

Запасы органического топлива на нашей планете (нефти, газа, угля) быстро сокращаются. По оценкам специалистов при нынешних объемах добычи угля хватит на 400-500 лет, а нефти и газа - максимум на 100. Кроме того, опустошение земных недр и сжигание органического топлива уродуют нашу планету и ухудшают экологию. Поэтому человечество вынуждено осваивать нетрадиционные, т.е. возобновляемые и экологически чистые источники энергии.[1] Важная роль принадлежит ветроэнергетике [2-5]. Идея использования ветра в качестве источника энергии не нова. Еще в древности человек, видя разрушительные последствия урагана, думал о том, как заставить ветер работать на себя. Первым устройством, работающим за счет энергии ветра, был парус. Хотя парусу уже около 6000 лет (его использовали еще древние египтяне), он до сих пор имеет максимальный КПД среди всех ветроагрегатов. Примерно в XVIII веке до нашей эры в Персии и Китае появились ветродвигатели с вертикальной осью вращения (карусельные). Более совершенные двигатели с горизонтальной осью вращения были сооружены в IV – III веках до нашей эры в Александрии (Египет). Ветряные мельницы с крыльями – парусами из ткани появились впервые в Персии более 1,5 тысяч лет назад. В дальнейшем ветряные мельницы совершенствовались. В Европе они не только мололи зерно, но и качали воду, сбивали масло (например, в Голландии). Первый ветряной электрогенератор был сконструирован в Дании в 1890 году. Мощный толчок развитию нетрадиционной энергетики дал мировой энергетический кризис середины 70-х годов XX века. В настоящее время по данным международного энергетического агентства около 2-3% производимой в мире электроэнергии приходится на возобновляемые источники. Значительную часть этой энергии вырабатывают ветроэнергетические станции. Однако, если в 1960-1980 –е годы ВЭС были нерентабельны, то в настоящее время мировая ветроэнергетика дает прибыль. В 1925 году наш соотечественник – профессор Н.Е. Жуковский разработал теорию ветродвигателя и создал отдел ветряных двигателей в центральном аэродинамическом институте. В 1931 году в СССР была построена крупнейшая в мире ветроэнергетическая установка мощностью 100 кВт. В пятидесятые годы XX века наша страна выпускала до 9 тысяч ветроустановок в год мощностью до 30 кВт. Однако в 1960-1980-е годы СССР был ориентирован на строительство крупных тепловых, гидравлических и атомных электрических станций. Поэтому развитие ветроэнергетики затормозилось. В 1990-м году проектные институты приступили к созданию первых крупных ВЭС. Но очень скоро из-за экономического кризиса работы на всех объектах ветроэнергетики были остановлены. В настоящее время в России функционируют всего несколько десятков небольших ВЭС. Ветер в приземном слое атмосферы возникает из-за неравномерного нагрева Солнцем земной поверхности: водные бассейны, горы, леса, степи, болота и пустыни нагреваются неодинаково. Вследствие этого появляется перепад давлений из-за разности

плотностей холодного и теплого воздуха. Разность давлений заставляет циркулировать огромные воздушные массы, т.е. возникает ветер. Перепад плотностей воздуха появляется также из-за тени (при переменной облачности, смене дня и ночи). В тропосфере (на высоте 8-12 км от поверхности Земли) образуются мощные воздушные течения, называемые струйными.

Характеристики струйных и приземных воздушных течений существенно различны. В поперечнике струйные течения достигают 400-600 км, а их протяженность – до 1000 км. Скорость воздуха в ядре струйного течения составляет 30-80 км/ч, но часто достигает 200 км/ч. Энергетический потенциал ветра на Земле очень велик и составляет по оценкам Всемирной метеорологической организации 170 триллионов кВт•ч в год. Это дает возможность выработки ветроустановками энергии в количестве $1.18 \cdot 10^{13}$ кВт•ч в год, что многократно превосходит количество потребляемой в мире энергии. Ветро двигатели обычно используют ветер в приземном слое атмосферы на высоте до 50-70 (реже до 100 м) от земной поверхности. Важнейшая энергетическая характеристика ветра – его скорость. Вследствие ряда факторов скорость и направление ветра изменяются по случайному закону. Важная характеристика ветра – его вертикальный профиль, т.е. характер изменения скорости ветра в приземном слое атмосферы. Кинетическая энергия ветра пропорциональна кубу его скорости. Удельная мощность ветрового потока с сечением 1 м² при $t=150$ С и $p=101,3$ кПа. Кинетическая энергия воздушного потока с помощью ветроколеса или ветротурбины преобразуется в механическую энергию. Последняя с помощью исполнительного механизма (генератора, компрессора, электролизера и т.д.) может быть превращена в электрическую, тепловую, механическую энергию или энергию сжатого газа. Ветровые энергетические установки по генерируемой мощности делятся на 3 группы: 1) до 5 кВт для отопления помещений, питания насосов и т.д.; 2) 5-100 кВт (в качестве привода различных устройств, в том числе электрогенераторов); 3) более 100 кВт (для параллельной работы с неветровыми электростанциями). Были предложены ветродвигатели с вертикальной осью вращения (карусельные, роторные, барабанные) и с горизонтальной осью вращения (крыльчатые). КПД крыльчатых ветродвигателей значительно выше, чем у ветродвигателей с вертикальной осью и достигает 50 %. В настоящее время в большинстве стран используют крыльчатые ветроустановки. Основной рабочий орган крыльчатого ветродвигателя – ветроколесо с лопастями, расположенными по радиусам и под некоторым углом к плоскости вращения. Число лопастей может быть различно (обычно 2-3). Вращающий момент на ветроколесе появляется за счёт подъемной силы, возникающий из-за разности давлений под и над крылом. Скорость вращения колеса максимальна при перпендикулярном к потоку воздуха расположению лопастей. Поэтому в крыльчатых ВЭС используют устройства автоматического поворота оси вращения: на мощных ВЭС – электронную систему

управления рысканием, а на малых станциях – крыло-стабилизатор. В современных ВЭС применяют новые технологические идеи: систему динамического изменения угла атаки, систему динамического регулирования скорости вращения ветроколеса; систему оперативного регулирования магнитного скольжения асинхронного генератора. Начала эксплуатироваться ВЭС, в которой применяется многополюсный ротор на постоянных магнитах и высоковольтный генератор со статором, имеющим обмотки из кабеля. Переменный низкочастотный ток выпрямляется, а затем преобразуется в переменный ток сетевой частоты. Генератор низкооборотный и в редукторе не нуждается. Работой ВЭС управляет бортовой компьютер. Если возникают всплески напряжения при сильных порывах ветра, они гасятся специальными электронными системами. Ветроагрегаты отключаются при скорости ветра 25 м/с с помощью двухуровневой системы торможения. В отключенном состоянии они выдерживают шквалы ветра до 50 м/с. Обслуживают ВЭС раз в полгода (срок эксплуатации 20 лет). Эффективна система «ветро-дизель», т.е. работа ВЭС в паре с дизелем. Компьютеризированное устройство позволяет за две секунды отключить дизель и вновь включить его. При этом экономится до 67% дизельного топлива. У ветра есть крупный недостаток – его нестабильность. Для снижения зависимости от непостоянства ветра применяют маховики, частично сглаживающие шквалы ветра и различные аккумуляторы, чаще всего электрические. Используют также воздушные (ветроустановка нагнетает воздух в баллон; при выходе из баллона струя воздуха вращает турбину с электрогенератором) и гидравлические аккумуляторы (ветродвигатель поднимает воду на определенную высоту; падая вниз, вода вращает турбину). Для компенсации нестабильности ветра сооружают ветряные фермы (станции). Ветроустановки размещают рядами на большой территории. Диаметры колес могут достигать нескольких десятков метров, а загораживать друг друга ветроустановки не должны. Современные ветровые турбины эффективно работают при скоростях ветра 6-10 м/с. Поэтому ветротурбины устанавливают на мачтах высотой несколько десятков метров (до 100 м), чтобы поднять над приземным инерционным слоем атмосферы. Ветроэнергетические установки эффективно работают только в районах со стабильными ветрами, например, на горных перевалах и морских берегах. К сожалению, у ветроэнергетических установок есть ряд недостатков. Они очень шумные, генерируют интенсивный инфразвук, вызывающий у людей чувство беспокойства и угнетенное состояние. Инфразвук отрицательно действует также на животных и птиц. При широком применении ветроустановок нарушается тепловой баланс земной поверхности. Это может изменить розу ветров в находящихся рядом промышленных зонах и усилить загрязнение воздуха. Ветроэлектростанции мешают полётам птиц и насекомых, отражают радиоволны вращающимися лопастями, затрудняя работу навигационной аппаратуры самолётов и приём телесигнала. Капитальные

затраты и эксплуатационные расходы на ветроустановки значительны. Ветроэлектростанции занимают намного большую площадь, чем ГЭС, ТЭС или АЭС такой же мощности. На Западе ряд проблем, связанных с эксплуатацией ВЭС, был решен еще в середине 1990-х годов. Улучшением профилей лопастей и подбором числа оборотов ветроколеса удалось уменьшить шум и вибрацию. Защиту птиц обеспечивает ограждение ветроколеса сетчатым кожухом. Для улучшения приема телесигнала рядом с ВЭС построили ретрансляторы. В отличие от ископаемых видов топлива ветер – возобновляемый источник энергии. Капитальные затраты на сооружение ветроэнергетических станции намного меньше, чем на строительство тепловых, атомных или гидроэлектростанций. Ветроэнергетические установки не загрязняют воздух, как ТЭС, не дают радиоактивные отходы, как АЭС. Поэтому ветроэнергетику можно отнести к перспективным отраслям альтернативной энергетики