

История ветроэнергетики

Начало

История ветроэнергетики начинается с незапамятных времён. Энергия ветра вот уже более 6000 лет надёжно и верно служит людям.

Первые простейшие ветродвигатели применяли в глубокой древности в Египте и Китае. В Египте (около Александрии) сохранились остатки каменных ветряных мельниц барабанного типа, построенных ещё во II-I вв. до н. э. В 7 в. н. э. персы строили ветряные мельницы уже более совершенной конструкции - крыльчатые. В древности для получения муки израильтяне, как и другие народы, мололи *съедобные зерна «в жерновах»*.

Ветряные мельницы использовались для размола зерна в Персии уже в 200-м году до н. э. Мельницы такого типа были распространены в исламском мире и в 13-м веке принесены в Европу крестоносцами.

«Мельницы на козлах, так называемые немецкие мельницы, являлись до середины XVI в. единственно известными. Сильные бури могли опрокинуть такую мельницу вместе со станиной. В середине XVI столетия один фламандец нашел способ, посредством которого это опрокидывание мельницы делалось невозможным. В мельнице он ставил подвижной только крышу, и для того, чтобы поворачивать крылья по ветру, необходимо было повернуть лишь крышу, в то время как само здание мельницы было прочно укреплено на земле» (К. Маркс. «Машины: применение природных сил и науки»).

Масса такой мельницы была ограниченной в связи с тем, что её приходилось поворачивать вручную. Поэтому была ограниченной и её производительность. Усовершенствованные мельницы получили название шатровых, где для установки крыльев по ветру поворачивали весь корпус - с помощью далеко выступавшего руля или хвоста.

Начиная с XIII в., ветродвигатели получили широкое распространение в Западной Европе, особенно в Голландии, Дании и Англии, для подъёма воды, размола зерна и приведения в движение различных станков.



В XVI веке в городах Европы начинают строить водонасосные станции с использованием гидродвигателя и ветряной мельницы. Толедо - 1526 г., Глочестер - 1542 г., Лондон - 1582 г., Париж - 1608 г., и др. В Нидерландах ветряные мельницы откачивали воду с земель, ограждённых дамбами, а в засушливых областях Европы применялись для орошения полей.

Но какую бы работу ни выполняли при помощи мельницы, была необходима непрерывная подача энергии. А у ветра есть существенный недостаток: он часто меняет направление. Как же добиться того, чтобы крылья мельницы были всегда расположены с учетом направления ветра? И вот придумали мельницы на козлах, или «столбовки». Эти мельницы покоились на столбе, подпертом балками, что позволяло поворачивать весь мельничный амбар, устанавливая крылья против ветра.

По понятной причине «столбовки» не могли быть очень большими, и тогда придумали другую конструкцию: неподвижную башню с вращающейся крышей. В мельницах такого типа главный вал выходит из крыши, благодаря чему, куда бы ни дул ветер, ее вместе с крыльями-парусами можно развернуть против ветра. А как мельнику удавалось поворачивать крышу вместе с валом, крыльями и тормозным устройством? На фотографии мельницы в испанском городе Картахена можно заметить сзади выходящую из крыши балку, которая упирается в землю. Это не опорная балка, как может показаться, а рычаг. Такой рычаг, или «водило», позволял усилиями людей или животных поворачивать лопасти мельницы навстречу ветру.

У других мельниц было что-то наподобие пропеллера — ветряное колесо, установленное на противоположной от крыльев стороне крыши. Такое колесо нужно для того, чтобы крылья паруса автоматически разворачивались в нужном направлении. Допустим, что крылья мельницы, поймав ветер, сильно раскрутились. Но внезапно ветер изменил направление, и крылья сразу стали вращаться медленнее. Теперь уже ветряное колесо, установленное под прямым углом к крыльям, ловит ветер и начинает раскручиваться. Оно приводит в движение механизм, который автоматически поворачивает крышу, так что крылья мельницы всегда оказываются против ветра.

Другая сложность в укрощении ветра состоит в том, что сила ветра постоянно меняется. В древности ветрякам, крылья которых напоминали паруса лодок, было трудно «подстраиваться» под разную скорость ветра. От резкого торможения и вызванного им трения мог вспыхнуть огонь, сильные порывы ветра приводили к большим повреждениям: ломались крылья, отказывали тормоза. Эта проблема решилась в 1772 году, когда шотландский изобретатель заменил паруса на автоматически отрывающиеся и закрывающиеся щитики, похожие на жалюзи. Из книги «Ветряные мельницы»: «При сильном порыве ветра давление на щитики превосходит силу пружины, и они открываются, давая ветру „дорогу“, от чего движение крыльев замедляется. Когда ветер стихает, щитики под действием пружины закрываются, что увеличивает поверхность крыльев, которые продолжают вращаться примерно с той же скоростью» («Windmills»).

С вращающимися крышами и саморегулирующимися крыльями, мельницы достигли своего расцвета к концу XIX века. В то время мельницы в Европе вырабатывали 1 500 мегаватт энергии.

Ветряные мельницы, производящие электричество, были изобретены в 19-м веке в Дании. Там в 1890-м году была построена первая ветроэлектростанция, а к 1908-му году насчитывалось уже 72 станции мощностью от 5 до 25 кВт. Крупнейшие из них имели высоту башни 24 м и четырехлопастные роторы диаметром 23 м.

В России ветряные установки использовались в основном для помола зерна. В начале XX века в России насчитывалось около 250 тысяч ветряных мельниц, которые перерабатывали почти половину урожая зерновых. Эти мельницы были сделаны из дерева, диаметр ветроколеса не превышал 12 м.

Когда ветра технологических перемен принесли с собой электричество, паровую турбину и двигатель внутреннего сгорания, ветряные мельницы не могли соперничать с мощными и быстрыми машинами. Казалось, ветру никогда уже не придется раскручивать мельничные крылья. Однако это был не конец.

Ветроэнергетика XIX- XX века

В XIX-XX в. научно-технический прогресс, набравший обороты огромными темпами, в корне изменил технологическую картину мира. Сталь, нефть, газ, новые материалы и возможности отодвинули далеко на задний план достижения сотен лет человеческой цивилизации. Но человечество так активно разрабатывает месторождения нефти, угля и газа, получает так много побочных эффектов от промышленного использования земельных недр, что логика разума и здравого смысла заставила вновь обратиться к энергии ветра.

Один из первых экземпляров ветродвигателя с роторами (цилиндрами) на четырех крыльях, диаметром 20 м, был установлен в 1926 г. в Берлине на башне высотой 15 м. Его крылья были сделаны из легкого металла - лоталая. Тогда же предпринимались попытки создать силовые установки на основе ветроагрегата для морских и речных судов. Работы эти, основанные на эффекте Магнуса (при вращении цилиндра в набегающем на него потоке воздуха появляется поперечная сила, действующая на него), со временем были свернуты. В 1980-е годы знаменитый океанограф Жак-Ив Кусто построил судно, работающий на том же принципе, доказав, как минимум, работоспособность идеи.

В России также заинтересовались возможностью выработки электроэнергии с помощью ветроустановок: в 1918 году ветряками занялся профессор В. Залевский, создавший теорию ветряной мельницы и сформулировавший несколько принципов, которым должна отвечать ветроустановка. В 1925 году профессор Н. Е. Жуковский разработал теорию ветродвигателя и организовал отдел ветряных двигателей в Центральном аэрогидродинамическом институте.

Отрасль начала стремительно развиваться, и в 1930-х годах Советский Союз был "впереди планеты всей" в использовании энергии ветра. Тогда было освоено производство разнообразных ветроустановок мощностью 3-4 киловатта, которые выпускались целыми сериями. В 1931 году в СССР, в районе Балаклавы, заработала крупнейшая на тот момент в мире сетевая ветроэнергетическая установка. Опорная конструкция ветродвигателя (мачта) была построена по проекту В.Т. Шухова. Ветроагрегат с диаметром колеса 30 м и мощностью асинхронного генератора 100 кВт был на то время самым мощным в мире (мощность ветроагрегатов в Дании и Германии была в пределах 50-70 кВт с диаметром колеса до 24 м.). Следом на юге страны были установлены десятки подобных ветрогенераторов. В 1938-м в Крыму развернулось строительство ветроэлектростанции мощностью 5 МВт. В конце 40-х годов в Центральном аэрогидродинамическом институте (ЦАГИ) и других организациях начались активные разработки ветроустановок. С 1950 по 1955 год страна производила до 9 тысяч ветроустановок в год единичной мощностью до 30 кВт. В годы освоения целины в Казахстане была сооружена первая многоагрегатная ветроэлектростанция, работавшая в паре с дизелем, общей мощностью 400 кВт - образец современных европейских ветропарков и систем "ветро-дизель".

Однако использование энергии ветра в крупномасштабной энергетике оказалось несвоевременным - нефть оставалась сравнительно дешевой, устойчиво сокращались капитальные вложения в строительство тепловых электростанций, развивалась гидроэнергетика. В 1960-1980-е годы энергетическая отрасль нашей страны была ориентирована на строительство крупных ТЭС, ГЭС и АЭС: ветряки не выдержали конкуренции с электроэнергетическими гигантами, объединившимися в единую национальную сеть, и в конце 1960-х годов их серийное производство было закрыто.

Но время вносило свои коррективы, и государство снова обратилось в сторону малой генерации. В 1986 году постановлением ЦК КПСС и СМ СССР Госплану СССР и другим министерствам и ведомствам поручалось разработать «Мероприятия по увеличению использования в 1987-1990 годах нетрадиционных источников энергии в народном хозяйстве», в 1987 году была принята Государственная научно-техническая программа «Экологически чистая энергетика». Однако ветроэнергетика осталась вне этих документов. Ее развитие определило постановление Совмина СССР «Об ускоренном развитии ветроэнергетической техники в 1988-1995 годах». По нему предполагалось ввести к 1995 году 57 тысяч ветроустановок (в 1988-1990гг. – 14,3 тысяч). При этом были предусмотрены государственные централизованные капитальные вложения на развитие производственной базы. Однако руководство головной организации «Ветроэн» оказалось не готово к масштабной задаче, и задания выполнены не были.

Но полностью вопрос с повестки дня не снимался. Минэнерго СССР предполагал построить экспериментальные системные ветростанции общей мощностью 58,5 МВт, в том числе: Ленинградскую ВЭС на берегу Финского залива (25 МВт), Джунгарскую ВЭС в Казахстане (15 МВт), Крымскую ВЭС на восточном побережье Крыма (125 МВт). Несколько позднее возникла идея строительства Калмыцкой ВЭС (22 МВт) в 20 км. от Элисты. Одновременно велись работы по созданию ветроустановок 16, 30, 60, 100 и 250 кВт. К работам были привлечены МКБ "Радуга" (г. Дубна), НПО "Южное" (г. Днепропетровск), Тушинский машиностроительный завод (г. Москва), НПО «Ветроэн» (г. Истра), «Ленподъемтрансаш» (г. Ленинград), ассоциация «Энергобаланс» (г. Москва). Но политический и экономический кризис 1990-х годов остановил работы на этих объектах. Не менее важной причиной явилось непонимание разработчиками того факта, что, в отличие от ракетной и авиастроительной практики, у них нет возможности и средств на изготовление конструкций, требующих длительной доводки при отсутствии сервисного обслуживания. Первые же поломки приводили к длительным простоям что, в свою очередь, укрепляло скептическое отношение к ветроэнергетике в целом.

Ветроэнергетика XXI века

Россия имеет самый большой в мире ветропотенциал, ресурсы ее ветровой энергии определены в 10,7 ГВт. К благоприятным зонам развития ветроэнергетики относится Северо-Запад страны (Мурманская и Ленинградская области), северные территории Урала, Курганская область, Калмыкия, Краснодарский край, Дальний Восток. В целом технический потенциал ветровой энергии России оценивается более чем в 50 000 млрд. кВтч/год, экономический потенциал составляет 260 млрд кВт-ч/год, т.е. около 30% производства электроэнергии всеми электростанциями страны. Реализованы эти возможности незначительно. На сегодня в России насчитывается около 13 МВт установленной мощности (0,1% всей вырабатываемой в стране энергии).

Самой мощной на сегодняшний день считается ветроэлектростанция в Калининградской области, введенная в строй в 2002 году (первая установка - в 1999 г.) и состоящая из 21 установки, переданной в дар властями Дании (все ВЭУ – производства Vestas). Ее суммарная мощность составляет 5,1 МВт.

Всего в работе находятся следующие системные ВЭС:

1. Калининградская ВЭС (см. выше).
2. Воркутинская ВЭС мощностью 1,5 МВт (агрегаты НПО «Южное»).
3. Камчатская ВЭС (о. Беринга, п. Никольское) – 2 ВЭУ мощностью 250 кВт производства Micon, Дания.
4. Тюпкельды ВЭС (г. Октябрьский, Башкирия) – 4 ВЭУ мощностью 550 кВт производства HAG, Германия.
5. Ростовская ВЭС - 10 ВЭУ мощностью 30 кВт производства HSW, Германия.
6. Мурманская ВЭС – 1 ВЭУ мощностью 200 кВт, производства Micon, Дания.
7. Чукотская ВЭС – 10 ВЭУ мощностью 250 кВт производства НПО «Ветроэн».

Помимо сетевых ВЭУ, в России созданы и выпускаются небольшими партиями малые ВЭУ на приличном технологическом уровне. Среди их изготовителей: МКБ «Радуга» (8-16 кВт), ГНЦ РФ – ЦНИИ «Электробор» (40, 500 и 1000 Вт), НПК «Ветроток» (4 и 16 кВт), АО «Долина» (2 и 5 кВт), ООО «Спецремтекс» (1,5 кВт), НПО «Электросфера» (5 кВт).

В январе 2009 г. Премьер-министром РФ В.В. Путиным подписано Постановление Правительства №1-р о доведении к 2020 г. доли ВИЭ в электрогенерации России до 20% (15,5 % должно вырабатываться большими гидроэлектростанциями, 4,5% - другими видами ВИЭ, в т.ч. и ВЭС). Суммарные цели по ВИЭ подразумевают долю ВЭС к 2020 г. – примерно 1% (17,5 млрд кВт-ч при суммарной установленной мощности ВЭС 7 ГВт).

Табл. 1. Техничко-экономические показатели работы ВЭС в 2005 году
(по данным ФСГС Росстата)

	Установленная мощность, кВт	Располагаемая мощность, кВт	Выработано э/э, тыс. кВт-ч	Товарная э/э на сторону, тыс. кВт-ч	Число часов использования установленной мощности/ $K_{нвм}$
Республика Коми, ВЭС Воркутинские электросети	1.200	1.200	290	112	126/1,43
Калининградская обл., Куликовская ВЭС ^{**})	5.025	4.800	4.689	3.737	1.019/11,50
Республика Башкортостан, ВЭС Тюпкельды	2.200	2.200	1.210	189	550/6,30

Республика Калмыкия, Калмыцкая ВЭС	1.000	720	0	0	0
Чувашская респ., Морпосадская ВЭС	200	0	0	0	0
Камчатская обл., ВЭС Южные сети, с. Никольское	500	500	270	270	540/6,20
Чукотский АО, Чукотская ВЭС*)	2.500	2.250	2.733	н.д.	н.д./12,5
Ростовская обл., ОАО «Ростовэнерго», Маркинская ВЭС*)	300	300	37	н.д.	123/0,14
Мурманская обл., ЗАО «Ветроэнерго», ВЭС - 200**)	200	200	230	н.д.	1150/13,20
Ленинградская обл., ВЭС ООО «Красное»	75	75	50	н.д.	667/7,60
Всего	13.275	12.245	9.509	4.308	

*) Данные за 2004 г.

***) Данные за 2008 г.

За рубежом возобновляемая энергетика начала всерьез развиваться после нефтяного кризиса середины 1970-х годов. Незадолго до этого китайский лидер Мао Цзэдун сказал по совсем другому поводу слова, под которыми сегодня охотно подпишутся энергетики: «Когда начинают дуть ветры перемен, надо успеть построить побольше ветряных мельниц». И хотя на первых порах ветроэнергетические станции (ВЭС) не давали прибыли, власти ряда стран дотировали отрасль. Сегодня мировая ветроэнергетика вышла на прибыль и существует без каких-либо дотаций, но в условиях активного госрегулирования.

В настоящее время доля энергетика на ВИЭ в мировом производстве энергии – 18,2%. Есть все основания ожидать, что к 2020 году доля ветроэнергетики в мировом производстве электроэнергии достигнет 10%. Для сравнения: заявленная Россией доля энергетика на ВИЭ в общем энергобалансе - 2,5% к 2015 году и 4,5 % (без учета больших ГЭС) к 2020 году.

Ветроэнергетика как сектор энергетика присутствует в более чем 50 странах мира. Страны с наибольшей установленной мощностью:

- Германия (18 428 МВт),
- Испания (10 027 МВт),
- США (9 149 МВт),
- Индия (4 430 МВт)
- Дания (3 122 МВт)

Ряд других стран, включая Италию, Великобританию, Нидерланды, Китай, Японию и Португалию, перешли отметку в 1 000 МВт.

Так, в Германии в настоящее время около 3% всей энергии вырабатывается ветровыми электростанциями. В течение 2005 года более чем в 30 странах было введено в совокупности 11 531 МВт новых мощностей. Таким образом, среднегодовой рост увеличился на 40,5%, а общая установленная мощность выросла на 24%. На конец 2005 года суммарная установленная мощность ветровой энергетика составила 59 084 МВт.

До сих пор ветроэнергетика наиболее динамично развивалась в странах ЕС, но сегодня эта тенденция начинает меняться. Всплеск активности наблюдается в США и Канаде, в то время как в Азии и Южной Америке возникают новые рынки. В Азии, как в Индии, так и в Китае, в 2005 году зарегистрирован рекордный уровень роста.

С целью экономии земельных площадей и достижения большей силы начато перемещение ветроустановок большой мощности на морские оффшорные платформы, которые, как ожидается, смогут производить 27% всей ветровой энергии в Евросоюзе.

Ветроэнергетический рынок – один из самых динамично развивающихся в мире. Его рост за 2009 год – 31%. Доля России в этом рынке – 0,013%. При этом потенциальная емкость российского ветроэнергетического рынка составляет: 135 млрд. руб. - к 2013 году, 315 млрд. руб. – к 2015. Для сравнения: объем мирового рынка ветроэнергетики составил в 2009 году 2 250 млрд. руб.

Прирост мощности ВЭС в 2009 г. составил 38.103 МВт, вплотную приблизившись в суммарным 160.000 МВт. Это означает прирост 35% мощности за год. Китай стал самым крупным рынком по новым установленным мощностям ветроагрегатов с показателем за 2009 г. 13.750 МВт. США установили почти 10.000 МВт, Европа – 10.738 МВт.

Табл. 2. Ветроэнергетика в странах мира в 2008 г.

Место в 2008 г.	Страна	Установленная мощность на конец 2008 г. МВт	Ввод мощности в 2008 г. МВт	Процент роста в 2008 г. %	Место в 2007 г.	Установленная мощность на конец 2007 г. МВт	Установленная мощность на конец 2006 г. МВт
1	США	25170,0	8351,2	49,7	2	16818,8	11603,0
2	Германия	23902,8	1655,4	7,4	1	22247,4	20622,0
3	Испания	16740,3	1595,2	10,5	3	15145,1	11630,0
4	Китай	12210,0	6298,0	106,5	5	5912,0	2599,0
5	Индия	9587,0	1737,0	22,1	4	7850,0	6270,0
6	Италия	3736,0	1009,9	37,0	7	2726,1	2123,4
7	Франция	3404,0	949,0	38,7	8	2455,0	1567,0
8	Великобритания	3287,9	898,9	37,6	9	2389,0	1962,9
9	Дания	3160,0	35,0	1,1	6	3125,0	3136,0
10	Португалия	2862,0	732	34,4	10	2130,0	1716,0
11	Канада	2369,0	523	28,3	11	1846,0	1460,0
12	Нидерланды	2225,0	478,0	27,4	12	1747,0	1559,0
13	Япония	1880,0	352,0	23,0	13	1528,0	1309,0

14	Австралия	1494,0	676,7	82,8	16	817,3	817,3
15	Ирландия	1244,7	439,7	54,6	17	805,0	746,0
16	Швеция	1066,9	235,9	28,4	18	831,0	571,2
17	Австрия	994,9	13,4	1,4	14	981,5	964,5
18	Греция	989,7	116,5	13,3	15	873,3	757,6
19	Польша	472,0	196,0	71,0	24	276,0	153,0
20	Норвегия	428,0	95,1	28,5	19	333,0	325,0
21	Египет	390,0	80,0	25,8	21	310,0	230,0
22	Бельгия	383,6	96,7	33,7	22	286,9	194,3
23	Тайвань (Китай)	358,2	78,3	28,0	23	279,9	187,7
24	Бразилия	338,5	91,5	37,0	25	247,1	236,9
25	Турция	333,4	126,6	61,2	26	206,8	64,6
26	Новая Зеландия	325,3	3,5	1,1	20	321,8	171,0
27	Корея (Южная)	278,0	85,9	44,7	27	192,1	176,3
28	Болгария	157,5	100,6	176,7	33	56,9	36,0
29	Чехия	150,0	34,0	29,3	28	116,0	56,5
30	Финляндия	140,0	30,0	27,3	29	110,0	86,0
31	Венгрия	127,0	62,0	95,4	35	65,0	60,9
32	Марокко	125,2	0,0	0,0	36	125,2	64,0
33	Украина	90,0	1,0	1,1	30	89,0	85,6
34	Мексика	85,0	0,0	0,0	31	85,0	84,0
35	Иран	82,0	15,5	23,3	34	66,5	47,4
36	Эстония	78,3	19,7	33,6	37	58,6	33,0
37	Коста-Рика	74,0	0,0	0,0	32	74,0	74,0
38	Литва	54,4	2,1	4,0	38	52,3	55,0
39	Люксембург	35,3	0,0	0,0	39	35,3	35,3
40	Латвия	30,0	2,6	9,5	41	27,4	27,4

41	Аргентина	29,8	0,0	0,0	40	29,8	27,8
42	Филиппины	25,2	0,0	0,0	42	25,2	25,2
43	Южная Африка	21,8	5,2	31,4	49	16,6	16,6
44	Ямайка	20,7	0,0	0,0	43	20,7	20,7
45	Гваделупа	20,5	0,0	0,0	44	20,5	20,5
46	Уругвай	20,5	19,9	3308,3	68	0,6	0,2
47	Чили	20,1	0,0	0,0	46	20,1	2,0
48	Тунис	20,0	0,0	0,0	45	20,0	20,0
49	Колумбия	19,5	0,0	0,0	47	19,5	19,5
50	Хорватия	18,2	1,0	5,8	48	17,2	17,2
51	Россия *	16,5	0,0	0,0	50	16,5	15,5
52	Свазиленд	13,8	2,2	19,2	53	11,6	11,6
53	Гвиана	13,5	0,0	0,0	51	13,5	13,5
54	Курачао	12,0	0,0	0,0	52	12,0	12,0
55	Румыния	7,8	0,0	0,0	54	7,8	2,8
56	Куба	7,2	5,1	242,9	61	2,1	0,5
57	Израиль	6,0	0,0	0,0	55	7,0	7,0
58	Пакистан	6,0	6,0	новая	новая	0,0	0,0
59	Словакия	5,1	0,1	2,8	56	5,0	5,0
60	Фаросские острова	4,1	0,0	0,0	57	4,1	4,1

Источник: World Wind Energy Report 2009.

Начиная с 1980 года установленная мощность ветровых турбин в ЕС выросла в 290 раз, а стоимость генерации за тот же период снизилась на 80%.

Как действует ветроэнергетика

В Большой Советской Энциклопедии ветроэнергетика определяется как «отрасль науки и техники, разрабатывающая теоретические основы, методы и средства использования энергии ветра для получения механической, электрической и тепловой энергии и определяющая области и масштабы целесообразного использования ветровой энергии в народном хозяйстве».

Ветроэнергетика состоит из двух основных частей: ветротехники, разрабатывающей теоретические основы и практические приёмы проектирования технических средств (агрегатов и установок), и ветроиспользования, включающего теоретические и практические вопросы оптимального использования энергии ветра, рациональной эксплуатации установок и их технико-экономических показателей, обобщение опыта применения установок в народном хозяйстве.

Современные методы генерации электроэнергии из энергии ветра

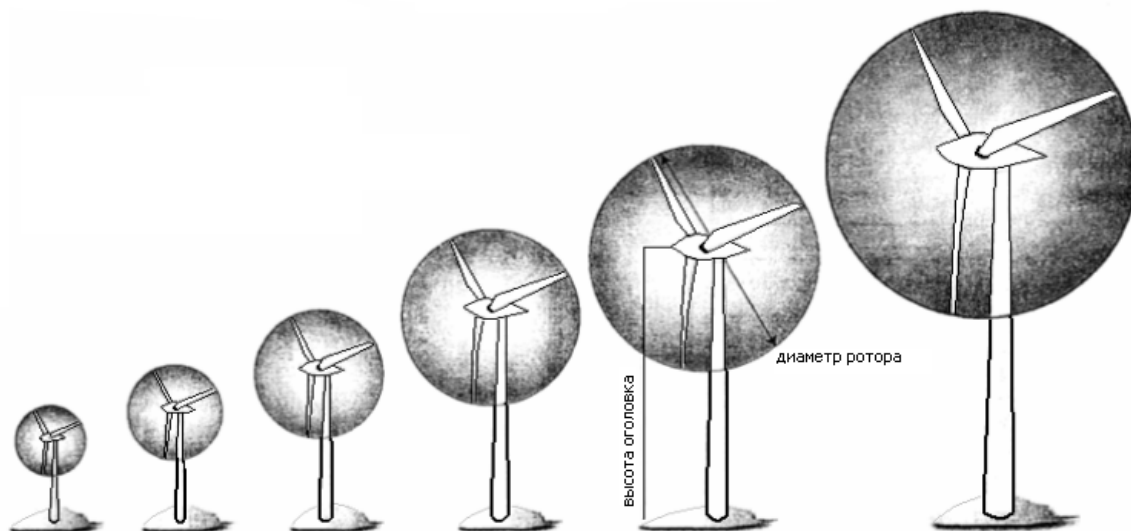


Табл. 3. Показатели развития ветроагрегатов в мире

	1980	1985	1990	1995	2000	2005
Номинальная мощность	30 кВт	80 кВт	250 кВт	600 кВт	1500 кВт	5000 кВт
Диаметр ротора	15 м	20 м	30 м	46 м	70 м	115 м
Высота оси	30 м	40 м	50 м	78 м	100 м	120 м
Годовое производство электроэнергии	35.000 кВт-ч	95.000 кВт-ч	400.000 кВт-ч	1.250.000 кВт-ч	3.500.000 кВт-ч	≈170.000.000 кВт-ч

Источник: German Wind Energy Association (BWE).

Мощность ветрогенератора зависит от площади, заемаемой лопастями генератора. Например, турбины мощностью 3 МВт производства датской фирмы Vestas имеют общую высоту 115 метров, высота башни 70 метров, диаметр лопастей 90 метров. Самые большие в мире ветрогенераторы выпускает немецкая компания REpower (REpower Systems). Диаметр ротора этой турбины 126 метров. Мощность таких установок доходит до 6 МВт, вес гондолы - 200 тонн, высота башни - 120 м.

Наибольшее распространение в мире получила конструкция ветрогенератора с тремя лопастями и горизонтальной осью вращения, хотя кое-где еще встречаются и двухлопастные. Были попытки построить ветрогенераторы так называемой ортогональной конструкции, т.е. с вертикальным расположением оси вращения. Считается, что они имеют преимущество в виде очень малой скорости ветра, необходимой для начала работы ветрогенератора. Главная проблема таких генераторов - механизм торможения. В силу этой и некоторых других технических проблем ортогональные ветроагрегаты не получили практического распространения в ветроэнергетике.

Наиболее перспективными местами для производства энергии из ветра считаются прибрежные зоны. В море, на расстоянии 10-12 км от берега (а иногда и дальше) строятся офшорные фермы. Башни ветрогенераторов устанавливают фундаменты из свай, забитых на глубину до 30 метров. Также могут использоваться и другие типы подводных фундаментов, а также плавающие основания⁵.

Ветроэнергетика использует результаты аэрологических исследований, на базе которых разрабатывается ветроэнергетический кадастр. По его данным выявляют районы с благоприятным ветровым режимом, устанавливают виды работ, где применение ветровой энергии целесообразно и экономически выгодно по сравнению с другими энергоисточниками.

Достоинства и недостатки

Ветровая энергия, наряду с солнечной и водной, принадлежит к числу постоянно возобновляемых и, в этом смысле, вечных источников энергии, обязанных своим происхождением деятельности Солнца. Вследствие неравномерного нагрева солнечными лучами земной поверхности и нижних слоев земной атмосферы, в приземном слое, а также на высотах от 7 до 12 км возникают перемещения больших масс воздуха - ветер. Он несёт колоссальное количество энергии: почти 2% энергии всей солнечной радиации, попадающей на Землю.

К достоинствам ветровой энергии, прежде всего, следует отнести доступность, повсеместное распространение и практически неисчерпаемость ресурсов. Источник энергии не нужно добывать и транспортировать к месту потребления: ветер сам поступает к установленному на его пути ветродвигателю, что особенно важно для труднодоступных (арктических, степных, пустынных, горных и т.п.) районов, удалённых от источников централизованного энергоснабжения, и для относительно мелких (мощностью до 100 кВт) потребителей энергии, рассредоточенных на обширных пространствах. Кроме того, ветроэнергетика - это экологически чистое производство энергии, без вреда человеку, природе, окружающей среде и земным недрам.

В то же время существуют и недостатки ветроэлектростанций, которые затрудняют их внедрение. Основное препятствие к использованию ветра как энергетического источника - непостоянство его скорости (а, следовательно, и энергии) в рамках длительных периодов времени. Ветер характеризуется не только многолетней и сезонной изменчивостью. Он может менять скорость и направление в течение очень коротких промежутков времени. Отчасти кратковременные колебания скорости ветра компенсируются самим ветроагрегатом, особенно на больших скоростях ветра, когда он начинает подтормаживать своё вращение (обычно, после 13-15 м/с). Однако более длительные изменения или снижение скорости ветра влияют на выработку ветроагрегата и всего ветропарка в целом. Но в современной ветроэнергетике этот недостаток сводится к минимуму тем, что ветромониторинг, начинающийся еще на предпроектной стадии, продолжает вестись и в дальнейшем. Накопленная база данных ветропотенциала позволяет прогнозировать выработку ветропарка уже на 2-м году его эксплуатации на 24 часа вперед с достаточно высокой для электрических сетей точностью.

В зонах с умеренным ветровым режимом (среднегодовая скорость ветра 5 м/с) на 1 км² можно получить годовую выработку электроэнергии около 1 млн кВт-ч.

Мощность ветрового потока пропорциональна кубу скорости ветра. Поэтому, даже относительно небольшие его изменения приводят к значительным колебаниям мощности, развиваемой ветродвигателем. На уровне оси ветроколеса в непосредственной близости от ВЭС мощностью 850 кВт уровень шума составляет 104 дБ. Система управления углом атаки лопастей способна уменьшить его, но очень незначительно. Но на расстоянии 300 м шум снижается до 42-45 дБ (на оживленной улице наши уши страдают больше). К тому же в России есть возможность смонтировать установку на расстоянии 700-1000 м от застройки.

На Западе главные проблемы, связанные с работой ветроэлектростанций, удалось решить еще в середине 1990-х годов. Был снижен уровень шума и вибраций путем подбора скорости вращения ветроколес и совершенствованием профилей лопастей.

Типы ветроэлектростанций

Ветроэлектростанции XXI века мало чем напоминают ветряные мельницы, хотя принцип работы ветроагрегатов практически не изменился: под напором ветра вращается колесо с лопастями, передавая крутящий момент другим механизмам. Чем больше диаметр колеса, тем больший воздушный поток оно захватывает и быстрее вращается.

Сегодня в мире широко распространены ветродвигатели двух типов: крыльчатые и карусельные. Встречаются еще барабанные и некоторые другие оригинальные конструкции.

Крыльчатые ВЭС - их еще называют ветродвигателями традиционной схемы - представляют собой лопастные механизмы с горизонтальной осью вращения (самый простой аналог - детская вертушка). Система устанавливается в самое выходное положение в потоке ветра с помощью крыла-стабилизатора (наподобие флюгера). На мощных станциях, работающих на сеть, для этого используется электронная система управления рысканием. Небольшие крыльчатые ВЭС постоянного тока соединяют с электрогенератором напрямую (без мультипликатора), мощные станции оснащают редуктором. Коэффициент использования энергии ветра у крыльчатых ВЭС (намного выше, чем у других ветряков, недаром они занимают более 90% рынка).

Кarusельные, или роторные, ВЭС с вертикальной осью вращения (на вертикальную ось «насажено» колесо, на котором закреплены «приемные поверхности» для ветра), в отличие от крыльчатых, могут работать при любом направлении ветра, не изменяя своего положения. Ветроагрегаты этой группы тихоходны, поэтому не создают большого шума. В них используются многополюсные электрогенераторы, работающие на малых оборотах, что позволяет применять простые электрические схемы без риска потерпеть аварию при случайном порыве ветра. Однако следует иметь в виду, что ветроагрегаты с вертикальной осью вращения до сих пор не смогли доказать своей практической и экономической значимости, в результате чего они, по большому счету, отсутствуют в современной промышленной ветроэнергетике.

Есть и оригинальные проекты, появившиеся не так давно - это ВЭС принципиально новой конструкции, состоящие из фундамента, трехопорного несущего основания и смонтированного на нем кольцеобразного генератора со встроенным подшипником и центральным ротором. Кольцо генератора может достигать в диаметре 120 м и более. Другой пример - многомодульная ветроустановка, состоящая из одного-двух десятков небольших ветроагрегатов. Конструкции ВЭС постоянно совершенствуются: улучшаются их аэродинамика и электрические параметры, уменьшаются механические потери и т.д.

Быстро, выгодно, удобно

Капиталовложения в строительство больших ветропарков в Европе сегодня составляют 1200-1400 евро на 1 кВт установленной мощности. Себестоимость энергии - 3,5-7 центов за 1 кВт-ч (10 лет назад - 16 центов). При массовом строительстве ветроэлектростанций можно рассчитывать на то, что цена одного киловатт-часа существенно снизится и окажется сравнимой со стоимостью электроэнергии, вырабатываемой ТЭС и ГЭС. Проекты ВЭС, работающих на сеть, для условий, например, очень ветреного Приморья окупаются за 5-7 лет, системы "ветродизель" - за 2 года. В дальнейшем сроки окупаемости ветроэлектростанций будут сокращаться.

Наша страна обладает самым большим в мире ветроэнергетическим потенциалом, оцениваемым в 40 млрд кВт-ч электроэнергии в год, поэтому работа больших и малых ВЭС на огромных российских пространствах могла бы быть высокоэффективна. Такие районы, как Обская губа, Кольский полуостров, большая часть прибрежной полосы Дальнего Востока, по мировой классификации относятся к самым ветреным зонам. Среднегодовая скорость ветра на высоте 50-80 м, где располагаются ветроагрегаты современных ВЭС, составляет 11-12 м/с, при этом, что "золотым" порогом ветроэнергетике считается скорость ветра 5 м/с (это связано с окупаемостью станций).

Но, несмотря на благоприятные природные условия и большую привлекательность ветроэнергетики, в России до сих пор нет ни огромных ветропарков, ни единичных ВЭС вокруг сельских поселков и дачных участков. Основная причина - отсутствие инвестиций и законодательной базы.

Крупнейшие компании-производители ветроустановок

Датская компания Vestas Wind Systems A/S сохранила свою лидирующую позицию в списке крупнейших производителей ветроагрегатов по итогам 2009 г. с долей в 12,5% (данные консультационного агентства BTM Consult).

Американская GE Energy, часть индустриального гиганта General Electric отстала от лидера только на 25 МВт.

Следом в списке стоят китайская Sinovel с долей 9,2%, немецкая Enercon – 8,5% и китайская Goldwind с 7,2% долями соответственно.

В 2009 г. очевидными «доминаторами» рынка ветроэнергетики стали китайские Sinovel, Goldwind и Dongfang.

Ведущие производители в 2009 (% доли рынка):

1)	Vestas	Дания	12,5
2)	GE	США	12,4
3)	Sinovel	Китай	9,2
4)	Enercon	Германия	8,5
5)	Goldwind	Китай	7,2
6)	Gamesa	Испания	6,7
7)	Dongfang	Китай	6,5
8)	Suzlon	Индия	6,4
9)	Siemens	Германия	5,9
10)	RePower	Германия	3,4
	Другие		18,5

Некоторые из стабильных лидеров прошлых лет уступили свои лидирующие позиции китайским компаниям. Разница в долях лидеров рынка уменьшилась до 3 п.п.

10 первых компаний с долей 80% оторвались от других 25, занимающих оставшиеся проценты. Появление китайских компаний в списке, безусловно, связано с резким ростом китайского рынка ветроиндустрии. Это означает, что российская промышленность тоже может получить свой шанс в случае развития ветроэнергетики в стране.

Материал подготовлен коллективом РАВИ с использованием открытых источников.