

the soil collector apply to a small depth.

Taking the assumption that in the soil collectors, the delay in phase of fluctuations is similar to the wall of infinite thickness, in the article, the sizes of the phase relationships of maximum and minimum heat fluxes were defined.

Keywords: vertical soil collector, combined heat and cold supply system, thermal load, heat wave.

Дата надходження в редакцію: 14.10.14 р.

Рецензент: д.т.н., професор Філатов Л.Г.

УДК 533.6621548

НЕКОТОРЫЕ КРИТЕРИИ ВЫБОРА АВТОНОМНЫХ ВЕТРОУСТАНОВОК МАЛОЙ МОЩНОСТИ МНОГОЦЕЛЕВОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Л. Г. Рожкова
О. В. Радчук
Ю. П. Рожевский

В статье рассмотрены некоторые критерии выбора и применения ветроустановок малой мощности многоцелевого назначения. Предложены принципы расчета номинальной мощности, а также суммарной мощности ветроустановок в течение годового периода работы. Рассмотрен способ уменьшения неравномерности мощностной характеристики во времени. Указано на перспективность применения вертикально-осевых ветроустановок средней быстроходности малой мощности для автономного потребителя, в частности, с установкой ВУ в непосредственной близости к жилым объектам.

Ключевые слова: ветроустановка, номинальная мощность, ометаемая площадь, энергетический потенциал, скорость ветра, коэффициент использования энергии, мощностная характеристика.

Вступление. Жизнедеятельность и комфортное существование человечества напрямую зависит от уровня потребления энергии. В настоящее время этот уровень достаточно высок, тем не менее потребность в энергии непрерывно возрастает. Кроме того, большое значение имеет надежность энергообеспечения а также доступность и стоимость энергии. Особенно этот факторы актуальны для автономных потребителей: коттеджей, мелких фермеров и т. д. В современном мире стоимость энергии увеличивается многократно; кроме того, запасы ископаемых энерго-ресурсов конечны и могут истощиться не в таком уж далеком будущем. Человечество пытается (и небезуспешно) найти замещающие источники энергии, решая при этом, кроме того, задачи экологии и утилизации вторичных ресурсов. В этом направлении можно назвать использование энергии солнца, ветра, биоресурсов, а также низкопотенциальной теплоты земли, воздуха, воды и других сред. Безусловно, эти разработки имеют право на жизнь.

Постановка проблемы в общем виде. В настоящее время особое развитие в мировой практике получила ветроэнергетика, что объясняется доступностью и бесплатностью энергии ветра, возможностью установки ветроустановки практически в любом месте с достаточным ветровым потенциалом. Если говорить об автономных потребителях, то для них, очевидно, наиболее перспективны малые ветроустановки (до 50 кВт), что подтверждают и мировые тенденции развития современной ветроэнергетики.

В последнее время в странах Запада сделали вывод, что широкое применение ветротехники

малой мощности открывает большие возможности в части уменьшения затрат электроэнергии. Доказательством этому служит резкое возрастание внимания в странах Западной Европы и США к развитию и применению так называемой «балконной» ветротехники. В 2001 году было прогнозировано, что в 2010 году объем продаж «балконной» ветротехники на мировом рынке превысит уровень продаж 1995 года почти в 22 раза [1]. Практика показывает, что прогноз подтверждается. Следует указать, что по техническому уровню «балконная» ветротехника пока что уступает ветротехнике большой мощности, поскольку все лучшие технические решения в сфере ветроэнергетики осваивались в первую очередь в производстве мощных ветроустановок. Однако совершенствование малой ветротехники идет достаточно быстрыми темпами, поскольку спрос на нее неуклонно возрастает [2].

В настоящее время на рынке предлагаются два основных вида ветроустановок: горизонтально-осевые и вертикально-осевые [3]. Следует отметить, что при часто изменяющемся направлении ветра вертикально-осевые ветроустановки (далее ВУ) могут быть более предпочтительны по сравнению с горизонтально-осевыми, поскольку первые не требуют переориентировки на ветровой поток.

Существуют и другие преимущества вертикально-осевых ВУ, например, возможность размещения на земле устройств, преобразующих механическую энергию вращения оси ветроколеса в другой вид энергии. Поэтому в данной статье рассматриваются некоторые критерии выбора автономных вертикально-осевых ветроуста-

Новок малой мощности.

Анализ публикаций и исследований. В роторах вертикально-осевых ВУ устанавливаются лопасти, имеющие разнообразные конструкции, чаще всего так называемые крыловые лопасти рис.1 [3, 4, 5].

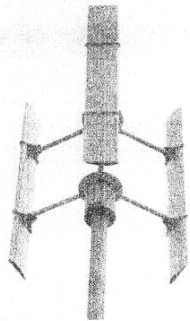


Рис.1. Вертикально-осевая ветроустановка мощностью 500 Вт производства КНР (фирма AerowindSystems), ветроколесо - трехлопастной Н-ротор Дарье. Коэффициент использования энергии ветра $C_p = 0,23$.

Для запуска ветроколеса совместно с крыловыми лопастями часто устанавливают ротор Савониуса, рис.2 и 3 [3].

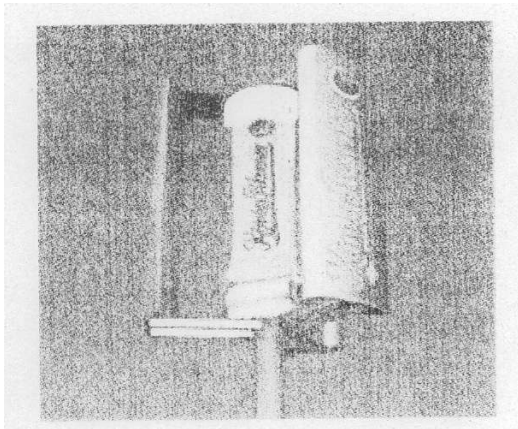


Рис.2. Вертикально-осевая ветроустановка мощностью 750 Вт производства Италии (фирма Rotates), ветроколесо - комбинация трехлопастного ротора Дарье и ротора Савониуса. Коэффициент использования энергии ветра $C_p = 0,2$. Цена ВУ 3700 EUR.

Применение одного ротора Савониуса в ВУ также имеет место на практике, однако он имеет низкий коэффициент использования энергии ветра ($C_p = 0,15$) [3,4], что ограничивает спрос на него.

Номинальная мощность ВУ в мировой практике определяется по выбранной номинальной скорости ветра. По стандартам ЕС номинальная скорость ветра выбирается довольно высокой: 11-14 м/с. Это вряд ли приемлемо для Украины, поскольку на ее территории средняя годовая скорость ветра в основном около 5 м/с.

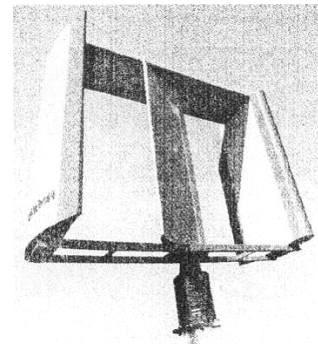


Рис. 3. Вертикально-осевая ветроустановка мощностью 2 кВт производства Германии (фирма Ахерт), ветроколесо - комбинация двухлопастного Н-ротора Дарье и ротора Савониуса. Коэффициент использования энергии ветра $C_p = 0,32$. Цена ВУ 13720 EUR.

Главной проблемой при применении ВУ является нестабильность ветрового энергетического потенциала. Данная проблема в мировой практике решается различными методами. Наиболее удачным может быть применение накопительных энергетических устройств. В этом плане интересным и оправданным экономически вариантом решения является гибридная ветросолнечная установка, разработанная предприятием «ВЕСТА», г. Днепропетровск, рис. 4. В роторе ВУ установлены симметричные крыловые лопасти конструкции NASA. Кроме того, для запуска ветроколеса применен ротор Савониуса, что при неточности изготовления может снижать эффективность ВУ.



Рис. 4. Гибридная ветросолнечная ВУ.

Тем не менее, такая установка привлекательна для автономного потребителя, поскольку имеет большую надежность с точки зрения бесперебойного энергоснабжения, однако стоимость может снижать спрос на нее.

Большую актуальность представляют вопросы выбора места и высоты размещения ВУ. Участок для размещения ВУ рекомендуется выбирать из условия его максимально возможной открытости ветровому потоку, предпочтительно на

возвышенности. Общие рекомендации, выработанные с использованием опыта и исследований по данному вопросу, следующие [6,7]:

а) для размещения ВУ желательна округлая, конусообразная форма возвышенности;

б) склоны должны быть пологими, с наклоном к горизонтали не более 20° .

в) в последнее время наблюдается размещение ВУ малой мощности и на крышах строений, и на балконах жилых домов [2].

Согласно тем же источникам, ВУ малой мощности, ввиду незначительности геометрических размеров ротора по сравнению с высотой приземного пограничного слоя, могут быть размещены в местности с любыми топографическими характеристиками, поскольку в данном случае неравномерность ветрового потока будет минимальной.

Цель статьи – на основе систематизации информационных данных и результатов исследований обосновать мощностной критерий для

выбора ВУ многоцелевого назначения, рассмотреть некоторые аспекты сглаживания нестабильности скорости ветра и рекомендации по размещению ВУ.

Изложение основного материала. Выбор ВУ по мощности, которая рассчитывается по достаточно большой номинальной скорости ветра, может обусловить для местности с низкой среднегодовой скоростью реальную мощность существенно (в разы) меньше заявленной. Например, при реальной среднегодовой скорости ветра 5 м/с ВУ будет развивать мощность в два раза ниже, чем рассчитанная по принятой в соответствии со стандартом ЕС номинальной (расчетной) скорости ветра 11м/с. Таким образом, к выбору значения расчетной скорости следует относиться очень внимательно. Для большинства регионов Украины значение среднегодовой скорости ветра находится в пределах 4...5м/с. Так, в таблице 1 приведены среднегодовые скорости ветра по Сумской области (по данным [2]).

Таблица 1 Среднегодовые скорости ветра в Сумской области Украины.

№ метеостанции	Название районов области	Высота флюгера, м	Скорость ветра, м/с
1	Хутор Михайловский	11	4,1
2	Глухов	13	4,1
3	Конотоп	16	4,1
4	Ворожба	12	4,3
5	Сумы, АМС	14	4,8
6	Ромны	14	3,6
7	Лебедин	14	3,6
8	Ивановская	11	4,2

Следовательно, если брать расчетную скорость ветра по стандартам ЕС, то может сложиться парадоксальная ситуация, при которой ВУ с заявленным меньшим значением установленной мощности, развиваемой при меньшем значении расчетной скорости ветра, будет вырабатывать больше энергии в течение года, чем ВУ с заявленной большей установленной мощностью при большей расчетной скорости ветра. В результате, потребитель, заплатив во втором случае большую цену, чем в первом, получит меньше электроэнергии.

На наш взгляд, более важным мощностным критерием, чем установленная мощность конкретной ВУ, является суммарная энергия, вырабатываемая в течение года за рабочий временной промежуток в выбранном диапазоне рабочих скоростей ветра. Для ее расчета необходимо знать повторяемость скоростей ветра в выбранных пределах значений рабочей скорости в месте установки ВУ. Известно, что повторяемостью ветра называют сумму времени (в часах), в течение которого в каком-либо определенном пункте в разное время ветер имел одинаковую скорость. Имеются математические зависимости, полученные в результате длительных исследований и позволяющие с разными степенями точности находить теоретическую величину повторяемости ветра.

Так, М.М. Поморцев [8] впервые предложил зависимость, которая определяет близкую к действительной повторяемость ветров для районов со среднегодовой скоростью ветра не более 6 м/с.

$$\tau = \frac{dt}{dU_{\infty}} = A \cdot e^{-B(U_{\infty} - U_{\infty cp})^2}$$

Параметры А и В предлагается находить по формулам

$$A = \frac{\sqrt{B}}{\sqrt{\pi}} = \frac{\sqrt{n-1}}{\sqrt{\pi} \sqrt{\sum (U_{\infty} - U_{\infty cp})^2}},$$

$$B = \frac{n-1}{\sum (U_{\infty} - U_{\infty cp})^2},$$

где n – число слагаемых.

Поморцевым также найдены кривые повторяемости ветров, рис. 5.

Известно, что секундная мощность ВУ в общем случае находится по формуле:

$$P = C_p \frac{\rho}{2} U_{\infty}^3 S$$

где: C_p –коэффициент использования энергии ветра ветроустановкой;

ρ - плотность воздуха, кг/ м³;
 U_{∞} - скорость ветра на бесконечности, м/с;
 S - площадь, ометаемая ветроколесом, м².

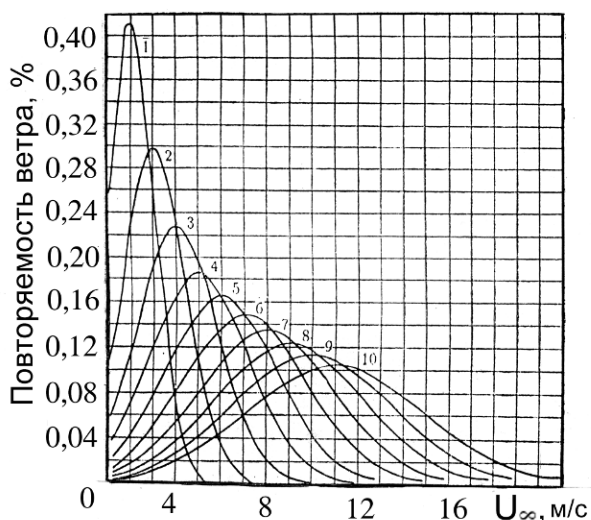


Рис. 5 - Повторяемость ветра по Поморцеву [8]

Таким образом, с использованием данных по повторяемости ветра в регионе годовая мощность ВУ находится по формуле [9]:

$$\sum P_{год} = C_p \frac{\rho}{2} S \eta \sum_{i=1}^n U_{\infty i}^3 t_{mi} 3600$$

где t_n – сумма времени (число часов) повторяемости каждой скорости ветра;

ρ - плотность воздуха;

S - площадь, ометаемая ротором ВУ;

U_{∞} - скорость ветра на бесконечности;

C_p - коэффициент использования энергии ветра;

η – коэффициент полезного действия систем ВУ.

Знание величины суммарной выработки энергии за год позволит потребителю реально делать выбор ВУ для своих потребностей.

Кроме того, величина суммарной вырабатываемой за год энергии важна и для оценки целесообразности применения ВУ в тех или иных условиях и, в конечном счете, для определения ее окупаемости. Следует заметить, что максимальный срок окупаемости ВУ по информационным данным может достигать десяти лет. Понятно, чем меньше срок окупаемости, тем выше конкурентоспособность ВУ, что важно для рыночных условий. Точное аргументированное определение срока окупаемости даст представление о реальных эффективности и работоспособности ВУ.

Проблема последующей утилизации энергии, извлеченной ветроколесом из ветрового потока, также занимает важное место при выборе ВУ потребителем. Нестабильность ветра в качестве источника энергии диктует поиск способов сглаживания неравномерности получения энергии во времени.

Как уже указывалось выше, наиболее на-

дежным способом в этом направлении является применение накопительных энергетических устройств.

В частности, таким накопителем могут быть электрохимические аккумуляторные батареи (АБ). При этом очень важно сбалансировать мощности ВУ, мощность преобразователя энергии (инвертора), который необходим для преобразования накопленной в АБ энергии постоянного тока в энергию с параметрами сети (-220В, 50Гц), и емкость АБ. Так, при завышенном значении мощности инвертора по отношению к мощности ВУ, последняя не будет успевать подзаряжать АБ при максимально возможном (номинальном) значении мощности нагрузки. А если при этом еще и емкость АБ невелика, то мощный потребитель за короткий срок разрядит батарею и ВЭС его отключит, перейдя в режим зарядки от ВУ, который возможен только при наличии либо ветра достаточной силы, либо сети. Для автономного режима функционирования (при отсутствии сети) такая ситуация недопустима, то есть вызывает ощутимые перебои в энергообеспечении, не говоря уже о стоимостных показателях. Поскольку стоимость ВУ и инвертора соизмеримы, то необдуманное увеличение мощности инвертора приведет только к увеличению стоимости всей системы, а при автономном режиме работы еще и к сбоям в энергообеспечении.

Для увеличения гибкости системы целесообразнее использовать системы преобразования энергии с внешними АБ любой емкости, а не со встроенными АБ фиксированной емкости.

Существуют и другие способы накопления энергии и сглаживания нестабильности ветровой энергии. В частности, известно применение теплогенератора для утилизации получаемой от ВУ энергии в теплоту. Этот способ перспективен для снабжения тепловой энергией жилых домов, жилищно-коммунальных комплексов и т. д.

В вопросе размещения ВУпомимо требования открытости ветру, большую роль играют такие критерии как уровень шума и вибраций при работе ВУ, поскольку и то, и другое создает дискомфорт для человека. Известно, что тихоходные ВУ малошумны и маловибрационны, но, в отличие от быстроходных, имеют низкий коэффициент использования энергии ветра. Быстроходные же, особенно при низком уровне балансировки ротора ВУ, будут иметь высокий уровень шума и вибрации, что делает проблематичным их установку вблизи жилья, тем более на крыше или балконе. В последнее время предложен новый тип вертикально-осевых ветроустановок - средней быстроходности, который отличается малощумностью, меньшей степенью вибраций, чем у быстроходных ВУ, и при этом имеет достаточно высокий коэффициент использования энергии ветра [9]. Полагаем, что данные ВУ наиболее перспективны в качестве малой ветротехники

для установки вблизи жилых помещений, на крышах зданий и даже на балконах по примеру западных стран.

Выводы:

1. В мире, особенно в странах Западной Европы и США, в настоящее время наблюдается резкое возрастание внимания к развитию и применению малых автономных ветроустановок, так называемой «балконной» ветротехники.

2. В качестве автономных ВУ малой мощности целесообразно применение вертикально-осевых ВУ.

3. С учетом требований по малозумности и малой вибрации наиболее перспективными в качестве малой ветротехники могут быть верти-

кально-осевые ветроустановки средней быстроходности.

4. Важнейшим мощностным критерием ВУ является суммарная энергия, вырабатываемая в течение года за рабочий временной промежуток в выбранном диапазоне рабочих скоростей ветра.

5. Срок окупаемости ВУ следует определять по суммарной энергии, вырабатываемой ею в течение года.

6. Нестабильность ветра в качестве источника энергии диктует применение накопительных энергетических устройств для обеспечения равномерности подачи энергии потребителю.

Список использованной литературы:

1. Can Small Wind Go Big Time. / B. Reid // Wind directions. March, 2001,-P.18-21.Англ.
2. Оніпко О.В., Коробко Б.П., Миханюк В.М. Вітроенергетика енергетична стратегія. – Київ. Фенікс, 2008 – 163с.
3. В.А. Дзэндзерский, С.В. Тарасов, И.Ю. Костюков. Ветроустановки малой мощности. – Киев. «Наукова думка», 2011. – 591с.
4. Ветроэнергетика / Под. ред. Д. де Рензо: Пер. с англ. // Под ред. Шефтера –М.: Энергоатомиздат, 1982. – 272 с.
5. Твайделл Дж, Уэйр А. Возобновляемые источники энергии: Пер. с англ. –М.: Энергоатомиздат, 1990. – 392 с.
6. Денисенко О.Г., Козловский Г.А., Федосенко Л.П., Осадчий А.И. Преобразование и использование ветровой энергии. – Киев.: «Техника», 1992. – 176с.
7. Денисенко О.Г., Козловский Г.А. Математическое моделирование и исследование характеристик ветрового потока с учетом топографических особенностей местности для проектирования и расчета ветроэнергетических установок: (Препр. АН УССР, Ин-т электродинамики, №642) –К.: 1990. -33с.
8. Фатеев Е.М. Ветро двигатели и ветроустановки. – Москва: ОГИЗ – Сельхозгиз. – 1948. – 544с.
9. Рожкова Л.Г. «Нові форми профілів лопатей вертикально- осьових вітроустановок середньої швидкохідності». Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. – 2005р.

Рожкова Л.Г., Радчук О.В., Рожевський Ю. П. ДЕЯКІ КРИТЕРІЇ ВИБОРУ АВТОНОМНИХ ВІТРОУСТАНОВОК МАЛОЇ ПОТУЖНОСТІ БАГАТОЦІЛЬОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ.

В статті розглянуті деякі критерії вибору та використання вітроустановок малої потужності. Запропоновані принципи розрахунку номінальної потужності, а також сумарної потужності вітроустановок протягом річного періоду роботи.

Розглянутий спосіб зменшення нерівномірності характеристики потужності в часі.

Вказано на перспективність використання вертикально-вісьових вітроустановок середньої швидкості малої потужності для автономних споживачів, зокрема, з установкою ВУ в безпосередній близькості до житлових об'єктів.

Ключові слова: вітроустановка, номінальна потужність, омітаєма площа, енергетичний потенціал, швидкість вітру, коефіцієнт використання енергії, характеристика потужності.

Rozhkova L.G., Radchuk O.V., Rozhevskiy Y.P. SOME SELECTION CRITERIA OF THE AUTONOMOUS LOW-POWER MULTIPURPOSE WIND -TURBINES.

The article discusses some of the selection criteria and the application of wind turbines low power multi-purpose. World trends in modern wind energy show that for autonomous consumers is the most promising small wind turbines (up to 50 kilowatts). Pointed out the benefits of Vertical Axis Wind Turbines in this capacity. The principles of proposed the nominal power on the real average annual wind speed, wind speed as calculated by the standard ES (11,5-14 meter per second) is too high for almost all regions of Ukraine. In this case, the real power of wind turbines can be considerably lower than specified. The expediency of calculating the total power of wind turbines, which is calculated according to the frequency of occurrence of wind speeds within the annual period of work, and shows the calculation formula. The choice of wind turbines on the total generated power can certainly most closely meet the needs of the customer. In addition, this approach will allow to assess the real payback particular wind turbine. A way of reducing the uneven power characteristics over time with the use of the energy collecting device. No less important is the fact that the use of these devices will allow most fully dispose of the energy potential of the wind flow.

It is noted that when placing wind turbines, in addition to the requirements of openness wind, should be considered noise and vibration of the wind wheel. From this perspective, given the prospect of the use of Vertical Axis Wind Turbines medium-speed low-power for autonomous consumer. This type of wind turbine blades is original, characterized low noise, vibration lesser degree than in the high-speed wind turbines, and thus has a relatively high utilization of wind energy. These qualities allow installing wind turbines in close proximity to the consumer, in particular, to the cottages and

other residential and industrial facilities.

Keywords: *wind turbine, rated power, swept area, the energy potential, wind speed, utilization of energy, power characteristics.*

Дата надходження в редакцію: 15.10.14 р.

Рецензент: д.т.н., професор Філатов Л.Г.