

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ВЕТРОЭНЕРГЕТИКЕ В СУМСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ

Коваленко В.М.

1. В последние годы в Украине, имеющей сложную экологическую обстановку и обладающей большим ветроэнергетическим потенциалом, повысился интерес к использованию энергии ветра. В августе 1991 года Верховный Совет Украины принял постановление, в котором использование экологически чистых и возобновляемых источников энергии, прежде всего энергии ветра и солнца, признано одним из приоритетных направлений научных исследований в Украине.

Наиболее перспективными для развития ветроэнергетики считаются районы со среднегодовой скоростью ветра 5 м/с и больше. Таковыми являются области, примыкающие к Азово-Черноморскому побережью, Крым, зона Карпат и др. В северо-восточной части Украины, в частности, в Сумской области, использование энергии ветра может также быть рентабельным, особенно при применении специальных устройств, так наз. концентраторов энергии ветра.

Вклад ветроэнергетики в производство электроэнергии пока невелик, но можно предвидеть, что по мере неизбежного роста дефицита нефти и технического усовершенствования самих ветродвигателей их значение будет возрастать. По оценкам, установленная мощность ветроэнергетических установок (ВЭУ) в Украине к 2000 году может составить около 1000 МВт.

2. Использовать энергию ветра люди научились давно. Вначале это были корабельные паруса, а тысячу лет спустя (примерно в 1700 году до н.э.) появились первые ветродвигатели. К 1100 г. н.э. крестовосцы и путешественники уже были свидетелями повсеместного использования ветряков на Среднем Востоке, откуда они распространялись вплоть до севера европейского материка. До настоящего времени принцип действия ветродвигателей остается неизменным, но материалы, из которых они строятся, и их конструкции уже иные.

3. Ветроэнергетические установки по своей конструкции разделяются на установки горизонтально-пропеллерного (или традиционного, с горизонтальной осью вращения) и вертикально-осевого (или ортогонального) типа. Наибольшее распространение (85-90%) до недавнего времени имели ВЭУ традиционного типа. Однако в последнее время ВЭУ ортогонального типа находят все большее применение, особенно установки мегаваттного класса.

Отставание в освоении вертикально-осевых ВЭУ вызвано более поздним их изобретением, недостаточным объемом теоретических исследований принципиально новых вопросов аэродинамики роторов и малого опыта разработок и эксплуатации ВЭУ. Тем более привлекательной становится эта задача для ученых-исследователей и производителей. Сегодня практически все развитые страны разрабатывают и эксплуатируют ВЭУ вертикально-осевого типа с ротором Дарье.

При сопоставлении ВЭУ вертикально-осевого и горизонтально-пропеллерного типов обычно ограничиваются упоминанием о предпочтительности первых в связи с их основными особенностями - нечувствительностью к направлению ветра и возможностью значительного упрощения конструкции установки. Однако опыт проектирования и эксплуатации ВЭУ показывает, что отсутствие поворотных устройств и систем - это не единственный оценочный

параметр. Вертикально-осевые и горизонтально-пропеллерные ВЭУ - принципиально разные установки, многие характеристики этих ВЭУ не повторяются.

Поэтому кроме нечувствительности вертикально-осевых ВЭУ к направлению ветра, как явно положительной характеристики, обуславливающей многие другие достоинства, существует целый ряд иных принципиальных особенностей и конструктивных решений, которые можно рассматривать как не менее важные.

Так, горизонтально-пропеллерные ВЭУ имеют верхний предел мощности до 3-4 МВт, так как на их лопасти помимо центробежных воздействуют изгибающие силы, переменные по величине и направлению, что ограничивает размер лопастей, существенно снижает надежность ВЭУ и сокращает сроки их эксплуатации. В то же время теоретический предел по мощности ортогональных установок на порядок выше.

Кроме того, тихоходные вертикально-осевые ВЭУ имеют преимущества перед быстроходными горизонтально-пропеллерными установками с точки зрения их воздействия на окружающую среду: при их работе реализуются более низкие уровни аэродинамических и инфразвуков, меньшие теле- и радиопомехи, радиус разброса обломков лопастей в случае их разрушения, меньшая вероятность столкновения лопастей с птицами.

В общей сложности, вертикально-осевые ВЭУ, особенно агрегаты мегаваттного класса, обещают более высокую надежность за счет значительного упрощения конструкции, снижения уровня требований к изготовлению трансмиссий, улучшения условий монтажа и эксплуатации. Значительно более простая и надежная конструкция ВЭУ вертикально-осевого типа оказывается более дешевой, чем горизонтально-пропеллерная, несмотря на ее большую материалоемкость.

4. Около пяти лет назад в недрах кафедры гидромашин СумГУ возникла группа энтузиастов, составившая костяк будущей лаборатории ветроэнергетики. С самого начала проводимые исследования были сосредоточены только на вертикально-осевых ВЭУ. Представлялось, что с точки зрения аэродинамики поле деятельности было достаточно обширным и малохоженным. Уже пять лет назад вопросами аэродинамики ортогональных ВЭУ в Украине занимались практически только в Днепропетровском госуниверситете, в Харьковском авиационном институте и в Киевском политехническом институте. Появление ячейки аэродинамиков в Сумах было своевременным и вполне удачным. За время своего существования группа выполнила комплекс исследований и в мае 1993 г. руководство в то время еще физико-технологического института приняло решение о создании научно-исследовательской лаборатории ветроэнергетики.

5. К настоящему времени сформировалось в основном два главных направления научных поисков: 1) исследования аэродинамики роторов ортогональных ВЭУ и 2) разработка и подготовка к серийному производству ортогональных ВЭУ малой мощности. По первому направлению ведется поиск оптимальных геометрических параметров роторов, форм профилей лопастей, количества лопастей в роторе, отношения длины лопасти к ее хорде (удлинение лопасти), угла установки лопасти и решение других вопросов. Полученные результаты позволяют рекомендовать для конкретных задач наиболее эффективные роторы ВЭУ.

По другому направлению ведутся поиски общего вида и основных элементов ВЭУ малой мощности. Малой мощности - это 2 кВт сейчас и до 10 кВт в перспективе. Необходимо отметить также поиск новых методов

экспериментальных исследований, в частности измерения вращающего момента ротора, способов диагностики течений (например, визуализация обтекания), методов преобразования механической энергии в электрическую, способов управления частотой вращения ротора и его торможения в экстремальных условиях.

6. Аэродинамические исследования выполняются как в стационарных условиях (на аэродинамических стендах, в аэродинамической трубе, в гидробассейне), так и в естественных условиях - на установке номинальной мощностью 1 кВт. Близка к завершению подготовка испытаний в естественных условиях на экспериментальной ВЭУ мощностью 2 кВт.

Ряд интересных решений получено при использовании известных, но модифицированных для конкретных условий методов расчета обтекания в нестационарном режиме ротора, снабженного лопастями нетривиальной формы - так наз. лопастями типа КН -- крыльевыми незамкнутыми. Некоторые результаты этих расчетов представлены в статье Н.И.Волкова и Н.П.Бабенко, опубликованной в данном сборнике.

7. Основной аэродинамической характеристикой ротора ВЭУ является зависимость коэффициента использования энергии ветра C_p от быстроходности θ . Здесь C_p - отношение мощности, создаваемой ветроустановкой, к мощности ветрового потока

$$W = 0,5 \rho U_0^3 S$$

ρ - плотность воздуха, U_0 - скорость ветра, S - ометаемая площадь. Быстроходность $\theta = U_\lambda / U_0$, U_λ - окружная скорость лопасти.

На величину C_p влияют ряд факторов: профиль лопастей, их количество в роторе, удлинение лопасти, угол ее установки и некоторые другие. В работах лаборатории было обстоятельно исследовано влияние этих факторов на величины C_p и θ . Зависимости эти достаточно сложные и неоднозначные. Выполняя поиск оптимальных форм, следует постоянно иметь в виду ожидаемый вес ротора, его стоимость и др.

Одной из последних новинок в разработках лаборатории ветроэнергетики является так наз. демпфер отрывных течений. Суть его в следующем. Профиль типа КН, для которого характерно наличие некоей ловушки потока на внешней к оси вращения стороне, создает относительно большое сопротивление вследствие того, что аэродинамический след за профилем на большей части круговой траектории остается широким. Этот след можно существенно сузить и тем самым уменьшить аэродинамическое сопротивление, установив непосредственно за профилем некое устройство, названное демпфером отрывных течений.

В аэродинамике известен результат, когда размещение пластины в осевой плоскости за поперечно обтекаемым цилиндром подавляло периодическое образование вихрей, что приводило к снижению частоты срыва вихрей, повышению абсолютного давления в аэродинамическом следе и, в конечном счете, - к снижению сопротивления цилиндра.

Используя этот результат, автор предложил установить на некотором расстоянии за лопастью типа КН разделительную пластину, что обусловило, в конечном счете, повышение аэродинамического качества профиля. Дальнейшее развитие этой идеи привело к созданию фактически нового профиля, в котором непосредственно за изначальным профилем с ловушкой на внешней стороне присоединяется изогнутая по определенным правилам пластина. Возник новый профиль, схематически представленный на рис.1. Выполнена большая серия опытов, которые подтвердили эффективность нового профиля при соблюдении определенных требований к его геометрии, углу установки и т.д.

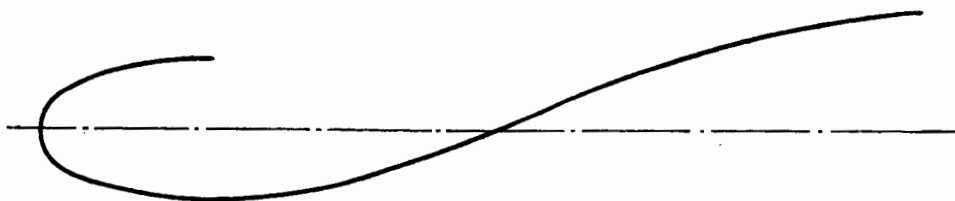
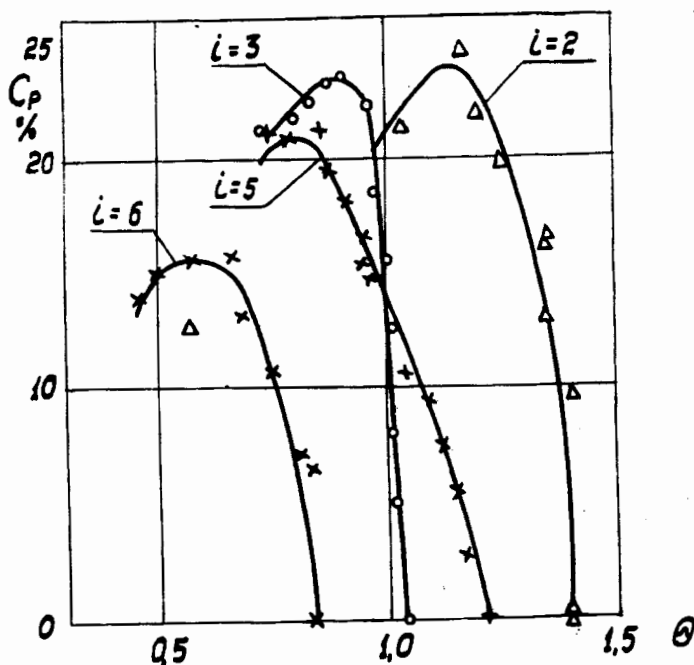


Рис. 1. ПРОФИЛЬ КН-6

Любопытно, что поиск оптимального числа лопастей привел к вполне определенному выводу: две или три лопасти работают лучше, чем, скажем, пять или шесть (рис.2). Это означает, что для ортогонального ротора фактор затененности лопастей, то есть нахождение лопасти в близком следе за впереди расположенной лопастью, играет существенную роль и является нежелательным.

Естественно, оптимальное число лопастей зависит также от их удлинения; в наших опытах оно было равно четырем.



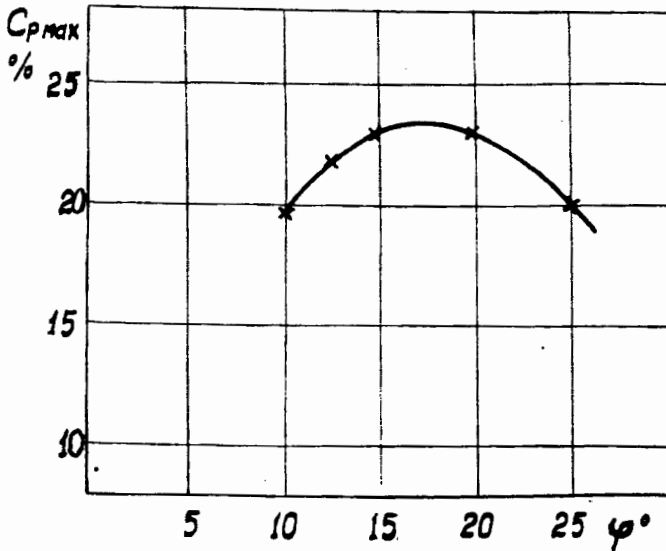
2. Зависимость $C_p = f(\theta)$ для ротора при разном количестве лопастей с профилем типа КН-6; $\varphi = 15^\circ$, $U_\infty = 7,6$ м/с.

В экспериментах на моделях измеряется не коэффициент использования энергии ветра C_p , а коэффициент полезного действия -- кпд, так как часть вырабатываемой ветроэнергетической установкой энергии уходит на механические потери, на трение в подшипниках и т.д. Эти потери могут быть достаточно большими, чем, в частности,

объясняются сравнительно низкие значения кпд, полученные на моделях с электрогенератором по измерениям силы тока и напряжения в сети. Ощутимо сказывается также удачный или неудачный монтаж всей установки. Иногда недостаточная соосность в подшипниках при относительно малой величине всей вырабатываемой энергии "съедает" несколько процентов кпд. В этом отношении положительную роль сыграл переход к измерениям вращающего момента с помощью тормозной ленты, хотя и при этом способе имеются немалые потери на трение.

Достигнутая в опытах на моделях величина кпд двух- или трехлопастного ротора с лопастями типа КН-6 составляет 0,22-0,24. Переход к натурным размерам ВЭУ приведет к повышению уже достигнутого значения кпд. Это обусловлено, в частности, и тем, что при больших числах Рейнольдса, характерных для натурных размеров, снижается доля потерь на сопротивление трения. Можно предполагать, что коэффициент использования энергии ветра для ВЭУ мощностью 2 кВт превысит 0,3. Тем большим будет коэффициент C_p для установок мощностью 10 или 20 кВт.

8. Испытаны роторы с профилями типа КН-6 и КН-7 (последний с укороченной длиной демфера). Варьировались количество лопастей i , углы их установки φ , число Рейнольдса Re . На рис.2 представлены экспериментальные данные для ротора с профилями типа КН-6 по зависимостям $C_p = f(\theta)$ при $i = 2, 3, 5$ и 6 и при постоянном значении угла установки $\varphi = 15^\circ$. Такое значение φ было принято оптимальным на основании анализа результатов влияния этого фактора (рис.3). Опыты показали, что предпочтение следует отдать профилю типа КН-6 (см. рис. 1), число лопастей для натурной ВЭУ может быть принято равным двум или трем. При этом необходимо учитывать удобство и надежность крепления лопастей и их монтажа.



3. Влияние угла установки φ на величину $C_{p,max}$; $i=3$, $U_0 = 7,6$ м/с.

В опытах использовались различные способы создания потока воздуха. На аэростенде НИИкомпрессормаша скорость потока прямоугольного сечения варьировалась в пределах 4,2...11,8 м/с с четырьмя дискретными значениями, а на аэростенде СумГУ поток имел круглое сечение диаметром 0,5 м и скорость его изменялась также дискретно в пределах 2,7...7,6 м/с. Необходимо отметить, что измерение скорости набегающего потока, величины, казалось бы, простой и известной, остается недостаточно точным вследствие относительной малости этой величины в наших опытах.

9. Результаты испытаний на модели в масштабе 1 : 10 к натурному объекту, который при скорости ветра 10 м/с обеспечивал бы полезную мощность 2 кВт, позволяют создавать сам натуральный объект. В настоящее время экспериментальный образец установки мощностью 2 кВт изготавливается на ОПО "Промсвязь" г. Ахтырка (опора, трансмиссия, крепление лопастей) и НПП "Старт", г. Запорожье (стальные лопасти). Размеры ротора: диаметр 4 м, высота 4 м. Монтаж и первичные испытания установки предстоят весной нынешнего 1994 г.

10. В заключение отметим, что заинтересованность в установлении деловых контактов с СумГУ проявили научные учреждения ФРГ: институт экологически чистых технологий (г. Баден-Баден, проф. Вурц) и Инженерный Центр по ветроэнергетике (г. Хайдельберг, др.-инж. Книель). В настоящее время рассматривается вопрос о формах, объемах и способах реализации сотрудничества.

SUMMARY

The article deals with the questions of wind-energetics development in the Ukraine, especially in Sumy region. The main arguments for investigations and use of wind-energetic plants of ortogonal type are proposed. The main stages of investigations of wind-energetic plants in Sumy State University are stated. New methods of experimental investigations are proposed. In particular, the advantage of calculation of the rotation moment by brake band is shown. Content and main results of the investigations of the proposed method of increase of aerodynamic characteristics of the blade by use of so-called demppher of separated flows are described.

At present the laboratory of wind-energetics begins to use its designes in practice. In Spring, 1994, field-tests of the experimental model of wind-energetic plant of ortogonal type with the capacity 2 kWt must be conducted.

Поступила в редколлегую 11 мая 1994 г.

УДК 621.941

ПОКАЗАТЕЛЬ ТОЧНОСТНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ

Осипов В.А.

Возможность прогнозирования характеристик технологического процесса механообработки деталей позволяет перенести решение многих вопросов из стадии их освоения на стадию проектирования, где поиск рациональных решений не связан с такими большими материальными затратами. Особенно это важно при создании единичных технологических процессов, универсальных и применимых для любого типа производства и любых деталей.

Возможные перемещения инструмента в пределах зазоров в узлах технологической системы на данной операции (отжим) проявляются в колебаниях размера обрабатываемой поверхности, что регламентируется. Тогда переход от одного качества точности к другому по этапам обработки поверхности (ЭОП): черновой, получистовой, чистой и т.д. можно, при известных допущениях, представить как переход от одной технологической системы к другой, что количественно будет