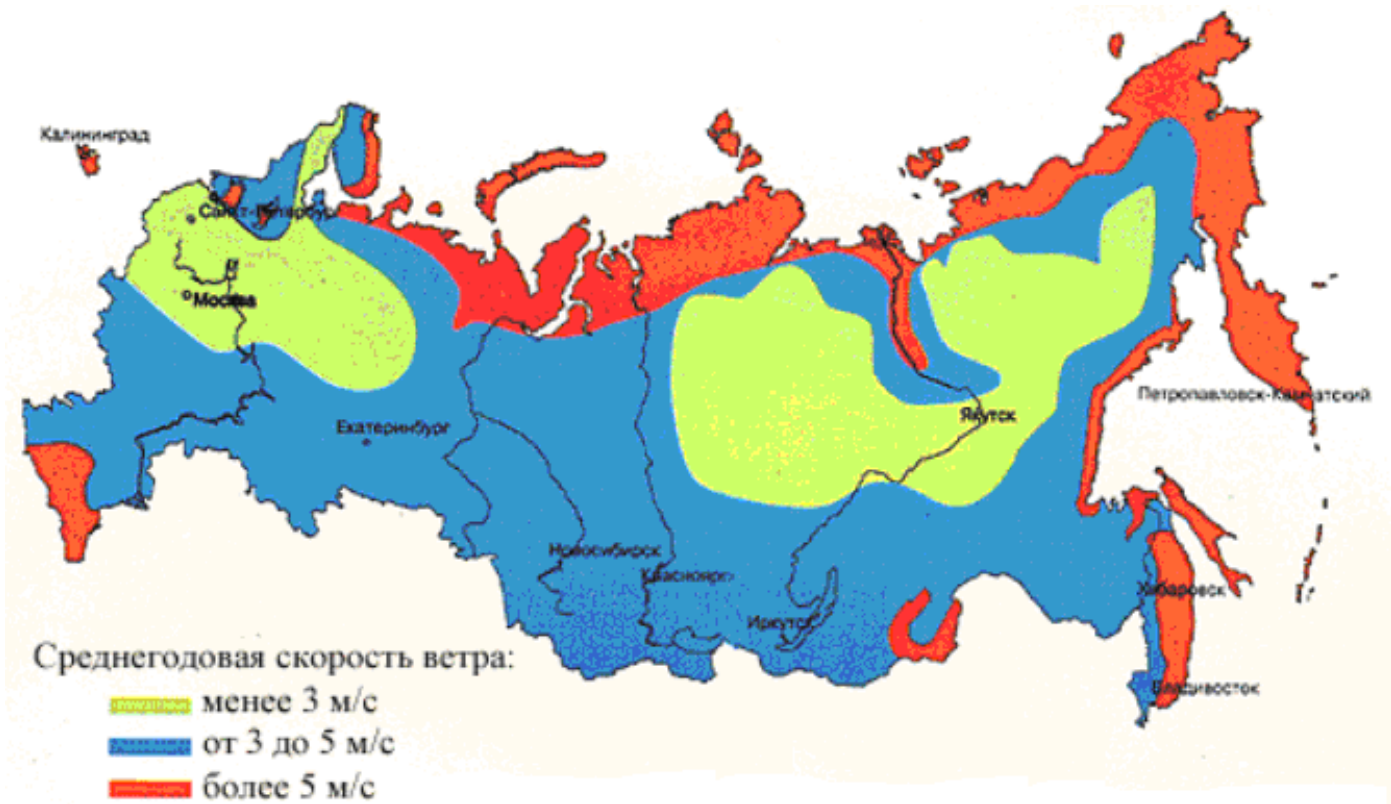


Рис. 39. Карта ветропотенциала и скорости ветров в РФ

В 2012 г. на Азию приходится наибольшая доля новых ветроэнергетических объектов (36,3%); за ней следует Северная Америка (31,3%) и Европа (27,5%). Латинская Америка (3,9%) и Австралия/Океания (0,8%) имеют намного меньшие доли. В Африке (0,2%) ветроэнергетический рынок все еще остается на очень низком уровне (рис.14).

По развитию отрасли, Латинская Америка и Восточная Европа продолжают быть наиболее динамичными регионами в мире, в то время как Африка показала стагнацию.

В 2012 году в Европе, Северной и Латинской Америках произошел рост ежегодных установленных мощностей ветроэлектростанций, тогда как в Азии произошел спад до уровня 2009 года. В 2012 году 10-ю ведущими странами в области ветроэнергетики было установлено почти 86% мировых мощностей ветроэлектростанций. На Китай, США и Германию приходится 60% установленных мощностей ветроэлектростанций (рис.15).

Согласно отчету GWEC прогнозируется незначительный спад роста отрасли в 2013 году, однако уже в 2014 году ожидается полное «выздоровление» отрасли.

По прогнозам GWEC лидером по приросту ежегодных новых установленных мощностей ветроэлектростанций в ближайшие 5 лет будет Азия, которая в 2013 году установит около 19 ГВт, а в 2017 – около 25,5 ГВт. Европа в 2013 году установит около 10 ГВт новых мощностей ветроэлектростанций, а в 2017 году – около 15 ГВт. Северная Америка в 2013 году установит около 6,5 ГВт ежегодных новых мощностей ветроэлектростанций, а в 2017 году – около 13,5 ГВт (рис. 16).

До 2017 года среднегодовой рост ветроэнергетической мощности мировой ветроэнергетики составит 13,7%; а суммарная мощность достигнет 536 ГВт.

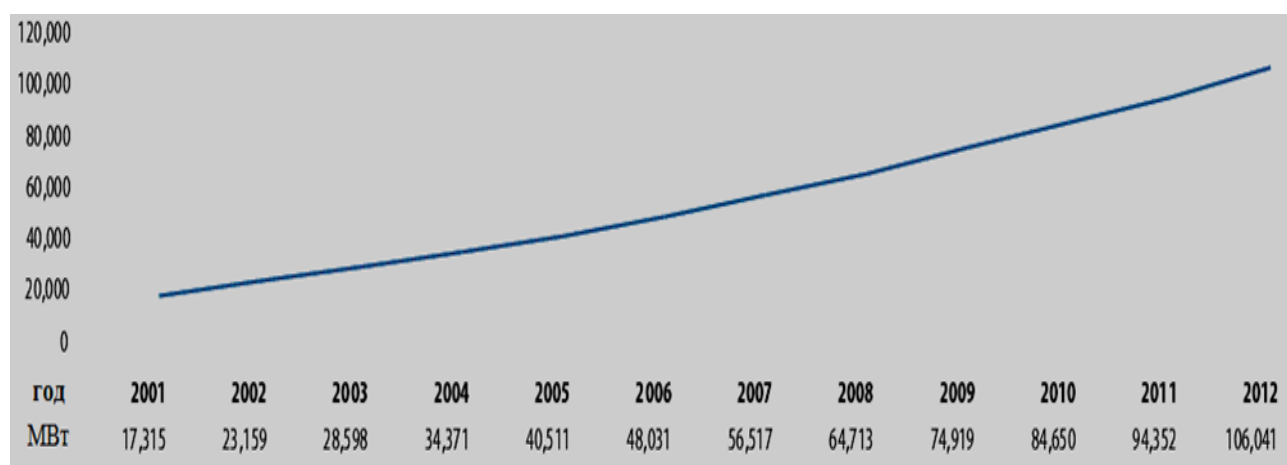
По прогнозам GWEC в 2017 году лидерами по суммарным установленным мощностям ветроэлектростанций будет Азия – более 200 ГВт, Европа - около 175 ГВт, Северная Америка – около 120 ГВт (рис. 17). Всемирная ветроэнергетическая ассоциация (WWEA) ожидает, что уже к 2016 году мировая мощность ветроэлектростанций составит более

500 ГВт, а в 2020 году возможно достичь отметки 1000 ГВт. Максимальный рост предполагается в Китае, Индии, Северной Америке. Привлечет внимание инвесторов Латинская Америка и Южная Африка.

Инвестиции в ветроэнергетику в 2012 году составили 60 млрд. евро. (\$75 млрд.). Согласно умеренному сценарию Глобального совета по ветроэнергетике (GWEC) годовые инвестиции в ветроэнергетику достигнут 90 млрд. евро к 2020 году и 115 млрд. евро к 2030 году. Согласно оптимистическому сценарию GWEC годовые инвестиции в ветроэнергетику достигнут 154 млрд. евро к 2020 году и 170 млрд. евро к 2030 году (рис. 18).

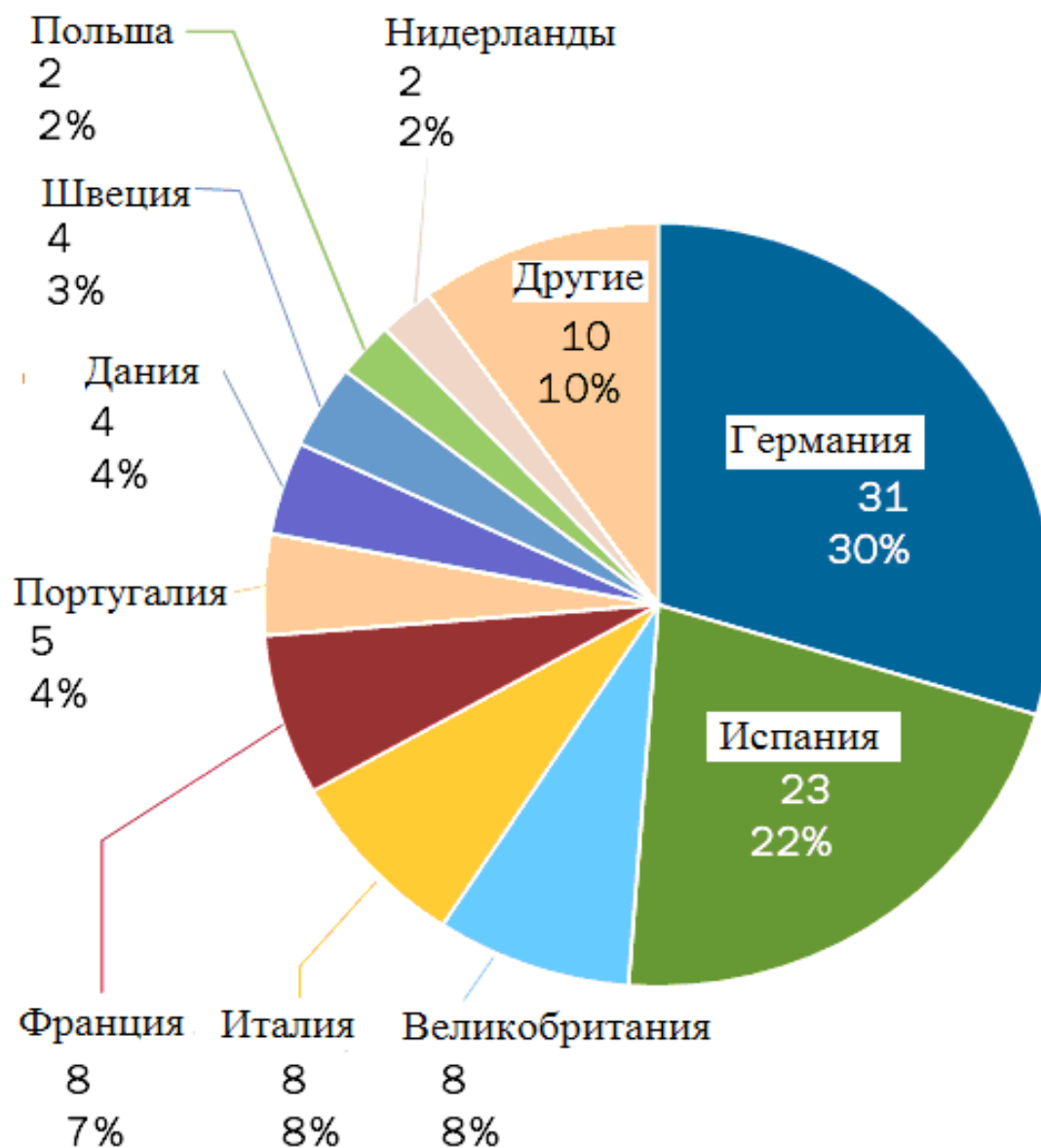
По прогнозам GWEC согласно умеренному сценарию цена установленной ветроэнергетической мощности составит около 1200 евро/кВт к 2020 году и около 1168 евро/кВт - к 2030 году; согласно оптимистическому сценарию цена установленной ветроэнергетической мощности составит около 1147 евро/кВт к 2020 году и около 1137 евро/кВт - к 2030 году.

Европа. В 2012 году Европа установила 12,4 ГВт мощностей ветроэнергетики, что повысило общую установленную мощность до уровня 109 ГВт на конец прошлого года. Это на 12% больше, чем в конце 2011 года, заявили во Всемирном совете по ветроэнергетике (GWEC).



**Рис. 19. Динамика суммарных установленных мощностей ветроэлектростанций в ЕС в 2001-2012гг. (МВт)**

В 2012 году 27 стран ЕС вместе установили 11,6 ГВт ветровых мощностей, что повысило общую установленную мощность до уровня 106 ГВт на конец 2012 года. Это на 12,6% больше, чем в конце 2011 года, заявили в Европейской ветроэнергетической ассоциации (EWEA).



**Рис. 20. Суммарные установленные мощности ветроэлектростанций в ЕС по странам в 2012 году (ГВт, %)**

Лидером в ЕС по суммарным установленным мощностям ветроэлектростанций в 2012 году стала Германия – 31 ГВт; второе место занимает Испания – 23 ГВт; третье место делят Великобритания, Италия и

Франция – по 8 ГВт соответственно. На Германию и Испанию приходится 52% установленных мощностей ветроэлектростанций ЕС (рис. 20).

Двенадцать новых государств-членов ЕС в Центральной и Восточной Европе планируют увеличить мощности ветроэнергетики от 6,4 ГВт в 2012 г. до 16 ГВт к 2020 году.

По прогнозам GWEC, согласно умеренному сценарию ветроэнергетические мощности ЕС в 2020 г. составят около 211 ГВт, а в 2030 г. – около 371 ГВт; согласно прогрессивному сценарию около 262 ГВт в 2020 г. и около 396 ГВт в 2030 г. Ветроэнергетика может существенно помочь в достижении целей ЕС по снижению выбросов парникового газа на 80-95% к 2050 году. К 2050 году ветроэнергетика сможет обеспечить 50% всего электричества в ЕС (см. таблицу 2).

**Установленная ветроэнергетическая мощность,  
объем выработки и доля в спросе ЕС**

Таблица 2.

	Наземные ВЭУ (ГВт)	Водные ВЭУ (ГВт)	Общая мощность ВЭУ (ГВт)	ТВт-ч наземные	ТВт-ч водные	ТВт-ч итого	Валовое энергопотребление ЕС-27	Доля ветроэнергии
2020	190	40	230	433	148	581	3690	15,7%
2030	250	150	400	591	562	1154	4051	28,5%
2050	275	460	735	699	1813	2512	5000	50%

В этом десятилетии общий объем инвестиций в наземную и морскую ветроэнергетику составит 194 миллиарда евро. По большей части, инвестиции будут обусловлены мощной регулирующей стратегией ЕС до 2020 года, – говорит Кристиан Шэр, руководитель EWEA. – Ежегодные инвестиции в ветроиндустрию в ЕС удвоятся с 13 миллиардов евро в 2010 году до 27 миллиардов евро в 2020 (таблица 3). Это существенно способствует уменьшению выбросов парникового газа, согласно намерениям стран-членов ЕС, в короткие сроки, установленные научным сообществом.

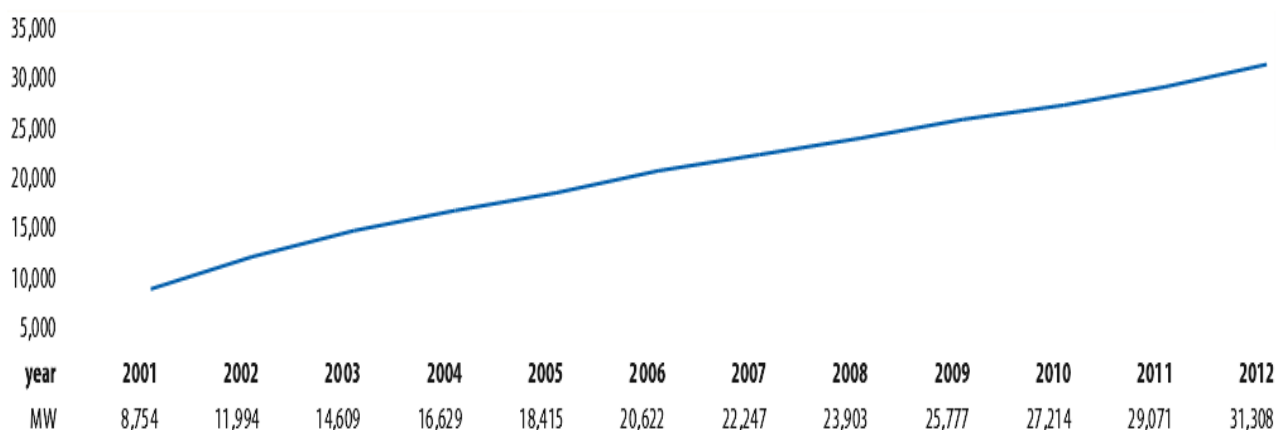


Таблица 3.

Увеличение мощности ветроустановок в странах-членах ЕС с конца 2010 до 2020 г.г. Фактор увеличения мощности и % от энергетической потребности страны к 2020 г.		
Австрия: x 3,5 (10%)	Бельгия: x 4,3 (10%)	Болгария: x 8 (18%)
Кипр: x 3,6 (12%)	Чехия: x 7,4 (4%)	Дания: x 1,6 (38%)
Эстония: x 3,4 (11%)	Финляндия: x 9,6 (5%)	Франция: x 4 (11%)
Германия: x 1,8 (17%)	Греция: x 5,4 (23%)	Венгрия: x 3 (4%)
Ирландия: x 4,2 (52%)	Италия: x 2,7 (9%)	Латвия: x 6,4 (5%)
Литва: x 6,5 (18%)	Люксембург: x 7,1 (7%)	Мальта: 0-100 МВт (8%)
Нидерланды: x 4,2 (20%)	Польша: x 9,5 (14%)	Португалия: x 1,9 (28%)
Румыния: x 6,5 (10%)	Словакия: x 266 (5%)	Словения: 0-500 МВт (6%)
Испания: x 1,9 (27%)	Швеция: x 4 (15%)	Великобритания: x 5 (19%)
ЕС-27: x 2,7 (16%)		
Цифры показывают основной сценарий EWEA до 2020 г. (% округлены)		

Европейская ассоциация ветроэнергетики прогнозирует трехкратный рост отрасли к 2020 году. Но Европа еще не готова распрощаться с «мирным атомом» из-за кризиса. В то же время Шотландия всерьез заявила о намерении довести долю альтернативных источников до 100%.

За 2012 год в Германии было установлено более тысячи ветрогенераторов общей мощностью более 2,2 ГВт (рис. 21).



**Рис. 21. Динамика суммарных установленных мощностей ветроэлектростанций в Германии в 2001-2012гг. (МВт)**

В 2012 году ветровая энергетика Германии показала более чем успешное развитие. Что говорить, ведь за год число ветрогенераторов увеличилось на целую тысячу, так что всего в стране электричество произ-

водят уже 23 тысячи ветряков, а их общая мощность выросла на 20% по сравнению с 2011 г., достигнув более 31,3 ГВт.

Показатели немецкой ветровой энергетики сопоставимы с мощностью 40 крупных электростанций, работающих на угле.

Правда, несмотря на установку новых ветряков, произвести больше электричества не удалось. Причина в прямом смысле слова естественная: ветры в этом году были недостаточно частыми и сильными.

Основная масса ветряных установок появляется в близких к морским берегам землях Нижняя Саксония и Шлезвиг-Гольштейн. Однако в 2012 году началось широкомасштабное финансирование ветроэнергетики и в таких землях, как Рейнланд-Пфальц и Бавария, где обычно сильных ветров не бывает. Куда хуже дело обстоит с развитием так называемых оффшорных ветропарков, расположенных в Северном и Балтийском морях. Многие готовые к эксплуатации ветряные установки простаивают в море из-за проблем с подключением к магистральным электросетям.

Всего в 2012 году к единой сети электропередачи были подключены лишь 16 оффшорных ветрогенераторов, 350 еще ждут подключения. На конец 2012 года мощность эксплуатируемых оффшорных ветропарков у берегов Германии составляет всего 280 МВт. Если ситуация не изменится, то план правительства Германии – нарастить суммарную мощность морских ветропарков до 10 ГВт к 2020 году – выполнить не удастся.

С одной стороны, прогнозы промышленных объединений отрасли на 2013 год выглядят оптимистично: стабильный рост и появление новых ветрогенераторов прежде всего на суше. По оценкам экспертов, в течение 2013 года в Германии появятся новые ветряные установки мощностью около 3,5 ГВт.

Согласно оценкам специалистов Немецкого института ветровой энергии, 37% турбин для выработки энергии из ветра и соответствующих компонентов изготовлены в Германии. Одним из направлений развития рынка ветроэнергетики в этой стране в последнее время отмечается начавшийся переход на новый электропривод, то есть старые ветровые турбины заменяют новыми, более усовершенствованными. Кроме того, здесь уделяют огромное внимание развитию морской ветроэнергетики, ожида-

ется, что к 2020 году мощность ветропарков морского базирования увеличится до 12 000 - 15 500 МВт.

С 1990 года Германия разрабатывает различные законопроекты, способствующие развитию ветроэнергетики. Правовая основа ветроэнергетики Германии в качестве модели была заимствована такими странами, как Франция, Греция, Испания, Австрия, Япония, Бразилия и Аргентина.

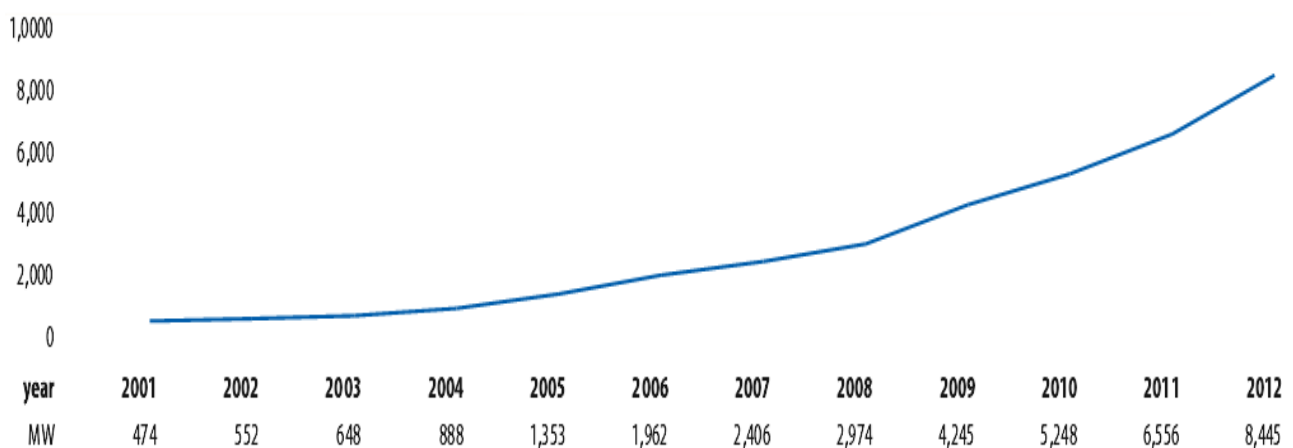
В начале 90-х гг. Германия утвердила Закон об электроснабжении. Он гарантировал владельцам ВЗУ, что электроэнергетические концерны будут закупать у них электричество по достаточно высоким ценам. В 2000 году в этой стране вышел Закон о Возобновляемых источниках энергии (EEG), который уже непосредственно регулировал данную область. Кроме того, в Германии участникам ветроэнергетического рынка оказывается финансовая помощь. Например, немецкий банк выравнивания бремени («Deutsche Ausgleichs Bank» – банк, выполняющий особые функции) предоставляет ссуды, процентная ставка которых на 1-2% ниже, чем на рынке, а Федеральное Министерство Просвещения и Исследования обеспечивает материальную поддержку в области научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок.

Однако намечаются и туманные перспективы для производителей ветроэнергетического оборудования, которых беспокоят планы нынешнего правительства страны. В частности, речь идет о планах изменения закона, регулирующего добычу электроэнергии из альтернативных источников. С такой инициативой в начале 2013 года выступил министр окружающей среды, охраны природы и безопасности ядерных реакторов ФРГ Петер Альтмайер. Представители отрасли опасаются, что реформа ухудшит инвестиционный климат в стране. Дело в том, что предложение Альтмайера предполагает дальнейшее сокращение государственных субсидий на производство электричества с помощью энергии ветра.

Среди других стран Европы, которые показали значительную динамику роста, можно выделить Великобританию (рис.22), Румынию (рис. 23), и Швецию (рис. 24).

В Великобритании в 2012 году было установлено почти 1,9 ГВт новых ветроэнергетических мощностей, что в итоге увеличило суммарную

установленную мощность ветроэлектростанций до 8,4 ГВт. В 2012 г. Одинадцать основных игроков рынка возобновляемой энергетики в Великобритании подписали «Ветряную Хартию», согласно положениям которой ветроэнергетика будет использована для обеспечения процветания Великобритании. Согласно данным торговой организации RenewableUK, среди инициаторов принятия Хартии – корпорации GE, Vestas, REG Windpower, Mainstream Renewable Power, RWE, Npower Renewables, RES и др. Компании, среди которых производители оборудования, консалтинговые агентства и разработчики проектов, определили три ключевых принципа Хартии: инвестировать в энергетическую безопасность и процветание Великобритании, обеспечить финансовую стабильность путём создания новых рабочих мест, а также создать условия для обеспечения государства чистой, безопасной и доступной энергией.

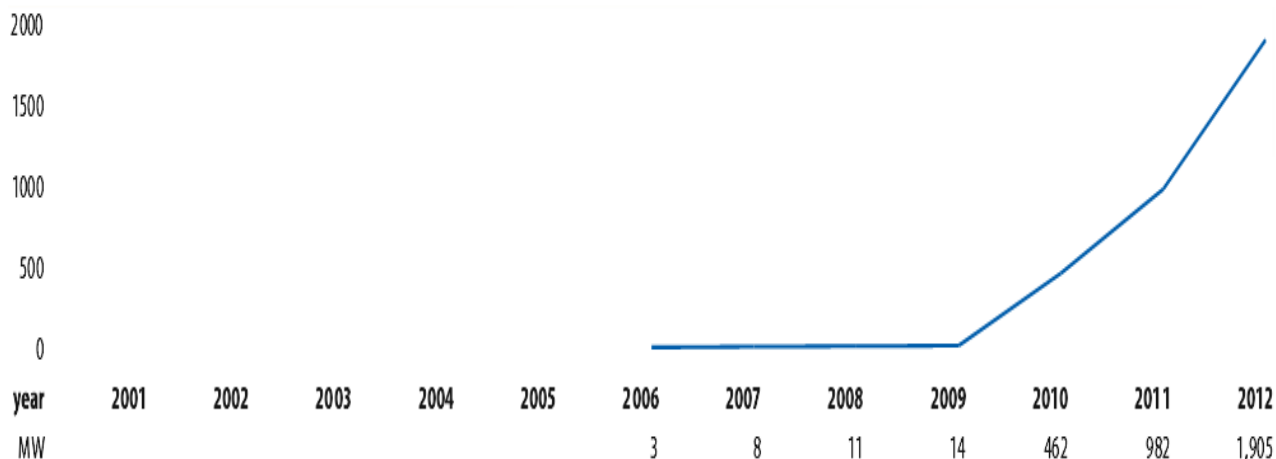


**Рис.22. Динамика суммарных установленных мощностей ветроэлектростанций Великобритании в 2001-2012гг. (МВт)**

Первый принцип Хартии предполагает, что к 2020 году ветроэнергетика сможет обеспечить чистой энергией более 17 млн. домов в Королевстве, второй принцип предусматривает создание 90 тыс. рабочих мест, передает «Центр возобновляемой энергетики».

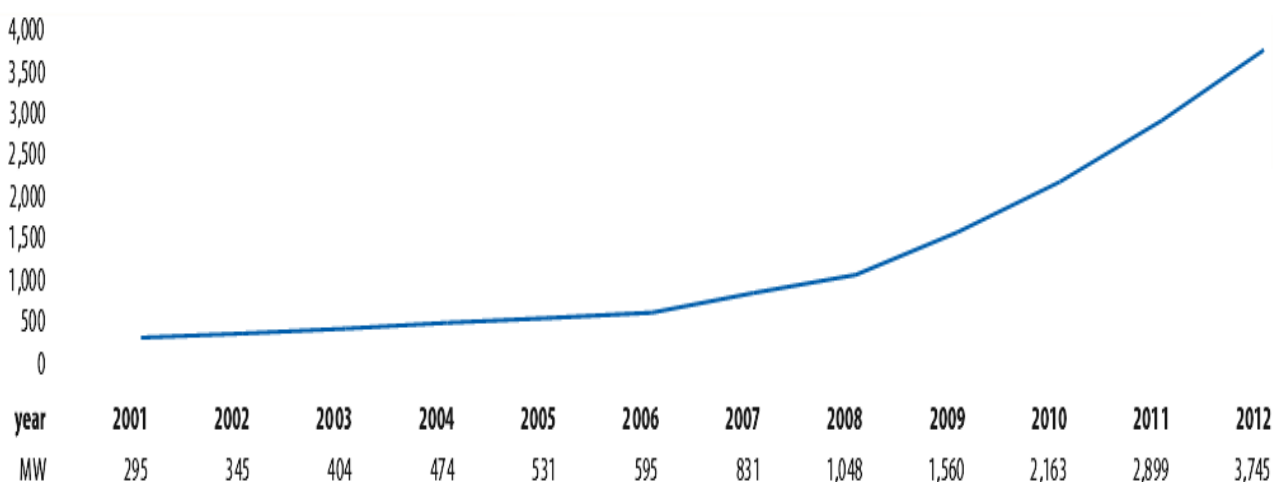
В Румынии в 2012 году было установлено более 0,92 ГВт новых ветроэнергетических мощностей, что в итоге увеличило суммарную установленную мощность ветроэлектростанций до 1,9 ГВт. Более трети капиталовложений в сектор возобновляемой энергии Румынии в 2012 году были направлены в ветроэнергетику, их общий объем достиг рекордного

показателя в 1,5 миллиарда евро. Такие данные обнародовали в Румынской ассоциации ветряной энергии (RWEA). Румыния стремится увеличить долю энергии, из возобновляемых источников. Главная цель достигнуть 38% в общем энергобалансе страны к 2020 году.



**Рис. 23. Динамика суммарных установленных мощностей ветроэлектростанций Румынии в 2001-2012гг. (МВт)**

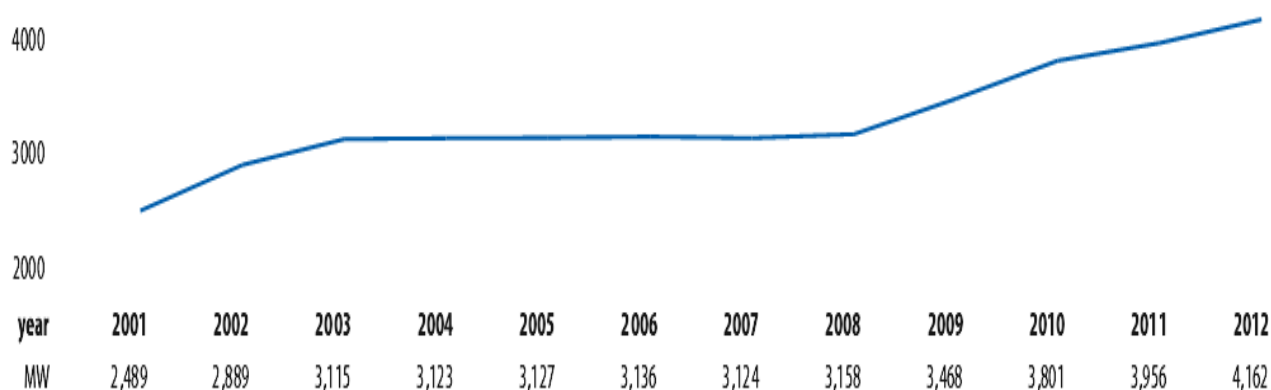
В Швеции (рис. 24) в 2012 году было установлено более 0,85 ГВт новых ветроэнергетических мощностей, что в итоге увеличило суммарную установленную мощность ветроэлектростанций до 3,74 ГВт.



**Рис.24. Динамика суммарных установленных мощностей ветроэлектростанций Швеции в 2001-2012гг. (МВт)**

В Дании (рис. 25) в 2012 году было установлено более 0,2 ГВт новых ветроэнергетических мощностей, что в итоге увеличило суммарную

установленную мощность ветроэлектростанций до 4,16 ГВт. Датское правительство установило новые приоритеты при переходе страны на альтернативную энергетику, а также задачи по сокращению выбросов углерода к 2020 году. Документ предполагает переход на получение 35% от общего объема потребляемой в стране энергии из возобновляемых источников, причем половина электроэнергии будет поставляться ветровыми электростанциями.



**Рис.25. Динамика суммарных установленных мощностей ветроэлектростанций Дании в 2001-2012гг. (МВт)**

Данный документ поможет Дании достичь своей цели - генерировать 100% своей энергии из возобновляемых источников к 2050 году. Это касается поставок непосредственно электричества, теплоснабжения, а также удовлетворения энергетических потребностей промышленности и транспорта. Отмечается, что планы правительства помогут снизить цифры на счетах за энергию за счет уменьшения зависимости страны от стоимости ископаемого топлива.

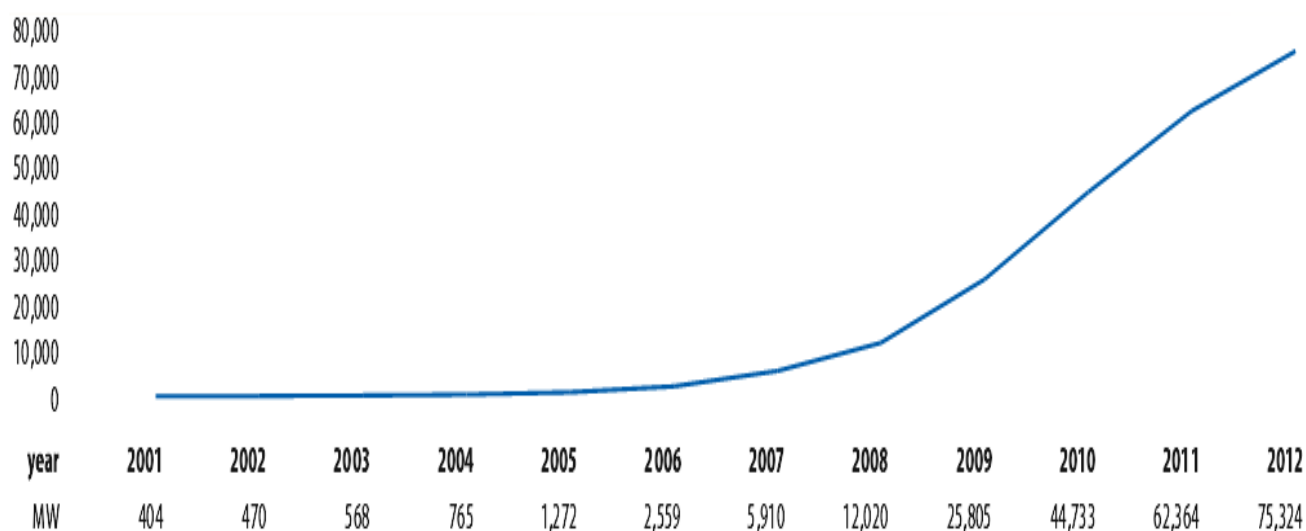
Смелый шаг датского правительства может также обеспечить дополнительных импульс усилиям всего Европейского Союза по сокращению выбросов углекислого газа на 30% с нынешних 20%. Отметим, что на голосовании по данному вопросу, которое проходило в марте 2012, Польша была единственным государством-членом ЕС, высказавшимся против программы по сокращению выбросов углекислого газ.

Стремительным ростом на европейском рынке ветроэнергетики отличилась также Испания, которая наращивает мощности ветроэнергетики

с середины 90-х годов. На тот момент общая установленная мощность ветряного оборудования составляла 7 МВт, в прошлом году этот показатель возрос до 15 145 МВт. Согласно оценкам испанского правительства в настоящее время в область ветроэнергетики вовлечено около 300-400 компаний. Одной из ведущих фирм, ставшей еще в 1980 году первопроходцем в области установки ветровых турбин, является «Ecotecnia», которая до сих пор стоит в числе главных игроков на испанском рынке ветроэнергетики. Среди лидирующих изготовителей видеооборудования и операторов соответствующих станций также можно отметить такие компании, как «Gamesa Eolica», «Iberdrola» и «Acciona Energia», известные не только в Испании, но и во всем мире.

**Азия и Океания.** В 2012 году в Азии было установлено более 15,5 ГВт новых мощностей ветроэнергетики, что повысило общую установленную мощность до уровня 97,5 ГВт. Это на 19% больше, чем в конце 2011 года, заявили в GWEC.

Лидером в Азии остается Китай, который в 2012 г. установил более 12,9 ГВт новых ветроэнергетических мощностей, что повысило общую установленную мощность до уровня 75,3 ГВт. Относительно 2011 г. рост составил более 20% (рис. 26).



**Рис. 26. Динамика суммарных установленных мощностей Ветроэлектростанций Китая в 2001-2012гг. (МВт)**

С 2008 г. в течение пяти лет в Китае ветроэнергетические мощности увеличились более чем в 6 раз – с 12 ГВт до 75,3 ГВт. В 2012 году ветряные электростанции Китая сгенерировали на 2% больше электроэнергии, чем атомные. По мнению аналитиков (Источник: EPI from BP, WPM, IAEA), этот разрыв существенно увеличится в течение следующих нескольких лет. С 2007 года китайская атомная энергетика росла на 10% в год, в то время как генерирующие мощности на базе ветряков ежегодно росли на 80% (рис. 27).

Китай должен выполнять свой план на текущую пятилетку, который предполагает, что к 2015 году общий объем генерирующих мощностей на базе подключенных к электросети ВЭС составит 100 ГВт. Заглядывая в будущее, эксперты Китайской ассоциации возобновляемой энергетики (Chinese Renewable Energy Industry Association; CREIA) предполагают, что общая мощность установленных ветровых турбин увеличится, по крайней мере, до 200 гигаватт к 2020 году. Доля ветроэнергетики в общем потреблении электроэнергии Китая должна в 2050 году составить 17%.

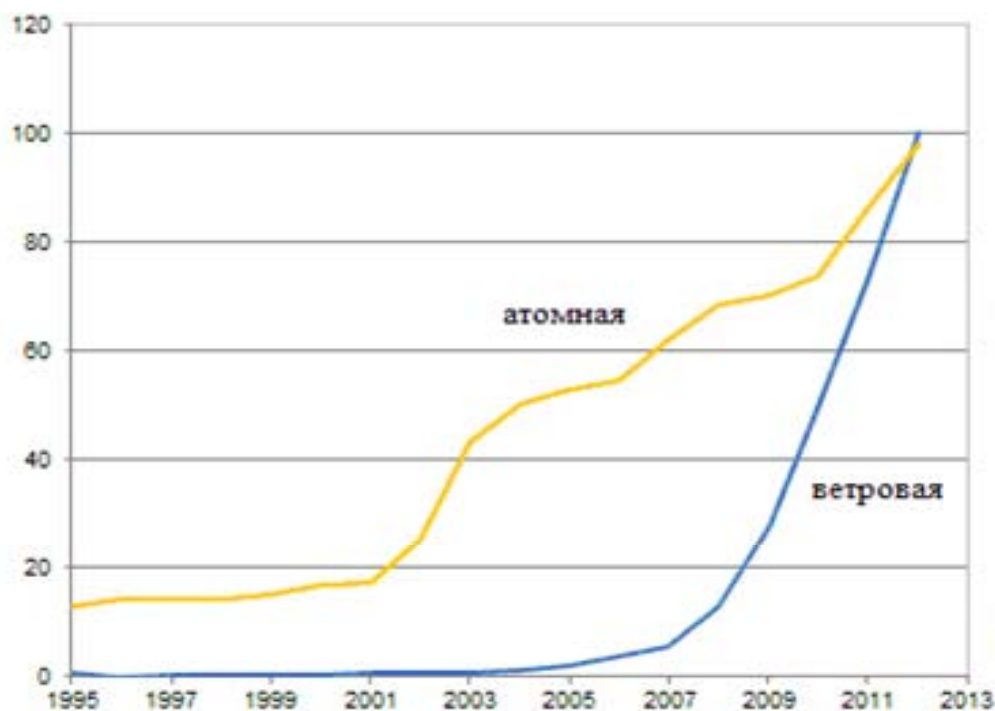
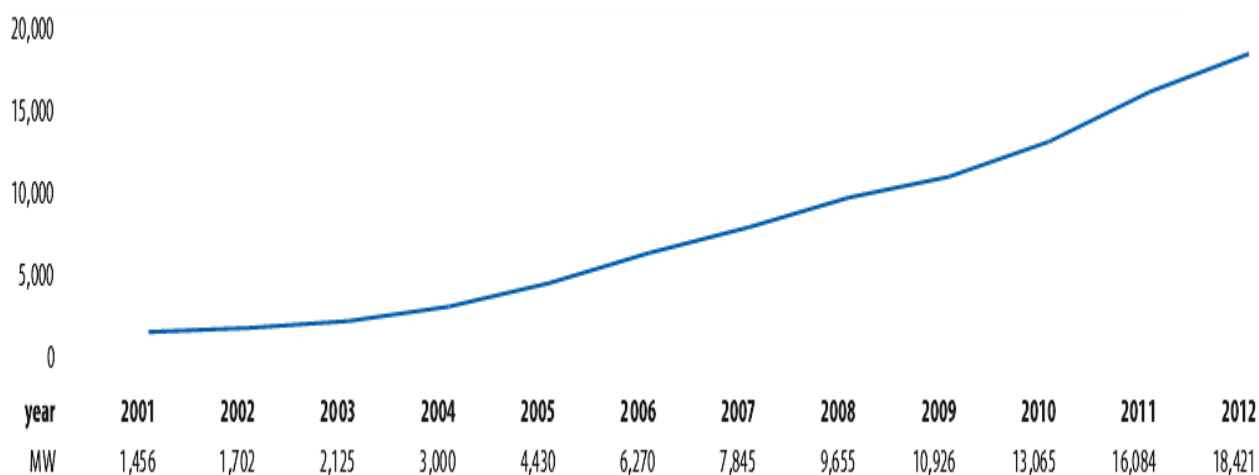


Рис. 27. Ветровая и атомная генерация Китая в 1995-2012 гг. (ТВт ч)

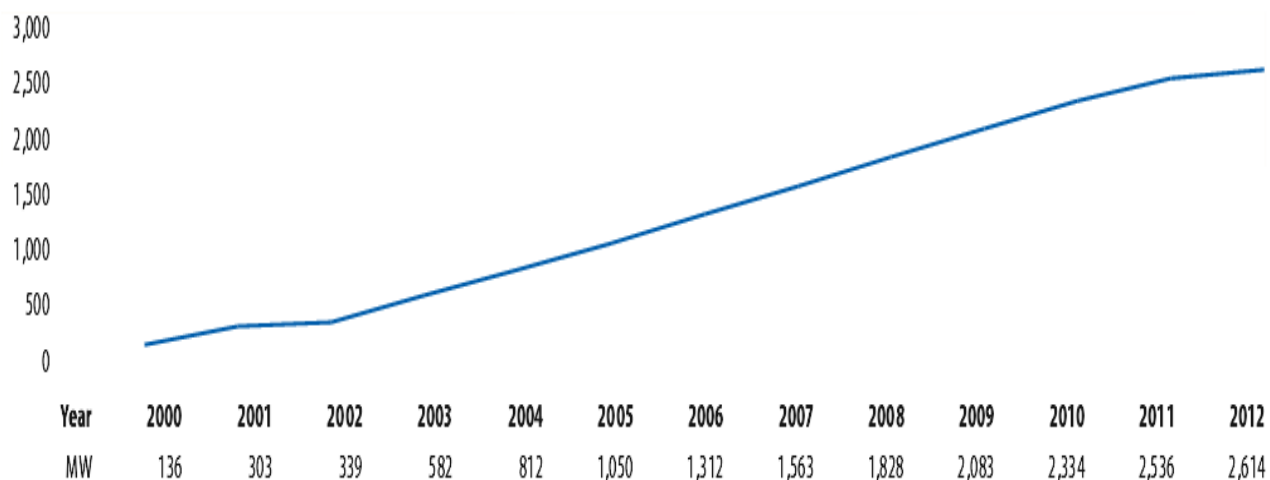


Второе место по развитию ветроэнергетики в Азии занимает Индия (рис.28), которая в 2012г. установила более 2,3 ГВт новых ветроэнергетических мощностей, что повысило общую установленную мощность до уровня 18,4 ГВт. Относительно 2011 г. рост составил около 15%. С 2008 г. в течение пяти лет в Индии ветроэнергетические мощности увеличились почти в 2 раз – с 9,6 ГВт до 18,4 ГВт.



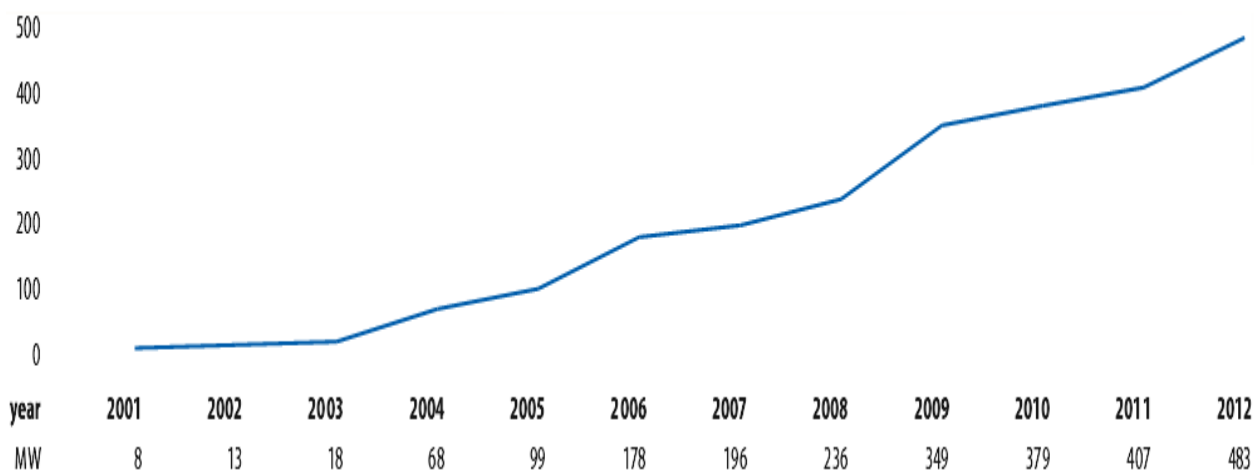
**Рис.28. Динамика суммарных установленных мощностей ветроэлектростанций Индии в 2001-2012гг. (МВт)**

Среди других стран Азии, которые показали динамику роста, можно выделить Японию, Южную Корею и Пакистан. Япония в 2012г. установила 88 МВт новых ветроэнергетических мощностей, что повысило общую установленную мощность до уровня 2,6 ГВт (рис. 29).



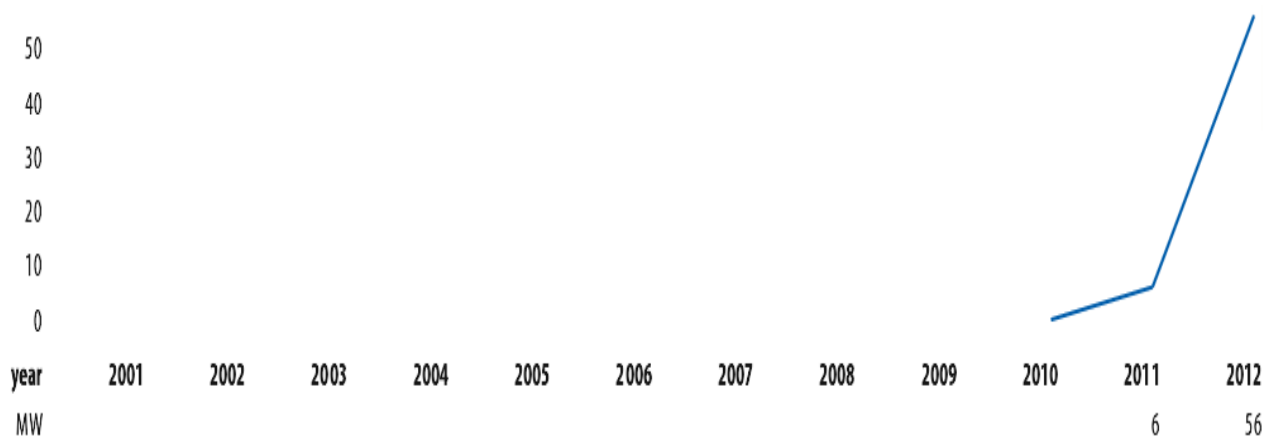
**Рис. 29. Динамика суммарных установленных мощностей ветроэлектростанций Японии в 2001-2012гг. (МВт)**

Южная Корея (рис. 30) в 2012г. установила 76 МВт новых ветро-энергетических мощностей, что повысило общую установленную мощность до уровня 483 МВт.



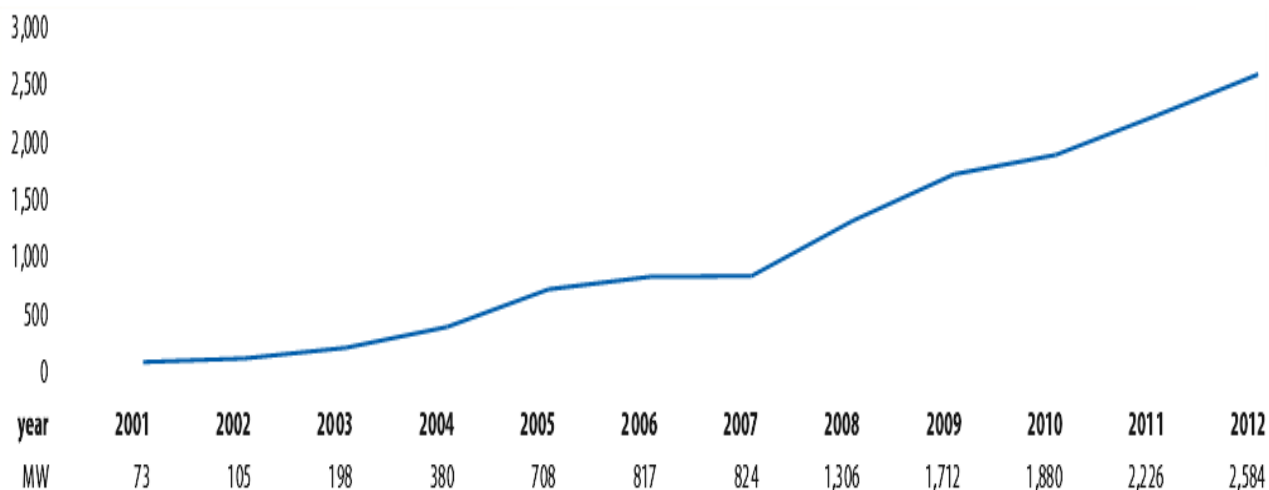
**Рис. 30. Динамика суммарных установленных мощностей ветроэлектростанций Южной Кореи в 2001-2012гг. (МВт)**

После того как Пакистан в 2011 г. установил первые 6 МВт установленных мощностей ветроэлектростанций, уже в 2012 в стране было установлено 50 МВт новых ветроэнергетических мощностей, что повысило общую установленную мощность до уровня 56 МВт. Относительно 2011 г. мощности ветроэнергетики выросли в 6 раз (рис. 31).



**Рис. 31. Динамика суммарных установленных мощностей ветроэлектростанций Пакистана в 2001-2012гг. (МВт)**

В 2012 в Океании было установлено более 358 МВт мощностей ветроэнергетики (за счет Австралии – рис. 32), что повысило общую установленную мощность до уровня 3,2 ГВт. Это на 12% больше, чем в конце 2011 года, заявили в GWEC. С 2010 г. в течение трех лет в Австралии ветроэнергетические мощности увеличились более чем в 3 раза и на конец 2012 г. составили более 2,58 ГВт.

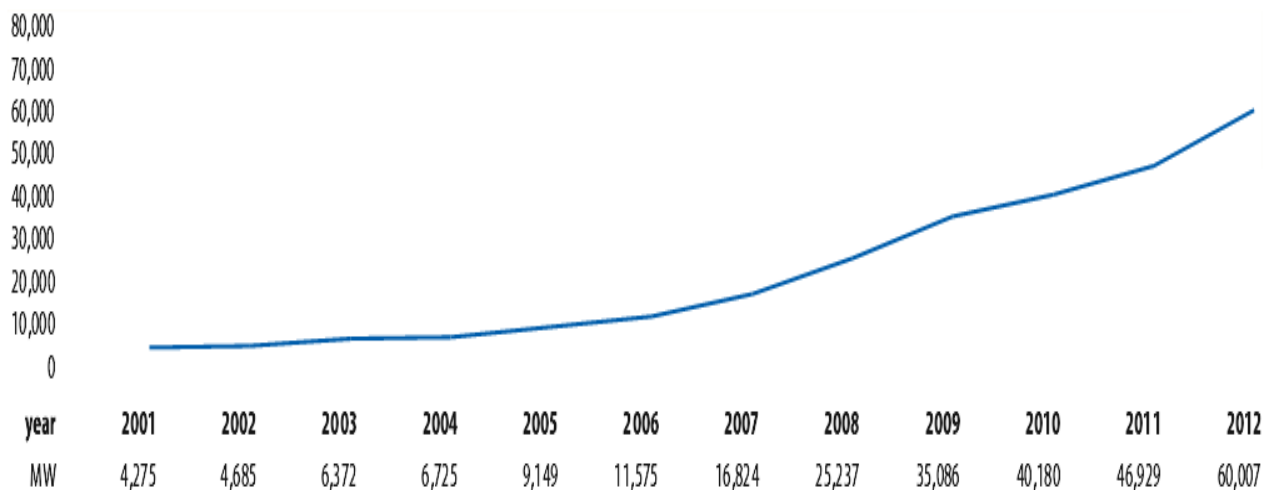


**Рис. 32. Динамика суммарных установленных мощностей ветроэлектростанций Австралии в 2001-2012гг. (МВт)**

*Америка.* В 2012 году в Северной и Латинской Америках было установлено более 16 ГВт новых мощностей ветроэлектростанций, что повысило общую установленную мощность до уровня 71 ГВт, заявили в GWEC. В Северной Америке в 2012 году было установлено более 14,8 ГВт новых ветроэнергетических мощностей, что повысило общую установленную мощность до уровня 65,7 ГВт. По прогнозам GWEC Северная Америка в 2013 году установит около 6,5 ГВт новых мощностей ветроэлектростанций. К 2017 году суммарные установленные мощности ветроэлектростанций в Северной Америке составят около 120 ГВт.

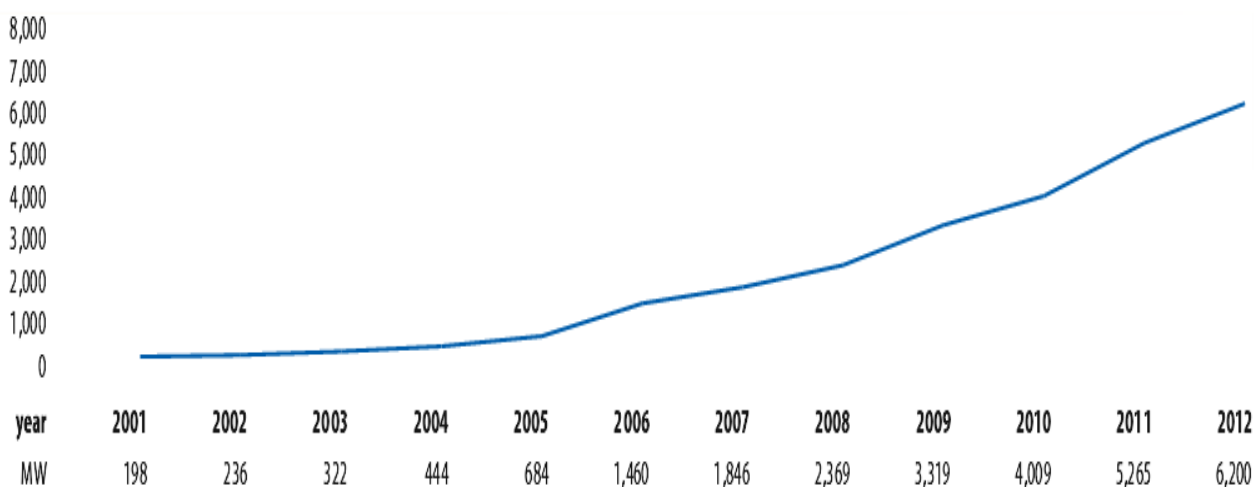
Лидером в Северной Америке остаются США, которые в 2012 г. установили более 13 ГВт новых ветроэнергетических мощностей, что повысило общую установленную мощность до 60 ГВт. Относительно 2011 г. рост составил почти 30% (рис. 33).

Подъем рынка ветроэнергетики США происходит, прежде всего, благодаря введению трехлетнего льготного периода для ветровой индустрии. Льготный период обеспечивается на федеральном уровне за счет Производственного налогового кредита.



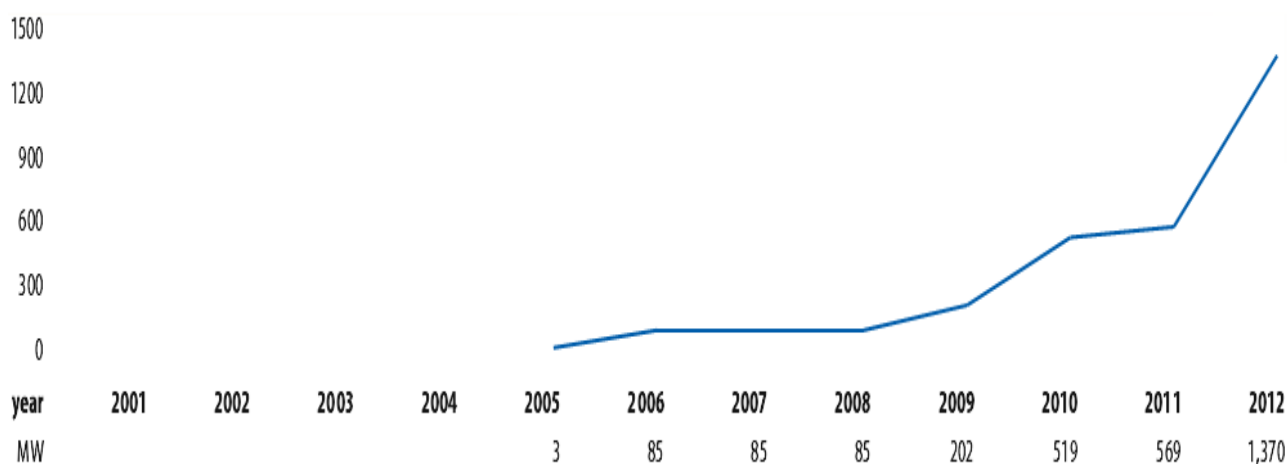
**Рис. 33. Динамика суммарных установленных мощностей ветроэлектростанций США в 2001-2012гг. (МВт)**

Канада в 2012г. установила 935 МВт новых ветроэнергетических мощностей, что повысило общую установленную мощность до уровня 6,2 ГВт (рис.34). Мексика, соответственно, в 2012г. установила 801 МВт новых ветроэнергетических мощностей, что повысило общую установленную мощность до уровня 1,3 ГВт (рис. 35).



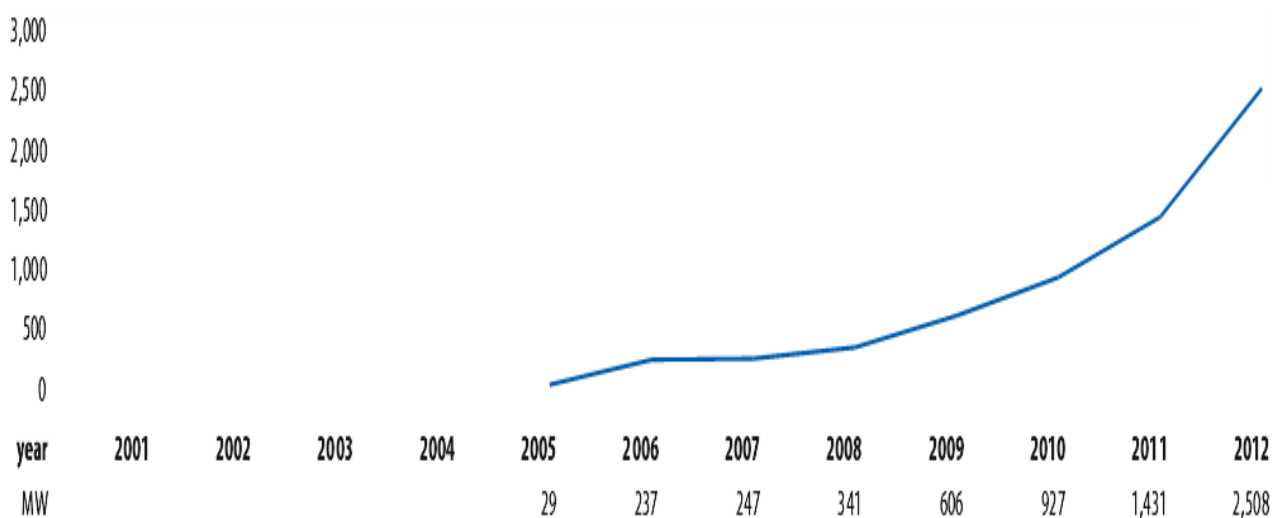
**Рис. 34. Динамика суммарных установленных мощностей ветроэлектростанций Канады в 2001-2012гг. (МВт)**

В Латинской Америке в 2012 году было установлено более 1,2 ГВт новых ветроэнергетических мощностей, что повысило общую установленную мощность до уровня 3,5 ГВт. По прогнозам GWEC Латинская Америка в 2013 году установит около 2,8 ГВт новых мощностей ветроэлектростанций. К 2017 году суммарные установленные мощности ветроэлектростанций в Латинской Америке составят около 16,5 ГВт.



**Рис. 35. Динамика суммарных установленных мощностей ветроэлектростанций Мексики в 2001-2012гг. (МВт)**

Лидером в Латинской Америке остается Бразилия, которая в 2012 г. установила более 1 ГВт новых ветроэнергетических мощностей, что повысило общую установленную мощность до 2,5 ГВт (рис.36). Относительно 2011 г. рост составил 75%.



**Рис. 36. Динамика суммарных установленных мощностей ветроэлектростанций Бразилии в 2001-2012гг. (МВт)**

Согласно прогнозам АВЕЕolica (Associação Brasileira de Energia Eólica) в течение 2013-2017 гг. в Бразилии будет установлено более 6 ГВт новых ветроэнергетических мощностей, что повысит общую установленную мощность до 8,5 ГВт.

Несмотря на низкую активность в области ветроэнергетики на рынке Латинской Америки, в таких государствах, как Бразилия и Мексика наметился существенный всплеск в развитии данного направления. Основным барьером, стоящим на пути формирования ветроэнергетики как полноценной отрасли является недостаточно разработанная нормативно-правовая база.

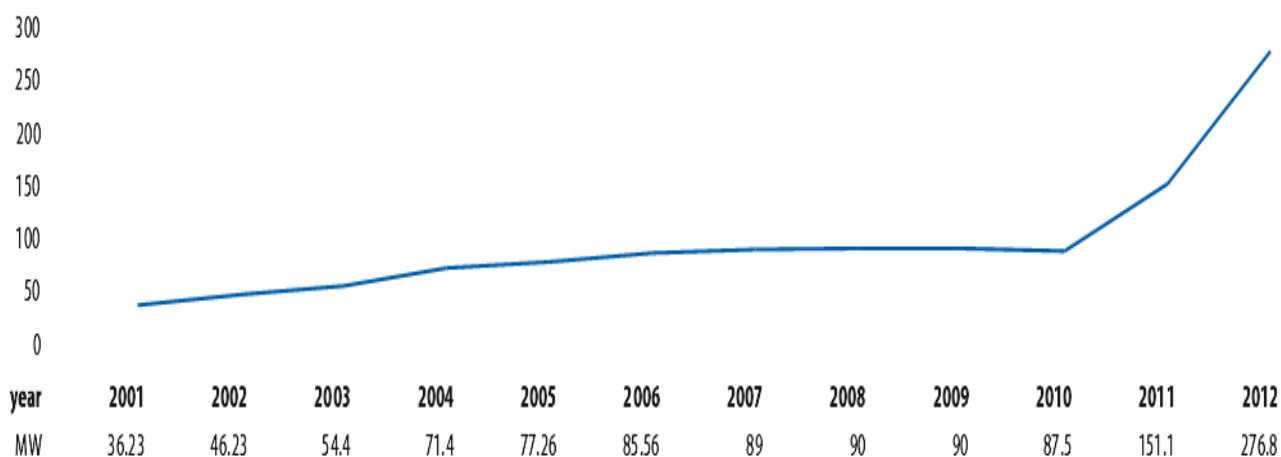
Менее интенсивно ветроэнергетика развивается в Африке. В основном энергетический потенциал ветра используется в северной части континента. Марокко, Тунис и Египет представляют тройку стран-лидеров в этой части света по установленной мощности ветростанций.

## **7. РЫНОК ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ В УКРАИНЕ**

---

По оценкам Украинской ветроэнергетической ассоциации (УВЭА), учитывая текущее состояние электросетей и подстанций, обоснованный технический потенциал украинской ветроэнергетики составляет не более 7-8 тыс. МВт при производстве 20 тыс. млрд. кВт-ч, что всего будет достигать 12% производства электроэнергии в Украине. Карта распределения по территории ветроэнергетического потенциала и скоростей ветра в Украине представлена на рис. 37 (см. цветн. вставку).

Украина в 2012г. установила почти 126 МВт новых ветроэнергетических мощностей, что повысило общую установленную мощность до уровня 277 МВт (рис. 38) В 2012 году все ветроэлектростанции Украины произвели около 246 тыс. МВт-ч электроэнергии.



**Рис. 38. Динамика суммарных установленных мощностей ветроэлектростанций в Украине в 2001-2012гг. (МВт)**

По темпам роста строительства ветроэлектростанций Украина вышла на второе место в мире после Румынии. В 2012 году рост оставил около 85% по отношению к 2011 году. По данным НЭК "Укрэнерго", в 2012 году введены в эксплуатацию новые ветровые электростанции: Ботиевская ВЭС (ООО "Винд Пауэр") мощностью 78 МВт с 1 ноября, Очаковская ВЭС (ООО "Ветряной парк Очаковский ") мощностью 25 МВт с 21 января, Тузловская ВЭС (ООО " Ветряной парк Очаковский ") мощностью 12,5 МВт с 21 августа, Новороссийская ВЭС (ООО" Виндкрафт Украина ") мощностью 3,08 МВт с 21 июня, Сивашская ВЭС (ООО "Сиваш-энергопром") мощностью 2,92 МВт с 26 июля, а также увеличен на 20 МВт мощность ООО "Ветряной парк Новоазовский" - за счет введения новых ветроагрегатов с 27 апреля.

По прогнозам УВЭА до 2015 года в Украине появится около 1 ГВт установленных ветроэнергетических мощностей, а к 2020 году до 4 ГВт.

Принимая закон о «зеленом» тарифе, парламент одновременно предусмотрел и так называемую украинскую составляющую - долю работ, товаров и услуг местного производства в строительстве ВЭС. Согласно поправкам к закону об электроэнергии, станции, которые начали строиться после первого января 2012 года и будут достроены после первого июля 2013-го, обязаны иметь 30%-ную отечественную составляющую. А после первого июля 2014-го не меньше 50%. Причем законом точно оп-

ределено, какая доля украинского должна быть в той или иной агрегатной части ВЭС.

Основные игроки сумели выйти из положения - ДТЭК, Konkord Group и «Эко-Оптима» начали строить свои станции до конца 2011 года. А «Ветряные парки» сразу сделали ставку на создание полного цикла - от ветряного машиностроения до готовых парков.

Украина стала лидером на постсоветском пространстве. Вместе с тем, развитие ветроэнергетики в Украине зависит как от экономических, так и политических рисков. Среди проблем, с которыми сегодня сталкивается ветроэнергетическая отрасль, — неопределенность с перспективными возможностями энергосистем Украины по подключению новых мощностей, требования по «местной составляющей» при производстве ветроагрегатов, высокие кредитные ставки и высокие политические риски. В секторе малой ветроэнергетики большой проблемой является отсутствие возможности продавать электроэнергию по «зеленому» тарифу.

Действующие сегодня в Украине ВЭУ в основном построены на базе ветроагрегатов, произведенных в Украине по лицензии фирмы «Кенетек Виндпауэр». Все украинские ВЭУ были построены в рамках выполнения «Комплексной программы строительства ветроэлектростанций», принятой правительством Украины в 1997 году и предусматривавшей к 2010 году введение в эксплуатацию 1990 МВт. ветро-энергетических мощностей. Именно в рамках этой программы было освоено производство лицензионных установок мощностью 107,5 кВт, причем 100% компонентов этих машин изготавливались в Украине. В их производстве были задействованы 23 завода, а сборку ветротурбин осуществлял днепропетровский ЮМЗ. На реализацию программы было потрачено примерно 675 млн. гривен, построено 778 ветровых установок, общая мощность которых составляет порядка 90 мегаватт. В итоге, как на третьем всеукраинском бизнес-саммите по проблемам изменения климата заявил глава государственного агентства по эффективности и энергосбережения Николай Пашкевич, программа развития ветровой энергетики в Украине не оправдала ожиданий. Главную цель комплексной программы видели в задействовании предприятий ВПК для производства ветроагрегатов, т.е.



целью было не производство электроэнергии с помощью ветра, а производство ветроагрегатов! Это явилось стратегической ошибкой. Также проблемой было и, к сожалению, пока остается финансирование этой отрасли. Кроме того не были оценены возможности существующих сетей для приема энергии от ВЭУ.

Тем не менее, по мнению главы украинской ветро-энергетической ассоциации Андрея Конеченкова, у ветроэнергетики Украины есть экономически обоснованный потенциал в 16 ГВт. (примерно 25% мощности энергосистемы Украины). Однако, с учетом сегодняшнего уровня тендерной подготовленности предприятий для производства ВЭУ и состояния электрических сетей, реально можно добиться до 2020 г. ввода в эксплуатацию ВЭУ с суммарной установленной мощностью в 6,5-7 ГВт [26].

По мнению главы УВЭА, для развития отрасли необходимо разработать перспективный план подключения генерирующих мощностей возобновляемых источников энергии к электросетям, внести изменения в Энергетическую стратегию в части развития возобновляемой энергетики, а также внести изменения в Закон «Об электроэнергетике» относительно продажи произведенной электроэнергии.

*База данных по украинским предприятиям в области ветроэнергетики* представлены в таблицах 4 – 7

#### Производство ветротурбин и комплектующих

Таблица 4.

Green Energy, Madesta, MyFort, ЧП Rekti, ООО SunWind, ЧП Арт-Р фирма, Аурора Эко-Энергия ООО Украина ЛТД, ДП Верано, ООО Всесвит-Трейд, ГНПК «Киевский институт автоматике»,	ООО Дарэкс, Центр материаловедения ДОМ, ЧП ЕвроБудКвартал, ООО Зеленая Энергетика Украины, ЧП Клевер, ЧП Корнер Сервис, ООО Машпромвест, ЧП Мир ветра, ОАО Мотор Сич, ООО Нэйсен,	ЧП Отрада, ООО Просто Комфорт, ООО Рентехно, ЧП СВ Метел, НПФ Сен-Жермен, ООО Телефан, ЧП Техпром, АО Фурлендер, ЧП ЭКО-СТ, ЧНПП Электротерм, ООО ЭСТА лтд, ГКБ Южное.
--	--	---

## Инжиниринг и монтажные работы

Таблица 5.

<p>ЧП Alter Energy, BISMA Energy, Frankesco, Green Energy, Marilans, ЧП ST Company, Zenoff, ООО Аванте, ООО Агроиндустрия, ООО Аддкос, ЧП Адмирал, ТД Алиста, ООО Альтекс-Сервис, ЧП Альтернатива- Плюс, ЧП Альфа-Электрик, ООО Астра-Снекс, ООО Аурора Эко- Энергия Украина ЛТД, ДП Верано, СПД Волохов, ООО Глори-Плюс, ООО Гравицаппа, ООО Гранд Оверон,</p>	<p>НПО ГрандЭнерго, ООО Греса-Групп, ООО Дельта Терм, Центр материаловедения ДОМ, Компания Дом-Арт-Тепло, ООО Донконсалтсервис, ООО Донтехпром, ООО Европейские вентиля- ционные системы, ЧП Инсталлятор, ООО Инструмент-ЛТД, ООО Производственно коммерческий центр Интелкон-Украина, ООО Интелцентр Кайлас М, ООО Контакттор, ЧП Корпорация «Юнайтес» Манджос, ДП Мариланс-Украина, ООО МП МРИЯ, ООО Новатор, ООО Номинал-Т ООО Энергопромсистемы,</p>	<p>НПП ИТЕКО, ПТЦ Партнер ВС, ЧПКП Пластэк, ООО Рентехно, ЧП СМАРТ Системы, ООО Стела Смарт Груп, ООО Стожары, ООО Телефон, ИМ Теплолюб, ООО Термоконд, ЧП Техно-АС, ЧП Техпром, Компания Украинская Альтернативная Энерге- тика, ЧП Уникон, ЧП Флай-Тек, ООО Цетус, ООО Экотек 3000, ДП ЭЛФА Электроникс, ООО Энергетика и кли- мат, ООО Энергетическая аль- тернатива, ООО Энергия природы</p>
---	--	--

## Производство ветровой энергии

Таблица 6.

<p>Производственно- энергетическое объедине- ние Ветроэнергопром, ООО ДТЭК ВиндПауэр, ГП Водэнергоремналадка,</p>	<p>ГП Восточно-крымская ветровая электростанция, ГП Донузлавская ВЭС, ДТЭК, Конкорд Групп,</p>	<p>ОАО Львовоблэнерго, ООО Нова-Эко, ООО НПП ИТЕКО, ЧП Техпром, ГП Энергоатом,</p>
---	--	--

## Сервисное обслуживание ветроустановок

Таблица 7.

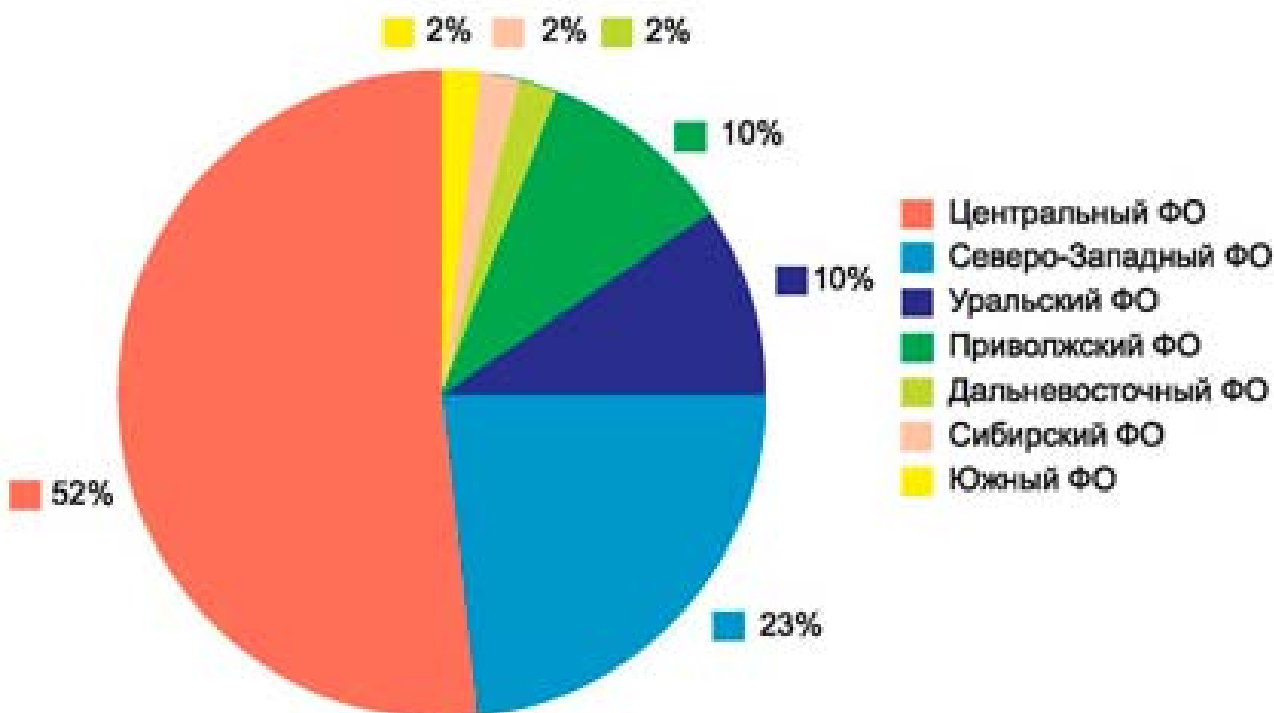
Green Energy, Marilans, ЧП ST Company, Zenoff, ООО Аванте, ЧП Адмирал, ТД Алиста, ЧП Альтернатива- Плюс, ООО Аурора Эко- Энергия Украина ЛТД, ДП Верано, СПД Волохов, ООО Глори-Плюс, ООО Гранд Оверон,	НПО ГрандЭнерго, ООО Греса-Групп, Центр материаловедения ДОМ, ООО Донконсалтсервис, ООО Донтехпром, ООО Европейские вентиля- ционные системы, ООО Интелкон-Украина, ООО Интелцентр Кайлас М, ООО Контактор, ЧП Корпорация «Юнайтес» Манджос, ДП Мариланс-Украина, ООО МП МРИЯ,	ООО Новатор, ООО Номинал-Т НПП ИТЕКО, ПТЦ Партнер ВС, ЧПКП Пластэк, ООО Рентехно, ЧП СМАРТ Системы, ЧП Техно-АС, ЧП Техпром, ЧП Уникон, ЧП Флай-Тек, ООО Цетус, ООО Экотек 3000, ООО Энергия природы.
---	--	--

## 8. РЫНОК ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ В РОССИИ

---

Согласно результатам исследования Analytic Research Group, Россия имеет самый большой в мире ветропотенциал, ресурсы российской ветровой энергии определены в 10,7 ГВт (при техническом потенциале ветровых электростанций в 2469,4 млрд кВт-ч в год), однако реализованы эти возможности незначительно. В настоящее время на долю ветроэнергетики приходится всего 0,1% всей вырабатываемой энергии. Карта ветропотенциала и скорости ветров в РФ представлена на рис. 39 (см. цветн. вставку). Наиболее благоприятными энергетическими ветровыми зонами являются Северо-Запад (Мурманская и Ленинградская области), северные территории Урала, Курганская область, республика Калмыкия, Краснодарский край и Дальний Восток России, передает i-mash.ru.

По экспертным оценкам, технический потенциал ветровой энергии России оценивается свыше 6000 млрд кВтч/год. Экономический потенциал составляет примерно 31 млрд кВтч/год. Россия — одна из самых богатых в этом отношении стран. Самая длинная на Земле береговая линия, обилие ровных безлесных пространств, большие акватории внутренних рек, озер и морей — все это наиболее благоприятные места для размещения ветропарков. Важность развития ветроэнергетики в России определяется тем, что 70% территории России, где проживает 10% населения, находится в зоне децентрализованного энергоснабжения, которая практически совпадают с зоной потенциальных ветроресурсов (Камчатка, Магаданская область, Чукотка, Сахалин, Якутия, Бурятия, Таймыр и др.).



**Рис. 40. Распределение ветроэнергетических компаний по регионам России.**

Ветроэнергетический рынок в России находится в стадии зарождения, но уже сегодня в стране есть более 2 ГВт ветропарков на различной стадии готовности, — отмечает Игорь Брызгунов, президент Российской ассоциации ветроиндустрии (РАВИ). — По осторожному прогнозу, до 5 ГВт могут быть введены до 2015 г. По оценкам экспертов, высказанных в рамках конференции «Итоги проекта ЕС по возобновляемым источникам

энергии в России», суммарный установленная мощность ВЭУ в России может составить к 2020 г. 7 ГВт.

Глобально российский ветроэнергетический рынок оценивается экспертным сообществом как один из самых перспективных.

На российском рынке представлено порядка 20 действующих производителей ветроэнергетических установок (ВЭУ). Серийно они выпускают ветрогенераторы мощностью от 100 до 250 кВт. ВЭУ мегаваттной мощности способно производить лишь одно предприятие в России. Таким образом, российский сегмент рынка способен производить ВЭУ, главным образом, малой мощности (в международной классификации до 100 кВт).

Проведенное AnalyticResearchGroup исследование "Обзор рынка ВЭУ и перспективы развития в России и мире. Июль, 2012" указывают на то, что российские образцы ВЭУ, с точки зрения стоимости, конкурентоспособны по сравнению с зарубежными образцами. Стоимость 1 кВт установленной мощности в Европе равна около 1 200 евро, в США и Китае – 3 000 и 1 500 долл. соответственно. В 2011 году участники рынка определяли среднюю цену на российском рынке порядка 1 тыс. долл.

Ценовой диапазон стоимости 1 кВт среди российских производителей ВЭУ за 2012 год определяется от 15 до 215 тыс. руб., не включая монтажные работы. Стоимость ветроустановок обычно зависит от комплектации и цены на используемое оборудование. Четко прослеживается закономерность уменьшения стоимости 1 кВт мощности при увеличении общей номинальной мощности ВЭУ.

Развитию ветроэнергетики в России, отмечают специалисты, работающие в отрасли, во многом мешают отсутствие законодательной базы, стимулирующей появление новых ветроэнергетических установок, и в целом позиция российских властей.

В некоторых странах за счет силы ветра вырабатывается уже пятая часть всей потребляемой электроэнергии.

Есть и еще одна объективная причина, которая мешает развитию ветроэнергетики в России. Она тоже связана с особенностями отрасли. Дело в том, что наибольшим потенциалом для строительства ВЭС обла-

дают северные и северо-восточные районы России, которые как раз наименее густо заселены, то есть спрос на электроэнергию там минимален.

Точнее, когда речь заходит об экологически чистых источниках энергии, в России - в отличие, например, от Германии - скорее построят новую атомную электростанцию, нежели ветряной генератор или иной альтернативный источник.

В соответствии с основными направлениями государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) на период до 2020 г. (утверждены Распоряжением Правительства РФ от 8 января 2009 г.), целевым ориентиром является увеличение относительного объема производства электроэнергии генераторами, использующими ВИЭ с 0,5 до 4,5%.

Для достижения данного целевого показателя необходимо в указанном периоде обеспечить ввод генерирующих объектов (малых ГЭС; ветроэлектрических станций; приливных, геотермальных, тепловых использующих биомассу в качестве одного из топлив; прочих видов электроустановок) суммарной мощностью 25 ГВт. По различным оценкам при принятии государственной программы поддержки ВИЭ целевые показатели общей установленной мощности ВЭУ в России к 2020 г. могут составить 8-10 ГВт.

Основными факторами, способствующими росту российского рынка ветроэнергетики будут являться:

- дальнейшая коммерциализация технологии и повышение ее конкурентоспособности по сравнению с традиционными технологиями генерации электроэнергии;
- рост привлекательности инвестирования в ветроэнергетику;
- необходимость обеспечения энергоснабжения удаленных регионов России;
- создание эффективного комплекса мер по государственной поддержке инвестиций в возобновляемые источники энергии.

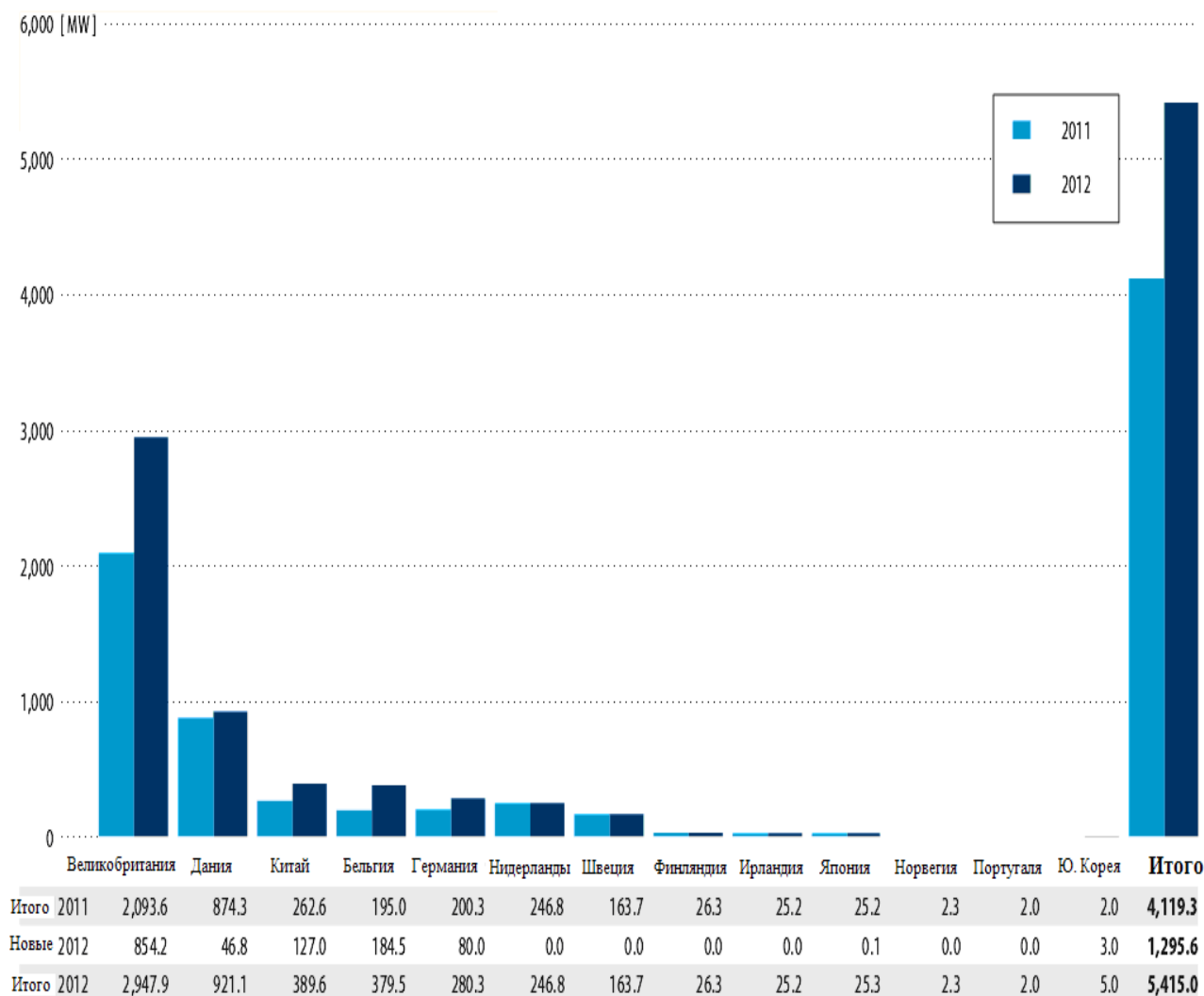
## 9. РЫНОК ОФФШОРНОЙ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ В МИРЕ

---

Оффшорные ветроэлектростанции являются результатом революционной технологии, которая позволяет создать электроэнергию на поверхности воды. Помимо морей и океанов, озера также могут выступать в качестве места для установки ветроэлектростанций. Преимущество оффшорной (морской) ветроэлектростанций в том, что она использует мощные ветры над поверхностью воды. Более того, значительно легче транспортировать огромные части ветрогенератора для оффшорных ветроэлектростанций с помощью больших судов. Некоторые другие преимущества этих ВЭС включают смягчение шума из-за удаленности от земли. Возможность установки ветротурбин в море открыла новые горизонты для ветровой энергетики, особенно в северной части Европы, для которой характерно относительно мелководье прибрежных акваторий и наличие спроса на осуществление более масштабных проектов по сравнению с проектами на суше. Первопроходцем в сооружении ветростанций в открытом море является Дания, которая построила два самых крупных морских ветропарка: в Северном море в Горн Рев (мощностью 160 МВт) и в Балтийском море в Нистеде (мощностью 158 МВт). На этих же площадках в настоящее время реализуются два других еще более крупных проекта. Ведущая роль в проектах морского базирования принадлежит также Великобритании, которая на 4 площадках построила морские ветропарки общей мощностью 214 МВт. Более того, в стране согласовано строительство новых ветропарков общей мощностью свыше 1 000 МВт на 8 дополнительных площадках. Помимо этого, существуют крупные проекты до 1 000 МВт каждый в трех прибрежных акваториях, выделенных под строительство правительством Великобритании. В США ветропарки в открытом море строятся главным образом на восточном побережье у Техаса, в Мексиканском заливе.

Установка ветровых турбин в море оказалась дороже, чем предполагалось, и ряд проектов в связи с этим был временно заморожен для перерасчета. Фактором, который, как ожидается, оживит проекты строительства морских ветропарков, является разработка нового поколения турбин большей единичной мощности (свыше 5 МВт). Другая проблема, которую еще предстоит решить, связана с распределением между поставщиками электроэнергии и застройщиками затрат на прокладку подводных кабелей.

Согласно данным EWEA в 2012 году в мире было установлено почти 1,3 ГВт новых мощностей оффшорных ветроэлектростанций.

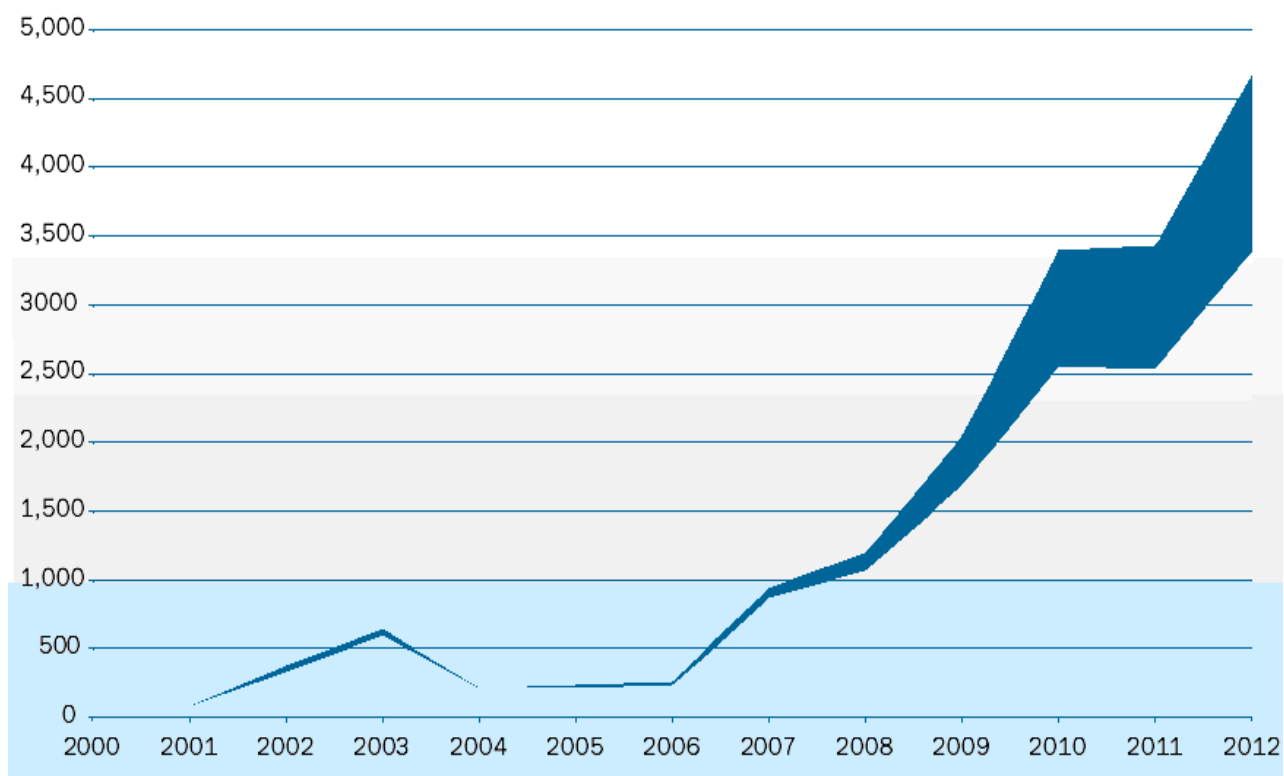


**Рис. 41. Динамика установленных мощностей оффшорных ветроэлектростанций в мире в 2011-2012гг. (МВт)**



Суммарная установленная мощность оффшорных ветроэлектростанций в мире в 2012 году составило более 5,4 ГВт. В 2012 году темп роста оффшорной ветроэнергетики составил 30% относительно 2011 года. Более 90% установленных мощностей оффшорных ветроэлектростанций в мире приходится на страны Европы (5 ГВт). Лидирующие позиции в Европе занимает Великобритания (2,9 ГВт) и Дания (0,9 ГВт), также активно наращивают мощности оффшорной ветроэнергетики Бельгия, Германия, Нидерланды, Швеция. В Азии лидером является Китай (389 МВт), Япония (25 МВт) и Ю. Корея (5 МВт).

В 2012 г. инвестиции в оффшорную ветроэнергетику составили около €4,6 млрд.



**Рис. 42. Динамика инвестиций в оффшорную ветроэнергетику в мире в 2000-2012гг. (млн. евро)**

Эксперты консалтинговой компании Roland Berger Strategy Consultants прогнозируют, что к 2020 г. совокупный объем установленной мощности морских ветровых установок составит около 40 ГВт. В ближайшие годы рынок оффшорных электростанций продолжит расти. К 2020 г. эксперты Roland Berger ожидают увеличение объема инвестиций до 130 млрд. евро. На переднем крае развития находится Европа, страны

которой поставили перед собой крайне амбициозные задачи. Однако их реализация потребует масштабных инвестиций. В настоящий момент в развитие отрасли ежегодно вкладывается 7 млрд. евро, а к 2020 г. этот показатель превысит 14 миллиардов. По мнению экспертов Roland Berger, в Азии за этот же период объем годовых инвестиций вырастет с текущих 1,6 до 5 млрд. евро.

Однако глобальный рост офшорной ветровой энергетики несет с собой и серьезные проблемы, - в будущем ветропарки будут увеличиваться в размерах и удаляться от берега. В то время как сегодня средняя мощность установленного парка составляет около 200 МВт, средний показатель запланированных установок достигает уже 340 МВт. Тенденция к увеличению размера ветропарков приведет к резкому снижению себестоимости электроэнергии, в новых проектах ветропарки расположены еще дальше от берега – до 100 км против сегодняшних 60 км. На таких расстояниях глубина достигает 45 метров.

Однако на практике проблема снижения расходов в офшорной ветроэнергетике пока стоит очень остро – только на ветровые турбины приходится около четверти стоимости ветропарка, а среди статей расходов на первом месте находятся техобслуживание и ремонт (в среднем 28%). И именно здесь эксперты видят еще одну возможность экономии, которая позволит повысить конкурентоспособность отрасли. По мнению Вебера, решающую роль играют увеличение размера турбин, новые типы платформ, обеспечение большей эффективности за счет сокращенной серийности турбин и самоподъемные суда.

Один киловатт-час электричества, генерируемого на офшорных ветровых установках, сегодня стоит 14 евроцентов. Но если до 2020 г. стоимость производства удастся снизить на 30%, можно выйти на уровень 9 евроцентов. Это еще один важный шаг на пути к обеспечению конкурентоспособности офшорной ветроэнергетики.

В таких крупномасштабных проектах как строительство офшорных ветропарков от их участников требуются большие кошельки и не меньший запас терпения. От этапа планирования, за которым следуют согласование и финансирование, до завершения строительства обычно проходит от семи до десяти лет.

# 10. РЫНОК ОСНОВНЫХ УЗЛОВ И МАТЕРИАЛОВ ВЕТРОЭНЕРГОУСТАНОВОК

---

## *Рынок ветровых турбин в мире*

На мировом рынке производителей ветровых турбин с каждым годом возрастает конкуренция, в особенности заметно усиление соперничества на китайском рынке, который всё больше ориентируется на продукцию более высокого качества, – об этом говорится в докладе “Глобальная доля рынка ветровых турбин” компании MAKE Consulting.

С изменением некоторых стандартов в Китае, требующих от производителей турбин соблюдение более строгих технических норм, стало очевидным стремление КНР делать ставку на оборудование с высокими показателями производительности и качества. В связи с ужесточением требований, в Китае в некоторой степени произошла реструктуризация рынка ветровых турбин - отраслевые лидеры, занимавшие ранее большую долю рынка, потеряли свои позиции. Так, компании Sinovel и Dongfang, одни из крупнейших производителей турбин, уступили лидирующую позицию, как на локальном, так и на глобальном рынках компании Goldwind.

Несмотря на возрастающую конкурентоспособность китайских производителей, всё более интенсивно проводящих экспансию в различных регионах мира, корпорация Vestas к началу 2012 года сохранила свои позиции в качестве крупнейшего на планете производителя ветроэнергетических турбин.

Реализация крупных проектов в сфере ветроэнергетики в Северной и Южной Америке позволила корпорации Vestas дистанцироваться от остальных пяти игроков глобального рынка, занявших лидирующие позиции. Датскому производителю ветровых турбин удалось обогнать китайскую компанию Goldwind на 4,1%.

На европейском рынке, в свою очередь, компания Enercon опередила Vestas в качестве регионального лидера. Своё лидерство компания

обеспечила участием в реализации крупных проектов в сфере наземной ветроэнергетики в Германии, а также в странах южной Европы, таких как Франция и Италия.

В Южной и Северной Америке компания GE Wind, продолжительное время занимавшая лидирующие позиции в качестве производителя турбин, уступила первенство Vestas и Siemens.

Топ-10 компаний в глобальном рейтинге производителей ветровых турбин (источник: gencentre.com):

- |                        |                        |
|------------------------|------------------------|
| 1. Vestas – 12.9%      | 6. GE Wind – 7.4%      |
| 2. Goldwind – 8.8%     | 7. Sinovel – 7.2%      |
| 3. Enercon – 7.6%      | 8. United Power – 7.0% |
| 4. Suzlon Group – 7.6% | 9. Gamesa – 6.4%       |
| 5. Siemens – 7.6%      | 10. Mingyang – 2.9%    |

### ***Тенденции развития кабельной продукции для ветроэнергетики***

Кабели пронизывают всю индустрию ветряной энергии, от работы внутри гондолы, через ветряную установку, и подстанции, и затем, по всей стране, работая в различных электрических сетях, под различными напряжениями.

Силовому кабелю внутри гондолы приходится гораздо труднее, чем открытым проводам в электрических линиях. В гондоле, кабель, идущий от генератора, должен выдержать миллионы изгибаний, воздействие смазки, и холодных зимних температур. Тенденции развития кабелей связаны с повышением устойчивости по отношению к каждому из указанных условий.

Ветряные турбины передают энергию от своих генераторов к расположенному на грунте оборудованию через толстые кабели, способные выдержать много ампер. Но не существует токосъемных колец, позволяющих забрать эту мощность из поворачивающейся гондолы. Для обеспечения необходимости вращения гондолы вокруг вертикальной оси, кабель проходит вдоль боковой поверхности вышки, имея крепление, позволяющее ему изгибаться почти на 180°, затем он уложен в кольцо длиной около 3 метров, а потом входит в гондолу. Эта укладка кабеля в виде

"петли" обеспечивает движение гондолы. Но, как легко представить, при холодной погоде кабель застывает, и именно поэтому многожильные медные проводники и изоляция являются той комбинацией, которая должна сохранять гибкость. Тесты, проводимые производителем специальных кабелей, используют пять миллионов изгибаний кабеля при скорости вращения около 5 об/мин.

Основной тенденцией развития кабелей является улучшение устойчивости к холодной погоде. При температуре  $-40^{\circ}\text{C}$ , изоляция кабеля может стать настолько хрупкой, что раскрошится, и обнажит проводники. При одном испытании в лабораторных условиях на кабель, замороженный до  $-40^{\circ}\text{C}$ , сбрасывался небольшой груз. Он разбивал изоляцию, словно та была стеклянной. Эта температура является экстремальной, но вполне возможной для турбин, устанавливаемых в регионах с холодной погодой.

Другой тенденцией является создание изоляции, выдерживающей трансмиссионное масло. В зависимости от материала изоляции, при достаточно долгом воздействии на нее масла, изоляция может разбухнуть и отслоиться, либо стать хрупкой и раскрошиться, в обоих случаях обнажая проводники. Хотя за последние годы конструкция коробок передач значительно улучшилась, они все еще используют масло, которые нужно со временем менять, а это вызывает капли и брызги, которые могут попасть на большую петлю кабеля под гондолой. По утверждению одной из компаний, разбрызгивание масла в гондоле избежать невозможно.

Неудивительно, что поставщики оборудования ищут ценовые уступки, что, возможно, является наиболее универсальной тенденцией. Производители турбин, поставляющие продукцию в США, часто требуют кабели, изоляция которых не содержит галогенов. Материалы, не содержащие галогенов, часто предпочитают потому, что при возгорании они не выделяют вредных соединений, опасных для здоровья людей. Однако принимая во внимание крайне малую вероятность того, что кто-то окажется в гондоле в момент возгорания необходимость в дорогостоящих материалах, не содержащих галогены, становится менее важной. Изоляция, основанная на поливинилхлориде, имеет меньшую стоимость, и

обеспечивает необходимые показатели по устойчивости к температуре и маслу. До сих пор, говорит Орсини, его компания могла производить изоляцию, не содержащую галогенов, пригодную для использования при температуре  $-25^{\circ}\text{C}$ .

Конечно, по мере того, как турбины становятся крупнее, увеличивается и выходное напряжение. (Современный генератор мощностью 3МВт выдает 12000В.) Стандарт WTTC (открытые кабели ветряных турбин) 1227 Лаборатории по Технике Безопасности США, упоминал 600 В в описываемых им кабелях. Более современный стандарт, WTTC 2227 описывает уже кабели для 1,000В.

Что можно сказать о затратах срока эксплуатации? Здесь нет ничего удивительного: не все кабели созданы равными. Для большинства потребностей в передаче и распределении энергии, обычно выбираются кабели для среднего или высокого напряжения. Они часто прокладываются под землей, или под водой (при помощи подводных лодок), и соединяют ветряные станции с электрическими сетями. Компоненты силовых кабелей обычно состоят из нескольких различных материалов, в том числе полиэтилен с межмолекулярными связями (СПЭ или XLPE), этиленпропиленовый каучук (EPR), и полиэтилен с межмолекулярными связями, использующий водно-древесный замедлитель (TR-XLPE). Однако не все материалы, применяемые в кабелях, дают одинаковые результаты. Следовательно, для прогнозирования их работы необходимы стандарты производства. Очень важно, чтобы производители ветряных турбин были осведомлены о том, как различные материалы ведут себя в приложениях, связанных с силовыми кабелями.

Принятые в отрасли испытания оценивают срок эксплуатации этих кабелей более чем в сорок лет. Такие показатели приемлемы для разработчиков ветряных станций, которые имеют аналогичный срок эксплуатации. Следует принять во внимание и то, что лабораторные и полевые испытания компонентов кабеля проводились независимой организацией, такой как Национальный центр испытаний и прикладных исследований в области электроэнергетики (NEETRAC) при Технологическом институте Джорджии. Специально рекомендуется Тест Старения Кабелей, проект

NEETRAC 97-409. Наконец, похитители меди обращают внимание на наземные кабели, расположенные вокруг ветряных турбин, поскольку в большинстве таких кабелей применяются медные проводники, и снять такие кабели относительно легко. Один из производителей кабелей борется с этой тенденцией, покрывая две медные жилы тонким слоем олова, на котором лазером гравировается серийный номер и Web-сайт. Эти данные позволяют переработчику меди выяснить, был ли этот кабель украден, или нет, передает forca.ru.

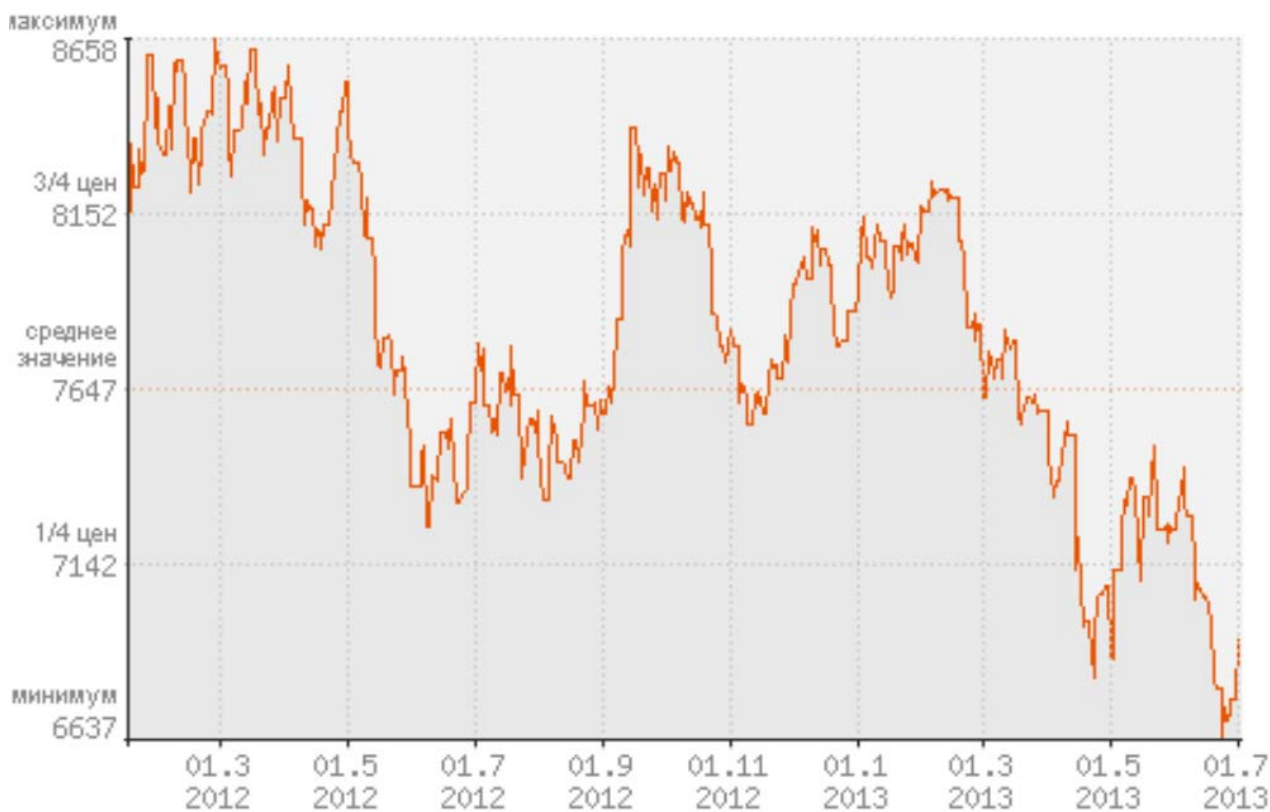
### ***Материалы для производства ветроэнергостановок***

Основные материалы для производства ветроэнергетических установок - это сталь, медь и алюминий, удорожание которых способно нанести серьёзный ущерб ветроиндустрии.

Рассмотрим динамику изменения цены на сталь, медь и алюминий за последние 1,5 года на LME (рис. 43 – 45). Цена на сталь за последние 1,5 года упала в 4 раза и на начало второго полугодия 2013 года составила около 130 \$/т.



**Рис.43. Динамика изменения цены на сталь в 2012 г. и 6 месяцев 2013 г. (\$/т)**



**Рис.44. Динамика изменения цены на медь в 2012 г. и 6 месяцев 2013 г. (\$/т)**



**Рис. 45. Динамика изменения цены на алюминий в 2012 г. и 6 месяцев 2013 г. (\$/т)**



Цена на медь за последние 1,5 года упала примерно на 30% и на начало второго полугодия 2013 года составила около 6890 \$/т. Цена на алюминий за последние 1,5 года упала примерно на 30% и на начало второго полугодия 2013 года составила около 1730 \$/т.

Как видно из вышеприведенных графиков, цены на основные материалы (сталь, медь, алюминий) для производства ветроэнергетических установок за последние 1,5 года имеют динамику снижения, что положительно скажется на себестоимости производства ветроэнергоустановок и развитии ветроэнергетики в целом.

В ветрогенераторах нового поколения используются постоянные магниты на основе редкоземельных металлов, но есть и несколько альтернативных вариантов. Кроме того, в среднесрочной перспективе можно ожидать, что предложение редкоземельных металлов будет расширяться, поскольку несколько стран уже вплотную занялись разработкой их месторождений.

Профессор Крис Роудс в статье «Пик минералов: недостаток редкоземельных элементов угрожает альтернативной энергетике» поднял очень актуальную проблему дефицита некоторых минеральных ресурсов. 97% всех редкоземельных элементов в настоящий момент поставляются Китаем. 92% используемого в мире ниобия (для сверхпроводящих магнитов и сплавов с высокой жароустойчивостью для реактивной авиации и ракет) экспортируется из Бразилии.

Роудс ссылается на доклад британского Комитета по науке и технологиям, в котором дается список «элементов под угрозой». Серьезные проблемы могут быть с неодимом, производство которого должно увеличиться в пять раз для покрытия потребностей в магнитах для производства турбин ветряков в количестве, достаточном для обеспечения полностью возобновляемой энергетике. Однако грубые расчеты самого Роудса показывают, что для этого необходимо 50-100 лет в зависимости от того, какая доля электричества будет вырабатываться за счет ветра, и если хватит производственных мощностей и прочих материальных и энергетических ресурсов для выполнения этой эпической задачи.

Неодим (Nd) – редкоземельный элемент, в основном используемый для производства постоянных магнитов (ПМ), применяющихся повсюду от компьютерных жестких дисков и мобильных телефонов до турбин ветряков и автомобилей. Неодимовые магниты – наиболее мощные известные постоянные магниты. Такой магнит весом в несколько грамм может поднять в тысячи раз больше собственного веса. Магнит, приводящий в движение мотор гибрида Toyota Prius, содержит 1 кг неодима, а в батарее используется 10-15 кг лантана. Что интересно, неодимовые магниты были открыты в 1980-ых как ответ на острую нехватку кобальта, случившуюся в результате внутреннего конфликта в Заире (ныне Конго).

Что касается других редкоземельных элементов, спрос на диспрозий (Dy) и тербий (Tb), получить которые сложнее, чем остальные металлы этой группы, может превзойти их предложение в течение ближайшего десятилетия. Диспрозий известен как «чудесный» компонент для производства экологически чистой энергии, поскольку с помощью небольшого количества этого элемента можно делать магниты, весящие в десять раз меньше традиционных магнитов с такой же силой. Сплавы неодима и диспрозия или тербия используются в магнитах, которые лучше сохраняют магнитные свойства при высоких температурах в моторах гибридных автомобилей.

Однако требуется намного больше диспрозия относительно неодима, чем соотношение их содержания в минеральных рудах. Как отмечалось, почти все редкоземельные элементы поступают из Китая, но запасы диспрозия и тербия в этой стране могут истощиться через 15 лет, или даже быстрее, если спрос будет расти такими высокими темпами. При этом желание Китая обеспечить собственные энергетические проекты будущего может привести к тому, что объемы поставок редкоземельных элементов на мировой рынок будут резко сокращены.

Профессор геологии и геофизики Томас Грейдел заявляет, что необходимо добывать в сотни раз больше редкоземельных металлов, чем добывается сейчас, чтобы обеспечить выработку большей части электроэнергии из альтернативных источников.

Профессор геохимии Питер Келемэн поясняет, что каждый установленный мегаватт мощности ветряной турбины требует 200 кг неодима. Проясним ситуацию: имеется в виду магнитный сплав неодим-железо-бор. Содержание неодима в таком сплаве составляет 28%. Однако для улучшения характеристик сплав требует добавления диспрозия – от 3 до 12%. Более высокое содержание диспрозия означает лучшую работу и продление срока эксплуатации при высоких температурах. Как минимум, если исходить из 3%-ного содержания диспрозия, для 1 МВт турбины потребуется еще и 21,5 кг диспрозия.

Добыча в Китае падает с 2006 года. Естественно, идут поиски новых источников этих элементов, учитывая их огромную важность для построения будущей ветроэнергетики. Американцы в прошлом году расконсервировали месторождение Маунтин Пасс. Когда-то на нем добывалось 20 тыс. тонн редкоземельных элементов в год, и месторождение почти полностью удовлетворяло мировой спрос. Однако в 1980-ых продукция месторождения стала нерентабельна, когда на сцену выступили китайские производители. За неполный 2012 год на Маунтин Пасс получено 7 тыс. тонн концентрата.

Количество диспрозия в калифорнийских рудах ничтожно. Диспрозий содержит потенциальное месторождение Тор Лэйк в Канаде. Это одно из немногих мест на нашей планете (за пределами Китая), которое содержит богатые запасы этого элемента. Однако это месторождение еще только предстоит освоить. В планах у разработчика – компании Avalon Rare Metals – был старт добычи в 2016 с выпуском первой коммерческой продукции не ранее 2017. Причем 2017 год считается очень быстрым стартом в сравнении с конкурентными проектами.

Для сравнения канадского и китайского месторождения следует также отметить, что на последнем была возможна добыча открытым способом, а Тор Лэйк будет разрабатываться исключительно закрытым способом. Содержание оксидов редкоземельных элементов в канадской руде невысокое. На себестоимость также будет влиять географическая удаленность месторождения: Тор Лэйк находится в таёжной глуши, скорее всего придется применять вахтовый метод работы.

В 2011 году было запущено производство на месторождении Маунт Уэлд в Австралии. В 2012 году производство концентрата составило 4 тыс. тонн. В 2013 оно может превысить 11 тыс. тонн, а еще через год достигнуть 22 тыс. тонн. Руда в Маунт Уэлд богатая. Вот только одна проблема: диспрозия там очень мало.

Существуют и другие проекты, которые находятся сейчас на самых ранних стадиях рассмотрения – в ЮАР, Бразилии, Вьетнаме и других местах. Однако может потребоваться до 10 лет на их освоение – при этом себестоимость такого сырья может оказаться очень высокой.

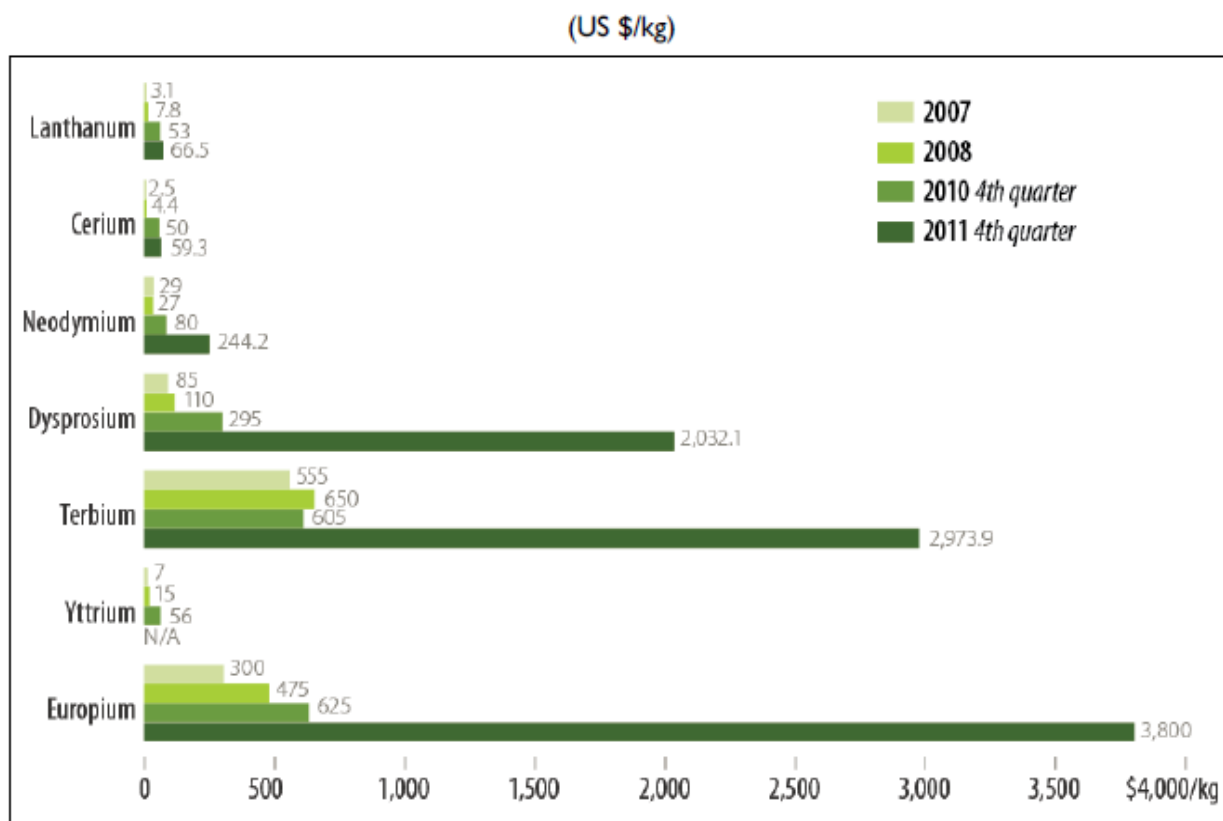
Главный фактор того, что расширение добычи редкоземельных элементов будет идти такими медленными темпами, как всегда – человеческий. США прекратили производство на Маунтин Пасс в 2002 году. Прошло менее 10 лет – и правительственный доклад констатирует: «Мы потеряли все свои мощности по технологической цепочке, включая интеллектуальные». Если в Соединенных Штатах имеются трудности с квалифицированными инженерами – то что говорить о Канаде, Австралии, ЮАР? Molycorp, разработчик Маунтин Пасс, тем временем выстраивает вертикально-интегрированную цепь путем покупки бывших советских (в Эстонии) комбинатов и мощностей в Китае, который удерживает технологическое лидерство.

Вторая проблема – экологическая. Самая неприятная вещь – радиоактивность обогащенного материала практически на всех месторождениях. Предприятия должны учитывать этот фактор, как в процессе производства, так и в связи с проблемой отходов. При обогащении одной тонны редкоземельных элементов образуется одна тонна радиоактивных отходов. Американский завод в Маунтин Пасс был закрыт не в последнюю очередь из-за протечек загрязненной воды из трубопроводов в 1984-1998 годах. Помимо радиоактивных отходов, на выходе мы также получаем 75 тонн загрязненной кислотами воды на каждую тонну готового продукта.

И тем не менее добыча падает. Гуляют различные оценки по поводу того, насколько хватит оставшихся запасов, от 5 до 25 лет. И действия китайских властей по наведению порядка в отрасли являются подтверждением того, что у добычи редкоземов нелегкое будущее. Экспортные

ограничения и квоты на производство, настоятельные рекомендации к слияниям и поглощениям, «неожиданное» требование в 2011 привести все производства к экологическим стандартам. Китайцы не отрицают возможности того, что к 2015 они станут чистыми импортерами редкоземельных элементов.

Самые яркие события на рынке начали разворачиваться в 2010 году. Именно тогда китайские власти взяли и одним махом срезали экспортную квоту сразу на 40% от уровня прошлого года. Реакция рынка не заставила себя ждать: цены на редкоземельные элементы взлетели, достигнув апогея в 2011 году. Масштаб можно увидеть на графике рис.46:



**Рис.46. Динамика цен на редкоземельные элементы**

С данной ситуацией на рынке можно связать стагнацию в темпах ввода мощностей ветроэнергетики. Дело в том, что после такого «шокового» скачка производители за пределами Китая стали сворачивать проекты, требующие больших количеств редкоземов. Спрос упал очень сильно. Экспортная квота 2011 года была выбрана только наполовину, примерно на столько же была выбрана квота 2012 года. При этом цены

сильно упали с максимумов 2011, хотя и остаются на высоких уровнях по сравнению с периодом до 2009 года (рис.47)

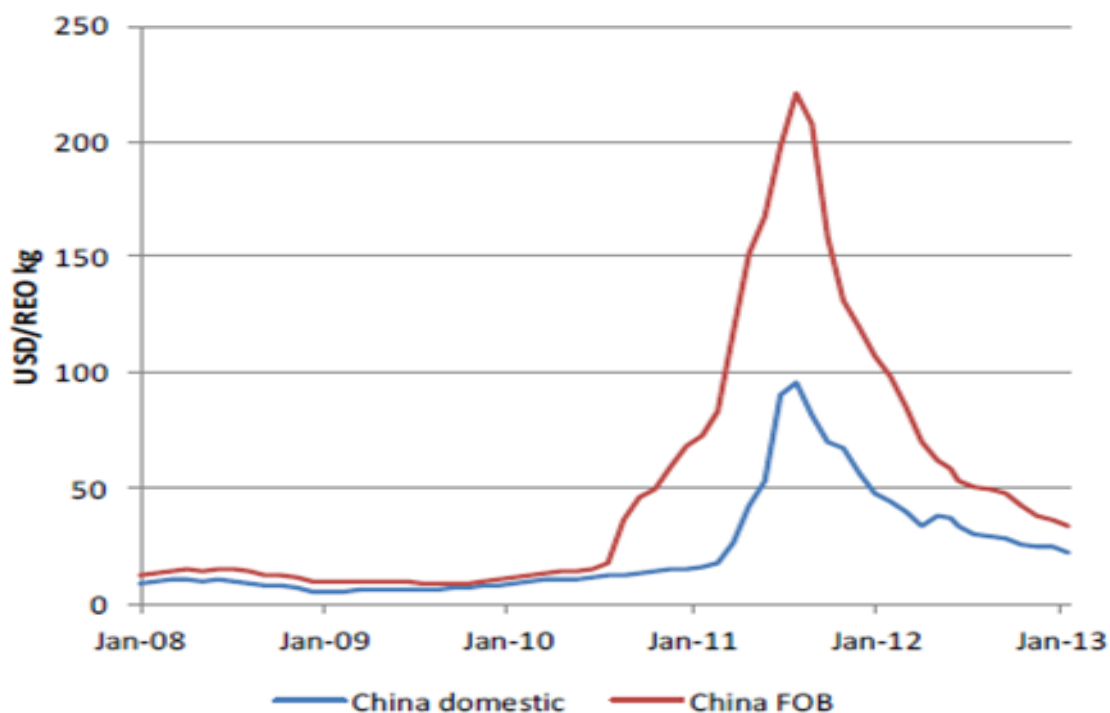


Рис.47. Динамика корзины металлов австралийского Маунт Уэлд

В феврале 2013 цены продолжали падение, снизившись на 11,3% по отношению к январю. Однако два года назад ситуация была очень напряженной. Все кинулись лихорадочно искать альтернативы китайским РЗЭ. Стоит обратиться к альтернативным технологиям, предполагающим ликвидацию зависимости от редкоземов. Самое простое решение: заменить дефицитные редкоземельные магниты другими постоянными магнитами. Самый сильный из альтернативных – самарий-кобальтовые магниты. Они уступают по силе Nd-Fe-B «всею» в 1,6 раза, зато прекрасно работают даже при высоких температурах. Самарий хоть и считается редкоземельным металлом, но по факту недостатка в нем пока не наблюдается. Что не гарантирует возникновения дефицита в не столь отдаленной перспективе. А всё потому, что сплав содержит от 25% самария, а нужно такого сплава, само собой, в 1,6 раз больше, чем Nd-Fe-B, в расчете на 1 кВт мощности.

Ведутся также разработки магнитов на основе марганца, но дальше лабораторных исследований дело пока не продвигается.

В ветроэнергетике испокон веков использовались генераторы с внешним возбуждением (ВВ), которым никаких редкоземов не требуется. Но проблема в эффективности. Одно из преимуществ генератора на постоянном магните в том, что он сильно выигрывает у ВВ-генератора на низких оборотах вращения, т.е. при малой скорости ветра. Учитывая, что ветер нередко дует ниже «рассчитанной» проектировщиками ВЭС скорости, выигрыш может быть весомым.

Также развивается такое направление, как генераторы на высокотемпературных сверхпроводниках. Технология эта становится экономически эффективной лишь при мощности турбины свыше 7 МВт. Такие турбины уже проблематично оснастить ПМ- или ВВ-генераторами в силу их большого веса. Установка таких ветряков возможна только в море, что в совокупности со сложностями технологии тормозит продвижение этих машин.

## 11. НОВЫЕ МОЩНОСТИ И ПРОЕКТЫ ВЕТРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

---

*Европа.* Шведская энергокомпания Eon Nordic собирается установить в Балтийском море ветроэлектростанцию мощностью 700 МВт, которая будет использовать преимущества скоростных потоков ветра на большой высоте. Установка 230 ветротурбин обойдется компании в 2,79 млн долларов (источник - aenergy.ru).

Компания Siemens заключила контракт с компаниями DONG Energy (Дания) и Scottish Power Renewables (Испания) о поставке 108 ветротурбин SWT-3.6-120 общей мощностью 389 МВт для строительства ветропарка West of Duddon Sands (Северная Ирландия). Номинальная мощность ветротурбины SWT-3.6-120 составляет 3,6 МВт, диаметр ротора

120 м. Ввод ветропарка в эксплуатацию запланирован на начало 2013 г (aenergy.ru).

Во Франции были определены победители тендера на реализацию крупного проекта в сфере ветроэнергетики, который оценивается в 7 млрд. евро. Проект предусматривает строительство ветропарка совокупной мощностью 2 ГВт. В конкурсе принимали участие крупные французские и иностранные энергетические корпорации. По результатам конкурсного отбора, для реализации проекта был выбран крупнейший энергоконцерн Франции Electricite de France (EdF) и крупнейшая французская машиностроительная корпорация Alstom. Немецкий промышленный концерн Siemens AG («Нефть России»).

Французская компания GDF Suez планирует развивать два проекта ветроэнергетики в Румынии и Польше суммарной мощностью 100 МВт. Две новые электростанции будут мощностью 48 МВт в Румынии и 51 МВт в Польше (EBR).

Завершено строительство второй очереди ветровой электростанция Walney, расположенная близ берегов графства Камбрия на северо-западе Великобритании. Сто две турбины электростанции, размещенные на площади 73 квадратных километра, могут обеспечить пиковое производство электроэнергии, мощностью 367.2 мегаватта. Мощности электростанции вполне достаточно чтобы обеспечить энергией 320 тысяч домов, что составляет приблизительно половину всех домов в графстве Камбрия. Первая очередь проекта, Walney 1, была введена в эксплуатацию с января месяца 2011 года. На тот момент в составе электростанции была 51 137-метровая турбина, диаметр ротора которых равен 107 метрам. По завершению второй очереди, Walney 2, к электростанции добавилось еще 51 турбина, высотой 150 метров. На каждой такой турбине установлены по три лопасти, весом 18 тонн каждая, а диаметр лопастей составляет 120 метров. Несмотря на различия в конструкции турбин первой и второй очередей, они вырабатывают мощность по 3.6 МВт, и были изготовлены одним и тем же производителем - компанией Siemens. Вес каждой турбины составляет 550 тонн. Все сооружение было создано компанией Walney (UK) Offshore Windfarms Limited, совместным предприятием двух основ-



ных энергетических компаний DONG Energy и SSE и нескольких более мелких компаний. Стоит отметить, что введенная в строй вторая очередь электростанции является не последним этапом проекта. В перспективе создателей электростанции стоят планы по увеличению ее мощности до 1000 МВт, но вот о сроках начала строительства следующей очереди пока еще неизвестно ([mediacentr.info](http://mediacentr.info)).

Компания PGE SA подала заявку на строительство морских ветровых электростанций с комбинированной мощностью в 3450 МВт в Польше. Правительство предоставило пять морских разрешений на общую мощность 4500 МВт ([Bloomberg](#)).

Компания RWE AG постоит ветровой парк в Польше стоимостью 68 млн. евро с использованием турбин Report Systems SE, подразделения Suzlon Energy Ltd. Проект мощностью 39 МВт в городе Новый Став на севере Польши использует 19 турбин. RWE Innogy планирует построить в Польше 50 МВт ветроэнергетических мощностей, чтобы достичь 300 МВт до 2015 году. Сейчас компания управляет мощностями в 108 МВт.

До 2017 года чешская энергетическая компания CEZ хочет построить в Польше ветровые электростанции мощностью 600 МВт ([сайт Patria.cz](http://Patria.cz)).

Шведская компания Hexicon предлагает построить плавающий ветропарк мощностью 54 МВт, состоящий из 36 турбин, размещенных на платформе диаметром 460 м., которая будет прикреплена ко дну при помощи тросов.

Правительство Мальты рассматривает проект Hexicon, и если он будет утвержден, то небольшой остров может обзавестись самым большим в мире плавающим ветропарком ([elektrovesti.net](http://elektrovesti.net)).

Немецкая энергетическая компания RWE Innogy объявила о строительстве на бельгийском побережье новой ветровой турбины, которая способна генерировать 6 мегаватт электроэнергии. Первая ветровая турбина с проектной мощностью 6,15 МВт была установлена в оффшорной зоне Thornton Bank, которая расположена недалеко от Бельгии. Согласно сообщениям, этот ветропарк будет генерировать около 325 Мегаватт энергии в год – этого будет достаточно, чтобы удовлетворить годовую

потребность в электричестве примерно 600 тысяч человек. Одна ветровая турбина мощностью 6 МВт сможет обеспечить электричеством 6000 человек. Габариты турбины также впечатляют: одна только гондола двигателя имеет размеры с дом на две семьи, а ротор радиусом около 400 футов (120 метров) охватывает площадь размером с два футбольных поля. Ветровая турбина была построена компанией REpower Systems. В общей сложности планируется построить 48 ветротурбин такого типа и установить их в Thornton Bank в рамках второго и третьего этапов развития ветровой электростанции. На первом этапе развития ветропарка, в 2009 году, было введено в промышленную эксплуатацию шесть турбин общей мощностью 30 МВт. Стоит отметить, что, являясь крупнейшим частным инвестором, компания RWE Innogy владеет 26,7 процентов акций Thornton Bank. Этот крупнейший в Европе проект ветровой электростанции финансируется восемью коммерческими банками, которыми было выделено 1,28 млрд. долларов США (источник-cheburek.net).

Компания Enel Green Power подключила к сети новую ветряную электростанцию Padul в Андалусии. Станция мощностью 18 МВт носит название муниципалитета близ Гранады, где она и расположена. При выходе на проектную мощность электростанция Padul, расположенная в провинции Гранада (Испания), будет вырабатывать более 37 млн кВтч в год. Enel Green Power представлена в Испании и Португалии через компанию Enel Green Power Espana (EGPE), в которой Enel Green Power принадлежит 60%, а Endesa – 40% капитала (energyland.info).

Представители итальянской компании заявили, что Land Power SRL в уезде Тульча на юго-востоке Румынии построят ВЭС из 42 ветрогенераторов общей мощностью 84 МВт. Строительство предполагается начать в первом квартале 2013 года, а закончить – к четвертому кварталу 2014 года. После выхода на полную мощность, ВЭС ежегодно производить более 200 мегаватт-часов электроэнергии (BFM.ru).

**Азия.** Вблизи восточной провинции Цзянсу в Китае начала работу крупнейшая в стране оффшорная ветроэлектростанция. Мощность ветропарка составляет 150 тыс кВт. Себестоимость работы этого объекта сейчас составляет около 16 тыс. юаней (2,536 долларов) за 1 киловатт электри-

чества, что несколько ниже, чем на европейских станциях: там он обходится в 25-30 тыс. юаней (Украинское информационное агентство).

В Монголии введена в эксплуатацию ВЭС. GE получила заказ на изготовление 31 ветротурбины GE1.6-82 мощностью по 1,6 МВт. Ветропарк стоимостью 100 млн. долл. будет построен монгольской инвестиционной компанией Newcom LLC. ВЭС расположится примерно в 65 км к юго-востоку от столицы. Станция сможет генерировать электроэнергию в объеме не менее 5% от производимой в стране (aenergy.ru).

«Самрук-Энерго» и акимат Алматинской области (Казахстан) договорились о строительстве ветровой электростанции (ВЭС) мощностью от 60 МВт до 300 МВт в Шелекском коридоре Енбекшиказахского района Алматинской области. В настоящее время по заданию АО «Самрук-Энерго» ведется разработка технико-экономического обоснования проекта (energyland.info).

*Америка.* Североамериканский филиал энергокомпании Enel Green Power - Enel Green Power North America Inc. (EGP NA) ввела в эксплуатацию ветряную электростанцию Rocky Ridge мощностью 150 МВт, расположенную в штате Оклахома (США). Установленная мощность новой электростанции, состоящей из 93 ветряных турбин (по 1,6 МВт каждая), составляет порядка 150 МВт. После того, как электростанция начнет функционировать в полном объеме, она будет вырабатывать свыше 600 миллионов кВтч в год (rosinvest.com).

Компания Enel Green Power North America получит грант в размере 99 млн долларов США от министерства финансов США за строительство ветряной электростанции Caney River в Канзасе. Общая установленная мощность ветряной электростанции Caney River составляет около 200 МВт, она может производить более 750 млн кВтч в год (energyland.info).

На северном побережье острова Оаху (Гавайи) строится ветровая электростанция. Мощность ветровой электростанции Kawaiiloa Wind Farm составит 68 мегаватт – это примерно 5–10% от общего объема электроэнергии, необходимой для обеспечения питания острова. Проект разработан компанией First Wind и возводится на территории Kawaiiloa Plantation Kamehameha School (cheburek.net).

Компания Enel Green Power (EGP) ввела в эксплуатацию свою первую ветряную электростанцию в Мексике – Bii Nee Stipa II. После того как электростанция начнет функционировать в полном объеме, она будет вырабатывать более 250 млн кВтч. Bii Nee Stipa II была спроектирована и построена партнером EGP, компанией Gamesa, которая активно присутствует на мексиканском рынке. Электростанция состоит из 37 ветряных турбин Gamesa по 2 МВт каждая, общая установленная мощность – 74 МВт. Общий объем инвестиций в строительство Bii Nee Stipa II составил порядка 160 млн. долларов США (energyland.info).

Компания Enel Green Power объявила о подключении к сети второй ветряной электростанции в Мексике Zopiloapan - Bii Nee Stipa III, расположенной в штате Оахака. ВЭС установленной мощностью 70 МВт будет вырабатывать порядка 250 млн кВтч в год. Ввод в эксплуатацию нового объекта, в который было инвестировано около 160 миллионов долларов США, позволит Enel Green Power усилить свое присутствие на перспективном рынке возобновляемых источников энергии в Мексике и увеличить общую установленную мощность электростанций до 200 МВт. Zopiloapan - Bii Nee Stipa III спроектирована и построена партнером EGP, компанией Gamesa, которая активно присутствует на мексиканском рынке. Электростанция состоит из 35 ветряных турбин Gamesa по 2 МВт каждая. Общий объем инвестиций в строительство Zopiloapan - Bii Nee Stipa III составил порядка 160 млн долларов США (energyland.info).

На 36-мегаваттном ветропарке в Миннесоте (США) будут впервые использованы турбины Gamesa G97 2МВт класса IIIA. Новая G97 2 МВт компании Gamesa готова к дебютной установке. Ветропарк Big Blue, проект которого разрабатывается компанией Exergy получит 18 таких машин G97 (vetern5.com).

Представители крупнейшей поисковой системы Google на днях объявили, что компания инвестировала \$75 млн. в ветряную электростанцию в штате Айова, в результате чего общий объем денежных средств, потраченных интернет-гигантом на развитие альтернативной энергетики приблизился к \$ 1 млрд. Электростанция называется Rippey Wind Farm и расположена в округе Грин. Она принадлежит компании

RPM Access. 20 турбин уже работают, выдавая мощность 50 МВт ветровой электроэнергии (достаточно для удовлетворения потребностей 15 000 домохозяйств). Электричество будет скупать Central Iowa Power Cooperative (CIPCO). У Google имеется центр обработки данных в Омахе, штат Айова. Компания уже вложила огромные средства в развитие других экологически чистых энергетических проектов в регионе. Ее руководство среди прочего согласилось покупать электроэнергию с ветровой фермы мощностью в 114 МВт в Айове, принадлежащей NextEra Energy Resources (himprom.ua).

Концерн Alstom подписал два контракта на общую сумму 270 млн евро с Queiroz Galvão, одной из ведущих инфраструктурных компаний в Бразилии. Эти контракты предусматривают производство, поставку, установку и ввод в эксплуатацию ветровых турбин ESO 122 в двух ветровых комплексах, расположенных на северо-востоке Бразилии, а также эксплуатацию и техобслуживание турбин в течение 10 лет. Ветровые турбины будут произведены на производственном участке Alstom в Камасари (штат Баия), который открылся в ноябре 2011 г. Завод будет работать в две смены, обеспечивая производственную мощность 600 МВт в год. Береговые ветровые турбины ESO 122 мощностью 2,7 мВт – это последняя модель отлично зарекомендовавшей себя турбины Alstom ESO 100. Alstom строит и осуществляет эксплуатацию ветропарков по всему миру: на данный момент построено или находятся в процессе строительства свыше 2300 турбин мощностью более 3200 МВт в более чем 130 ветропарках. Alstom проектирует и производит береговые ветровые турбины мощностью от 1,67 мВт до 3 мВт, поставляя технологические решения для всего спектра географических и климатических условий (rawi.ru).

**Африка.** Власти Кении планируют строительство ветряной фермы стоимостью почти миллиард долларов. Проект Lake Turkana Wind Power (LTWP) стоимостью 870 миллионов уже прошел проектную фазу и к концу 2012 года перешел в стадию активного строительства. Станция создается при активном участии голландских компаний, имеющих богатый опыт в создании подобных проектов. Ветряная ферма будет состоять из

360 генераторов с общей мощностью 300 мегаватт. Все работы планируется завершить к 2014 году (facepla.net).

**Россия.** Суммарная мощность проектов, которые находятся на стадии проектно-изыскательских работ, составляет не менее 3 ГВт, а суммарная мощность всех заявленных проектов превышает 10 ГВт, сообщает генеральный директор «ВетроОГК», президент Российской Ассоциации ветроиндустрии (РАВИ) Игорь Брызгунов. Большая часть заявленных проектов размещаются в европейской части страны и на Дальнем Востоке (energyland.info).

Министерство промышленности, энергетики и транспорта Ставропольского края сообщило, что в регионе планируется строительство несколько ветряных электростанций, мощность каждой из которых составит не менее 100 МВт. По словам главы министерства Дмитрия Самотова, на сегодняшний день экспертами уже проводятся предпроектные работы и планируется осуществление измерения ветрового потенциала (rencentre.com).

В Курганской области будет построен ветропарк мощностью около 50 МВт. В настоящее время установлено ветроизмерительное оборудование. В случае подтверждения благоприятных условий для строительства, Курганская область станет первой в Зауралье, где потребители будут получать в промышленных масштабах «зеленую» энергию (aenergy.ru).

В Республике Карелия планируется строительство ветровых электростанций. Соглашение о строительстве ветропарков было подписано первым заместителем главы РК Юрием Канчером и генеральным директором ООО «ВЭС» Георгием Ермоленко, пишет Ника-Медиа. В соответствии с документом, установку ветрогенераторов планируется осуществить в Кемском и Беломорском районах, их строительство и ввод в эксплуатацию намечено на период с 2014 по 2016 годы. Всего планируется ввести в эксплуатацию 8 генераторов, по четыре в каждом регионе. Общая сумма инвестиций составит порядка 14 млрд рублей, а проектная установленная мощность данных электростанций составит 24 МВт (источник – ЦВЭ).

## **Украина.**

Южная Украина. Компания Filasa International намерена построить три ветроэлектростанции станции в Крыму суммарной установленной мощностью 0,6 ГВт. Совет министров АРК разрешил компании разработку проекта землеустройства по отводу 765,55 га на территории Бахчисарайского, Советского, Белогорского и Красногвардейского районов для строительства ветряных электростанций компании Filasa International (Франция). Строительство планируется вести за счет средств инвесторов (uaenergy.com.ua).

"Ветряные парки Украины" рассматривают вопрос строительства на полуострове Крым ветряных электростанций (ВЭС) мощностью 1062,5 МВт, сообщили в пресс-службе Республиканского комитета АРК по топливу, энергетике и инновационной политике. "На полуострове предлагается создание целой сети из шести ветроэлектростанций в Сакском, Советском, Первомайском и Ленинском районах", — отметили в пресс-службе. По данным комитета, приблизительная стоимость строительства станций - \$1,3 млрд, проект предусматривает комплексное инвестирование из зарубежных и украинских источников. Некоторые элементы конструкций для ветропарков планируется выпускать на предприятиях полуострова, проектировщиком станций выступит ООО "Крым Ирей Проект". Во всех своих проектах "Ветряные парки Украины" используют турбины Fuhrlander 2500-100 мощностью 2,5 МВт каждая. Сборка таких ветроустановок налаживается на мощностях ООО "Фурлендер ВиндТехнолоджи" в Краматорске (Донецкая обл.) (источник – газ. Дело).

21 августа 2012 года ООО «Ветряной парк «Очаковский» (Николаевская обл.) ввел в эксплуатацию вторую очередь ветряной электростанции из 5 ветрогенераторов (по 2,5 МВт каждый) общей мощностью 12,5 МВт. На данный момент мощность ветропарка «Очаковский» составляет 37,5 МВт. ООО «Управляющая компания «Ветряные парки Украины» планирует построить в 2013 году 125,5 МВт ветроэнергетических мощностей. По его словам, планируется строительство Сакского ветропарка на 12,5 МВт, Восточно-Крымской ветроэлектростанции (ВЭС) на 100 МВт, расширить мощность Новоазовской ВЭС на 5 МВт, а также устано-

вить две 2,5 МВт ветроустановки и одной 3 МВт турбины на Краматорской ВЭС. Сейчас на стадии проектирования находится 600 МВт мощностей и в перспективной разработке около 1,5 ГВт (rencentre.com).

К концу 2012 года все 30 ветроустановок Ботиевской электростанции первой очереди, установленной мощностью 90 МВт, запущены в Объединенную энергетическую систему Украины. Ожидается, что еще 110 МВт мощности Ботиевской ВЭС будут запущены до конца 2013 года. После выхода на проектную мощность в 200 МВт, Ботиевская ВЭС будет ежегодно генерировать в среднем 686 ГВт.ч электроэнергии (эквивалент потребления 960 тысяч семей) (companion.ua).

Энергохолдинга “ДТЭК” строит ветропарк “ДТЭК Приазовский”, который будет состоять из трех площадок: Ботиевской, Приморской и Бердянской. Общая мощность ветропарка – 500 МВт, Ботиевской площадки – 200 МВт, Приморской и Бердянской – по 150 МВт. “ДТЭК” планирует до 2018 года инвестировать в строительство ветропарков “ДТЭК Приазовский” и “ДТЭК Мангуш” (Донецкая обл.) EUR1,85 млрд. (rencentre.com).

Агентство регионального развития Крыма и немецкая WKN AG достигли согласия о подписании договора сотрудничества для реализации проекта по развитию ветроэнергетики в Крыму. Проект предусматривает строительство ветроэлектростанций мощностью 400 МВт, с инвестированием в 1 млрд долл. на территории Джанкойского и Красноперекопского районов, сообщает пресс-служба Совмина АРК.

Французская компания Nationale du Rhone представила руководству АРК инвестиционный проект полного цикла в сфере ветроэнергетики. Он предусматривает разработку, проектирование, финансовое обеспечение, строительство "под ключ" и дальнейшую эксплуатацию ВЭС. Об этом сообщает ГУ информационной политики Совета министров АРК. Согласно проекту, на территории Кировского района АРК планируется строительство ветроэлектростанций мощностью 50 МВт с возможным увеличением мощности до 200 МВт. При этом объем инвестиций составит около 80 млн долларов, передает Укрінформ.



ООО "Виндкрафт Украины" планирует до конца текущего года ввести в эксплуатацию две ветроустановки датской компании VESTAS мощностью 3 МВт каждая в Скадовском районе Херсонской области. Всего в Новороссийском [участок между с. Новороссийское и пгт. Лазурное в Херсонской области] будет уже установлено 9 МВт мощностей. Также, в 2012 году компания планирует получить разрешение на установку 9 МВт мощностей в с. Тарасовка и столько же в с. Ставки. По словам Фредерика Свинхувуд, к 2014 году компания должна реализовать и другой ветроэнергетическим проект в Каланчацком районе Херсонской области на 300 МВт, которые строить частями по 30 МВт ("Українська енергетика").

В Черноморском районе АРК торжественно открыты два сверхмощных ветроагрегата мощностью по 2 МВт и высотой 80 метров Тарханкутской ветряной электростанции. Строительные работы обошлись почти в 109 млн. грн., из них 70 млн. грн. – стоимость оборудования. Инвестором является корпорация Toshiba, инженерно-проектные работы проводила архитектурно-проектная компания «Цитадельбудпроект», изготовитель оборудования – фирма Unison (Южная Корея), передает [dero.ua](http://dero.ua). В перспективе рассматривается возможность установить на Тарханкутской ВЭС ветроагрегаты мощностью до 5 МВт. Тарханкутская ВЭС является структурным подразделением госпредприятия «28 Управление начальника работ», входит в структуру Министерства обороны Украины. Суммарная мощность станции составляет 16,65 МВт ([rencentre.com](http://rencentre.com)).

Восточная Украина. 4 апреля 2012 года закончена наладка последних двух турбин ООО «Ветропарк «Новоазовский», и он уже выходит на проектную мощность. Об этом сообщил директор предприятия Александр Пригорницкий. На сегодняшний день возле села Безыменное Новоазовского района введены в эксплуатацию 23 ветроустановки немецкой компании «Фурлендер», мощностью 2,5 мегавата каждая. Мощность же самого парка – 57,5 мегават экологически чистой энергии.

ООО "Управляющая компания" Ветропарки Украины "занимается следующими проектами: 25 МВт Краснодонской ВЭС в Луганской области и 150 МВт Краматорской ВЭС в Донецкой области, передает

"Українська енергетика". Директор ветропарка также сообщил, что уже идут подготовительные работы по строительству в несколько раз более мощного объекта на территории соседней Луганской области ([mariupol.7ya-media.com](http://mariupol.7ya-media.com)).

Севастопольская компания "Крым-Ирей" в конце марта начала строительство парка на 189 ветряных электростанций в поселках Верхнешевировка и Новоалександровск Краснодонского района Луганской области. Об этом сообщил председатель Краснодонской райгосадминистрации Юрий Докучаев. Всего в 2012 году было установлено 10 ветряных станций, еще 179 - до 2015 года. Мощность ветряного парка составит более 400 МВт. Объем инвестиций в строительство - 500 млн евро. Строительством будет заниматься компания "Краснодонский ветряной парк", созданная в 2011 году и зарегистрированная в поселке Верхнешевировка Краснодонского района. Отметим, компания "Крым-Ирей" намерена построить два ветряных парка мощностью 400 МВт и 200 МВт в двух районах Луганской области в 2013 году ([economics.lb.ua](http://economics.lb.ua)).

Западная Украина. Европейский банк реконструкции и развития инвестирует в мощности ветрогенерации в Украине путем организации пакета финансирования на 13,3 миллиона евро для частной компании "Эко-Оптима", которая будет эксплуатировать ветроэлектростанцию в Старосамборском районе (Львовская область). Об этом сообщает "РБК-Украина". Кредит будет состоять из двух параллельных траншей: десятилетнего кредита ЕБРР на 9,5 миллиона евро и 15-летнего кредита Фонда чистых технологий на 3,8 миллиона евро. Средства кредита будут использованы для строительства и эксплуатации ВЭС общей мощностью 12,5 МВт, состоящая из 5 ветряных турбин и генерировать не менее 25,5 ГВт-ч ежегодно ([real-economy.com.ua](http://real-economy.com.ua)).

Кипрская компания Prenecon SA Prime Energy Construction SA заинтересована в строительстве 25 ветроэлектростанций в Ивано-Франковской области. Об этом Украинским Новостям сообщил председатель Рожнятовский районной государственной администрации Николай Филиппович. По его словам, ориентировочная стоимость этого проекта - 20 млн долларов. В 2012 году компания будет проводить мониторинг территории, а с 2013 года намерена начать строительство 20-25 вет-

ровых электростанций высотой мачты 120 м. Они будут построены на площади 500 га, передают «Українські новини». На Рожнятивщині (Івано-Франківська область) под установку ветровых электростанций уже отведено три участка земли. Они расположены в направлениях: Красное-Небылов-Сливки, Цинева-Сварычев и Княжеский. Таких ветровых станций на площади 500 га должно быть около 25, все они будут стоять за пределами населенных пунктов. Реализация проекта, стоимость которого около 20 млн. дол., начнется уже в 2013 году ([paralleli.if.ua](http://paralleli.if.ua)).

## 12. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ

---

### *Тенденции развития ветроэнергетики.*

Во всем мире ветроэнергетика развивается быстрыми темпами. Каждый год число ветрогенераторов увеличивается на 20 процентов. По прогнозу WWEA, к 2020 году их суммарная мощность возрастет в четыре раза и превысит 1000 гигаватт.

Ветровые установки не наносят вреда окружающей среде и климату. Но причина всемирного бума в другом. Ток, который они вырабатывают, зачастую оказывается самым дешевым. Цена киловатт-часа электричества, выработанного современным ветрогенератором, составляет от 5 до 9 центов. Для сравнения: электроэнергия, которую вырабатывают угольные электростанции, стоит в Европе примерно 7 центов. Однако, по подсчетам ЕС и немецкого министерства по охране окружающей среды, истинная цена «угольного тока» вдвое выше. Копоть таких электростанций вызывает заболевания дыхательных путей, что повышает расходы в системе здравоохранения. Но и электроэнергия, производимая на АЭС или на новых станциях, работающих на углеводородном сырье, при серьезных расчетах оказывается дороже, чем на ветрогенераторах, установленных на суше.

Стоимость утилизации ветростанций после истечения срока эксплуатации также неизмеримо ниже, чем обычных тепловых, а особенно, ядерных.

Несмотря на то, что ветроэнергетика относится сегодня к наиболее экономичным, ей по-прежнему нужна политическая поддержка. Такая поддержка должна состоять в гарантированных закупочных тарифах на такой вид электроэнергии. Установленные законом тарифы необходимы, чтобы банки соглашались выделять кредиты на строительство новых ветрогенераторов. Например, в Турции закупочные тарифы ниже рыночных цен. Тем не менее они нужны, потому что только при их наличии банки готовы финансировать ветряные установки. Это перспективная модель и для других стран.

Для развития ветроэнергетики крайне важны подходящие схемы финансирования. В некоторых слаборазвитых регионах мира трудно изыскать средства для необходимых первоначальных инвестиций. Так, например, во многих африканских странах ветроэнергетика еще не развивается. Сдвинуть дело с мертвой точки можно, если сделать ставку на небольшие установки и систему микрокредитов, разработанную в свое время для Бангладеша нобелевским лауреатом Мухаммадом Юнусом. Это значит, что фирма-производитель ветрогенератора сама же предоставляет и кредит покупателю, который его ежемесячно погашает только с того момента, как установка начинает вырабатывать электроэнергию.

В последние годы техника ветроэнергетики бурно развивается. Разработаны генераторы с особенно большими лопастями для регионов, где дуют слабые ветры, установки на высоких мачтах, позволяющие лучше использовать ветряной потенциал. Строятся крупные ветропарки в открытом море. Правда, их сооружение и обслуживание обходится дороже, что повышает цену одного киловатт-часа произведенной на них электроэнергии до 18-20 центов.

Есть и другая тенденция - маленькие ветрогенераторы для отдельных домов, небольших поселков или промышленных объектов. Сооружено уже более полумиллиона таких установок - главным образом, в Ки-

тае и в США. Их экономичность, правда, ниже, чем больших оншорных. Один киловатт-час обходится в 15-20 центов. Тем не менее для жителей во многих развивающихся странах такие маленькие установки все равно рентабельны, поскольку иной возможности пользоваться электричеством у них просто нет. Но и потребители в развитых странах все больше входят во вкус «личной» электростанции, поскольку цена вырабатываемой в своем саду электроэнергии оказывается ниже городских тарифов. Так что эксперты видят весьма многообещающие перспективы именно для рынка компактных ветрогенераторов.

Ветроэнергетика является одним из наиболее популярных и быстро развивающихся направлений альтернативной энергетики. Тем не менее, её распространение так же ограничивается непостоянностью ветра, как источника энергии, нарушением эстетического пейзажа ввиду установки огромных 100-метровых ветровых мельниц и сложностями с подключением к существующим сетям ввиду отдаленности наиболее благоприятных территорий для установки ветрогенераторов от существующей инфраструктуры. Стоимость ветряной турбины составляет около 80% от общей стоимости ветрогенератора, и поэтому основные усилия по снижению себестоимости ветряной энергии направлены на снижение расходов на производство турбин.

*Среди основных направлений развития технологий в ветроэнергетике выделяются следующие:*

*Увеличение генерирующего потенциала:*

- Увеличение размеров турбин;
- Увеличение высоты турбинных башен;
- Использование оффшорных ветров и ветров на больших высотах;

*Улучшение материалов:*

- Снижение зависимости башенных конструкций от стальных элементов;
- Снижение веса пропеллеров (использование углеродных волокон и высокоинтенсивного углепластика).

*Среди новых перспективных разработок выделяются:*

*Летающие ветряные турбины:* Makani Airborne Wind Turbine — на 90% легче традиционных турбин, запускается с использованием электрического двигателя, способна генерировать электричество на низких скоростях ветра ([inhabitat.com](http://inhabitat.com)).



*Ветрогенераторы-аэростаты.* Компания Altaeros Energies продемонстрировала способ производства электроэнергии с помощью прототипа воздушно-ветровой турбины. Конструкция получила название Airborne Wind Turbine (AWT).



AWT поднялся 350 футов, произвел электричество на высоте, и приземлился в автоматическом цикле. Такие турбины легко доставить на трейлере в нужный пункт назначения в транспортном контейнере. Расходы на электроэнергию сокращаются до 65% за счет более сильных ветров, дующих на высоте ([inhabitat.com](http://inhabitat.com)).

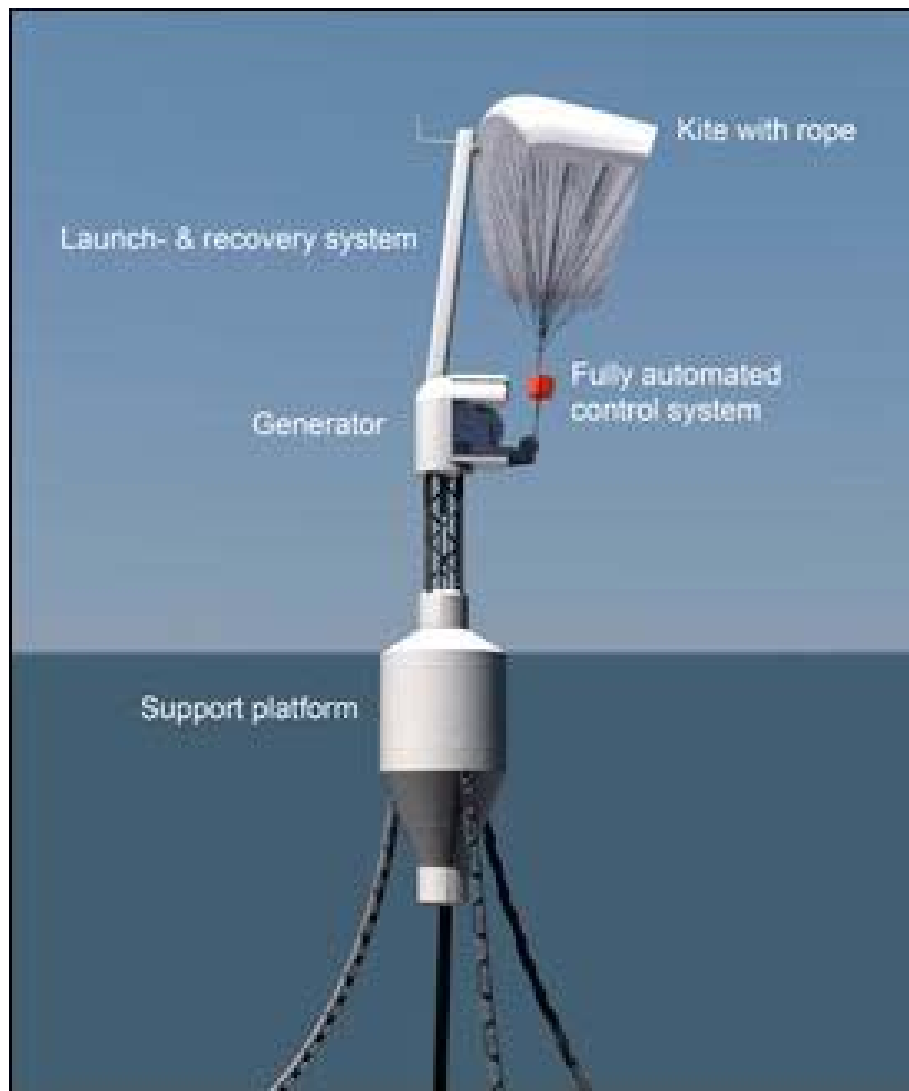
Ветряк-аэростат запускается в воздух в автоматическом режиме, в то время как установка стационарной турбины потребует от нескольких дней до нескольких недель. Кроме того, новинка требует минимального обслуживания, не вредит окружающей среде, её шум не слышен. AWT выгодно использовать в отдаленных поселениях или на стройках, не имеющих централизованного электроснабжения, где завоз топлива для дизель-генераторов обходится слишком дорого.

Оболочка генератора заполняется гелием, чтобы подняться на большую высоту, где ветры дуют в несколько раз сильнее, чем у поверхности земли. Крепкие ремни удерживают AWT в устойчивом положении, кроме того, к ним прикреплены кабели, по которым произведенное электричество отправляется вниз на землю.

Для своего прототипа изобретатель адаптировал технологию аэростатов, промышленных двоюродных братьев пассажирских дирижаблей, которые десятилетиями поднимали в воздух тяжелые грузы на длительное время. Аэростаты способны выдержать ураган и имеют функции безопасности, которые обеспечивают медленный спуск на землю ([energyland.info](http://energyland.info)).

Немецкий проект SkySails предлагает использовать постоянные сильные морские ветры в качестве источника электроэнергии. Необычность проекта – в уникальной конструкции ветряка. Он представляет собой дешевую и простую в установке невысокую опору (можно даже привязной понтон), на которую установлен генератор, компьютер и барабан с тросом. Трос с помощью компьютерных алгоритмов удерживает в воздухе воздушный парус, кайт. В потоке воздуха кайт поднимается вверх, как воздушный змей, а затем опускается вниз. В процессе этого движения вращается барабан и вырабатывается электроэнергия. В случае ненастья или изменения ветровых условий компьютер разматывает или сматывает

трос, поддерживая максимальную эффективность установки или оберегая кайт от поломок (iee.org.ua).



Такая конструкция ветряка имеет неоспоримые преимущества перед обычными ветровыми турбинами с вертикальными лопастями.

Такая конструкция ветряка имеет неоспоримые преимущества перед обычными ветровыми турбинами с вертикальными лопастями. Прежде всего, не надо строить дорогостоящую высокую опору, ориентируясь на максимальную силу высотных ветров. Кайт может подниматься на большую высоту и ловить ветер на высоте от 200 до 800 метров в зависимости от погоды, что обычному ветряку не под силу. SkySails также может использоваться и на морских судах – в качестве дополнительного источника энергии.



*Ветряная линза* (Япония, университет Кюсю) – направленное внутрь изогнутое кольцо, располагающееся по периметру окружности, описываемой лопастями турбины при вращении. Увеличивает мощность ветряной турбины втрое при одновременном уменьшении уровня шума, имеет наибольший потенциал использования в открытом море ([zaqw.ru](http://zaqw.ru); [energy-fresh.ru](http://energy-fresh.ru)).



*Подземная ветроэнергетика.* Анализ известных в мире конструкций ветроэлектростанций показывает, что страны-производители такого оборудования, при их разработке ориентируются на местные климатические условия и внутренние ресурсы. Если в ряде районов США или Западной Европы, где господствуют частые сильные ветра, строят ВЭС высотой более 100 метров и весом в несколько сотен тонн, то, к примеру, на Украине совершенно иначе подошли к решению проблем развития ветроэнергетики. Здесь совместно с учеными разрабатывают масштабную программу по перепрофилированию выводимых из разработки шахт, рудников и других подземных предприятий в энергетические станции. Согласно проекту, в горных выработках закрытых шахт будет размещаться каскад ветроэнергетических установок. Их должна приводить в действие естественная тяга воздуха, возникающая из-за разности температур на земной поверхности и в подземных тоннелях. При движении воздушных потоков по горным выработкам будет происходить их контактный нагрев за счет трения и тепла от горных пород. В результате повышения температуры объем воздушных масс увеличивается, плотность уменьшается. Так возникает однонаправленное движение воздушного потока по выработкам через вертикальные стволы на поверхность, создавая силовой привод

для ВЭС. Основное преимущество данного решения, по заявлению разработчиков, – постоянство ветра, независимо от времени года, суток и погодных условий, иными словами, такая ветроэлектростанция будет стабильно работать 365 дней в году. Такая схема подземной ветроэнергетики может быть использована и в условиях карагандинских шахт, где имеется множество закрытых горных выработок.

Возможен и другой вариант осуществления способа подземной ветроэнергетики, позаимствованный из практики бурения близко расположенных скважин, связанных между собой подземными каналами. В полевых условиях геологоразведки не раз приходилось наблюдать, когда в одной скважине происходит заметный забор воздуха извне, то из другой скважины, необязательно соседней, воздушный поток выходит с приличной скоростью. Для использования этого явления на практике на выбранной местности с учетом рельефных высотных отметок, направления вращения Земли, геологического строения недр и аэродинамической ситуации в обход водоносных горизонтов бурятся две скважины. Они закрепляются трубами и соединяются наклонным или горизонтальным промежуточным стволом, где размещаются теплопроводные материалы типа графитовых стержней на АЭС. Дальше, исходя из опыта, технологическими приемами на одной из скважин следует создать условия для отбора воздуха из атмосферы (всасывание), а устье другой скважины, где последовательно располагают турбинные ветрогенераторы, следует оснастить вытяжной трубой внушительной высоты. Воздушный поток, поступая из всасывающей скважины в промежуточный ствол в направлении вытяжной трубы, нагревается, и в силу значительного перепада температур и естественной тяги приобретает большую скорость, необходимую для вращения высокочастотных ветротурбин, вырабатывающих электрический ток.

Эффективность данной схемы может быть очень высокой, если промежуточный ствол будет проложен по пласту сухих горячих горных пород, залегающих в недрах земли, где температура достигает 150-300°C. Как и в шахтных условиях, подобная ветроэнергетическая установка, встроенная в горную среду, может стабильно работать в круглогодичном

режиме даже там, где не бывает ветра. Это новый уровень технологии освоения силы ветра, пока мало изученное направление развития ветроэнергетики. Но в том, что эта идея жизнеспособна и может внести колоссальные изменения в сферу энергетики в целом – сомнений нет. При существующем уровне буровой техники, сооружение сообщающихся скважин для подземных ВЭС не составит особого труда. В интересах обеспечения энергетической безопасности страны в будущем, повышения ее конкурентоспособности и экономической мощи, данное предложение должно стать объектом научных исследований, ставящих конкретные цели и задачи.

Приведем конкретный пример реализации идеи. Для создания перепада температур в воздушном потоке вход трубопровода окрашивают в светоотражающий белый цвет и располагают его в затененном месте. Оставшуюся часть трубопровода окрашивают в темный теплопоглощающий цвет и оснащают прозрачными фокусирующими линзами, где воздушный поток дополнительно нагревают солнечными лучами и теплом земли. Организуют наклонно-вертикальную тягу воздушного потока вверх и его выпуск из трубопровода без помех со стороны внешнего бокового ветра. При этом, турбинные ветрогенераторы будут расположены в полости наклонной и вертикальной частей трубопровода.

Кроме того, трубопровод снабжают впускными отверстиями, линейно совпадающими с осевой линией наклонной и вертикальной трубы, ориентируют относительно вектора «розы ветров», тем самым, еще больше увеличивается скорость направленного движения потока воздуха, обеспечивается его стабильность.

Даже представить трудно, какая невероятная эффективность может быть достигнута, если электрический ток будет вырабатываться из сжатого, упругого воздушного потока, движущегося со скоростью 30-50 м/с в ограниченном пространстве. То, что это реально, доказывают эксперименты по созданию и изучению искусственного потока ветра в трубопроводе.

С этой теорией согласны и зарубежные эксперты, которые отмечают дальновидность и техническую состоятельность предложенных идей,

способных изменить рынок ветроэнергетики в мире. Тем более, что, как бы не совершенствовались известные конструкции ВЭС, работающие по традиционной технологии на природном ветре, добиться значительного повышения их эффективности в принципе невозможно.(сайт [agroalem.kz](http://agroalem.kz)).

### ***Обзор разработок ветроэнергетических систем***

*С горизонтальной осью.* Компания Optiflame Solutions, реализующая проект по созданию нового поколения малых и средних ветрогенераторов закрытого типа в рамках “Сколково”, в конце 2011 года создала предсерийный образец установки для подготовки к промышленному производству ([fea.ru](http://fea.ru)).

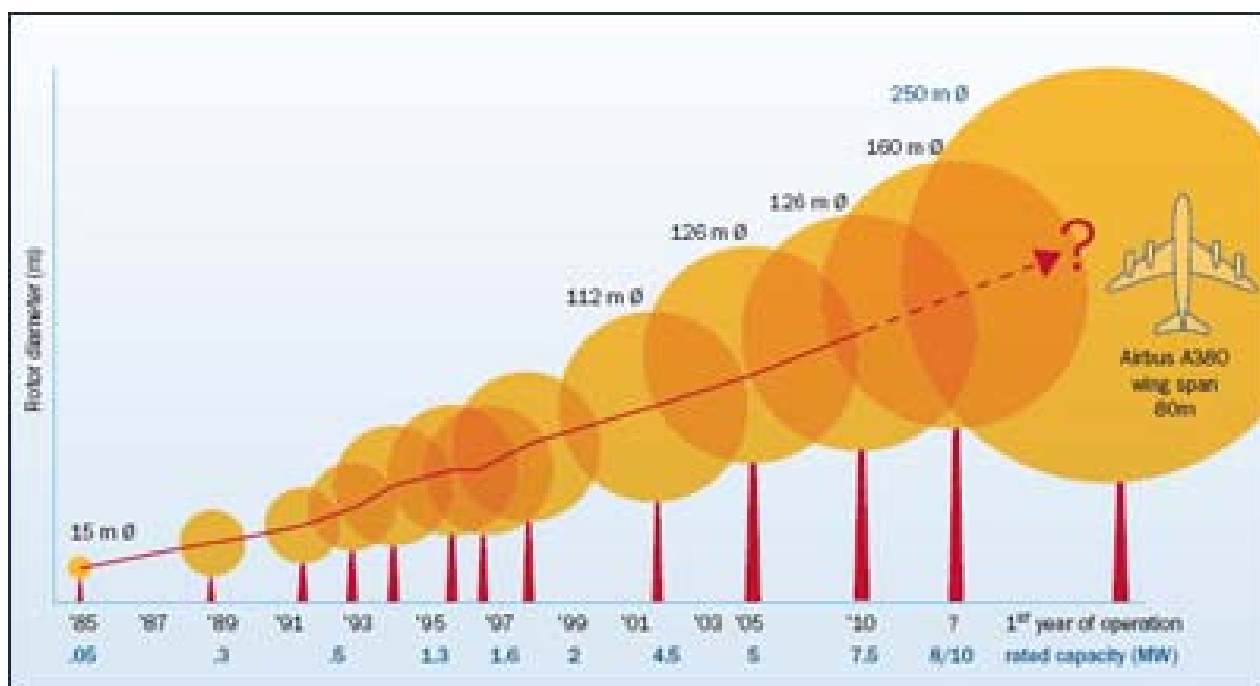


По словам руководителя компании, традиционные ветрогенераторы открытого типа обладают высоким уровнем потенциальной опасности и поэтому располагаются преимущественно в нежилых зонах на удалении. Ветрогенераторы закрытого типа оснащены турбиной наподобие самолетной, и их можно размещать в любых местах, например на крышах жилых или коммерческих зданий. Директор компании сообщил, что в этом году специалистами был сделан рабочий образец (1/2 кВт установочной мощности), который протестировали не только в аэродинамиче-

ской трубе, но на полигоне. Это уже не прототип, а предсерийный образец, практический готовый к промышленному производству. По его словам, еще одним важным результатом работы компании в 2011 году стали контакты с крупными мировыми компаниями, работающими в области альтернативной энергетики, такими как Electricite de France, которая является крупнейшей энергетической компанией Франции.

Новые ветряки с лопастями длиной в сотни метров смогут обеспечивать электроэнергией целые города и при этом сократят глобальные вредные выбросы на 14% на 1 квт·ч.

Ученые из цюрихского института IfU подсчитали, что средний диаметр коммерческих ветряков за последние 30 лет вырос в 10 раз: с 15 м в 1980 году до почти 150 м сегодня. На горизонте гигантские ветряки, которые будут иметь роторы до 300 и более метров в диаметре. Это не только станет качественным скачком в энергетике, но и снизит негативные последствия для глобального климата.



В рамках европейского проекта *UpWind* разрабатываются уникальные гигантские ветряки мощностью до 20 МВт. Первые прототипы огромных ветроэлектростанций с ротором диаметром более 240 м должны появиться уже в 2020 году. Для сравнения: в настоящее время самый крупный в мире ветряк компании *Enercon* имеет диаметр ротора 126 м и вырабатывает до 7,5 МВт.

UpWind будет использовать новейшие технологии. Так, его передовая конструкция на 10% снизит изгибающую нагрузку на лопасти, а усталостные нагрузки уменьшатся на 20-40%. Кроме проекта традиционного ветряка UpWind с тремя лопастями, существует проект оригинального восьмилопастного ветряка с совершенно новым принципом работы.

Данный ветряк устанавливается не на бетонную башню-опору, а на конструкцию из стальных балок, что упрощает монтаж. Ротор состоит из четырех длинных и четырех коротких лопастей, которые вращаются под воздействием ветра. При этом энергия вращения не идет напрямую на вал генератора, а толкает поршни, размещенные внутри лопастей. Поршни гонят воздух, который, в свою очередь, крутит турбину электрогенератора. Такая конструкция снижает вес оборудования, которое необходимо установить на верхушке опоры.

«Маленький» вариант такого ветряка будет иметь ротор диаметром 200 метров и вырабатывать до 18 МВт энергии. Более крупный ветряк с ротором диаметром 400 метров будет на 50% экономически эффективнее, чем любая существующая ветроэлектростанция. Таким образом, ветроэнергетика войдет в список «серьезных» мощных источников энергии, способных конкурировать с АЭС как по цене электроэнергии, так и по вырабатываемой мощности. Огромные мощные ветряки, расположенные в различных регионах страны, смогут бесперебойно обеспечивать экономику и население дешевой экологически чистой электроэнергией ([fea.ru](http://fea.ru)).

Компания Uprise Energy из Сан Диего предложила «портативное» решение для выработки энергии ветра – установку, которую можно без труда поместить в стандартном грузовом контейнере и смонтировать в любом месте без специального оборудования.

В настоящее время компания разрабатывает автономное устройство по производству энергии ветра мощностью 50 кВт, оснащенное портативной трансформаторной подстанцией (КТП). Согласно утверждению компании, ветровая установка будет способна производить электричество по конкурентоспособной цене, сравнимой с текущими ценами на ископаемое топливо.

Разрабатываемый трансформаторный блок вместе с ветровой установкой транспортируются на место в обычном грузовом прицепе и могут быть установлены всего за пару часов одним человеком. После установки и запуска ветровая турбина Uprise подключается к сети для получения водорода (или приведения в действие других устройств преобразования энергии), либо для хранения полученного электричества в аккумулялирующем устройстве. По словам компании, в турбине реализовано более 40 инновационных технологий преобразования энергии ветра в электричество.



Так, благодаря интеллектуальному программному обеспечению, установка постоянно отслеживает погодные условия и приспосабливается к максимальному захвату энергии от ветра. Турбина вращается на 360 градусов, с тем, чтобы быть всегда направленной по ветру, при этом скорость вращения лопастей настраивается в зависимости от скорости ветра. Если ветер слишком силен, в целях предотвращения поломки турбины компьютер автоматически останавливает ротор и складывает лопасти.

На данный момент портативная ветровая установка находится в стадии разработки, но нельзя не признать, что возможность производить энергию ветра в любом месте выглядит очень заманчивой, передает [cheburek.net](http://cheburek.net).

Японская химическая компания Asahi Kasei Plastics North America в настоящий момент сотрудничает с компанией Unified Energies International, чтобы разработать ветротурбину Windstrument. Целью проекта является обеспечение всего мира доступной возобновляемой энергией. Ведь, как правило, ветряки представляют собой гигантские несуразные вентиляторы, не только уродующие прекрасный природный или даже городской пейзаж, но и обладающие огромными размерами, поэтому всегда существует проблема с выбором места для их размещения.



Этот ветряк с лопастями нетрадиционной формы конического геликоида разработан для использования в целях обеспечения энергией как жилых помещений, так и крупномасштабных коммунальных проектов, в том числе и целых общин, промышленных центров и сельскохозяйственных групп ([econet.ua](http://econet.ua)).



Система, предназначенная для установки на крышах или на столбах, является доступной, бесшумной, мощной, безопасной для птиц и расширяемой. Причем для установки этого ветряка нет необходимости в специальной технике, так как диаметр ветряка составляет всего 1,27 м при массе 5,4 кг. Зато ветрочувствительность значительно выше, чем в стандартных ветряках: минимальная скорость ветра, необходимого для выработки электричества составляет 0,9 м/с.

Устройство прошло обширное тестирование в аэродинамической трубе Jacobs/Ford в Детройте и полевые испытания в течение более 3 лет в одних из самых суровых климатических условий на Земле. Согласно полученным данным средняя мощность ветротурбины равна 1,2 кВт при пиковой мощности в 3,2 кВт (однако для этого нужна скорость ветра примерно 76,4 м/с), передает econet.ua.

Компания Siemens решила, что было бы неплохо применить для лопастей ветрогенераторов некоторые наработки, уже использующиеся в авиации. По сути, между лопастью ветряка и крылом самолёта не очень большая разница. Однако если авиация уже давно борется со срывом потока, то у ветряков в этом смысле всё ещё впереди. Как и у вертолётчиков, скорость воздуха на концах лопастей очень высока. Поэтому там он и срывается, снижая подъёмную силу лопасти и КПД ветряка. Ну и, конечно, создавая излишний шум.

Три изменения в конструкции лопастей, предложенные немецким концерном, призваны решить именно эту проблему. DinoTails представляет собой края лопастей, казалось бы, неправильной, зазубренной, «шипастой» формы. За счёт затруднения срыва потока с них шумность новых лопастей становится меньше, а среднегодовая выработка энергии увеличивается. Лопастей, изготовленные по технологии DinoShells, просто продлеваются до основного ротора, создавая большую поверхность, срыв потока с которой также не столь прост. Наконец, третьим предлагаемым новшеством стал турбулизатор, ранее не применявшийся в ветротурбинах. Его задача – создание искусственных возмущений в воздушном потоке, обтекающем лопасть, с целью его дестабилизации и смещения вверх по потоку точки перехода ламинарного течения в турбулентное.

По обещаниям инженеров, внедрение всех трёх решений способно повысить общую среднегодовую выработку электроэнергии ветряной турбины на 1,5%. Хотя цифра может показаться небольшой, в случае внедрения в мировом масштабе она означала бы рост ветровой генерации на 6,45 млрд кВт•ч (Ecoenergy).

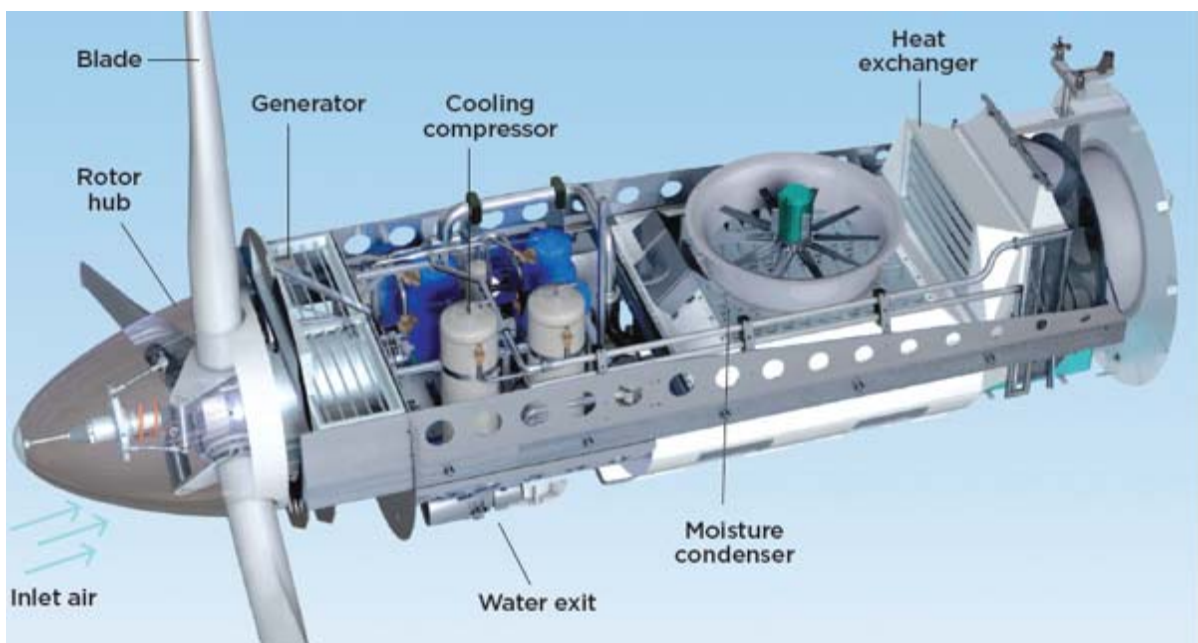
Инженер Рэймонд Грин, штат Калифорния, представил рабочий прототип ветровой турбины без лопастей, которая абсолютно безопасна для птиц и летучих мышей и в то же время практически бесшумна в работе. Как считает автор, дальнейшее развитие прототипа приведет к созданию ветровых турбин самых различных размеров, от небольших «домашних» моделей до полномасштабных версий, которые могут устанавливаться на ветровых электростанциях.

Устройство, получившее название Compressed Air Enclosed Wind Turbine (Капсьюльная Ветровая Турбина на Сжатом Воздухе) весит всего 45 фунтов (20 кг) и имеет размеры 12 дюймов (30 см) в диаметре в самой узкой части и 31 дюймов (78 см) в диаметре в самой широкой части. Как говорит разработчик, в отличие от традиционной трехлопастной турбины, которые могут причинить вред птицам и летучим мышам при вращении с большой скоростью, новый прототип не имеет внешних движущихся частей, а лопасти расположены внутри капсьюльной конструкции.



Используемая в ветрогенераторе запатентованная технология сжатия воздуха внутри конуса «Inner Compression Cone» создает воздушную тягу через широкий вход в более узкий выход, где установлены турбинные лопасти. Автор утверждает, что это устройство может производить вдвое больше электроэнергии, чем обычная ветротурбина, даже если оно установлено близко к поверхности земли. Та же технология сжатия воздуха внутри конуса позволяет сделать лопасти значительно короче, чем обычно используются в традиционных ветровых турбинах такого же размера. Это способствует значительному снижению уровня шума при работе. Согласно оценкам разработчика, ветровая турбина, работающая по технологии сжатия воздуха, имеет себестоимость примерно 550 долларов США. В настоящее время инженер в сотрудничестве с компанией Sigma Design занимается коммерциализацией устройства для выхода на потребительский рынок. Как ожидается, процесс совершенствования прототипа и выведения его в массовое производство займет около двух лет, передает [cheburek.net](http://cheburek.net)

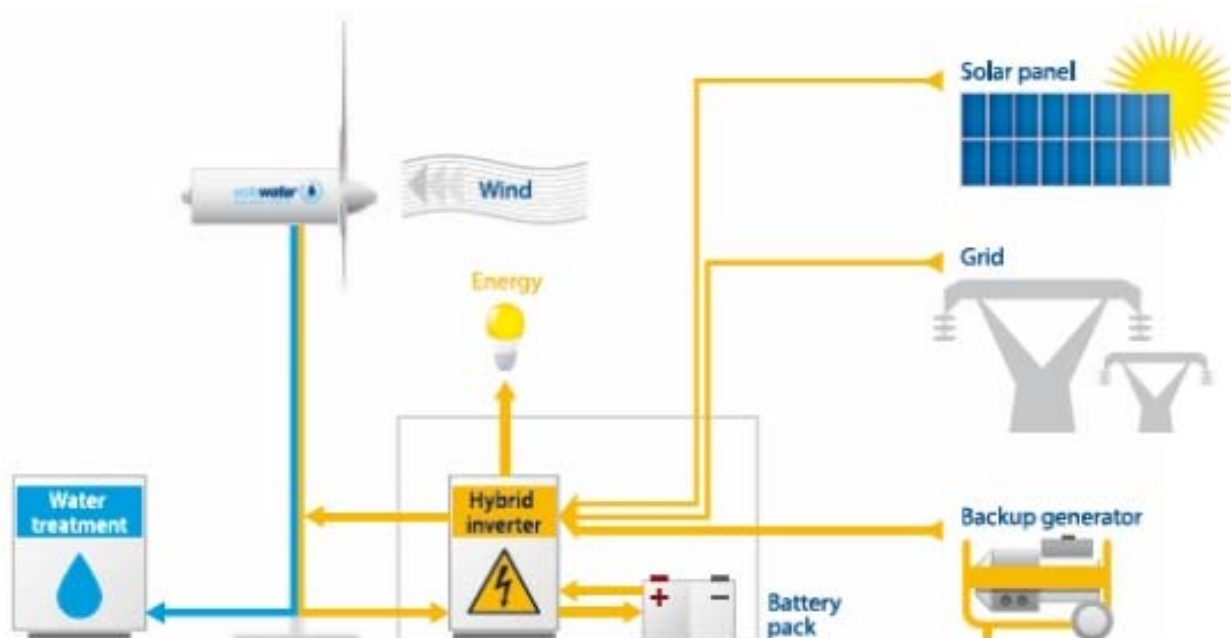
Французская компания Eole Water объявила о начале коммерциализации своей системы опреснения воды, построенной на основе модифицированной ветряной турбины WMS1000. Установка может стать очень популярной в удалённых и засушливых районах ([science.compulenta.ru](http://science.compulenta.ru)).



WMS1000 – гибридная ветряная турбина и огромный осушитель воздуха. Во время испытаний в ОАЭ была показана даже большая эффективность, чем предполагали конструкторы. (Здесь и ниже иллюстрации Eole Water.)

WMS1000, как следует из названия, способна производить до 1 000 литров чистой питьевой воды в сутки в нормальном климате. Её мощность составляет 30 кВт, высота – всего 24 м, а размах лопастей – какие-то 13 м. Иными словами, это небольшая турбина, что позволило сделать её складной (на случай ураганов).

Кроме собственно ветровой энергии, турбина использует для выработки воды компрессоры, обычно применяемые в осушителях воздуха и холодильниках. По мере забора наружного воздуха он охлаждается и сжимается, в процессе чего содержащиеся в нём водяные пары конденсируются в воду, которая достаточно чиста, чтобы её можно было пить. Для сбора и хранения воды Eole Water предлагает использовать пластиковые ёмкости любых сторонних производителей. Неравномерность выработки энергии при помощи ветра при наличии накопителя будет не очень важна, так как конечный потребитель её не заметит.



Установку добычи воды из воздуха можно подключать к фотоэлементам, обычной электросети или аварийному дизель-генератору. Чтобы

снизить количество пыли в воздухе, попадающем в компрессор, на входном отверстии устанавливаются первичные фильтры, которые периодически нужно будет продувать воздухом.

Хотя производитель и отмечает, что результативность процесса получения воды из воздуха будет меньшей в более сухих и пустынных регионах, во время испытаний, которые с ноября 2011 года ведутся в Муссафахе (ОАЭ), получены не такие уж и плохие результаты. В час при средней влажности в 45% и средней температуре в 24 °С установка вырабатывала 62 л воды. Суточная производительность, таким образом, составила рекордные 1 490 л, а годовая (расчётная) – более 543 тыс. л. Правда, следует учесть удачное сочетание близости моря и относительно постоянных ветров в этом регионе. Качество получаемой воды оказалось значительно выше норм ВОЗ для питьевой воды. Поэтому местные заказчики уже приняли решение о переходе к постоянной работе WMS1000 с июня 2012г.

Проблема пока только в цене: установка с оценочным ресурсом в 30 лет стоит \$700 тыс. Для нефтяных шейхов это копейки, а такие действительно нуждающиеся территории, как Западная Сахара и пр., подобными средствами, конечно, не располагают. Впрочем, Eole Water обещает снизить цены по мере развёртывания массового производства ([science.compulenta.ru](http://science.compulenta.ru)).

Норвежские инженеры предложили концепт очередного оффшорного ветрогенератора большой мощности, который не требует фундамента. Ветряные турбины пропеллерного типа выгодно строить высокими, поскольку с увеличением высоты скорость ветра (следовательно, и мощность установки) растёт в геометрической прогрессии. Но для того чтобы разместить 100-метровый генератор на 2 МВт в паре десятков километров от берега (где ветра, понятно, злее, чем на суше), нужно потратить уйму денег на транспортировку и сооружение фундамента ([gizmodo.ru](http://gizmodo.ru))..

Норвежский стартап WindFlip намерен удешевить постройку, предлагая укладывать готовый ветряк мощностью 2,5–6 МВт на баржу длиной 100 м и шириной 30 м. Турбину, надёжно прикреплённую к барже, можно отбуксировать к нужному месту со скоростью до 15 км/ч, после

чего 29 цистерн внутри всё той же баржи заполняются 17 кубометрами воды и генератор переворачивается, занимая вертикальное положение и становясь похожим на поплавок.



Затем баржа отделяется от перевезённого объекта, который продолжает держаться на воде, а в её баки закачивается воздух. После этого она готова отправиться за следующим ветряком.

Плавающие ветряные фермы неоднократно предлагались и ранее. Но разрабатываемые варианты мегаваттной мощности обладали массивными платформами, которые по стоимости не сильно уступали стационарным и были призваны лишь обеспечить подвижность. Возможно, поэтому ни один из проектов так и не был реализован в полной мере. Установки WindFlip могут компенсировать этот недостаток; остаётся дождаться инвесторов, которые возьмутся за воплощение идеи, передает [gizmodo.ru](http://gizmodo.ru).

Как и любой другой источник альтернативной энергии, оффшорные ветряные турбины имеют свои преимущества и недостатки. К последним можно отнести сложности в установке и техническом обслуживании, дорогостоящее производство узлов и механизмов и многое другое. Но компания Siemens, похоже, преодолела эти недостатки в своей новой ветро-

вой турбине под названием Turbina Sapiens. Новая установка мощностью в шесть мегаватт использует на 50 процентов меньше деталей, чем другие турбины, существующие сегодня на рынке.

Благодаря использованию запатентованной технологии прямого привода, которая легко управляет потоком энергии, компания смогла значительно повысить общий объем производства электричества. Кроме того, Siemens удалось уменьшить массу башни, на которую устанавливается ветровая турбина, до 350 тонн, что позволит значительно сократить строительные-монтажные и эксплуатационные затраты.

Сама конструкция ветровой турбины отличается компактностью и простотой, за счет замены основного вала, коробки передач и высокоскоростного генератора одним низкоскоростным генератором, в котором использовано на одну треть меньше механизмов трансмиссии. Роторы имеют литой корпус, а гондолы, в которых располагаются основные узлы энергосистемы, представляют собой автономное устройство, которое обеспечивает среднюю мощность напряжения на сетке. Это позволяет до установки на море предварительно подключить турбину к электросети на суше.

В новой ветровой турбине компания также внедрила смарт-технологии, которые позволили решить многие другие проблемы, имеющие место в традиционных ветровых установках. Среди них можно отметить технологию согласования сети, мониторинг состояния турбины и интеллектуальное управление нагрузкой и сильным ветром.

Таким образом, многолетний опыт в ветроэнергетике позволил Siemens разработать более доступную и легкую в техническом обслуживании турбину, которая идеально подходит для использования в оффшорных электростанциях ([cheburek.net](http://cheburek.net)).

*С вертикальной осью.* Государственный комитет оборонной промышленности Белоруссии завершает испытания нового вертикального геликоидного ветрогенератора. Об этом Rencentre сообщил исполнительный директор Ассоциации альтернативной энергетики Белоруссии в ходе конференции CISolar-2012 в Одессе ([rencentre.com](http://rencentre.com)).



Установленная мощность турбины составляет 4 кВт, а коэффициент использования энергии ветра – более 30%. Отмечается, что новая турбина идеально подходит для установки в городских условиях – на жилищных, административных зданиях, спортивных сооружениях, передает [rencentre.com](http://rencentre.com).

Дизайнер Терри Глен Фиппс разработал ветрогенератор Enessere Hercules с новым интересным дизайном ([cheburek.net](http://cheburek.net)). Действительно, 23-футовая турбина Enessere Hercules с вертикальной осью, имеющая лезвия изогнутой формы, больше похожа на скульптуру, чем на обычную ветровую установку. Кроме того, благодаря такому дизайну, она может использовать энергию ветра, дующего в любом направлении.

Конечно, турбина Enessere Hercules не может похвастаться большой мощностью, как ветровые турбины на ветровых электростанциях в районе Великих равнин. Зато функциональность и компактность позволяет использовать ее в городских условиях, например, на крышах жилых домов или административных зданий. Как утверждает разработчик, устройство имеет пиковую мощность 3 киловатт. Деревянные лезвия, использованные в турбине Enessere Hercules, были разработаны инженером, специалистом по дереву Ренато Геррой. Они весят чуть больше, чем лезвия из композитных материалов, устанавливаемые на традиционные ветровые турбины.





Элегантный дизайн, эстетическая привлекательность, компактность и производительность, достаточная для питания одного среднего домохозяйства – ветровая турбина Enessere Hercules может стать отличной альтернативой обычным ветровым установкам в ограниченном пространстве современных городов, передает [cheburek.net](http://cheburek.net).

Компания Harvistor из Онтарио, Канада, представила новый дизайн ветровой турбины с вертикальной осью (VAWT) под названием DARWIND5. Согласно результатам тестирований, проведенных компанией, новая ветровая установка может выработать на 35 процентов больше киловатт-часов, чем существующие аналогичные установки других производителей. Кроме того, она может функционировать на более низких высотах, чем такие же по цене аналоги, представленные лидерами рынка ветроэнергетики.

Дизайн ветротурбины DARWIND5 базируется на конструкции установки Дарье, еще известной как «взбивалка». Однако, благодаря использованию лопасти несущего винта новой геометрической формы, был изменен весь аэродинамический профиль, что позволило роторной системе полностью избежать помех в работе при изменении направления ветра.



С другой стороны, благодаря новой аэродинамической форме, каждый ротор имеет большую ударную силу. Во время вращения подъемная сила дважды меняет свое направление – сначала удаляясь от вала, затем двигаясь по направлению к валу – тем самым продлевая удар. При этом все силовые процессы происходят на наветренной стороне турбины, поэтому не влияют на работу турбины. Это позволяет избежать отдельных пиков крутящего момента, которые являются одной из основных причин поломок ветровых турбин. Что же касается характеристик мощности, компания отмечает, что ветровая турбина DARWIND5 с рабочим диаметром в 1,2 метра может вырабатывать от 0,5 до 1,5 кВт энергии, захватывая потоки ветра на скорости от 4 до 24 метров в секунду. Конструкция не нуждается в тормозной системе, поскольку может самостоятельно регулировать верхние пределы RPM (до настоящего времени невозможность регулировки максимальной скорости вращения лопастей была одной из основных конструктивных проблем ветровой турбины с вертикальной осью). Ну а консольный вариант крепления DARWIND5 существенно облегчает техническое обслуживание ветровой турбины.

Еще одно преимущество новой ветротурбины – это малая высота, на которой она может работать – примерно на треть ниже, чем обычно располагаются гондолы ветровых турбин с горизонтальной осью. Все это делает DARWIND5 не только более эффективной, но и более привлекательной внешне.

Компания Mass Megawatts Wind Power решила выбрать необычный подход к процессу создания ветрогенераторов, работающих при низкой скорости ветра. Инженеры разработали проект ветряка с многоосевыми турбинами (Multi-Axis Turbo system; MAT) и так называемой "системой интенсификации (функционального дополнения)" (MMW Augmenter). По словам создателей новинки, новые технологии позволяют увеличить скорость ветра, поступающего к турбинам и утроить выходную мощность ветряка. Демонстрационный ролик, иллюстрирующий работу прототипа, вы можете найти в конце статьи.

Представители компании Mass Megawatts Wind Power (MMWP) из города Вустер, штат Массачусетс (США), говорят, что объединив системы MAT и MMW Augmenter воедино, им удалось создать технологию производства электроэнергии из возобновляемых источников, которую очень выгодно использовать в регионах, для которых характерны относительно невысокие скорости ветра. Они также отмечают, что новый ветряк способен на порядок увеличить генерирующие мощности в ветреных регионах.

Система интенсификации ветряного потока использует довольно простое и недорогое устройство фокусировки ветра для увеличения его скорости. Специалисты Mass Megawatts Wind Power утверждают, что их разработка позволит энергетическим компаниям забыть о необходимости возведения башен высотой более 25 метров, которые нужны для работы ветряных турбин в некоторых областях. Это в свою очередь приведет к сокращению расходов на материалы и оборудование, а также ускорит процесс производства и монтажа ветряков.

По словам представителей компании, работа над новой системой MMW Augmenter близится к завершению. Они планируют создать прототип с использованием MMW Augmenter и MAT в самое ближайшее вре-

мя. Ветряк будет применяться для тестирования, сбора и анализа данных, передает energysafe.ru

Учёные из Национальной лаборатории Сандия (США) разрабатывают ветрогенераторы с вертикальной осью вращения для оффшорных электростанций, обещая сделать их более дешёвыми и эффективными, чем обычные. А тем временем разработчики из Ehmberg Solutions (Швеция) уже создали прототип такого генератора.



Одна из основных проблем ветряных турбин с вертикальной осью вращения – внушительный диаметр. Если у обычной горизонтальной ветротурбины он должен быть около 90 м, чтобы выдавать на-гора мегаватт и более, то вертикальной такой же мощности предписано иметь около 270 м. Даже изготовить такого монстра – уже проблема.

Однако, отмечают американцы, этот недостаток в значительной степени является и преимуществом. Обычный ветряк имеет определённый угол установки лопастей, и в зависимости от скорости ветра они меняются, иначе эффективность турбины падает. Это ограничивает потенциальный размер горизонтальной ветровой турбины, поскольку её лопа-

сти чувствительны к разному направлению и скорости ветра и в нижней части своей траектории, и в верхней: угол установки лопастей, оптимальный вверху, уже не будет таким внизу. Учитывая, что нынешние горизонтальные турбины могут иметь зону ометания высотой в 100 м, больше по размерам их уже не сделать: начнёт падать эффективность.

Вертикальная ветряная турбина таких ограничений не имеет: её эффективность не зависит от направления и скорости ветра. А угол установки лопастей не нуждается в регулировке, он сам постоянно меняется при повороте лопастей вдоль вертикальной оси.

Для обычного ветрогенератора понадобится массивная мачта, фундамент на морском дне и огромный плавучий кран для установки и ремонта. А вот для конкурента с вертикальной осью вращения – нет.

Другим важным преимуществом проектируемой лабораторией системы называется её повышенная устойчивость, что принципиально для оффшорной ветроэлектростанции. Как оказалось, при вращении вокруг оси (опоры) она сама стабилизирует себя, словно волчок или юла. И чем сильнее дует ветер, тем мощнее стабилизирующее вращение вертикальной турбины. Поэтому даже в шторм ей почти не грозит опрокидывание, и погружаемая часть не должна, в отличие от горизонтального ветряка, касаться опорой дна. Иными словами, вертикальный ветряк плавуч, он вовсе не вкопан в морское дно. Даже якорные тросы ему нужны лишь затем, чтобы избежать дрейфа и сноса. Таким образом, отмечают инженеры, прорабатываемая ими конструкция оффшорных электростанций не только окажется менее громоздкой и более дешёвой, чем у существующих горизонтальных ветротурбин, но и сможет продвинуться дальше в море. Ведь ей не обязательно размещаться лишь на самой малой глубине: заякориться ветряк может и там, где обычный потребует опоры колоссальной длины, а потому обойдётся в копеечку.

Оффшорные ветряки с вертикальной турбиной прорабатываются не только в США. Шведский стартап Ehmberg Solutions уже испытал малоразмерный (десятиметровый) прототип такой конструкции. Как оказалось, стабилизирующий эффект вращения позволяет ему спокойно работать при ветре до 19 м/с. Изюминкой проекта является система аккумуля-

ляции энергии – на тот случай, если у ветра вдруг случится затишье. Дело в том, что вся нижняя подводная часть SeaTwirl также вращается (кроме генератора и якорей). Естественно, она, как ложка в стакане чая, при разгоне до максимальной скорости закручивает морскую воду вокруг себя. При затишье эта морская вода замедляется очень медленно, попутно не давая затормозиться ветряной турбине, которая продолжает крутиться уже без ветра. При этом, по расчётам шведов, одна полноразмерная турбина (высотой в 210 м) мощностью в 10 МВт запасает 25 000 кВт•ч — два с половиной часа собственной пиковой выработки. Да, некоторых потерь КПД на вращении воды при разгоне турбины не избежать, но они невелики (1–2%) и значительно меньше издержек на создание альтернативных энергонакопительных мощностей на суше, передает News

Еще в 2010 году британская компания Wind Power Limited разработала совершенно новый тип ветровой турбины, которая получила название Aerogenerator. А недавно стало известно, что компания выпустила ветровую турбину следующего поколения Aerogenerator X, которая может вырабатывать в два раза больше электроэнергии, но при этом вся конструкция весит в половину меньше оригинальной ветровой турбины от Wind Power.

Согласно утверждению компании-разработчика, Aerogenerator X представляет собой единственное реальное альтернативное решение, которое поможет Великобритании сделать оффшорную ветровую энергетику надежной и экономически эффективной. Оригинальная модель ветротурбины имела размах лопастей 275 метров и могла производить десять мегаватт электроэнергии. В отличие от нее, новая ветротурбина имеет в половину меньшую высоту, а вес ее сосредоточен в основе конструкции.

Aerogenerator X стал результатом 18-месячного анализа технико-экономической целесообразности ветротурбины, проведенного университетом Гранфилда, компанией QinetiQ, университетом Стратклайда и разработчиком Wind Power Limited. Далее компания предполагает подписать Меморандум о взаимном сотрудничестве с группой Agip для того, чтобы успешно продолжить разработку проекта.



Как заявил, начальник отдела энергетики на Агир, несмотря на установку ряда крупных оффшорных ветровых турбин, проблемы снижения капитальных затрат на строительство в глубокой воде остаются нерешенными, так же как и вопрос о безопасности работы в морской среде. По его мнению, ветровая турбина с горизонтальной осью вращения Aerogenerator X является ярким примером более экономичного и практичного решения для поднятия в Великобритании роли оффшорной электроэнергетики а общем сегменте энергетической отрасли. Кроме того, снижение затрат на строительство и техническое обслуживание будет способствовать сокращению выбросов парниковых газов в атмосферу.

*Другие разработки в области ветроэнергетики.* В рамках проекта Future Factory университета Ноттингем Трент разрабатывается новый тип ветрогенератора. Как утверждает проектировщик, его установка, получившая название Wind Harvester, работает практически бесшумно и генерирует электричество даже при низких скоростях ветрового потока, что делает ее идеальной для использования домовладельцами и фермерами. Wind Harvester имеет две горизонтальные лопасти аэродинамической формы длиной всего 1 метр и работает установка всего в пол-метре от земли, поэтому она может быть размещена практически в любом месте, там, где нельзя использовать традиционный ветрогенератор – на склонах холмов или около жилых, административных зданий и сельскохозяйственных построек (источник: [ecofriend.com](http://ecofriend.com)).



Принцип действия Wind Harvester основан на возвратно-поступательном движении. Горизонтальная лопасть ловит ветровой поток и под действием силы ветра поднимается вверх. При достижении определенной высоты угол расположения лопасти меняется, и она движется вниз - процесс повторяется в другую сторону. Такая конструкция позволяет генерировать электричество даже при низких скоростях ветрового потока. А при высоких скоростях ветра Wind Harvester более устойчив, чем обычный ветрогенератор. Кроме того, установка может быть масштабируема до длины лопастей около 15 метров.



В зависимости от погодных условий, ветровые турбины могут функционировать при различной интенсивности ветровых потоков - от лёгкого бриза до ураганных порывов. Однако изменение метеорологических условий постоянно создаёт проблемы при эксплуатации оборудования, поскольку довольно часто возникают сложности с обеспечением регулярного контроля за эффективностью работы лопастей. Исследователи из Китая предлагают решение существующей проблемы, которое предполагает внедрение в системы контроля за функционированием ветровых турбин системы искусственного интеллекта, предусматривающей возможность запоминания определённых метеорологических факторов.

Большинство современных аналогов ветровых турбин сконструированы по системе, которая предполагает производство максимально допустимого объёма энергии в периоды, когда ветры достигают определённой скорости. В случае, если ветры имеют интенсивность, которая ниже или выше установленной нормы, системы контроля могут вносить определённые изменения в работу оборудования, такие как, например, изменение угла направленности лопастей или регулирования генератора.

В соответствии с разработанной специалистами системой контроля, ветровые турбины с помощью установленной программы “запоминают” показатели прошлого опыта управления и используют данный опыт для внесения коррекций в работу оборудования. В итоге, система позволяет своеобразное самообучение, которое обуславливает отсутствие необходимости в постоянных вычислительных процессах, характерных для традиционных систем.

Энергия ветра является одним из самых важных видов возобновляемых источников энергии. Для того, чтобы использовать внутриконтинентальный ветер как можно более эффективно, необходимо точно определить оптимальное расположение и размеры турбин. 200-метровая башня, недавно построенная в Германии для измерения силы ветра, обеспечит ученых точными данными, которые могут быть использованы для прогнозирования «урожая» энергии.

Решение было принято правительством Германии в рамках программы преобразования энергической отрасли и поэтапного отказа от

ядерной энергетики. Программа предусматривает расширение производства не только солнечной, но и ветровой энергии, причем преимущественно за счет внутриконтинентальных ветровых электростанций. Как считают в институте Фраунгофера по энергии ветра и системной энерготехники IWES (Кассель), внутриконтинентальный ветер обладает огромным потенциалом в качестве альтернативного источника энергии, который до сих пор в полной мере не используется, например, в низких горных хребтах.

Для того, чтобы управлять ветровой электростанцией как можно более эффективно, проектировщики должны заранее знать средние показатели скорости и силы ветра на конкретном участке, а также просчитать показатели турбулентности. Используя обычные методы, это практически невозможно сделать. При проведении анализа условий необходимо учитывать также наличие лесов и холмов, так называемого «сложного рельефа», который оказывает значительное влияние на скорость и силу ветра, даже на больших высотах. Возведенная 200-метровая измерительная башня - это самая высокая башня в Европе. Она оснащена ультразвуковыми анемометрами, которые записывают в реальном времени скорость и направление ветра для получения пространственного изображения турбулентности. Приборы также будут измерять и другие метеорологические факторы, такие как атмосферное давление, влажность и температура, количество осадков и солнечная активность. Таким образом, ученые смогут определить влияние этих параметров на скорость и силу ветра. Эти данные также помогут в определении соответствующих размеров ветровой турбины, что позволит значительно сэкономить на расходах ([cheburek.net](http://cheburek.net)).

Будущим альтернативной энергетике по праву считается энергия ветра, но не все так гладко и экологически идеально в производстве ветряных машин. Ахиллесова пята этой быстрорастущей индустрии – физические компоненты ветрогенераторов, которые изготавливаются из нефтяных смол и в конечном итоге оказываются на свалках. Чтобы положить конец этой расточительности, Национальный Научный Фонд выделил UMass Lowell грант в размере \$1 900 000 для решения гигантской

проблемы ветроэнергетики путем создания биоразлагаемых лопастей. Для конструирования новых ветрогенераторов они планируют использовать «полимеры на биологической основе», примером которых является растительное масло. Одна из трудностей состоит в том, что необходимо проверить, могут ли эти экологически дружелюбные лопасти выдерживать суровые погодные условия и при этом иметь конкурентоспособные цены.

Ветроэнергетика на сегодняшний день является самой быстрорастущей отраслью среди альтернативных источников энергии. За последние двадцать лет эта область превратилась из экзотического явления в стремительно развивающееся направление, где разработаны более эффективные и надежные технологии, стоимость которых за десять лет снизилась почти вдвое, что позволило наладить их коммерческое производство. Современная ветровая турбина способна производить электричества в 180 раз больше, чем 20 лет назад, а стоимость оборудования на единицу продукции (кВт/ч) за эти годы упала более чем вдвое.

Согласно данным Международного энергетического агентства, затраты на установку ветровых электростанций составляет в среднем 1250 долл. США за кВт, таким образом, по сравнению с двадцатилетней давностью стоимость ветровой энергии снизилась с 0,8 долл. США за кВт/ч до 0,04. Благодаря быстро развивающимся технологиям и повышению производительности общая стоимость ветровой энергии продолжает снижаться. Более того, формирование ветровой энергетики как самостоятельной отрасли положительным образом сказывается на экономическом развитии современного общества. Совет по ветровой энергии оценил уровень занятости в секторе ветровой энергетики в объеме примерно 350 000 человек.

В области проведения научных исследований и усовершенствования технологий, лидирующие позиции также занимают Европа и Северная Америка. Однако в последнее время в этом направлении активно работают такие развивающиеся страны, как Китай, Индия и Бразилия. Стоит заметить, что на азиатском рынке ветровой энергетики на сегодняшний день наблюдается тенденция к стремительному росту, чему способствуют проведение постоянных исследований и государственная поддержка. Европа вот уже на протяжении нескольких лет является постоянным лидером на рынке ветроэнергетики, не смотря на то, что ее доля с

каждым годом снижается за счет развития данного направления на других континентах. Ежегодно мощность энергии, полученной из ветра, в Европе увеличивается на 30%, а рынок соответствующего оборудования - на 25%. Менее интенсивно ветроэнергетика развивается в Африке. В основном энергетический потенциал ветра используется в северной части континента. Марокко, Тунис и Египет представляют тройку стран-лидеров в этой части света по установленной мощности ветростанций.

Оценка глобального потенциала ветровой энергии на поверхности Земли составляет около 1200 ТВт. Ветроэнергетика присутствует сегодня в более чем 79 странах, из которых 24 страны имеют более 1 ГВт установленной ветроэнергетической мощности.

Согласно Отчету Global Wind Energy Council (GWEC) в 2012 году в мире было установлено около 44,8 ГВт новых мощностей ветроэлектростанций. Суммарная установленная мощность ветроэлектростанций в мире в 2012 году составило более 282,5 ГВт. В 2012 году темп роста ветроэнергетики составил 19%. Все ветровые турбины планеты, которые были установлены на конец 2012 года, могут сгенерировать 580 ТВт-ч в год, что составляет более 3% общего спроса на электроэнергию.

В 2012 г. на Азию приходится наибольшая доля новых объектов (36,3%); за ней следует Северная Америка (31,3%) и Европа (27,5%). Латинская Америка (3,9%) и Австралия/Океания (0,8%) имеют намного меньшие доли. В Африке (0,2%) ветроэнергетический рынок все еще остается на очень низком уровне. По развитию отрасли, Латинская Америка и Восточная Европа продолжают быть наиболее динамичными регионами в мире, в то время как Африка показала стагнацию.

В 2012 году 10-ю ведущими странами в области ветроэнергетики было установлено почти 86% мировых мощностей ветроэлектростанций. На Китай, США и Германию приходится 60% установленных мощностей ветроэлектростанций.

Согласно отчету GWEC прогнозируется незначительный спад роста отрасли в 2013 году, однако уже в 2014 году ожидается полное «выздоровление» отрасли. По прогнозам GWEC лидером по приросту ежегодных новых установленных мощностей ветроэлектростанций в ближайшие

5 лет будет Азия, которая в 2013 году установит около 19 ГВт, а в 2017 – около 25,5 ГВт. Европа в 2013 году установит около 10 ГВт новых мощностей ветроэлектростанций, а в 2017 году – около 15 ГВт. Северная Америка в 2013 году установит около 6,5 ГВт ежегодных новых мощностей ветроэлектростанций, а в 2017 году – около 13,5 ГВт.

До 2017 года среднегодовой рост ветроэнергетической мощности мировой ветроэнергетики составит 13,7%; а суммарная мощность достигнет 536 ГВт. По прогнозам GWEC в 2017 году лидерами по суммарным установленным мощностям ветроэлектростанций будет Азия – более 200 ГВт, Европа - около 175 ГВт, Северная Америка – около 120 ГВт.

Всемирная ветроэнергетическая ассоциация (WWEA) ожидает, что уже к 2016 году мировая мощность ветроэлектростанций составит более 500 ГВт, а в 2020 году возможно достичь отметки 1000 ГВт. Максимальный рост предполагается в Китае, Индии, Северной Америке. Привлечет внимание инвесторов Латинская Америка и Южная Африка.

Инвестиции в ветроэнергетику в 2012 году составили 60 млрд. евро. (\$75 млрд.). Согласно умеренному сценарию Глобального совета по ветроэнергетике (GWEC) годовые инвестиции в ветроэнергетику достигнут 90 млрд. евро к 2020 году и 115 млрд. евро к 2030 году. Согласно оптимистическому сценарию GWEC годовые инвестиции в ветроэнергетику достигнут 154 млрд. евро к 2020 году и 170 млрд. евро к 2030 году.

По прогнозам GWEC согласно умеренному сценарию цена установленной ветроэнергетической мощности составит около 1200 евро/кВт к 2020 году и около 1168 евро/кВт – к 2030 году; согласно оптимистическому сценарию цена установленной ветроэнергетической мощности составит около 1147 евро/кВт к 2020 году и около 1137 евро/кВт – к 2030 году.

По оценкам Украинской ветроэнергетической ассоциации (УВЭА), учитывая текущее состояние электросетей и подстанций, обоснованный технический потенциал украинской ветроэнергетики составляет не более 7-8 тыс. МВт при производстве 20 тыс. млрд. кВт-ч, что всего будет достигать 12% производства электроэнергии в Украине.

Украина в 2012г. установила почти 126 МВт новых ветроэнергетических мощностей, что повысило общую установленную мощность до уровня 277 МВт. В 2012 году все ветроэлектростанции Украины произвели около 246 тыс. МВт-ч электроэнергии. По темпам роста строительства ветроэлектростанций Украина вышла на второе место в мире после Румынии.

По прогнозам УВЭА до 2015 года в Украине появится около 1 ГВт установленных ветроэнергетических мощностей, а к 2020 году до 4 ГВт.

Принимая закон о «зеленом» тарифе, парламент одновременно предусмотрел и так называемую украинскую составляющую – долю работ, товаров и услуг местного производства в строительстве ВЭС. Согласно поправкам к закону об электроэнергии, станции, которые начали строиться после первого января 2012 года и будут достроены после первого июля 2013-го, обязаны иметь 30%-ную отечественную составляющую. А после первого июля 2014-го не меньше 50%. Причем законом точно определено, какая доля украинского должна быть в той или иной агрегатной части ВЭС.

Основные игроки сумели выйти из положения – ДТЭК, Konkord Group и «Эко-Оптима» начали строить свои станции до конца 2011 года. А «Ветряные парки» сразу сделали ставку на создание полного цикла – от ветряного машиностроения до готовых парков.

Украина стала лидером на постсоветском пространстве. Вместе с тем, развитие ветроэнергетики в Украине зависит как от экономических, так и политических рисков. Среди проблем, с которыми сегодня сталкивается ветроэнергетическая отрасль, – неопределенность с перспективными возможностями энергосистем Украины по подключению новых мощностей, требования по «местной составляющей» при производстве ветроагрегатов, высокие кредитные ставки и высокие политические риски. В секторе малой ветроэнергетики большой проблемой является отсутствие возможности продавать электроэнергию по «зеленому» тарифу.

По мнению главы УВЭА, для развития отрасли необходимо разработать перспективный план подключения генерирующих мощностей возобновляемых источников энергии к электросетям, внести изменения в

Энергетическую стратегию в части развития возобновляемой энергетики, а также внести изменения в Закон «Об электроэнергетике» относительно Altaeros продажи произведенной электроэнергии.

Среди новых перспективных разработок ветроэнергетики выделяются:

- летающие ветряные турбины: Makani Airborne Wind Turbine, Airborne Wind Turbine, Magenn Air Rotor System, KiteGen;
- генерация на ветрах низких скоростей: Wind Harvester;
- ветряная линза;
- ветряные турбины с вертикальной осью: Windspire.



## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

---

1. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України. Київ.: ТОВ «ВіолаПрінт», – 2008. – 55 с.
2. Безруких П.П. Ветроэнергетика: справ. и метод. пособ.: / П.П. Безруких. – М.: ИД ЭНЕРГИЯ, 2010. – 320 с.
3. Васько В. П. Управление параметрами электроэнергии автономных ветро-электрических установок / В.П. Васько // Технічна електродинаміка. –2002. – Вип.1. – С.53 – 56.
4. Ветроэнергетика Украины. [http://www.uwea.com.ua/ukraine\\_wind.php](http://www.uwea.com.ua/ukraine_wind.php)
5. ВР. Прогноз развития мировой энергетики до 2030 года. <http://www.bp.com>
6. Дзензерский В.А. Ветроустановки малой мощности / В.А. Дзензерский, С.В. Тарасов, И.Ю. Костюков. – К.: Наук. думка, 2011. – 592 с.
7. Забарний Г.М. Енергетичний потенціал нетрадиційних джерел енергії України / Г.М. Забарний, А. В. Щурчков// – К.: ІТТФ, 2002. – С. 151 -159.
8. Источник энергии – ветер. <http://www.bellona.ru/>
9. Перспективы мировой ветроэнергетики. Доклад GWEC, Greenpeace International, DLR и Ecofys Cnsultancy / под ред. Crispin Aubrey, Angelika Pullen, Arthouros Zervos, Sven Teske. Berlin. 2007. – 31 с.
10. Харитонов В.П. Автономные ветроэлектрические установки / В.П. Харитонов. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2006. – 280 с.
11. Airfoil Investigation Database режим доступа: <http://www.airfoildb.com/>
12. Albert Betz: Wind-Energie und ihre Ausnutzung durch Windmühlen. Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen 1926; Ökobuch Verlag, Staufen 1994,
13. ВР. Прогноз развития мировой энергетики до 2030 года. <http://www.bp.com>
14. Der Strommix in Deutschland im Jahr 2012. AGEV. <http://www.unendlich-viel-energie.de>
15. Größte Windkraftanlage der Welt – die E-126. <http://www.energieblog24.de/e126/>
16. GWEC. Global Wind Report 2012. <http://www.gwec.net>
17. <http://airfoiltools.com/airfoil/details?airfoil=naca4415-il>
18. [http://m-selig.ae.illinois.edu/ads/coord\\_database.html](http://m-selig.ae.illinois.edu/ads/coord_database.html)
19. <http://www.enercon.de>
20. <http://en.wind-turbine-models.com/turbines/26-tacke-tw-600>
21. <http://www.energy.siemens.com/hq/en/renewable-energy/wind-power/>
22. <http://www.fuhrlander.com.ua/>

23. <http://www.gamesacorp.com/en/products-and-services/wind-turbines/g9x-20-mw-en.html>
24. <http://www.nordex-online.com/en/produkte-service/wind-turbines/n117-30-mw.html>
25. <http://www.windkraft-journal.de>
26. Józef Paska. Wytwarzanie rozproszone energii elektrycznej i ciepła. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2005. – 240 p.
27. N. Neuberger, E. Nolle, Г. Пивняк, А. Бешта. Состояние и перспективы развития ветроэнергетики. Материалы XVIII международной конференции „Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика” 09.2011, Одесса, Украина.
28. Oleksii B. Ivanov, Fedir P. Shkrabets, Jan Zawilak. Electrical generators driven by renewable energy systems. Wroclaw University of Technology, Wroclaw – 2011. – 169 p.
29. Status der Windenergienutzung in Deutschland – Stand 31.12.2012. DEWI GmbH. <http://www.dewi.de>.
30. Tadeusz Chmielniak. Technologie energetyczne. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2008. – 564 p.
31. Wind energy. Handbook. /Tony Burton, David Sharpe, Nick Jenkins, Ervin Bossanyi. West Sussex, England, 2001, 643 p.
32. Wind Power Basics. / Dan Chiras. New Society Publishers, Gabriola Island, Canada. 2010. – 179 p.
33. Wind Power For Dummies. Published by Wiley Publishing, Inc. Indianapolis. 2009. – 387 p.

# О Г Л А В Л Е Н И Е

---

	Стр.
<b>Введение .....</b>	<b>3</b>
<b>1. Энергия ветра.....</b>	<b>7</b>
<b>2. Аккумуляирование энергии ветра.....</b>	<b>25</b>
<b>3. Режимы работы ветроэлектрических установок .....</b>	<b>31</b>
<b>4. Основные схемы включения ветроэлектрических установок.....</b>	<b>42</b>
<b>5. Место ветроэнергетики в мире.....</b>	<b>50</b>
<b>6. Рынок ветроэнергетики в мире.....</b>	<b>55</b>
<b>7. Рынок ветроэнергетики в Украине.....</b>	<b>78</b>
<b>8. Рынок ветроэнергетики в России.....</b>	<b>83</b>
<b>9. Рынок оффшорной ветроэнергетики в мире.....</b>	<b>87</b>
<b>10. Рынок основных узлов и материалов ветроэнергоустановок.....</b>	<b>91</b>
<b>11. Новые мощности и проекты ветроэлектростанций.....</b>	<b>103</b>
<b>12. Перспективы развития ветроэнергетики.....</b>	<b>115</b>
<b>13. Заключение .....</b>	<b>148</b>
<b>Список источников .....</b>	<b>153</b>

*Наукове видання*

**ТАРАСОВ** Сергій Васильович  
**ШКРАБЕЦЬ** Федір Павлович  
**ЗАДОНЦЕВ** Володимир Антонович  
**ОТЧИЧ** Сергій Валерійович

**ВІТРОЕНЕРГЕТИКА  
ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНИЙ  
ОГЛЯД З АЛЬТЕРНАТИВНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ**

Монографія  
(Російською мовою)

Під загальною редакцією  
В.О. Дзензерського та Г.Г. Півняка

Видано в редакції авторів

Підп. до друку 18.12.2014. Формат 30x42/4.  
Папір офсетний. Ризографія. Ум. друк. арк. 8,7.  
Обл.-вид. арк. 8,7. Тираж 200 пр. Зам. №

Підготовлено до друку та видруковано  
у Державному вищому навчальному закладі  
«Національний гірничий університет».  
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК № 1842 від 11.06.2004.  
49027, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19