

УДК 621.548.5

Т.А. ПАРХОМЕНКО

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина

ПАРАМЕТРЫ, ПОВЫШАЮЩИЕ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ВЕРТИКАЛЬНО-ОСЕВОЙ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

В статье определены качественные геометрические соотношения лопастной системы вертикально-осевой ветроэнергетической установки (ВЭУ) на этапе проектирования. На базе опытного образца были проведены испытания различных геометрических вариантов лопастей, определены оптимальные углы их установки и составлены необходимые соотношения для проектирования ветроколеса. Отмечено, что кардинальное значение при проектировании ВЭУ имеет правильный выбор геометрии лопастной системы, а самозапуск ВЭУ практически невозможен при величине хорды, меньшей 10% значения диаметра ветроколеса.

Ключевые слова: вертикально-осевая ветроэнергетическая установка, лопасть, хорда, аэродинамический профиль, самозапуск, постоянные магниты.

Введение

С технологическим развитием человечества значительно возросла потребность в энергоносителях, обеспечивающих надежное и бесперебойное, но в то же время, и недорогое, обеспечение электроэнергией. Традиционные методы добычи энергии, основанные на полезных ископаемых, сильно устарели и ввиду их ограниченности уже не в состоянии обеспечивать ежедневные потребности человека. Кроме того, на первое место выходят повышенные требования к экологической чистоте добываемой энергии. В этих условиях большинство развитых стран отдают предпочтение развитию так называемой нетрадиционной энергетики, основанной на возобновляемых источниках электричества (солнце, ветер и т.д.).

Кроме того, нетрадиционные источники энергии (НИЭ) имеют значительное предпочтение в отдаленных местах, куда сложно и очень дорого, а иногда и просто невозможно, провести линии электропередачи (ЛЭП), обеспечивающих потребителя необходимым электричеством.

Одним из таких отдаленных потребителей, безусловно, являются и ракетно-космические комплексы (РКК). В условиях изолированности от городских застроек, прилегающая к РКК территория является идеальной для эффективной работы ветроэнергетических установок (ВЭУ), которые способны обеспечить бесперебойную работу системы резервного электропитания стратегических объектов при наличии ветрового потенциала. Преимущество в этом случае имеют ВЭУ с вертикальной осью вращения, которые не нуждаются в устройствах ориентации на ветер, так как все время ротор находится в

оптимальном положении относительно ветрового потока.

Тем не менее, разработка и установка конкретной ВЭУ требует серьезной конструкторской работы и очень часто эффективность ветроагрегата напрямую зависит от точности и качества проделанной конструктором работы. Поэтому, **целью данного исследования** является определение необходимых оптимальных соотношений и конструкторских решений на этапе проектировки ветроэнергетической установки заданной единичной мощности.

Основной материал

Эффективность работы ротора напрямую зависит от качества и характеристик лопастной системы ВЭУ. По данным [1, 2], лопастная система характеризуется следующими параметрами:

- ометаемая ротором площадь, S ;
- форма лопастей (аэродинамический профиль), а также их количество, i ;
- хорда лопасти, b ;
- коэффициент заполнения (затенения), σ ;
- удлинение лопасти, λ
- углом установки лопастей, β .

Таким образом, для оптимальной совокупности вышеуказанных параметров на базе лаборатории ЦНИЛАТЕМ каф. 402 Национального аэрокосмического университета «ХАИ» был разработан опытный образец вертикально-осевой ВЭУ со следующими характеристиками: диаметр ветроколеса (ВК) $D = 1$ м; высота $h = 1$ м; количество лопастей $i = 3$, масса ротора – 10 кг, материал лопастей – дерево. Для проведения эксперимента было изготовлено два комплекта лопастей с одним аэродинамическим

профилем типа S 1049 17 % толщины, но с различными величинами хорд b . Хорды были изготовлены, исходя из соотношений $b_1 = 0,05 \cdot D$ и $b_2 = 0,1 \cdot D$. Также были разработаны два набора лопастей с аналогичными хордами для двухярусного ротора, в котором лопасти 1-го и 2-го яруса смещены друг относительно друга на 60° . Угол установки лопастей можно было изменять в пределах от 0 до 20° .

Кроме того, для частичной разгрузки опорного подшипника были использованы два постоянных магнита типа FeB, один из которых был закреплен на нижней опоре, а второй крепился к валу ВК. Они были установлены друг относительно друга противоположными полюсами.

Ветровой поток имитировался при помощи лабораторного вентилятора, запитанного через автотрансформатор двигателем. Скорость ветра измерялась чашечным анемометром (к сожалению, ввиду технических трудностей, ветровой поток ограничивался на отметке $6,2$ м/с), частота вращения ветроколеса – фотоэлектрическим счетчиком импульсов (ФСИ).

Для упрощения экспериментальной части, фиксировалось только количество оборотов ротора в минуту, по результатам которых делался вывод о пригодности того или иного образца. Результаты проведенных экспериментов приведены на рис. 1.

Как видно из графиков зависимости $n = f(V)$, представленной на рис. 1, угол установки лопастей β , величина хорды b и, в свою очередь, коэффициент заполнения σ , существенно влияют на количество оборотов ВК, что в свою очередь, повышает эффективность работы ВЭУ в целом. К сожалению, изготовление лопастей из дерева не позволило достичь высокой точности изготовления, что существенно снизило аэродинамическое качество профиля, поэтому количество оборотов в минуту несколько занижено. Тем не менее, тенденция роста оборотов для лопастей с хордой b_2 и с применением двухярусного ротора заметна, что позволяет сделать необходимые заключения.

Рассмотрим подробнее параметры, определяющие работу ВК.

Ометаемая площадь вертикально-осевой ВЭУ равна произведению высоты ротора h на его диаметр D и выбирается по величине заданной мощности P . В отличие от горизонтально-осевых ВЭУ, где ометаемая площадь определяется только радиусом ветроколеса ВК, в вертикально-осевых установках в условиях ограниченности местности (например, хоз. двор), имеется возможность достичь желаемой мощности за счет увеличения высоты ВК h , т.е. удлинения лопастей. Но это увеличение ограничивается прочностными требованиями к конструкции, так как может возникнуть критический опро-

кидывающий момент. Конечно, этот предел можно сместить в сторону более высоких значений за счет дополнительного укрепления опорной конструкции ВЭУ, но это может быть экономически невыгодно, так как дополнительные затраты на прочность опоры могут стать несоизмеримы с выигрышем по получаемой мощности. В общем случае, рекомендуется принимать высоту ВК h , исходя из соотношения [2]:

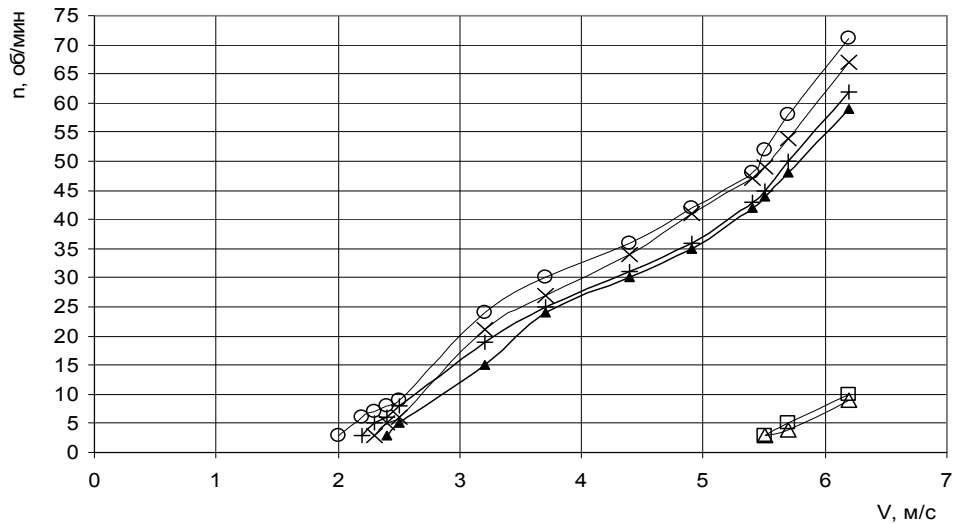
$$h \geq 0,6 \cdot D.$$

С точки зрения гарантированного самозапуска ВК целесообразно использовать количество лопастей $i = 3$, так как при этом максимально исключается взаимное уравновешивание действующих на лопасти сил при воздействии ветрового потока. Исходя из полученных результатов видно, что использование двухярусного ротора более предпочтительно, так как при этом уменьшается воздействие так называемой «мертвой зоны», когда одна лопасть уже пересекла ветровой поток, а следующая еще не вышла в оптимальное положение. Смещение же лопастей на 60° позволяет уменьшить неравномерность тянущих сил за один оборот ВК и повышает его способность к самозапуску.

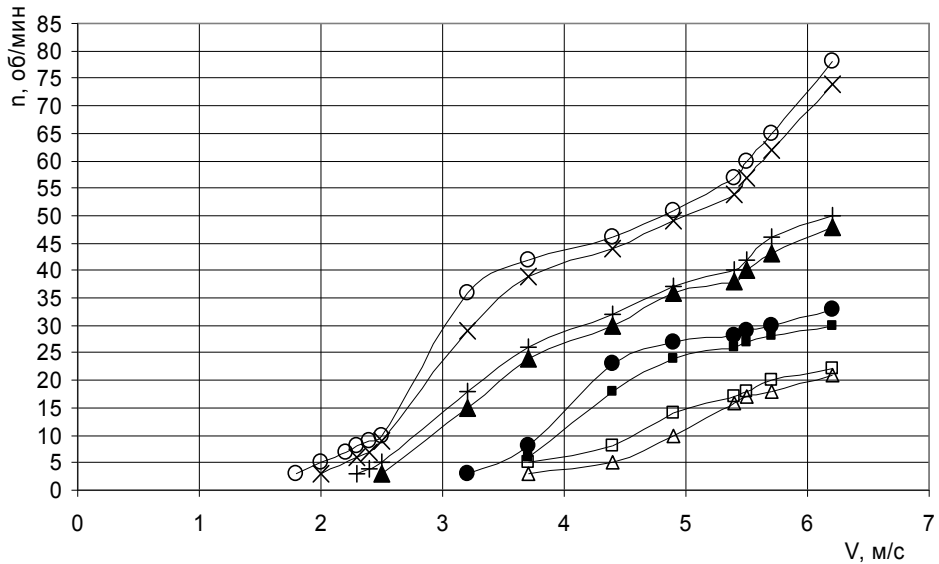
Величину хорды b более предпочтительно определять исходя из соотношения $b \geq 0,1 \cdot D$ [2, 4], так как уменьшение ее значения ниже указанной величины не обеспечивает необходимой величины тянущей силы даже при оптимальном угле установки и использовании двухярусного ротора.

Также в ходе исследования было установлено, что величины подъемной силы и силы лобового сопротивления существенно зависят от угла установки лопастей. В ходе данных испытаний было установлено, что оптимальным углом установки является угол $\beta = 7,5^\circ$ для хорды в 100 мм и $\beta = 15^\circ$ для хорды в 50 мм (рис. 1, б, в), т.е. неверно установленные лопасти могут не обеспечить возникновение необходимой тянущей силы, что может привести даже к отсутствию самозапуска ротора (наблюдалось в ходе экспериментов при угле установки лопастей ниже 5°). Данную величину целесообразно определять экспериментально для каждого отдельного случая, и в зависимости от различных аэродинамических параметров профиля она может колебаться от 5 до 15° .

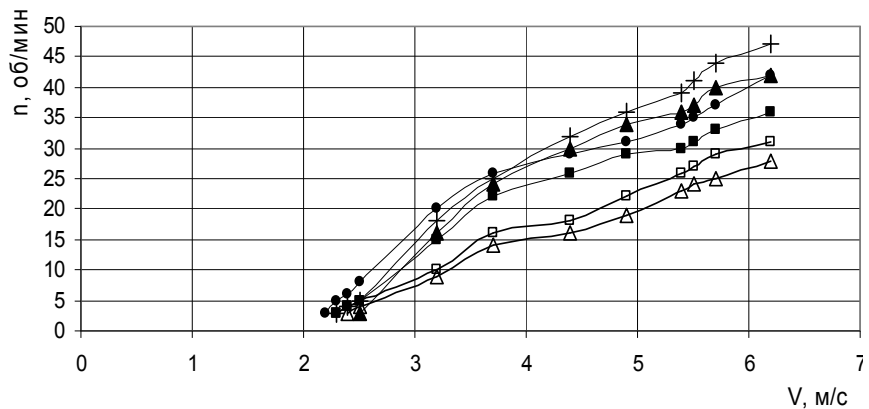
Кроме того, было получено положительное влияние использования магнитной левитации на работу ВК. Как видно из графиков рис. 1, применение магнитного подвеса повысило количество оборотов ротора. К сожалению, применение ПМ с недостаточной коэрцитивной силой не позволило полностью осуществить подвешивание ВК, но применение современных магнитов на основе NeFeB, имеющих на порядок выше коэрцитивную силу, позволяют удержать необходимый вес ВК.



а



б



в

Рис. 1. Зависимость количества оборотов ВК от скорости набегающего потока при углах установки лопастей: $\beta = 5^\circ$ (а); $\beta = 7,5^\circ$ и $\beta = 10^\circ$ (б); $\beta = 15^\circ$ (в):

- △— вариант $b = 1/20 \cdot D$; —□— вариант $b = 1/20 \cdot D$ с использованием постоянных магнитов ПМ;
- вариант $b = 1/20 \cdot D$ для двухрусного ВК; —●— вариант $b = 1/20 \cdot D$ для двухрусного ВК с использованием ПМ;
- ▲— вариант $b = 1/10 \cdot D$; —+— вариант $b = 1/10 \cdot D$ с использованием ПМ;
- ×— вариант $b = 1/10 \cdot D$ для двухрусного ВК; —○— вариант $b = 1/10 \cdot D$ для двухрусного ВК с использованием ПМ

Выводы

Таким образом, кардинальное значение при проектировании ВЭУ имеет правильный выбор геометрии лопастной системы. Были установлены оптимальные значения и соотношения параметров, определяющих эффективность ВК, и установлено, что, зачастую, верный вариант можно получить только экспериментальным путем. Конечно, при проектировании ВЭУ основные характеристики конструктор может определить и расчетным путем в случае отсутствия возможности создания опытного образца. При этом, безусловно, каждый из возможных способов прогнозирования рабочих характеристик ВЭУ имеет свои преимущества и недостатки, среди которых можно отметить дороговизну и сложность изготовления натурного образца, которые с другой стороны окупаются максимальной приближенностью к реальности. Теоретические же расчеты, основанные на базе импульсных моделей и метода дискретных вихрей [1; 3], позволяют сэкономить деньги и время, но их точность не всегда

будет оптимальна и поэтому на стадии опытного образца всегда приходится уточнять и дорабатывать полученные результаты.

Литература

1. Кривцов В.С. *Неисчерпаемая энергия. Кн. 2. Ветроэнергетика: учебник* / В.С. Кривцов, А.И. Яковлев. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ», 2004. – 519 с.
2. Рожкова Л.Г. *Новые формы профилей лопастей вертикально-осевых ветроустановок средней мощности: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.17* / Л.Г. Рожкова. – Сумы, 2003. – 196 с.
3. Затучная М.А. *Расчет ветротурбин с вертикальной осью вращения: метод. пос.* / М.А. Затучная, А.И. Яковлев. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ», 2002. – 62 с.
4. Неграш А.С. *Исследование и разработка метода расчета аэродинамических характеристик ветряных двигателей с вертикальной осью вращения: дис. ... канд. техн. наук: 05.07.01* / А.С. Неграш. – М, 1987. – 246 с.

Поступила в редакцию 21.05.2011

Рецензент: д-р физ.-мат. наук, проф. В.А. Маляренко, Харьковская национальная академия городского хозяйства, Харьков, Украина.

ПАРАМЕТРИ, ЯКІ ПІДВИЩУЮТЬ ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ ВЕРТИКАЛЬНО-ОСЬОВОЇ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ

Т.О. Пархоменко

У статті визначені якісні геометричні співвідношення лопатевої системи вертикально-осьової вітроенергетичної установки на етапі проектування. На базі дослідного зразка були проведені дослідження різноманітних геометричних варіантів лопатей, встановлені оптимальні кути їх встановлення та складені необхідні співвідношення для проектування вітроколеса. Відмічено, що кардинальне значення при проектуванні ВЕУ має правильний вибір геометрії лопатевої системи, а самозапуск ВЕУ практично неможливий при величині хорди, що менша за 10% значення діаметру вітроколеса.

Ключові слова: вертикально-осева вітроенергетична установка, лопать, хорда, аеродинамічний профіль, самозапуск, постійні магніти.

CHARACTERISTIC RAISING VERTICAL AXIS WIND-ENERGETIC TURBINE EFFICIENCY WORK

T.A. Parkhomenko

In paper was the definition of quality geometry relationships of vertical axis wind-energetic turbines blade system during disigning. The testing different blade variations was made on the basis of experimental model, an optimal angles of their placing was defined and also necessary proportinals for designing of windwheel was made up. Was mention that a cardinal value at planning of VEU has a correct choice of the blade system geometry, and self-starting of VAWT practically imposible when we use chord less than 10 % winddheel diameter value.

Key words: vertical axis wind-energetic turbines, blade, chord, aerofoil, self-starting, permanent magnets.

Пархоменко Тарас Александрович – младший научный сотрудник лаб. ЦНИЛАТЭМ каф. нетрадиционных источников энергии Национального аэрокосмического университета «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: tarasparkhomenko@gmail.com.