

ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗУЮЩИЕ СИСТЕМЫ

УДК 533.66:681.3

О. В. КОПЕЙКА И А. В. ТЕРЕЩЕНКО

РЕЗЮМЕ. В данной работе кратко излагаются теоретические и экспериментальные исследования, а также конструкторские проработки различных типов роторов (роторы пропеллерного типа и роторы типа Дарье). При численных исследованиях применялся метод дискретных вихрей. Получены мгновенные и осредненные по времени значения коэффициентов радиальной, тянущей, боковой и лобовой сил, а также значение относительного крутящего момента, коэффициент использования энергии ветра, конфигурации вихревого следа, поля и изолинии скоростей. Результаты численных исследований хорошо согласуются с экспериментальными данными.

Непрерывный рост затрат на производство энергоресурсов, ограниченность запасов нефти и газа, необходимость принятия безотлагательных мер по защите окружающей среды и по обеспечению более высокого уровня безопасности объектов энергетики, заставляют искать альтернативные пути решения проблемы энергоснабжения. Одним из перспективных путей является освоение нетрадиционных возобновляемых источников энергии, в частности, энергии ветра.

Сегодня мы имеем существенные практические результаты в ветроэнергетике. Развитая ветроэнергетическая промышленность имеет место в Дании, Голландии, США, ФРГ и других странах. Недостаточная обеспеченность энергоресурсами ставит на повестку дня проблему использования энергии ветра на Украине.

В современных условиях создание ветроэнергетических установок (ВЭУ) предполагает совершенствование существующих ветроагрегатов с применением новых технологий и разработку новых ветродвигателей нетрадиционных типов. В этой связи проводятся теоретические и экспериментальные исследования, а также конструкторские проработки элементов ВЭУ.

Одной из основных проблем при создании ветроустановки с высоким коэффициентом полезного действия является разработка эффективного ротора (ветроколеса), который служит главным рабочим элементом. При этом, на практике, в основном, используются роторы турбин с осесимметричным движением потока воздуха через пропеллерные ветроагрегаты с горизонтальной осью вращения ротора. Менее изучен класс перспективных роторов типа Дарье, при использовании которых возникает проблема преодоления момента трогания.

Ниже кратко излагаются теоретические исследования роторов пропеллерного типа и роторов типа Дарье, а также конструкторские проработки различных типов роторов, воздушных водоподъемников, аккумуляторов и преобразователей энергии.

В настоящее время известен ряд методов аэродинамического расчета ветроколеса, которые по сложности и точности можно разделить на две основные группы:

импульсные [1–4] и вихревые методы [5–7]. В импульсных методах расчет базируется на соотношении, связывающем потерю импульса потока, проходящего через ометаемую площадь ротора, со средней по времени суммарной аэродинамической силой, действующей на лопасти и определяемой через их аэродинамические коэффициенты. Основным недостатком этих методов является невозможность расчета сильно нагруженных роторов, за лопастями которых образуются возвратные зоны течения, а также учета интерференции лопастей на аэродинамические характеристики, определение которых ведется в стационарном приближении.

Вихревые методы моделируют нестационарную (в большинстве случаев линейную) структуру обтекания каждой лопасти ротора, причем, решение осуществляется, в основном, в плоской постановке. Эти методы позволяют определять мгновенные и осредненные по времени значения как суммарных аэродинамических характеристик ротора в целом, так и аэродинамических нагрузок, действующих на каждую лопасть. Вихревые методы лучше описывают области с неоднородным распределением завихренности, характерные для нестационарно движущихся крыльев. Кроме того, можно отметить следующие достоинства вихревых методов: возможность рассмотрения лишь тех областей течения, где существует завихренность, вместо того, чтобы вычислять параметры в каждой узловой точке сетки, возможность точного учета условий на бесконечности, значительная экономия расчетного времени, что позволяет проводить многопараметрический численный эксперимент. При применении этой группы методов в силу сложности решения задачи, используются допущения, которые не позволяют корректно определить тянущую силу или произвести учет влияния нелинейной вихревой структуры, образованной в результате движения лопастей. В используемой математической модели особое внимание уделяется преодолению отмеченных выше трудностей. При этом использовался опыт авторов, накопленный при решении задач о нелинейном аэродинамическом взаимодействии нестационарно движущихся систем крыльев [8, 9].

Математическая задача рассматривается в плоской (ротор Дарье) и пространственной (ротор с горизонтальной осью вращения) постановках в рамках модели идеальной несжимаемой среды. Предполагается, что передние кромки лопастей хорошо профилированы и завихренность сходит в поток только с задних кромок лопастей, образуя свободные вихревые поверхности. Течение всюду, за исключением лопастей и свободных вихревых поверхностей, полагается потенциальным. Для потенциала скорости в области течения выполняется уравнение Лапласа. На границах области имеют место граничные условия о непротекании жидкости сквозь поверхности лопастей, об отсутствии перепада давления на свободных вихревых поверхностях, о затухании на бесконечности возмущений, вызванных движением лопастей. Сложность задачи состоит в том, что она рассматривается в нелинейной постановке, т.е. местоположение свободных поверхностей не задается, а определяется из дополнительного условия о движении точек свободной пелены по траекториям жидких частиц. Для задания начальных условий в уравнениях динамики свободных поверхностей используется гипотеза Кутта о конечности скоростей на задних кромках лопастей.

Решение задачи ищется в виде потенциала вихревого слоя, заменяющего лопасти и свободные поверхности.

При численном решении непрерывный вихревой слой моделируется совокупностью дискретных вихревых особенностей, выражения для скоростей, давлений и сил заменяются дискретными аналогами, непрерывные процессы и функции времени — ступенчатыми [7–10]. Выполнение условия непротекания на лопастях ротора требуется в совокупности контрольных точек, местоположение которых выбирается

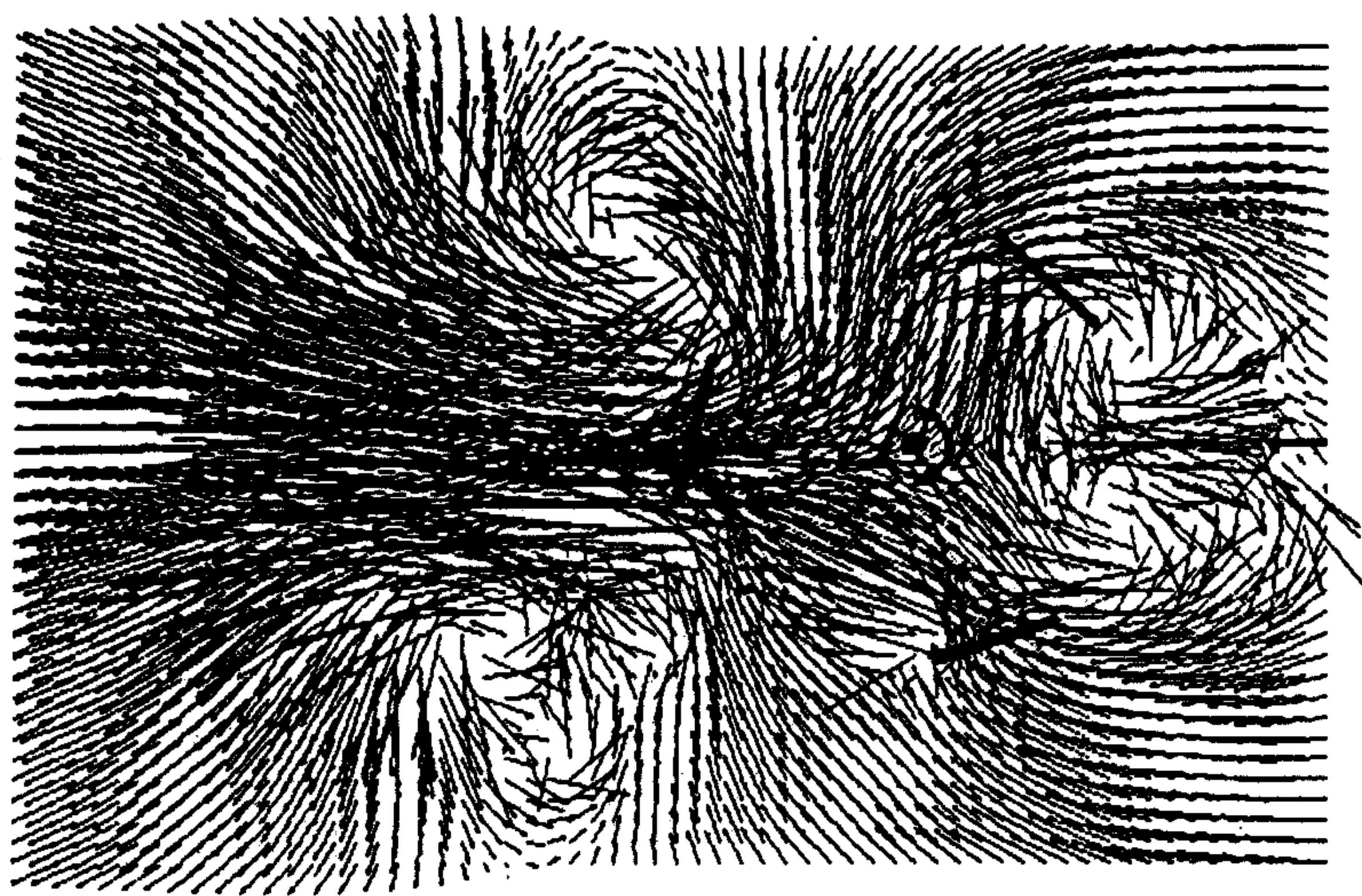


Рис. 1

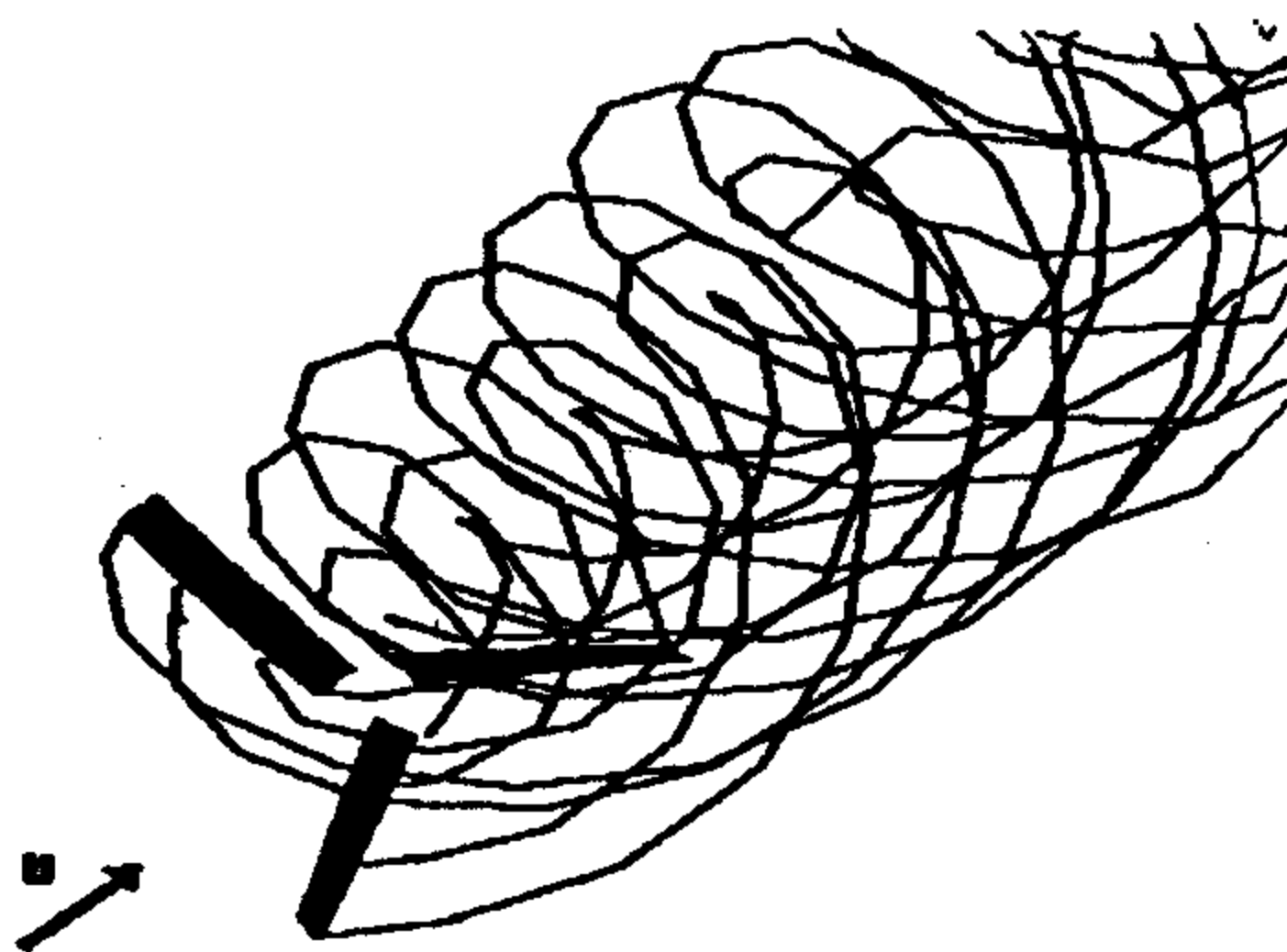


Рис. 2

в соответствии с условиями локальной аппроксимации вихревого слоя. Из получаемой системы линейных алгебраических уравнений определяются интенсивности дискретных вихревых особенностей на лопастях. Из условий на свободных поверхностях следует, что интенсивности свободных вихрей не меняются во времени и равны значениям, полученным в момент схода с задней кромки. Уравнения движения свободных вихрей интегрируются методом Рунге–Кутты. Давление определяется из интеграла Коши–Лагранжа.

В результате решения задачи определяются мгновенные и осредненные по времени значения коэффициентов радиальной, тянущей, боковой и лобовой сил, а также значение относительного крутящего момента, коэффициент использования энергии ветра, конфигурация вихревого следа, поля и изолинии скоростей. На рисунках 1–2 представлены некоторые примеры расчета характеристик поля течения за вращающимся ротором с вертикальной осью вращения (рис. 1) и горизонтальной осью вращения для случая трех лопастей (рис. 2).

Представленное на рис. 1 поле скоростей, возникающее при вращении ротора типа Дарье с тремя лопастями (мгновенный старт, начальная фаза), свидетельствует об интенсивном вихреобразовании в следе за ротором, что подтверждает необходимость применения нелинейной математической модели.

На рис. 2 представлена вихревая картина течения (только продольные вихревые особенности) за ротором с горизонтальной осью вращения (диаметрическая проекция).

В последнее время проведен целый ряд комплексных исследований, направленных на использование нестационарных аэродинамических эффектов для повышения эффективности работы ротора ветроагрегата на стартовых режимах и при работе с малыми скоростями набегающего потока.

Предложенные математическая модель и методы численного расчета АГДХ ветроколеса позволяют решать следующие научно-технические задачи:

— проводить численный расчет и экспериментальное определение мгновенных и осредненных по времени значений как суммарных АГДХ ротора в целом, так и аэродинамических нагрузок, действующих на каждую лопасть;

— совершенствовать формы лопастей и компоновки в целом существующих роторов, как традиционного пропеллерного типа, так и роторов типа Дарье;

— проектировать перспективные роторы нетрадиционного типа;

— численно моделировать сложное поле течения за работающими роторами различных типов, эффективно вычислять статистические характеристики спутного вихревого поля (осредненные, пульсационные, корреляционные и спектральные характеристики);

— теоретически и экспериментально определять взаимное влияние системы роторов и выявить наиболее оптимальное их расположение при проектировании ветроэнергетических станций;

— осуществлять конструкторские проработки.

Выявленные в результате решения данных задач закономерности и эффекты могут быть реализованы при конструировании принципиально новых элементов ветроэнергетических установок.

ЛИТЕРАТУРА

1. I. Paraschivoiu, *Aerodynamic loads and rotor performance for the Darrieus wind turbines*, AIAA Pap. (1981), № 2582, 9.
2. M. Fallen, F. Ziegler, *Leistungsberechnung für einen Windenergiekonverter mit vertikaler Achse*, Brennstoff-Wärme-Kraft 33 (1981), № 2, Februar, 54–59.
3. H. McCoy, J. L. Loth, *Up-and down-wind rotor half interference model for VAWT*, AIAA Pap. (1981), № 2579, 8.
4. В. В. Самсонов, *Усовершенствованный метод расчета аэродинамических характеристик ветроколес вертикально-осевого типа, основанный на импульсной теории*, Промышленная аэродинамика **35** (1988), № вып.3, 171–182.
5. P. R. Schatzle, W. R. McKie, *Aerodynamic interference between two Darrieus wind turbines*, AIAA/SERI Wind Energy Conference, 1980, стр. 1–7.
6. К. П. Вашкевич, В. В. Самсонов, *Расчет аэродинамических характеристик ветроколес вертикально-осевого типа с использованием метода дискретных вихрей*, Промышленная аэродинамика. **35** (1988), № 3, 159–170.
7. T. Sarpkaya, *Computational methods with vortices — the 1988 Freeman scholar lecture*, Journal of Fluids Engineering (1989), № 1.
8. С. А. Довгий, О. В. Копейка, *Влияние твердой поверхности на гидродинамические характеристики двух колеблющихся крыльев при их нелинейном взаимодействии*, Бионика (1991), № Вып. 24, 28–33.
9. С. А. Довгий, О. В. Копейка, *Исследование гидродинамических характеристик двух колеблющихся крыльев в системе типа "биплан"*, Бионика (1993), № Вып. 26.
10. С. М. Белоцерковский, В. А. Васин, Б. Е. Локтев, *К математическому нелинейному моделированию нестационарного обтекания несущего винта*, Докл. АН СССР **240** (1978), № 6, 1320–1323.

11. M. Van-Dyke, *An album of fluid motion*, The Parabolik Press, Stanford, California, 1982 ;
Перевод на русский, *Альбом течений жидкости и газа*, "Мир", Москва, 1986.

ИПТ АТПУ, КИЕВ, ЧОКОЛОВСКИЙ В-Р 13

Поступила 10.10.96