

УДК 621.548:621.317.382

ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА УЧАСТИЯ ВЕТРОДВИГАТЕЛЕЙ В БИРОТОРНОЙ УСТАНОВКЕ

В.В. Кириллов, Т.Г. Рожнова, З.Ж. Сейдакматова

Рассматривается эффективность и методика определения участия второго ветродвигателя в бироторной ветроустановке в сравнении с традиционной установкой с одним ветродвигателем.

Ключевые слова: экология; возобновление; бироторная установка; ветровая энергия; ветродвигатель; мощность; коэффициент отбора от ветропотока.

THE ECONOMIC JUSTIFICATION OF THE COEFFICIENT PARTICIPATION OF WIND TURBINES IN BEROTARY INSTALLATION

V.V. Kirillov, T.G. Rozhnova, Z.J. Seydakmatova

It is considered the effectiveness and the methodology of participation of the second wind turbine in berotary installation in comparison with the traditional with one wind turbine.

Keywords: ecology; resumption; berotary installation; wind energy; wind turbine power; wind turbine; power; coefficient of wind flow selection.

Использование энергии ветра имеет большие перспективы при выработке электроэнергии, особенно это актуально для удаленных потребителей. Например, ветровая энергия малоскоростного ветропотока является одним из вариантов электропитания удаленных потребителей, в особенности для горных кочевий, там, где отсутствуют традиционные электроэнергетические коммуникации и не развита транспортная инфраструктура. Наряду с другими видами энергии (солнечной, биологической газогенерирующей, геотермальной и др.), ветровая энергия может удовлетворять потребности в электроэнергии потребителей, расположенных в сельской местности и в труднодоступных горных и высокогорных районах, имеющих малоскоростной ветровой потенциал. Основными потребителями электроэнергии, вырабатываемой ветроэнергетическими установками, являются группы людей, занятых в животноводстве, пчеловодстве, полеводстве и т. д. и она в основном используется для нужд бытового электроснабжения. Поэтому использование автономных ветроэнергетических установок, которые эффективно преобразуют в электрическую энергию малый скоростной ветровой поток весьма перспективно [1].

Поэтому при разработке ветроэнергетической установки предполагалось, что ее параметры должны быть приближены к максимальным энергетическим значениям, одно из них, а именно, мощность ветроколеса C_p должна составлять C_p 0.59. Для определения мощности ветроколеса классическая теория использует теорему импульсов и закон сохранения энергии [2]. На рисунке 1 представлены параметры взаимодействия воздушного потока с ветроколесом.

Энергетические параметры, развиваемые ветродвигателем (мощность ветроколеса), определяются как

$$P_1 = F_1 \cdot V_1. \quad (1)$$

Одной из трудоёмких задач в преобразовании механической энергии в электрическую, является обеспечение рабочей (оптимальной) скорости углового момента электрогенератора. Соблюдение последнего гарантирует устойчивую работу электрической машины. Машина, работающая в качестве электрогенератора, требует стабильной угловой частоты от ветродвигателя, что способствует обеспечению заданной скорости пересечения электрической обмотки электромагнитным полем (1000 об/мин и более), ветродвигатель же, утили-

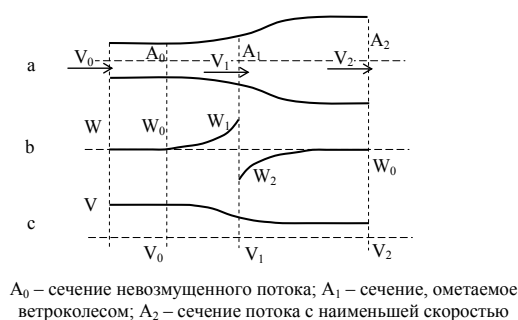


Рисунок 1 – Картина взаимодействия воздушного потока с ветроколесом

зирующий малую скорость ветропотока, является многолопастным (6 и более лопастей). По причине большого числа лопастей ветродвигатель развивает достаточный механический момент при линейной скорости (2–6 м/с), но угловая скорость ограничена (60–100 об/мин). Следовательно, частота пересечения магнитного поля электрической обмотки является функцией механической энергии ветродвигателя и составляет 100 об/мин и является недостаточной для работы электрогенератора ветроэнергетической установки.

Согласование механической энергии с электрогенератором при условии малого ветропотока возможно следующим образом: 1) согласование угловой частоты возможно посредством использования мультипликатора, повышающего угловую частоту ветродвигателя до рабочей частоты электрогенератора. Использование этого подхода приводит к увеличению массогабаритных параметров, превышающих принятые нормы по классификации мобильных ветроустановок и увеличению размера ветродвигателя; 2) увеличение пар полусов самого электрогенератора также приводит к росту массогабаритных параметров за счёт увеличения размеров электрогенератора и диаметра ветродвигателя; 3) возможна частичная реконструкция электрогенератора с целью придания статору степени свободы для образования двух роторов, функционирующих в противоположном – встречном направлении вращения с целью увеличения зоны пересечения магнитным полем электрической обмотки, обеспечив каждый ротор своим ветродвигателем. Два ветродвигателя будут взаимодействовать с действующим ветропотоком, но вращение будет противоположным, что обеспечит повышенную частоту пересечения магнитным полем электрической обмотки генератора и наведение электродвижущей силы (ЭДС).

Особенности использования малой скорости ветрового потока состоят в том, что её можно счи-

тать практически неисчерпаемой, легко доступной и экологически чистой. Но она имеет и ряд недостатков: неизбежная зависимость от метеорологических условий, и как следствие – наличие одного из видов дублирующего устройства и большая удельная стоимость.

Существует множество методик по оптимизации классических ВЭУ по расчётным показателям [3–5]. Расчёты традиционных ВЭУ сводят к определению необходимой потребности в энергообеспечении, режиму работы, устойчивости, удельной стоимости и срока окупаемости. Определение мощности ветроустановки, стоимостных показателей, определение потенциала ветровой энергии также базируется на классической теории и отличается от нее учетом в балансе энергий ветроколеса и ветропотока затрат на образование вихревых шнуров концами лопастей колеса.

Расчёт и оптимизация ветроэнергетических установок в соответствии с классической теорией ветроколеса сопоставляется с реально полученным коэффициентом мощности отбора от ветропотока $C_p = 0.33$. Максимальный коэффициент C_p определили экспериментальным путём разностью линейных скоростей ветра, измеренной до ветроколеса и скоростью после ветроколеса. Скорость потока при приближении к ветроколесу снижается от V_0 до V_1 и после прохождения сечения A_1 достигает минимального значения V_2 . Потери мощности ветрового потока при прохождении через ветроколесо равны:

$$P_w = \frac{\bar{m}(V_0^2 - V_2^2)}{2}. \quad (2)$$

Приравнявая $P_1 = P_w$, получаем:

$$(V_0 - V_2) \cdot V_1 = \frac{(V_0^2 - V_2^2)}{2}, \quad (3)$$

откуда

$$V_1 = V_0 + \frac{V_2}{2}, \quad (4)$$

или

$$V_2 = 2V_1 - V_0. \quad (5)$$

Секундная масса воздуха, проходящая через площадь сечения, ометаемая ветроколесом, равна:

$$m = \rho \cdot A \cdot V, \quad (6)$$

где ρ – плотность воздуха в потоке.

После подстановки (5) и (6) в (1), получили:

$$P_1 = 2\rho \cdot A_1 \cdot V_1^2 \cdot (V_0 - V_1). \quad (7)$$

По результату расчётов определили экономические затраты на изготовление образца.

Мощность второго ветроколеса, а также мощность ветроустановки с двумя роторами может быть выражена через мощность невозмущенного набегающего потока P_0 и коэффициента отбора мощности C_p , характеризующего эффективность использования колесом ветроустановки энергии воздушного потока:

$$P_1 = C_p \cdot P_0. \quad (8)$$

Мощность P_0 равна энергии ветрового потока, проходящего через единицу времени, через площадь A_1 , ометаемую ветроколесом:

$$P_0 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A_1 \cdot V_0^3. \quad (9)$$

Выражение для коэффициента C_p может быть получено из (8) при подстановке в (7):

$$C_p = \frac{2\rho \cdot A_1 \cdot V_1^2 \cdot (V_0 - V_1)}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A_1 \cdot V_0^3} = \frac{4 \cdot V_1^2 \cdot (V_0 - V_1)}{V_0^3}. \quad (10)$$

Выразим относительное торможение потока в ветроколесе через коэффициент торможения α :

$$\alpha = \frac{V_0 - V_1}{V_0}. \quad (11)$$

Тогда

$$V_1 = (1 - \alpha) \cdot V_0. \quad (12)$$

Подставив (11) и (12) в (10), получаем:

$$C_p = 4\alpha \cdot (1 - \alpha). \quad (13)$$

Анализ мощности ветроколеса при изменении коэффициента торможения (11) показывает, что максимального значения C_p достигает при $\alpha = 1/3$. Следовательно, $C_{p_{\text{БВЭУ}}}$ приравняем к $C_{p_{\text{max}}}$ и получим:

$$C_{p_{\text{max}}} = C_{p1} + C_{p2} = \frac{1}{3} + \frac{1}{3} = \frac{2}{3} = 0,67. \quad (14)$$

Полученное условие (14) показывает, что реальный коэффициент бироторной ветроустановки, использующей два ветродвигателя, превышает по значению теоретический коэффициент отбора мощности классической установку с одним ветродвигателем.

Следует отметить, что классическая теория не рассматривает поведение воздушного потока после прохождения им сечения A_2 и не позволяет определить осевые координаты сечений A_0 и A_2 относительно A_1 , так же как и сечение за колесом, в котором давление и скорость возмущенного потока становятся равными начальным значениям. В работе [4] отмечается, что эти характеристики

могут быть определены лишь экспериментально. Вместе с тем изучение картины взаимодействия потока с ветроколесом показывает, что для общей мощности ветродвигателя БВЭУ большое значение может иметь именно правильный выбор координат размещения второго колеса. Рассмотрим, какие данные могут быть получены из классической теории, применительно к расчету параметров БВЭУ.

Из анализа классической теории работы ветрогенератора известно, что плотность энергии ветра крайне низка. Следовательно, согласно формуле (9), от размеров ветроколес зависит величина преобразуемой мощности. Это обуславливает их высокие материалоемкость и стоимость. Таким образом, на первый план выдвигаются вопросы оптимального конструирования ВЭУ и обоснованность выбора значения C_p для БВЭУ.

Обратимся к физическим основам использования кинетической энергии ветра. Особое внимание при этом обратим на то, что коэффициент использования энергии ветра зависит не только от аэродинамического совершенства ветроколес, но в большей степени от отношения удельной энергии невозмущенного потока перед ветроколесом к удельной энергии отработанного потока за колесом. В свою очередь, C_p ВЭУ пропорционален разности скоростей невозмущенного ветропотока перед колесом и ветрового потока за ним. Чем больше эта разность, тем выше эффективность ВЭУ. В этом случае доля полезной энергии отработанного ветропотока составляет незначительную часть исходной энергии рабочего тела энергоносителя. Поэтому отвод последнего от ВЭУ представляет сложности в отличие от других преобразователей энергии, например, ГЭС, где энергоноситель движется в замкнутом пространстве. Для интенсивного отвода отработанного ветропотока и предотвращения эффекта закрывания необходимо, чтобы энергоноситель содержал значительную часть своего первоначального запаса энергии. Согласно классической расчетной схемы использования энергии ветра в ВЭУ скорость невозмущенного потока V_0 должна быть больше скорости отработанного потока V_2 , а ширина невозмущенного потока A_0 должна быть меньше ширины отработанного A_1 настолько, чтобы:

$$V_0 \cdot A_0 \approx V_1 \cdot A_1. \quad (15)$$

Но в реальных условиях это неосуществимо, т.к. поток за ветроколесом начинает взаимодействовать с другим невозмущенным потоком, имеющим большую энергию и существенно влияющим на переформирование характера движе-

ния потока за колесом. В результате отработанный воздушный поток, потеряв кинетическую скорость, обладает большим давлением (образуется “пузырь” с малой скоростью ветропотока, стремящейся к 0 и повышенным давлением), что стремится “раздвинуть” область невозмущенного потока большего энергopotенциала для беспрепятственного перемещения с умеренными скоростями в пространстве за колесом.

Можно утверждать, что эффективную работоспособность бироторной ВЭУ обеспечивает эжекционный эффект, возникающий на границе разделов более скоростной невозмущенной среды по периметру ветроколеса с отработанным, прошедшим через ветроколесо ветропотоком.

Литература

1. Кириллов В.В. Ветроэнергетическая установка (биколесная) / В.В. Кириллов, А.Дж. Обозов, К.М. Мамыркулов, К.А. Давлетов // Патент РФ № 1787205. Бюллетень № 1. 1993.
2. Фатеев Е.М. Ветро двигатели и ветроустановки / Е.М. Фатеев. М.: Сельхозиздат, 1948. 543 с.
3. Ветроэнергетика / под ред. Д. Рензо; пер. с англ. под ред. Я.И. Шефтера. М.: Энергоатомиздат, 1982. 270 с.
4. Шефтер Я.И. Использование энергии ветра / Я.И. Шефтер. М.: Энергоатомиздат, 1983. 200 с.
5. Твайделл Дж. Возобновляемые источники энергии / Дж. Твайделл, А. Уэйр. М.: Энергоиздат, 1990. С. 195–239.