УДК 621.311.21

Сражидин кызы Буфатима – магистрант,
Ошский технологический университет

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ПРИ РАЗЛИЧНОМ ДИАПАЗОНЕ СКОРОСТЕЙ ВЕТРА

В статье даны краткие сведения о воздушном потоке, изучено и исследовано преобразование кинетической энергии ветра в электрическую, а также описаны конструкции ветроагрегата.

Ключевые слова: Энергия, воздушный поток, мощность, ветер, коэффициент использования, ветроагрегат, пропеллер, свойства, скорость, поверхность, преобразование.

Srazhidin gizi Bufatima - graduate student,
Osh technological university

USING WIND POWER PLANTS AT A DIFFERENT WIND SPEED RANGE

The article gives brief information about the air flow, studied and studied the conversion of the kinetic energy of the wind into electric wind and also describes the design of the wind turbine.

Key words: Energy, air flow, power, wind, coefficient of use, wind turbine, propeller, properties, speed, surface, and transformation.

Наряду с поисками новых мощных источников энергии ведется разработка и строительство станций на возобновляемых энергоресурсах экологически «чистого» типа, воздействие которых на окружающую среду минимально. Это станции, использующие энергию ветра, солнца и малых водотоков.

Энергия ветра оценивается в 175-219 тыс. кВт·ч /год, при этом развиваемая мощность достигает $(20/25)\cdot10^9$ кВт. Это примерно в 2,7 раза больше суммарного расхода энергии на планете. Считают, однако, что полезно может быть использовано только 5 % этой энергии; в настоящее же время используется значительно меньше. Использование силы ветра, т.е. энергии движения воздуха, относится к глубокой древности.

При использовании энергии ветра в современных условиях стремились учесть опыт тех стран, в которых ветряные двигатели издавна широко применялись, особенно в Дании и Голландии – классических странах ветряных мельниц.

Ветроэнергетика – отрасль науки и техники, разрабатывающая теоретические основы, методы и средства использования энергии ветра для получения механической, электрической и тепловой энергии (ветротехника) и определяющая области и масштабы целесообразного использования ветровой энергии в народном хозяйстве.

Использование ветровой энергии осуществляется с помощью специальных установок. Ветроэнергетические установки (ВЭУ) – это комплекс технических устройств для преобразования кинетической энергии ветрового потока в какой-либо другой вид энергии. Различают ветросиловые установки и ветроэнергетические станции. Под ветродвигателем понимают двигатель, использующий кинетическую энергию ветра для выработки механической энергии. Различают ветродвигатели крыльчатые с коэффициентом использования энергии ветра до 0,48 (наиболее распространенные), карусельные или роторные с коэффициентом использования не более 0,15 и барабанные. Основное применение ветродвигателей – ветроэлектрические

станции. Ветроколесо мощных ВЭУ находится на большой высоте, где скорость ветра выше, выше у них и коэффициент удельный выработки электроэнергии $К_{уд}$, являющийся обобщенной характеристикой ВЭУ:$К_{уд} = W_{год}/(\pi \cdot R^2)$,

где $W_{год}$ – годовая выработка электроэнергии, кВт·ч;

$\pi \cdot R^2$ – ометаемая поверхность ветроколеса, м^2.

Считается целесообразным установка ВЭУ в местах, где среднегодовая скорость ветра составляет более 5 *м/с*.

Кинетическая энергия $Э_{кин}$ (Дж) воздушного потока со средней скоростью ν (*м/с*), проходящего через поперечное сечение F (м^2), перпендикулярное ν, и массой m (*кг*) рассчитывается по формуле: $Э_{кин} = m \cdot \nu^2/2$ (1)

Масса воздуха определяется по формуле: $m = \rho \cdot \nu \cdot F$

где ρ – плотность воздуха, *кг/м^3*.

Обычно в расчетах принимают ρ = 1,226 *кг/м^3*, соответствующую следующим нормальным климатическим условиям: t = 15°C, P = 760 *мм рт. ст.* или 101,3 *кПа*. Если в формуле (1) в качестве *m* взять секундную массу воздуха (*кг/с*), то получим значения мощности, развиваемой потоком воздуха (Дж/с или Вт), т.е. $N = 0,5 \cdot \rho \cdot \nu^3 \cdot F$

Для поверхности площадью F = 1*м^2* получаем значение удельной мощности ветрового потока со скоростью ν $N_{уд} = 0,5\ \rho\ \nu^3$ (2)

Обычно в ветроэнергетике используется рабочий диапазон скоростей ветра, не превышающих 25 *м/с*. Это скорость соответствует 9-балльному ветру (шторм) по 12-балльной шкале Бофорта [1].

Энергия ветра - это форма проявления солнечной энергии. Благодаря солнечному излучению происходит неравномерный нагрев поверхности Земли, который влечет за собой движение воздушных масс. Мерой силы ветра в метеорологии часто является шкала Бофорта. Сила ветра по шкале Бофорта приведена в таблице 1.

Таблица1

Шкала Бофорта. Сила ветра по шкале Бофорта

Баллы Бофорта	Скорость ветра, м/с	Характеристика силы ветра
0	0...0,2	Штиль
1	0,4 ...1,8	Тихий
2	1,8...3,6	Легкий
3	3,6...5,8	Слабый
4	5,8...8,5	Умеренный
5	8,5...11	Свежий
6	11...14	Сильный
7	14...17	Крепкий
8	17...21	Очень крепкий
9	21...25	Шторм
10	25...29	Сильный шторм
11	29...34	Жестокий шторм
12	Более 34	Ураган

Одной из важной составляющей характеристики ветра является его порывистость и шквальность.

Порывистость – короткое по длительности и малое по мощности явление. Шквальность – продолжительное и мощное явление. Преобразование кинетической энергии ветра в электрическую происходит с помощью ветроэнергетических установок (ВЭУ), которые можно классифицировать:

- по мощности – малые (до 10 кВт), средние (от 10 до 100 кВт), крупные (от 100 до 1000 кВт), сверхкрупные (более 1000 кВт).

- по числу лопастей рабочего колеса – одно, двух-, трех- и многолопастные.
- по отношению рабочего колеса к направлению воздушного потока – с горизонтальной осью вращения, параллельной или перпендикулярной вектору скорости (ротор Дарье).

В настоящее время в мире наибольшее распространение получили трехлопастные ВЭУ с горизонтальной осью вращения, в состав которых входят следующие компоненты: рабочее колесо, гондола с редуктором и генератором, башня и фундамент.

Башня – чаще трубообразная, реже – решетчатая, на ней в гондоле размещается основное энергетическое, механическое и вспомогательное оборудование ВЭУ, в том числе рабочее колесо или ротор с лопастями, преобразующие энергию ветра в энергию вращения вала, редуктор для повышения частоты вращения вала ротора и генератор. Лопасти ротора могут быть жестко закреплены на его втулке или изменять свое положение в зависимости от скорости ветра для повышения полезной мощности ВЭУ.

Для каждой ВЭУ можно выделить следующие три характерных значения рабочей скорости ветра:

1) $v_p^{\min}$, при которой $0 \le v \le v_p^{\min}$ и мощность ВЭУ равна нулю;

2) 2) v_p^N, при которой $v_p^{\min} \le v \le v_p^N$ и мощность ВЭУ меняется в зависимости от скорости ветра и частоты вращения ротора;

3) $v_p^{\max}$, при которой $v > v_p^{\max}$ и мощность ВЭУ равна нулю за счет принудительного торможения ротора или разворота его лопастей параллельно вектору скорости ветра.

Для ориентировочных расчетов в диапазоне скоростей ветра от $v_p^{\min}$ до v_p^N полезная мощность ВЭУ для заданных скорости ветра v на высоте башни $H_б$ (*м*) и диаметра ротора ВЭУ D_1 (м) рассчитывается по формуле :

$$N_{ВЭУ} = N_{уд} F_{ВЭУ} \eta_p \eta_г \zeta \cdot 10^{-3} \quad (3)$$

где $N_{уд}$ (*Вт/м²*) определяется по формуле (2); $F_{ВЭУ}$ (*м²*) – ометаемая площадь ВЭУ с горизонтальной осью вращения, определяемая по формуле $F_{ВЭУ} = \pi D_1^2 / 4$

$\eta_р$ – к.п.д. ротора (≈ 0,9); $\eta_г$ – к.п.д. электрогенератора (около 0,95); ζ – коэффициент мощности, обычно принимаемый равным 0,45 в практических расчетах, который учитывает долю получаемой мощности ветродвигателем от воздушного потока.

После подстановки всех указанных значений в формулу (3) получаем для ориентировочных расчетов следующую формулу: $N_{ВЭУ} = 1{,}85 D_1^2 v^3$ (4)

Для малых ВЭУ $v_p^{\min}$ находится обычно в пределах 2,5÷4 *м/с,* а v_p^N - от 8 до *10 м/с.* Для крупных ВЭУ указанные значения составляют 4÷5 и 12÷15 *м/с* соответственно. Предельная допустимая скорость ветра по соображениям прочности ВЭУ составляет 60 *м/с*.

В расчетах ветроэнергетических установок учитывается также и «роза ветров», т.е. характерные направления скоростей ветра в данной точке в течение года. Для оценки перспективности ВЭУ в данной местности или регионе необходимо знать его валовые, технические и экономические ресурсы.

Эффективность преобразования кинетической энергии воздушного потока в электрическую энергию определяются рядом его специфических особенностей как энергоносителя, а также свойствами механических преобразователей энергии - ветровых турбин [1].

Мощность воздушного потока представляется как энергия, поступающая через его сечение площадью 1*м²*, расположенное перпендикулярно его направлению. Величина развиваемой мощности зависит от плотности воздуха ρ, скорости его движения и определяется выражением: $N=1/2\ \rho\ v^3$, *Вт/м²*

Диапазон изменения скорости ветра от 0 *м/с* (затишье) до 50-65 *м/с* (шторм, ураган) определяет широкие возможности использования энергии ветра.

Себестоимость 1 кВт·ч электроэнергии, вырабатываемой ВЭУ, не превышает 4 центов. Мощность ВЭУ зависит от высоты башни и диаметра ветроколеса. (высота башни $h_б$ должна быть не менее 10 м и скорость ветра V не менее 10 м/с) [5].

Таблица 2

Ниже для указанного рабочего диапазона скоростей ветра приведены значения $N_{уд}$:

ν, м/с	2	3	4	5	10	14	18	20	23	25
$N_{уд}$, Вт/м^2	4,9	16,55	39,2	76,6	613	1682	3575	4904	7458	9578

Ветер - особый энергоноситель: при увеличении его скорости в 5 раз, от 6 до 30 *м/с* удельная мощность увеличивается в 125 раз. Параметр «скорость ветра» имеет ряд показателей - среднесрочная, максимальная, порывистость, максимальная скорость в порыве и шквальность [2]. Скорость непрерывно меняется по величине и в понятие «среднесрочная» входит среднее значение за определенной интервал времени (среднечасовой скорость).

Порывистость ветра – наличие в воздушном потоке значительных колебаний по скорости и направлению с временными интервалами в несколько десятков секунд. Она ярко выражена в холодных воздушных массах и увеличивается при прохождении холодных фронтов атмосферы. Амплитуда порыва за время его формирования, достигает максимального значения, в 2 раза превышающего среднюю скорость. За время, порыва энергия ветрового потока может изменяться несколько раз. Это приводит к изменению режима обтекания аэродинамических поверхностей ветродвигателя и возникновению резких механических нагрузок на лопасти, редуктор, на ветродвигатель в целом. Порывистость ветра является функцией ряда факторов и зональных условий и варьируется в значительных пределах. Обычно чем больше скорость, тем меньше коэффициент порывистости, хотя абсолютные отклонения скорости при порыве от средней возрастают.

Воздух, а в особенности ветер, содержит в зависимости от погодных условий пары воды, мелкие частицы воды в виде облаков и туч, дождь, ветер с дождем, снежинки, частицы соли и почвы при солевых и песчаных бурях. Присутствие этих примесей в составе воздуха не меняет общей картины воздушных течений и скоростных характеристик ветра, но влияет на энергетические показатели.

При порывах и сильных шквалах скорость ветра у поверхности земли может превышать 50 *м/с*, а в отдельных случаях достигать 100 и более *м/с*. Для получения максимальной мощности ветроколеса необходимо изменять угол поворота лопасти при изменении скорости ветра. Стремление к увеличению мощности ветроагрегатов определило рост диаметра, веса и в конечном итоге, момента инерции рабочего колеса, веса и размеров лопастей.

В результате системы регулирования положением лопасти не успевают отреагировать на быстрые изменения скорости и лопасти работают не в расчетном режиме. Плотность воздуха при нормальных условиях 1,2928 *кг/м^3*. Воздух представляет собой смесь постоянных и переменных газов, жидких и твердых частиц. Постоянные газы: азот – 78,9%, кислород – 20,95%, аргон – 0,91%. Переменные газы – водяной пар, двуокись кислорода, озон и т.п. Максимальное количество водянного пара, которое может содержаться в воздухе при атмосферным давлении, зависит от температуры: чем выше температура, тем при большем содержании водяного пара происходит насыщения. Конденсирующийся пар образует осадки: жидкие – дождь, морось; твердые –снег, град.В связи с увеличением выбросов в атмосферу парниковых газов интенсивность осадков значительно возросла, соответсвенно возросло влияние состава атмосферы и ее динамики на показатели работы ветроэнергетических установок. Добавочная нагрузка, создаваемая на ветровоспринимающие (омываемые)

поверхности от движущихся с большой скоростью частиц воды представляет собой довольно значительную величину. Нередко причиной разрушения ветроагрегата является не столько общий уровень мощности воздушного потока, сколько ее динамика и структура вариаций скорости за короткие промежутки времени, то есть ускорение и замедление потока, длительность порывов и их не совпадение в различных точках поверхности, ометаемой ветроколесом.

Тяговое усилие рабочих элементов ветромеханических преобразователей – лопастей пропеллерных агрегатов и лопаток турбин, а итоге удельная мощность ветроагрегата, зависит не столько от скоростных характеристик обтекающего их воздушного потока. При отклонении угла встречи потока с рабочей поверхностью от оптимального, мощность ветроагрегатов уменьшается.Таким образом, важнейшей характеристикой реального воздушного потока является его направление, непрерывно изменяющееся во времени и постранстве, а также такие показатели, как частота смены направления, скорость изменения направления, длительность случая существования ветра в одном направлении. Эти показатели можно назвать “динамикой курса ветра”. Направление ветра, как правило, как и скорость также изменяется с увеличением высоты и на разной высоте одновременно могут существовать ветры разных направлений. Отсутствие данных по “динамике курса” ветра затрудняет разработку ветроагрегатов, а существующие системы и устройства ориентирования ветроколеса на определенное направление ветра не в состоянии держать ветроагрегат в оптимальных по выработке энергии положениях и обеспечивать высокий коэффициент использования энергии ветра. Для оценки эффективности работы ветроагрегатов может быть применен новый показатель – “коэффициент использования направления ветра”. Он является максимальным для пропеллерных малоинерционных анемометров, работающих с погрешностью ±3% по величине коэффициента использования направления ветра и убывает с увеличением размеров ветроколес пропеллерного типа.Существуют большие проблемы установки плоскости вращения ветроколеса пропеллерных ветроагрегатов перпендикулярно непрерывно меняющему направление вектору скорости воздушного потока, а также установки лопастей ветроколес для оптимального обтекания воздушным потоком. Ветроагрегаты пропеллерного типа в виду наличия гироскопического эффекта и большой инерции при изменении положения плоскости вращения ветроколеса и лопастей не в полной мере следует за изменением направления ветра в многовекторных “розах ветров”. При изменении скорости ветра происходит изменение частоты вращения ветроколеса и связанного с ним электрогенератора, что, в свою очередь, приводит к изменению ЭДС генератора и частоты тока. Зависимость между частотой тока и частотой вращения носит прямопропорциональный характер и для поддержания постоянной частоты тока необходимо поддержание постоянной частоты вращения ветроколеса. ЭДС генератора зависит от двух величин – частоты вращения и величины магнитного потока. Обеспечить ее постоянство при изменении частоты вращения в широких пределах в соответствии с изменением скорости ветра можно регулированием тока возбуждения, что, однако, приводит к снижению КПД преобразования энергии. Выработка электроэнергии стандартного качества ветроэлектростанциями, рассчитанными для работы при среднегодовой скорости ветра (4,5 ÷ 9 м/с) обеспечиваются системами регулирования, снижающими частоту вращения и, следовательно, развиваемую ветроагрегатами мощность и выработку электроэнергии. По этой причине коэффициент использования установленной мощности пропеллерных ВЭС (ВЭУ) составляет 10 ÷ 20 %, что сказывается на их технико-экономических показателях [3].

Ветроэнергетика – быстроразвивающая отрасль энергетики, в которой в каждый промежуток времени происходят изменения, касающиеся конструкции, принципов размещения ветроэнергетических агрегатов, компоновки ветроэнергетичесих агрегатов

с другими источниками энергии – аккумуляторными батареями, солнечными энергетическими установками, бензо-дизельными агрегатами [4].

Литература:

1. **Белей, В.Ф.** Выбор ветроустановок на основе опыта эксплуатации ветропарка Калининградской области // Электрика.2003 № 2
2. **Быстрицкий, Г.Ф.** Основы энергетики 3 изд., [Текст] М., “КноРус”2012.
3. **Белинский, С.Я.** Энергетические установки электростанций. [Текст] / Ю.М. Липов // М. “Энергия”2014.
4. **Быстрицкий,Г.Ф.** Энергосиловое оборудование промышленных предприятий. [Текст] М. “Академия”2003.
5. Ветроэнергетика. Под редакцией Д. де Рензо, М, Энергоатом издат, 1982.