

что, области принадлежащей кризису сопротивления $Re=10^6$. Область для чисел $Re>10^2$ относится к области квадратичного сопротивления, в которой коэффициент сопротивления не зависит от вязкости, а определяется геометрией обтекаемого тела. Идеальная жидкость, являющаяся моделью реальной жидкости, по своим физическим свойствам ближе всего подходит к квадратичной области сопротивления. Этим и можно объяснить совпадение опытных и расчетных значений коэффициента сопротивления C_x для чисел $Re>10^2$, а значит объяснить существование динамической силы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленные опытно-теоретические исследования по безотрывному обтеканию цилиндрических тел произвольной формы потоком идеальной жидкости позволяют утверждать, что существовавший до настоящего времени в гидромеханике парадокс Эйлера-Даламбера больше не является парадоксом. Любое тело, обтекаемое потоком идеальной жидкости оказывает сопротивление потоку жидкости, равно как и поток жидкости воздействует на обтекаемое тело.

SUMMARY

In this paper theoretical analysis and experimental results of dynamic force existence is presented. It is shown that body under ideal liquid flow resists.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Саткевич А.А. Аэродинамика как теоретическая основа авиации. - Петроград, 1923.- 579 с.
2. Емцев Б.Т. Техническая гидромеханика. - М.: Машиностроение, 1987.- 440 с.
3. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. - М.: Наука, 1974.- 712 с.

Поступила в редколлегию 26 мая 1998 г.

УДК 621.548; 621.311.245

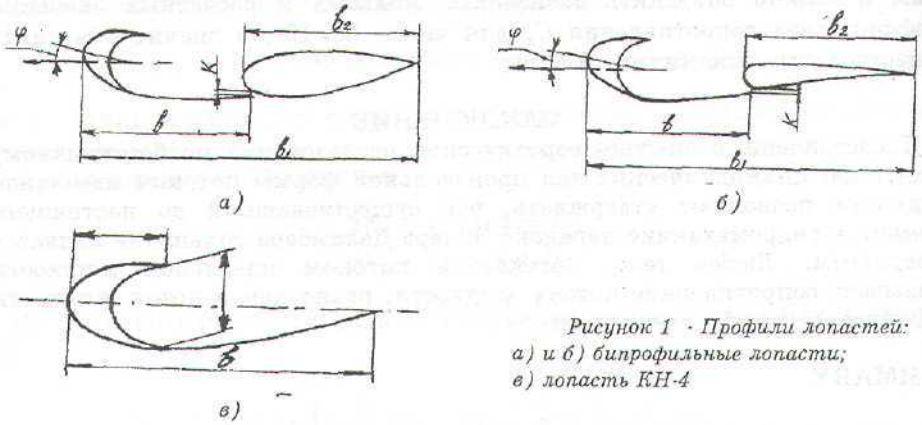
БИПРОФИЛЬНЫЕ ЛОПАСТИ ДЛЯ ВЕРТИКАЛЬНО-ОСЕВЫХ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Л.Г.Рожкова, ст.науч.сотр.

Термин "бипрофильная лопасть" предлагается для лопастей, состоящих из двух элементов, один из которых имеет незамкнутый профиль (тип КН-4), а второй является полнопрофильным крылом (рис. 1 а, б). Основой для разработки бипрофильной лопасти послужили результаты испытаний ранее предложенной лопасти КН-4 [1, 2], профиль которой приведен на рис.1. Были получены аэродинамические характеристики C_x и C_y при угловой обдувке одиночной лопасти, выполнена визуализация течения вокруг профиля, а также снята мощностная характеристика модели ротора вертикально-осевой ветроэнергетической установки с лопастями КН-4.

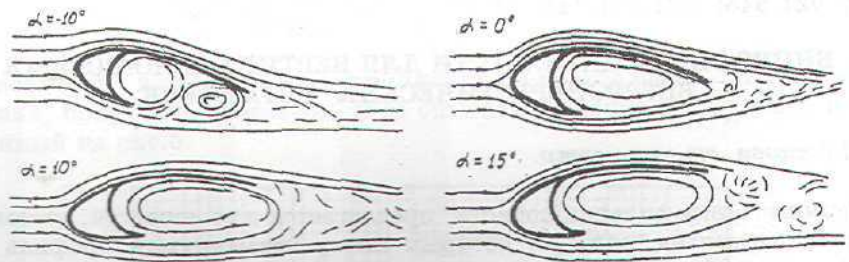
При несомненных достоинствах лопасти КН-4, таких, как обеспечение самозапуска ротора и его работы и при высоких, и при низких скоростях ветра, коэффициент использования ветровой энергии C_p ротора был недостаточно высок. Полученные зависимости $C_y = f(\alpha)$ и $C_x = f(\alpha)$, где α - угол атаки, показали, что диапазон докритических α для КН-4 расширен по сравнению с тем, что наблюдается на полном крыловом профиле, но аэродинамическое качество $K = Y/X = C_y / C_x$ снижено. Другими словами, лопасть КН-4 имеет высокое сопротивление,

обусловленное широким вихревым следом, образующимся практически при любых углах атаки из-за незамкнутой формы профиля. На рис. 2 представлены картины обтекания профиля КН-4 при некоторых углах атаки, полученные путем визуализации течения в водном потоке с помощью древесных опилок и так называемого "светового ножа" на экспериментальной базе Института гидродинамики АН Украины.



Число Рейнольдса при этом равнялось $0,61 \times 10^5$. Представленные результаты дают возможность судить о характере обтекания профиля, местах отрыва потока, течений внутри полости, а также о наличии и характере следа за профилем. В частности, можно отметить, что достаточно широкий вихревой след имеется и при нулевом угле атаки, с увеличением же α след становится шире.

Для улучшения аэродинамического качества лопасти с профилем КН-4 при сохранении ее способности к самозапуску автором было предложено



установить непосредственно вслед за ней дополнительное крыло, имеющее замкнутый профиль [3]. В качестве рабочей гипотезы для обоснования данного усовершенствования было принято предположение об образовании так называемого псевдопрофиля при обтекании системы профилей: КН-4 и дополнительного. Информация о случаях создания псевдопрофиля имеется в литературе [4]. В частности, к этому прибегают при преобразовании тонкого крылового профиля, предназначенного для сверхзвуковых скоростей, в толстый псевдопрофиль для улучшения характеристик при взлете и посадке самолета, т.е. при малых скоростях и больших углах атаки. В этом случае искусственно вызывается отрыв с последующим присоединением потока к поверхности крыла ниже по течению. Линия тока, разделяющая невозмущенную и вихревую области течения, играет роль жидкого контура псевдотвердого тела.

В нашем случае отрывной характер обтекания лопасти с профилем КН-4 диктуется, как указывалось выше, его конфигурацией. Установка непосредственно за лопастью КН-4 полнопрофильного крыла создает (при определенном взаимном расположении элементов) условия для присоединения к поверхности дополнительного крыла, оторвавшегося ранее от поверхности переднего элемента (лопасти КН-4) потока либо на части круговой траектории движения лопасти, либо на всей ее длине. В случае присоединения образуется псевдопрофиль с контуром, состоящим из жидкой и твердой частей, и обтекание комбинации двух профилей - КН-4 и полнопрофильного крылового - становится безотрывным. Безусловно, в результате этого явления сопротивление лопасти должно стать меньше, а подъемная сила больше по сравнению с исходным вариантом.

Экспериментальные исследования моделей роторов вертикально-осевых ВЭУ с лопастями КН-4 (рис. 1) и с бипрофильными лопастями двух вариантов (а и б, рис.1) подтвердили перспективность предложенного усовершенствования [5]. Размеры моделей были следующими :

- с лопастями КН-4: высота ротора $H=240$ мм; диаметр $D=300$ мм; коэффициент заполнения $\sigma = i \times b / D = 3 \times 50 / 300 = 0,5$; здесь i - количество лопастей; b - хорда лопасти ;

- с бипрофильными лопастями: высота ротора $H_1=240$ мм, диаметр $D_1=400$ мм; коэффициент заполнения $\sigma_1=i_1 \times b_1 / D_1 = 2 \times 100 / 400 = 0,5$.

Число Рейнольдса, рассчитанное по хорде лопасти, при испытаниях равнялось $0,85 \times 10^5$ для ротора с лопастями КН-4 и $0,39 \times 10^5$ - с бипрофильными лопастями. Известно, что увеличение Re в докритическом диапазоне его значений улучшает характеристики ортогональных ВЭУ [6]. Это обстоятельство подкрепляет приведенный ниже вывод о значительном повышении коэффициента энергии ветра C_p ротора с бипрофильными лопастями по сравнению с лопастями КН-4.

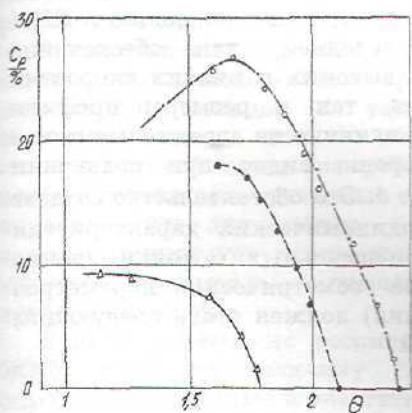


Рисунок 3 - Зависимости $C_p=f(\theta)$:

- Δ - ротор с лопастями КН-4;
- \bullet - с бипрофильными лопастями (вар.а);
- \circ - с бипрофильными лопастями (вар.б)

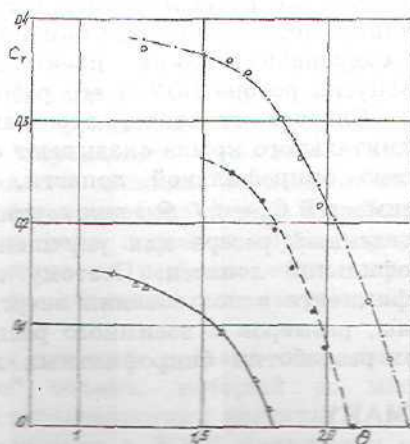


Рисунок 4 - Зависимости коэффициента тянущей силы C_T от коэффициента быстроходности θ

- Δ - ротор с лопастями КН-4;
- \bullet - с бипрофильными лопастями (вар.а);
- \circ - с бипрофильными лопастями (вар.б)

На рис.3 приведены зависимости коэффициента использования энергии ветра C_p от коэффициента быстроходности $\theta = U_x / U_a$, где U_x - окружная скорость лопасти, а U_a - скорость ветра. Следует отметить, что

на величину C_p и Θ оказывают сильное влияние такие параметры, как угол между хордой профиля КН-4 и направлением движения лопасти (угол установки φ), угол между хордами профилей КН-4 и дополнительного крыла, а также наличие и размер κ (рис.1) радиальной щели, образованной поверхностями КН-4 и дополнительного крыла. В процессе исследований было найдено наиболее удачное расположение элементов бипрофильной лопасти как для варианта *a*, так и для *b*, и приведенные зависимости $C_p = f(\Theta)$ получены именно для этих случаев.

Видно, что величина C_p значительно возросла (с 9,6 % до 19 %, вар.а, и до 26 %, вар.б) при установке дополнительного крыла. Положение оптимума мощностной характеристики $C_p = f(\Theta)$ сдвинулось вправо, т.е. в сторону увеличения Θ : с 1,1 до 1,6 и 1,68 для вариантов *a* и *b* соответственно.

Экспериментальные исследования позволили также получить величину интегрального коэффициента тянущей силы C_m как для оптимального, так и для других режимов работы ротора ВЭУ. Данный коэффициент определяется из следующего соотношения: $C_m = M_{ep} / i \times R \times q \times S_d$, здесь i - количество лопастей; R - радиус ротора; $q = \rho U_{\infty}^2 / 2$ - скоростной напор; S_d - несущая площадь лопасти, равная $H \times b_1$, где H - высота (размах) лопасти; b_1 - суммарная хорда бипрофильной лопасти (или b - для лопасти КН-4), рис.1. На рис. 4 приведены зависимости $C_m = f(\Theta)$ для одиночных лопастей с профилем КН-4 и бипрофильных, вар. *a* и *b*, рис.1. Наиболее высокие значения C_m наблюдаются у бипрофильной лопасти, выполненной по варианту *b*, причем кривая $C_m = f(\Theta)$ сдвинута в область больших Θ по сравнению с бипрофильной лопастью по вар. *a* и тем более с КН-4. Величина C_m возросла с 0,15 при $\Theta = 1,1$ у лопасти КН-4 до 0,245 при $\Theta = 1,6$ у бипрофильной лопасти, вар. *a*, и до 0,345 при $\Theta = 1,68$, вар. *b*.

Полученные результаты свидетельствуют о существенном повышении аэродинамического качества бипрофильной лопасти по сравнению с КН-4 при сохранении таких преимуществ последней, как обеспечение самозапуска ротора ВЭУ и его работы при высоких и низких скоростях ветра. Следует отметить, что как форма, так и размеры профиля дополнительного крыла оказывают сильное влияние на аэродинамическое качество бипрофильной лопасти, что хорошо видно при сравнении зависимостей $C_p = f(\Theta)$ для вариантов *a* и *b*. Это обстоятельство создает определенный резерв для улучшения аэродинамических характеристик бипрофильной лопасти. Поэтому поиск оптимальных с точки зрения коэффициента использования энергии ветра геометрических параметров (формы, размеров и взаимного расположения) должен стать следующим этапом разработки бипрофильных лопастей.

SUMMARY

The experimental results of rotor models of vertical-axial wind-energetic devices with biprofile blades, that consist of two elements: with wing unclosed and full wing profiles correspondingly, are adduced. The influence of form and mutual arrangement of elements on the factor of propelling force is analysed. The ways of further improvement of blade are projected.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.с. 1815409 СССР. Лопасть ветроколеса/ Автор Л.Г.Рожкова.- Оpubл.15.05.93, Бюл.№ 18.
2. Коваленко В.М., Рожкова Л.Г. Аэродинамические характеристики профилей типа КН.

//Тез. докладов научно-технической конференции преподавателей, сотрудников и студентов СФТИ. - Сумы, 1998 г.

3. Патент Украины 12474. Лопасть ветроколеса / Л.Г.Рожкова. - Оpubл.28.02.97, Бюл. №1.
4. Чжен П. Управление отрывом потока. - М: Мир, 1979.
5. Исследование аэродинамических характеристик оптимальных роторов ветроэнергетических установок различного назначения: Отчет о НИР, № гос. регистрации 0193U041263. - Сумы, Сумский гос. ун-т. - 1995.
6. Ваклушин П.Г., Ващевич К.П., Самсонов В.В. Экспериментальные исследования аэродинамических характеристик ортогональных крыльчатых ветроколес //Сб. научных трудов Гидропроекта. Вып. 129: Ветроэнергетические станции. - Москва, 1988.

Поступила в редколлегию 28 марта 1997 г.

УДК 621.516

ПОДАЧА РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ В РАБОЧУЮ ПОЛОСТЬ ЖИДКОСТНОКОЛЬЦЕВОЙ МАШИНЫ

Ю.М.Вертепов, доц.; В.Н.Маценко, вед. констр.*

*(*АО СМНПО им. М.В.Фрунзе)*

Среди эксплуатационных затрат, связанных с работой жидкостнокольцевых машин (ЖКМ), большой удельный вес принадлежит затратам, связанным с подачей в машину рабочей жидкости, которой в большинстве случаев является вода. Их величина достигает 25% от всех эксплуатационных расходов [1], поэтому снижение расхода подаваемой в машину воды является одним из основных резервов повышения ее экономичности в эксплуатации. В работе [1] потребный расход воды, подаваемой в ЖКМ, определяется из условия, что вся подводимая от электродвигателя мощность идет на подогрев воды, при этом ее максимально допустимый нагрев принимается равным 15°. Потери мощности на теплопередачу учитываются эмпирическими коэффициентами, величина которых принимается на основании результатов экспериментальной доводки машины.

Оптимальное количество подаваемой воды связывается с достижением минимально необходимого погружения концов лопаток рабочего колеса в жидкостное кольцо, а также с очертаниями сливной кромки нагнетательного окна, которая определяет условия выхода газожидкостной смеси из рабочей полости машины в нагнетательную камеру лобовины и связанные с ними гидравлические потери. В работе [2] показано, что для машин, в которых вода подается через торцовые зазоры, существует оптимальная величина ее расхода, отклонение от которой отрицательно сказывается на объемных и энергетических характеристиках.

В этих работах не рассматривается влияние расхода подаваемой в ЖКМ воды на величину "мертвого" объема, который во многом определяет объемные и энергетические характеристики машины.

В работах [3, 4] показано, что подаваемое в ЖКМ количество воды может без дополнительных затрат быть увеличено на 20 - 30% с улучшением ее характеристик за счет возврата в машину части так называемой обратной воды, выходящей вместе со сжатым газом из рабочей полости через нагнетательное окно. Некоторое снижение производительности в области малых давлений всасывания вызвано повышением температуры в водяном кольце за счет смешения подаваемой в машину свежей сетевой воды с нагретой в процессах сжатия и нагнетания обратной воды. Не учитывается влияние обратной воды на характеристики ЖКМ и в нормативных документах на их испытания и основные параметры. Замеряемая производительность ЖКМ в настоящее