**Реферат**

на тему:

«Технологии использования ветровой энергии»

Москва, 2011 г.

# **Введение**

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 децентрализовано. Нет необходимости в создании таких инфраструктур как, например, при производстве и передаче электроэнергии, выработанной за счет сжигания нефти или природного газа.

# **1. История**

Ветер как источник энергии известен человечеству на протяжении уже десятков тысяч лет. Еще на заре цивилизации энергию ветра использовали в мореплавании. Считается, что древние египтяне ходили под парусами еще 5000 лет назад. Около 700 г. н.э. на территории нынешнего Афганистана ветряные машины с вертикальной осью вращения применялись для помола зерна. Известные всем ветряки (крылья ветряной мельницы, прикрепленные к башне) обеспечивали работу ирригационной системы острова Крит, расположенного в Средиземном море. Работающие за счет ветра мельницы для помола зерна являются одним из наиболее крупных технических достижений средних веков. В 14 веке голландцы, усовершенствовав модель ветряных мельниц, распространенных на Ближнем Востоке, начали широко применять ветряки для помола зерна.

Водяной насос, работающий за счет энергии ветра, появился в 1854 году в США. Он представлял собой ту же модель ветряной мельницы с большим количеством лопастей и флюгером для определения направления ветра. К 1940 году более 6 миллионов таких ветряков использовались в США в основном для подъема воды и производства электроэнергии. Завоевание «Дикого Запада» было осуществлено, в том числе, и благодаря этим ветрякам, которые снабжали водой животноводческие фермы.

Тем не менее, в середине 20 века наступил конец широкому применению энергии ветра, поскольку на замену ему пришел такой «современный» энергетический ресурс как нефть. И лишь после того, как мир пережил несколько нефтяных кризисов, интерес к ветроэнергетике возобновился. В результате резкого скачка цен на нефть вначале 70-х, энергетические аналитики вновь обратились к использованию энергии ветра. Исследования и эксперименты, проведенные при финансовой поддержке государств и различных фондов, дали новый толчок для развития технологий использования энергии ветра. Усилия были сконцентрированы на использовании ветра в первую очередь для производства электроэнергии, так как для индустриальных стран применение ветровых насосов не является столь важным. [3]

# **2. Энергия ветра**

Естественно, что наибольший ветровой потенциал наблюдается на морских побережьях, на возвышенностях и в горах. Тем не менее, существует еще много других территорий с потенциалом ветра, достаточным для его использования в ветроэнергетике. 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. В связи с этим планирование места под ветряки должно проводиться более тщательно, чем при монтаже солнечной системы. Энергия ветра также подчинена сезонным изменениям погоды: более эффективная работа ветряков зимой и менее - в летние жаркие месяцы (в случае с солнечными системами ситуация противоположная). В климатических условиях Дании фотоэлектрическая система эффективна на 18% в январе и на 100% в июле. Эффективность работы ветростанции в июле - 55%, а в январе - 100%. Оптимальным вариантом является комбинирование в одной системе малой ветрогенератора и солнечной системы. Подобные гибридные системы обеспечивают более высокую производительность электроэнергии по сравнению с отдельно установленными ветровой или фотоэлектрической установками.

Важно также помнить, что количество энергии, произведенной за счет ветра, зависит от плотности воздуха, от площади, охваченной лопастями ветротурбины при вращении, а также от куба скорости ветра.

Для описания ветра как источника энергии используется совокупность аэрологических и энергетических характеристик ветра, объединяемая понятием ветроэнергетического кадастра. К числу основных кадастровых характеристик ветра относятся [1,5]: среднегодовая скорость ветра; годовой и суточный ход ветра; повторяемость скоростей ветра; повторяемость направлений ветра; максимальная скорость ветра; удельная мощность и удельная энергия ветра; ветроэнергетические ресурсы района.

Основным источником исходных данных для разработки ветроэнергетического кадастра являются наблюдения за скоростью ветра на опорной сети гидрометеослужбы. Эти наблюдения, проводимые несколько раз в сутки, охватывают периоды в десятки лет и представляют собой обширнейший фактический материал. Их достоинством является то, что они проводятся по единой методике, а места (площадки), производства наблюдений классифицированы по степени их открытости на местности.

# **2.1 Плотность воздуха**

Лопасти ветряка вращаются за счет движения воздушной массы. Чем больше воздушная масса, тем быстрее вращаются лопасти и тем больше электроэнергии вырабатывает ветрогенератор. Мы знаем из курса физики, что кинетическая энергия движущегося тела (например, воздуха) пропорциональна его массе, поэтому энергия ветра зависит от плотности воздуха. Плотность зависит от количества молекул в единице объема. При нормальном атмосферном давлении и при температуре С плотность воздуха составляет 1,225 кг/. Однако с увеличением влажности плотность воздуха слегка уменьшается. Из-за того, что зимой воздух более плотный, ветрогенератор будет вырабатывать зимой больше энергии, чем летом, при одинаковой скорости ветра. На территории, расположенной высоко над уровнем моря, например, в горах, атмосферное давление меньше и, соответственно, меньше плотность воздуха. [1; 4]

# **2.2 Площадь ротора**

Ротор ветротурбины «захватывает» энергию ветрового потока, находящегося возле него. Понятно, что чем больше площадь ротора, тем больше электроэнергии он может выработать. Так как площадь ротора увеличивается пропорционально квадрату диаметра ротора, ветрогенератор вдвое большая по размеру сможет выработать в четыре раза больше энергии. Однако, процесс увеличения площади ротора нельзя свести к простому удлинению лопастей ветряка. С первого взгляда, кажется, что это наиболее простой путь увеличения количества «захватываемой» ветряком энергии. Но, увеличивая размер площади, охватываемой лопастями при вращении, мы тем самым увеличиваем нагрузку на систему при той, же скорости ветра. Для того чтобы система выдержала все нагрузки, необходимо усилить все ее механические компоненты. Становится понятно, что подобное решение проблемы требует дополнительных финансовых затрат.

# **2.3 Скорость 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 ветроэлектроустановкой. Энергия ветра изменяется пропорционально кубу скорости ветра. Таким образом, например, если скорость ветра удваивается, кинетическая энергия, полученная ротором, увеличивается в восемь раз. Приведенная внизу таблица показывает значения энергии ветра в стандартных условиях (сухой воздух, плотность - 1,225 кг/м3, атмосферное давление над уровнем моря 760 мм рт. столба). Формула расчета количества энергии (определяется в Вт/) выглядит следующим образом:

0,5\*1,225\*V3, где V - скорость ветра в м/сек.

|  |  |
| --- | --- |
| м/с | Вт/ |
| 1 | 1 |
| 3 | 17 |
| 5 | 77 |
| 9 | 477 |
| 11 | 815 |
| 15 | 2067 |
| 18 | 3572 |
| 21 | 5672 |
| 23 | 7452 |

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



Шкала скорости ветра

|  |  |
| --- | --- |
| Скорость ветра, м/сек | Тип ветра |
| 0-1,8 | Безветрие |
| 1,8-5,8 | Слабый |
| 5,8-8,5 | Умеренный |
| 8,5-11 | Нормальный ветер |
| 11-17 | Сильный ветер |
| 17-25 | Очень сильный |
| 25-43 | Шторм |
| Более 43 | Ураган |

# **2.4 Неровность рельефа**

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:

- водная поверхность;

.5 - полностью открытый рельеф с гладкой поверхностью (взлетные полосы на территории аэродромов, покосы);

- открытая сельскохозяйственная местность без заборов, изгородей и низких строений; малые возвышенности;

.5 - сельскохозяйственные угодья с несколькими зданиями и навесами высотой до 8 м, расположенными друг от друга на расстоянии около 1250 м;

- сельскохозяйственные угодья с несколькими зданиями и навесами высотой до 8 м, расположенными друг от друга на расстоянии около 500 м;

.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;

- деревни, поселки, сельскохозяйственные земли с большим количеством или с очень высокими изгородями, лесами, а также очень неровный рельеф;

.5 - города с высокими зданиями;

- 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. [3; 6]

# **3. Средние скорости ветра**

**Среднегодовые скорости ветра.** Данные о среднегодовых скоростях ветра служат исходной характеристикой общего уровня интенсивности ветра. По величине среднегодовой скорости ветра в первом приближении можно судить о перспективности применения ветроэнергетических установок в том или ином районе. Однако необходимо иметь в виду, что скорость ветра зависит от рельефа местности, шероховатости поверхности, наличия затеняющих элементов, высоты над поверхностью земли. У разных станций эти условия могут существенно отличаться. Поэтому для сопоставления средних скоростей ветра их необходимо приводить к сравнимым условиям. Представляется целесообразным за сравнимые условия принять условия открытой ровной местности и высоту 10 м от поверхности земли.

Результаты обработки 20-летних рядов наблюдений за скоростью ветра по 37 метеорологическим станциям Кольского полуострова [6], полученные с учетом приведения их к сравнимым условиям, представлены на рис. 2.1. Для наглядности и удобства практического использования, данные о средних многолетних скоростях нанесены на карту. Из рисунка следует, что наибольшие скорости ветра наблюдаются в прибрежных районах Баренцева моря. На северном побережье Кольского полуострова они составляют 7-9 м/с. Характерно, что скорости ветра заметно снижаются по мере удаления от береговой линии.

С высотой средние многолетние скорости ветра существенно возрастают.

Говоря о среднегодовых и среднемноголетних скоростях ветра, уместно отметить и еще одно весьма важное обстоятельство. В прибрежных районах Кольского полуострова изменение среднегодовой скорости ветра от года к году невелико и характеризуется коэффициентом вариации в пределах 5-8%. В то же время коэффициент вариации стока на реках региона составляет около 15-20%. Таким образом, в многолетнем разрезе поступление ветровой энергии подвержено меньшей изменчивости, чем гидроэнергии рек.



Рис. 2.1. Средние многолетние скорости ветра (м/с) на высоте 10 м от поверхности земли в условиях открытой ровной местности



Рис. 2.2. Приращение среднегодовой скорости ветра Δυ при переходе от высоты 10 м к высоте H

**Годовой ход ветра** (рис. 2.3.) представляет собой сезонное изменение средних скоростей ветра. На Кольском полуострове наиболее ярко оно проявляется на северном побережье, где разница между зимним максимумом и летним минимумом скоростей ветра достигает 5-6 м/с. Полученные кривые свидетельствуют, что повсеместно складываются весьма благоприятные предпосылки для эффективного использования энергии ветра. Максимум скоростей ветра приходится на холодное время года и совпадает с сезонным пиком потребления тепловой и электрической энергии. Весьма существенно, что зимний максимум находится в противофазе с годовым стоком рек (рис. 2.3.), то есть ветровая и гидроэнергия удачно дополняют друг друга. Это создает благоприятные условия для их совместного использования.



Рис. 2.3. Годовой ход среднемесячных скоростей ветра на островах (1) и побережье (2) Баренцева моря, на побережье Белого моря (3) и в Хибинах (4). 1 - метеостанция о. Харлов, 2 - Дальние Зеленцы, 3 - Чаваньга, 4 - Центральная

**Суточный ход ветра** представляет собой изменение средних скоростей ветра в течение суток. Наиболее четко он прослеживается в летнее время и мало проявляется зимой. Летом скорости ветра в дневные часы в среднем на 1,5-2,0 м/с выше, чем ночью. В условиях снижения общего уровня интенсивности ветра в летнее время дневной максимум скоростей ветра является благоприятным для эффективного использования энергии ветра, поскольку именно в дневные часы, как правило, наблюдается повышенная потребность в энергии со стороны потребителя. [5]

# **3.1 Повторяемость скоростей и направлений ветра**

Повторяемость скоростей ветра показывает, какую часть времени в течение рассматриваемого периода дули ветры с той или иной скоростью. С помощью этой характеристики выявляется энергетическая ценность ветра, и находятся основные энергетические показатели, определяющие эффективность и целесообразность использования энергии ветра. В практике выполнения ветроэнергетических расчетов обычно выполняется аппроксимация (выравнивание) эмпирической повторяемости скоростей ветра с помощью различных аналитических зависимостей. Наибольшее распространение в этом плане получило двухпараметрическое уравнение Вейбулла [2]. Годится оно и для описания распределения скоростей ветра в условиях Кольского полуострова. Расчеты показали, что уровень сходимости эмпирических (фактических) и аналитических распределений, полученных по уравнению Вейбулла, достаточно высок. Очевидно, что в более ветреных районах спектр наблюдаемых скоростей шире и доля высоких скоростей выше. Площадь под каждой из приведенных кривых одинакова, она равна 100% (или 8760 часов годового времени).



Рис. 2.4. Кривые повторяемости скоростей ветра при различных среднегодовых скоростях

Повторяемость направлений ветра показывает, какую часть времени в течение рассматриваемого периода (месяца, года) дули ветры того или иного направления. Правильный учет направлений ветра играет важную роль в определении оптимального расположения ветроустановок на местности.

Имеющиеся в Справочнике по климату [4] многолетние данные о ветре показывают, что на Кольском полуострове имеются районы с преобладающими направлениями ветра. К числу их относится северное побережье полуострова, где около 50-60% годового времени дуют юго-западные ветры. Более детальное изучение направлений ветра в этом районе (по 16 направлениям и с учетом не только повторяемости направления, а и средней скорости ветра по каждому направлению), позволило существенно уточнить общую картину. Наибольшее внимание было уделено метеостанциям Дальние Зеленцы и Териберка. В районе этих станций имеет место высокий потенциал энергии ветра. Кроме того, они располагаются недалеко от Серебрянских и Териберских гидроэлектростанций, связанных с Кольской энергосистемой и способных облегчить крупномасштабное использование энергии ветра в этом районе.



Рис. 2.5. Годовая и месячные розы ветров на метеостанции Дальние Зеленцы (по данным наблюдений за 1975-84 гг.)

При изучении повторяемости направлений ветра необходимо иметь в виду, что с энергетической точки зрения важнее знать не столько преобладающее направление ветра, сколько энергетическую ценность ветра (возможную выработку) по каждому направлению. Для оценки этого были проведены расчеты возможной выработки энергии ВЭУ по каждому направлению и построены соответствующие розы выработки. По одноименным месяцам роза ветров и роза выработки существенных различий в их конфигурации не имеют. Это означает, что в рассматриваемых районах господствующие направления ветра являются одновременно и наиболее энергонасыщенными. В ходе исследования повторяемости направлений ветра было выявлено, что в зависимости от времени года роза ветров и господствующее направление ветра претерпевают существенные изменения. В зимние месяцы на ветры юго-западной четверти может приходиться до 70-90% времени. Преобладание ветров этих направлений является подавляющим. В теплое время года все коренным образом изменяется: неявными или совсем другими становятся преобладающие направления ветра, с уменьшением общей интенсивности ветра снижаются объемы возможной выработки энергии. Последнее хорошо прослеживается по размерам роз, которые пропорциональны объемам месячной выработки.



Рис. 2.6. Месячные розы выработки энергии ветроустановкой мощностью 4 кВт в районе п. Дальние Зеленцы

Наличие господствующих направлений ветра позволяет более компактно и с меньшими затратами размещать ВЭУ на местности при создании многоагрегатных ветроэлектрических комплексов и станций. Так, если в районе п. Дальние Зеленцы ветроустановки выстроить в ряды с интервалом всего в один диаметр ветроколеса и ориентировать их своим фронтом на господствующее направление, то в течение 92% годового времени они не будут затенять и создавать помехи друг другу. В зимние месяцы этот показатель возрастает до 96-97%. Потери выработки энергии от такого плотного размещения ВЭУ минимальны и составляют около 6% в год, снижаясь в отдельные зимние месяцы до 2,5-3,0%, а выгода на сооружении подъездных путей, протяженности кабельных линий очевидна. Указанный район перспективен для сооружения многоагрегатных ветровых парков.

# **4. Максимальные скорости ветра**

Сведения о максимальных скоростях ветра являются важной составной частью ветроэнергетического кадастра. Они необходимы для выполнения расчетов на прочность отдельных узлов и элементов ветроэнергетических установок (башни, лопастей, устройств ориентации на ветер и др.). Ошибка в определении максимальных скоростях может привести либо к излишнему запасу прочности и утяжелению конструкции ВЭУ, либо наоборот, к созданию недостаточно прочных установок, следствием чего могут быть их разрушения.

Определение максимальной скорости базируется на результатах наблюдений за прошлое время и представляет собой, по сути, прогноз на будущее. В прикладной климатологии о максимальной скорости ветра принято говорить как о скорости, возможной один раз в заданное число лет.

Результаты исследований данного вопроса применительно к Кольскому полуострову показали, что наибольшие скорости ветра наблюдаются на побережье Баренцева моря и в Хибинских горах. Здесь один раз в 10 лет в порыве (интервал осреднения 3 с) максимальные скорости могут достигать соответственно 45 и 48 м/с.

На большей высоте скорости ветра возможны выше. Об этом свидетельствуют результаты зондирования атмосферы на аэрологических станциях. Однако ветер там отличается меньшей порывистостью. На высоте 100 м один раз в 10 лет может наблюдаться скорость ветра в порыве, равная 49-50 м/с. При переходе к повторяемости 1 раз в 20 лет значения максимальных скоростей увеличатся до 50-52 м/с на высоте 10 м и до 52-55 м на высоте 100 м.

# **5. Технологии**

Ветроэлектроустановки (ВЭУ) преобразуют кинетическую энергию ветра в электрическую с помощью генератора в процессе вращения ротора. Лопасти ветряков используются подобно пропеллеру самолета для вращения центральной ступицы, подсоединенной через коробку передач к электрическому генератору. По своей конструкции генератор ВЭУ напоминает генераторы, используемые в электростанциях, работающих за счет сжигания ископаемого топлива. Огромно разнообразие машин, изобретенных или предложенных для производства энергии за счет ветра, многие из них представляют собой довольно необычные конструкции. Тем не менее, существуют два основных типа современных ветрогенераторов.

Ветроэлектрогенератор с горизонтальной осью вращения, имеющие две или три лопасти, установленные на вершине башни, - наиболее распространенный тип ветроэлетроустановок ВЭУ. Расположение ведущего вала ротора - части турбины, соединяющей лопасти с генератором, - считается осью машины. У турбин с горизонтальной осью вращения ведущий вал ротора расположен горизонтально.

В рабочем состоянии относительно направления воздушного потока ротор турбины может находиться перед опорой - так называемый наветренный ротор или за опорой - подветренный ротор. Чаще всего турбины с горизонтальной осью вращения имеют две или три лопасти, хотя есть и модели с большим числом лопастей. Последние ветряки представляют собой диск с большим количеством лопастей. Они получили название «монолитных» установок. Такие установки используются в первую очередь в качестве водяных насосов. В отличие от них площадь ротора турбины с малым количеством лопастей (две-три) не является сплошной. Эти турбины относят к «немонолитным» установкам. Для наиболее эффективной работы ветряка его лопасти должны максимально взаимодействовать с ветровым потоком, проходящим через площадь вращения ротора. Ветряки с большим количеством лопастей обычно работают при низких скоростях вращения. В то время как установки с двумя или тремя лопастями должны вращаться с очень высокой скоростью, чтобы максимально «охватить» ветровые потоки, проходящие через площадь ротора. Теоретически, чем больше лопастей у ротора, тем эффективней должна быть его работа. Однако, ветряки с большим количеством лопастей менее эффективны, чем ветрогенераторы с двумя или тремя лопастями, так как лопасти создают помехи друг другу.

Для водяных насосов, работающих при помощи ветряков, необходимо создание высокого стартового вращающего момента. Ветряки с большим количеством лопастей используются для подъема воды именно потому, что благодаря низкому коэффициенту окружной скорости на конце лопасти создаются высокие стартовые характеристики и установка может работать при малых скоростях ветра. [1]

У ветряков с вертикальной осью вращения (Н-образные) ведущий вал ротора расположен вертикально. Лопасти такой турбины - длинные, обычно дугообразные. Они прикреплены к верхней и нижней частям башни. В мире существует всего лишь несколько производителей таких ветряков, наиболее известный из них - компания «Flowind». Благодаря вертикальному расположению ведущего вала ротора Н-образные турбины, в отличие от турбин с горизонтальной осью вращения, «захватывают» ветер, дующий в любом направлении, и для этого им не нужно менять положение ротора при изменении направления ветровых потоков. Автором идей создания турбины с вертикальной осью вращения является французский инженер Дарриус (Darieus).

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.

По способу взаимодействия с ветром ветряк делятся на установки с жестко закрепленными лопастями без регулирования и на агрегаты, у которых лопасти сделаны с изменяющимся углом. Обе конструкции имеют преимущества и недостатки. Ветряки, у которых лопасти сделаны с изменяющимся углом, имеют более высокую эффективность использования ветра и, соответственно, они вырабатывают больше электроэнергии. В то же время, эти ветряки должны быть оснащены специальными подшипниками, которые, исходя из имеющегося уже опыта, часто являются причиной поломок агрегатов. Турбины с жестко закрепленными лопастями более просты в обслуживании, однако их эффективность использования ветрового потока ниже.

# **5.1 ВЭУ**

Ветроэнергетические установки представляют собой достаточно сложное изделие. Многие из ранее разработанных образцов оказались ненадежными. Например, фотоэлектрический модуль, в отличие от ветряка, изначально является надежным изделием, так как его конструкция не содержит никаких движущихся элементов. Ветряк состоит из множества механизмов, и надежность каждого отдельного из них зависит от профессионализма его разработчиков и производителей. [3]

Размер современных ветрогенераторов имеет широкий диапазон: от малых 100 кВт-ных, предназначенных для обеспечения электроэнергией отдельных домов или коттеджей, до огромных установок мощностью более 1 МВт, диаметр лопастей которых превышает 50 м. Подавляющее большинство работающих ветрогенераторов представляет собой горизонтально-осевые конструкции с тремя лопастями диаметром 15-40 метров. Такие ветряки обладают установленной мощностью 50-600 кВт и более. Часто подобные ветрогенераторы сгруппированы на одной территории, образуя, таким образом, ветроэлектростанции (ВЭС). Электроэнергия, выработанная на ветроэлектростанциях, поступает в электросеть. Современные большие ветрогенератоы в основном вырабатывают электроэнергию с напряжением 690 В. Трансформатор, устанавливаемый рядом с ВЭУ или в ее башне, повышает напряжение до 10-30 кВ.

Стоимость 1 кВт установленной мощности крупного современного ветрогенератора составляет около 800 долларов США, что гораздо ниже показателя 1981 года - 2500 долларов США за 1 кВт установленной мощности.

# **5.2 Основные компоненты ветроэлектроустановок**

Современные ветрогенератор обычно состоят из следующих основных компонентов:

Лопастей

Ротора

Трансмиссии

Генератора

Система контроля

Лопасти. Именно этот компонент ветряка «захватывает» ветер. Современный дизайн ветряка позволяет увеличивать эффективность этого процесса. Как уже описано выше, обычно ветрогенераторы имеют две или три лопасти. Лопасти производят из стекловолокна, полистирола, эпоксидного полимера или углепластика. У некоторых из них есть деревянный каркас. Материал, из которого изготавливают лопасти, должен быть крепким и одновременно гибким, и не создавать волновые помехи, мешающие прохождению телевизионных сигналов. Длина лопастей современных ВЭУ варьируется от 25 до 50 метров, вес лопасти может превышать 1000 кг.

Под ротором понимают лопасти, соединенные с центральным валом. Центральный вал связан с ведущим валом привода через коробку передач - трансмиссию (в некоторых системах вал ротора напрямую соединен с приводом генератора).

Трансмиссия и привод необходимы для передачи кинетической энергии через ведущий вал на генератор, который и вырабатывает электроэнергию.

Все системы мощной ветроэлектроустановки контролируются и управляются с помощью компьютера, который может находиться на удалении от ветряка. Система контроля угла наклона лопастей «разворачивает» лопасти под углом, нужным для эффективной работы при любой скорости ветра. Система контроля направления оси ротора ветрогенератора разворачивает ветряк по направлению к ветру в горизонтальной плоскости. [5]

Электронная система контроля поддерживает постоянное напряжение на генераторе при изменении скорости ветра. Генератор, работающий при различных скоростях ветра, является важной составной частью эффективной работы ветрогенератора.

# **5.3 Типы ветроэнергетических установок**

Исторически первым стационарным агрегатом, использующим энергию ветра, была ветряная мельница, которая вручную ориентировалась на ветер. Основным ее рабочим органом являлось многолопастное колесо с горизонтальной осью вращения, устанавливаемое по направлению ветра. Такие ветродвигатели широко применялись в средние века и в последующем для размола зерна, подъема и перекачки воды, а также для привода некоторых производств. Крупные ветряные мельницы заводского изготовления при высоких скоростях ветра могли развивать мощность до 60 кВт. В XIX веке число ветряных мельниц на территории России превышало 200 тысяч, их суммарная мощность составляла примерно 1,3 млн. кВт, а в 1930 г. в СССР их насчитывалось более 800 тыс. штук.

В настоящее время известно много различных типов ветроэнергетических установок (ВЭУ). Широкое распространение имеют ветроустановки с крыльчатыми ветроколесами и горизонтальной осью вращения (рис. 2.8.). Среди них наибольшее развитие получили двух- и трехлопастные ветроколеса. Вращающий момент ветроколеса создается подъемной силой, образующейся при обтекании профиля лопастей воздушным потоком. В результате кинетическая энергия воздушного потока в пределах площади, ометаемой лопастями, преобразуется в механическую энергию вращения ветроколеса.



Рис. 2.8. Ветроколеса крыльчатых ветроустановок: 1 - многолопастное, 2 - трехлопастное, 3 - двухлопастное, 4 - однолопастное с противовесом

Мощность, развиваемая на оси ветроколеса, пропорциональна квадрату его диаметра и кубу скорости ветра. По классической теории Н.Е. Жуковского для идеального ветроколеса коэффициент использования энергии ветра ξ = 0,593. То есть идеальное ветроколесо (с бесконечным числом лопастей) может извлечь 59,3% энергии, проходящей через его поперечное сечение. Реально на практике у лучших быстроходных колес максимальное значение коэффициента использования энергии ветра доходит до 0,45 - 0,48, а у тихоходных - до 0,36 - 0,38.

Важной характеристикой ветроколеса является его быстроходность Ζ, представляющая отношение скорости движения конца лопасти к скорости ветрового потока. Конец лопасти обычно движется в плоскости ветроколеса со скоростью, которая в несколько раз выше скорости ветра. Оптимальные значения быстроходности двухлопастного колеса - 5-7, трехлопастного - 4-5, шестилопастного - 2,5 - 3,5.

Из конструктивных характеристик на мощность ветроколеса основное влияние оказывают его диаметр, а также форма и профиль лопастей. Мощность мало зависит от числа лопастей. Частота вращения ветроколеса пропорциональна быстроходности и скорости ветра и обратно пропорциональна диаметру. На величину мощности влияет также высота расположения центра колеса, так как скорость ветра зависит от высоты.

Мощность ВЭУ, как отмечалось, пропорциональна скорости ветра в третьей степени. При расчетной скорости ветра и выше обеспечивается работа ВЭУ с номинальной мощностью. При скоростях ветра ниже расчетной мощность ветроустановки может составлять 20 - 30% от номинальной и менее. При таких режимах работы происходят большие потери энергии в генераторах вследствие их низких к.п.д. на малых нагрузках, а в асинхронных генераторах возникают, кроме того, большие реактивные токи, которые необходимо компенсировать. Для исключения этого недостатка в некоторых ВЭУ применяют 2 генератора с номинальными мощностями 100 и 20 - 30% от номинальной мощности ВЭУ. При слабых ветрах первый генератор отключается. В некоторых ВЭУ малый генератор обеспечивает также возможность работы установки при малых скоростях ветра при пониженных оборотах с высоким значением коэффициента использования энергии ветра. [7]

Установка ветроколеса на ветер, т.е. перпендикулярно к направлению ветра, производится в агрегатах очень малой мощности с помощью хвоста (хвостового оперения), в агрегатах небольшой и средней мощности - посредством механизма виндроз, а в современных крупных установках - специальной системой ориентирования, получающей управляющий импульс от датчика направления ветра (флюгера), установленного наверху на гондоле ветроустановки. Механизм виндроз представляет собой одно или два небольших ветроколеса, плоскость вращения которых перпендикулярна к плоскости вращения основного колеса, работающих на привод червяка, поворачивающего платформу головки ветродвигателя до тех пор, пока виндрозы не будут лежать в плоскости, параллельной направлению ветра.

Крыльчатое ветроколесо с горизонтальной осью вращения может располагаться перед башней и за ней. В последнем случае лопасть подвергается постоянному многократному воздействию переменных сил при прохождении в тени башни, что одновременно значительно повышает уровень шума. Для регулирования мощности и ограничения частоты вращения ветроколеса применяется ряд способов, в том числе поворот лопастей или их части вокруг своей продольной оси, а также закрылки, клапаны на лопастях и другие способы.

Основными преимуществами ветроустановок с горизонтальной осью вращения ветроколеса является то, что условия обтекания лопастей воздушным потоком постоянны, не изменяются при повороте ветроколеса, а определяются только скоростью ветра. Благодаря этому, а также достаточно высокому значению коэффициента использования энергии ветра, ВЭУ крыльчатого типа в настоящее время получили наибольшее распространение.

Другой разновидностью ветроколеса является ротор Савониуса (рис. 2.9.). Вращающий момент возникает при обтекании ротора потоком воздуха за счет разного сопротивления выпуклой и вогнутой частей ротора. Колесо отличается простотой, но имеет очень низкий коэффициент использования энергии ветра - всего 0,1 - 0,15.



Рис. 2.9. Ротор Савониуса: а) - двухлопастный, б) - четырехлопастный

В последние годы в ряде зарубежных стран, особенно в Канаде, начали заниматься разработкой ветродвигателя с ротором Дарье, предложенным во Франции в 1920 г. Этот ротор имеет вертикальную ось вращения и состоит из двух - четырех изогнутых лопастей. Лопасти образуют пространственную конструкцию, которая вращается под действием подъемных сил, возникающих на лопастях от ветрового потока. В роторе Дарье коэффициент использования энергии ветра достигает значений 0,30-0,35. В последнее время проводятся разработки роторного двигателя Дарье с прямыми лопастями. Главным преимуществом ветроустановок Дарье является то, что они не нуждаются в механизме ориентации на ветер.



Рис. 2.10. Ветроэнергетические установки (Дарье) с вертикальным ротором а - Ф-образный, б - D - образный, в-с прямыми лопастями. 1 - башня (вал), 2 - ротор, 3 - растяжки, 4 - опора, 5 - передача вращающего момента ротора, циклично повторяющееся при работе

Это может вызывать усталостные явления и приводить к разрушению элементов ротора и серьезным авариям, что должно учитываться при конструировании ротора (особенно при больших мощностях ВЭУ). Кроме того, для начала работы их требуется раскрутить.

Зависимости коэффициента использования энергии ветра x, от быстроходности Ζ для различных типов ветроколес приведены на рис. 2.11. Видно, что наибольшее значение ξ имеют двух- и трехлопастные колеса с горизонтальной осью вращения. Для них высокое ξ сохраняется в широком диапазоне быстроходности Ζ. Последнее существенно, так как ветроустановкам приходится работать при скоростях ветра, изменяющихся в больших пределах. Именно поэтому установки этого типа получили в последние годы наибольшее распространение.



Рис. 2.11. Типовые зависимости коэффициента использования энергии ветра ξ от быстроходности ветроколеса Ζ 1 - идеальное крыльчатое ветроколесо; 2,3 и 4 - двух, - трех и многолопастные крыльчатые ветроколеса; 5 - ротор Дарье; 6 - ротор Савониуса; 7 - четырехлопастное ветроколесо датской мельницы

## ветер энергия ветрогенератор ветроколесо

# **Литература**

1. Первоочередные площадки для ветропарков на Кольском полуострове. Минин В.А., Дмитриев Г.С., Никифорова Г.В. и др. - Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 2004. - 24 с.

2. Концепция использования ветровой энергии в России. Под ред. Безруких П.П. - М.: Книга - Пента, 2005. - 128 с.

. Энергия биомассы // Энергия будущего. Научно-аналитический журнал, июнь 2006. - М.: С. 65-66.

. Первоочередные площадки для ветропарков на Кольском полуострове. Минин В.А., Дмитриев Г.С., Никифорова Г.В. и др. - Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 2004. - 24 с.

. Минин В.А., Дмитриев Г.С. Перспективы развития нетрадиционной энергетики Мурманской области / Природопользование в Евро-Арктическом регионе: опыт ХХ века и перспективы. - Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН. 2002.-С. 134-139.

. Ресурсы и эффективность использования возобновляемых источников энергии в России / Безруких П.П., Борисов Г.А., Виссарионов В.И. и др. - С. Пб.: Наука, 2002. - 314 с.

. Энергетическая стратегия России на период до 2020 года. - М.: ГУ ИЭС Минэнерго России. 2001. - 544 с.