

УДК 44.39.29

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ НЕТРАДИЦИОННОЙ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ В УКРАИНЕ**Ю. С. Лапшин**

Экологическая академия последиplomного образования и управления Министерства экологии и природных ресурсов Украины

ул. Урицкого, 35, г. Киев, 03035, Украина. E-mail: lanko@ua.fm

С. А. Ардашов

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского

ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: ardashov.serhiy@gmail.com

Л. Е. Париков

ул. Шота Руставели, 29, кв. 12, г. Киев, Печерский р-н, 03035, Украина. E-mail: lanko@fm.ua

Рассмотрена леерная ветроэнергетическая установка, расположенная на воздушном змее (изобретение Пастухова с авторской модификацией). Конструкция автоматически приводится в рабочее положение путем обеспечения вращения рабочих ветроколес за счет электропитания генератора от электросети, с последующей поддержкой установки в рабочем положении силой ветра. Предложено, посредством леерных ветросиловых установок использовать ветроэнергетический ресурс достаточно больших высот. Обоснована возможность повышения эффективности леерных ветроэнергетических установок путем концентрации ветропотока конфузориными направляющими и искусственно создаваемым эффектом рыскания. Показана целесообразность изготовления леера равнопрочного, а не постоянного сечения (в целях уменьшения капитальных затрат и повышения надежности). Доказаны преимущества (в условиях Украины) леерной ветроэнергетики перед ветроэнергетикой, основанной на использовании башенных опор. Указано на необходимость обеспечения безопасности при возникновении аварийной ситуации, и предложены пути разрешения данной задачи. Предложены два варианта защиты установки от молнии.

Ключевые слова: леерная ветроэлектростанция, гидроаккумулирующая станция.

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ НЕТРАДИЦІЙНОЇ ВІТРОЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ**Ю. С. Лапшин**

Екологічна академія післядипломної освіти та управління Міністерства екології та природних ресурсів України

вул. Урицького, 35, м. Київ, 03035, Україна. E-mail: lanko@ua.fm

С. А. Ардашов

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: ardashov.serhiy@gmail.com

Л. Е. Паріков

вул. Шота Руставелі, 29, кв. 12, м. Київ, Печерський р-н, 03035, Україна. E-mail: lanko@fm.ua

Розглянуто леєрну вітроенергетичну установку, розташовану на повітряному змій (винахід Пастухова з авторською модифікацією). Конструкція автоматично приводиться в робочий стан шляхом забезпечення обертання робочих вітроколес за рахунок електроживлення генератора від електромережі, з подальшою підтримкою установки в робочому положенні силою вітру. Запропоновано, за допомогою леєрних вітросилових установок використовувати вітроенергетичний ресурс досить великих висот. Обґрунтовано можливість підвищення ефективності леєрних вітроенергетичних установок шляхом концентрації вітропотоку конфузорино напрямними і штучно створюваним ефектом нищпорення. Показана доцільність виготовлення леєра равнопрочного, а не постійного перетину (з метою зменшення капітальних витрат і підвищення надійності). Доведені переваги (в умовах України) леєрної вітроенергетики перед вітроенергетикою, заснованої на використанні баштових опор. Вказано на необхідність забезпечення безпеки при виникненні аварійної ситуації, і запропоновані шляхи вирішення даної задачі. Запропоновано два варіанти захисту установки від блискавки.

Ключові слова: леєрна вітроелектростанція, гідроаккумуляуюча станція.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Известно, что ветроэнергетический ресурс приземных слоев атмосферы Украины – мал. При полном его освоении потребности Украины в энергии будут покрыты всего на 40%. Кроме того использование энергии ветра, когда его среднегодовая скорость меньше 5 м/с – экономически нецелесообразно. А на большей территории Украины (за исключением Крыма, района Сивашей, Причерноморья, Приазовья и горных районов) среднегодовая скорость ветра приземного слоя не превышает 4,5 м/с. Авторы не подвергают сомнению изложенных оценок, но обращают внимание на неучтенный до сих пор исследователями

ветроэнергетический ресурс более высоких воздушных слоев, освоение которого экономически нецелесообразно с помощью традиционных технологий (наличие башенной опоры или вертикальной оси вращения) и приводят доказательства перспективности развития в нашей стране леерной ветроэнергетики. Именно леерная ветроэнергетика в сочетании с гидроэнергетикой и технологией получения биогаза позволит разрешить энергетические проблемы Украины.

Цель работы – оценить эту перспективу и убедить специалистов, ответственных за принятие решений в вопросах развития энергетики, в необходи-

мости внимательного изучения данных предложенных авторов. Авторы выражают надежду на то, что Украина (по примеру Дании) начнет интенсивно внедрять технологию получения биогаза (в основном – анаэробное брожение и, в меньшей степени, пиролиз). А основой энергетической мощи Украины станет ветроэнергетика. Хотя и гелиоэнергетика может внести поправки в эти высказывания. Особенно, если на «Чашу весов» положить гелиоэнергетический потенциал Алёшковских Песков. Кроме того авторы высказывают свои убеждения, что через два – три года Украина станет процветающей страной, именно благодаря использованию возобновляемых энергетических источников. Капитальные затраты на изготовление биогазовых и ветроэнергетических установок (в леерном варианте) не велики.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Известно, что величина среднегодовой скорости ветра увеличивается с высотой над поверхностью Земли. Над территорией Украины, на высоте 5-10 км, значение скорости ветра находится в пределах от 25 до 40 м/с при постоянном направлении – с запада на восток. Ощутимо значение среднегодовой скорости возрастает уже с удалением от земной поверхности на несколько десятков метров. Например, в районе Сивашей среднегодовая скорость ветра на высоте 10 м – 5,2 м/с, а на высоте 25 м – 7,2 м/с [1].

Удельная энергия ветра – E определяется формулой:

$$E = \frac{U \cdot V^3}{2g}, \quad (1)$$

где U – удельный вес воздуха (считаем, что $U = 1,25 \text{ кг/м}^3$), V – скорость ветра, g – ускорение свободного падения.

Из этой формулы следует, что удельная мощность (мощность, приходящаяся на 1 м^2 живого сечения ветропотока) в первом случае будет равна – 8,958 кгм/с, а на высоте 25 м – 23,779 кгм/с, т.е. в 2,65 раза больше.

Разумеется, освоение ветроэнергетического потенциала пятикилометровой высоты (если не использовать горные вершины) – пока технически неразрешимая задача. Но использование энергии ветра до высоты 500 м не должно вызвать значительных технических трудностей.

Допустим, что КПД нашей ветроустановки будет 40%, расчетная скорость ветра – 9 м/с, удельный вес воздуха – $1,25 \text{ кг/м}^3$. Определим необходимую площадь живого сечения ветропотока, использование которого позволит заменить атомную энергетику на энергетику ветровую.

Согласно формулы (1) при наших допущениях леерные установки обеспечат удельную мощность 18,57 кгм/с, т.е. 182 Вт. Таким образом, для компенсации одного ядерного блока – гигаватника требуется перехватить $5,5 \text{ км}^2$ ветропотока. При высоте ветроустановки 500 м суммарная рабочая протяженность – 11 км. Для замены четырнадцати энергоблоков – 154 км. А для покрытия всех запросов на электроэнергию Украины (за счет данного проекта)

последнюю цифру следует удвоить. Лучшие места для реализации данного 11 мелководные акватории (водохранилища, лиманы, Азовское море, Каркинитский залив).

Целью данной работы является также доказательство практической осуществимости и экономической целесообразности реализации описанной ниже технологии, внедрение которой в Украине позволит полностью удовлетворить спрос на электроэнергию за счет собственных ветроэнергетических, гидроэнергетических, био- и гелио ресурсов. Последнее утверждение остается в силе даже в том случае, когда все виды транспорта, промышленности и ЖКХ будут переведены исключительно на электроснабжение.

Технология основана на старых разработках авторов данной работы и их предшественника – русского изобретателя Пастухова, предложившего в двадцатом году прошлого века разместить ветровую электростанцию на воздушном змее. Суть модификаций, (изменений, внесенных в конструкцию Пастухова) в изготовлении конструкции, обеспечивающей подъёмную силу, из гибких материалов в форме гибкого крыла с конфузурным участком, выводное отверстие которого перекрывает рама с ветроагрегатом (пара противоположно вращающихся ветроколес с электрогенераторами), преобразующим энергию ветра в электроэнергию, подаваемую на наземный трансформатор по кабелю, совмещенному с леером. На рис. 1 представлена схема этой установки. Приведение данной конструкции в рабочее положение осуществляется путем использования генераторов в качестве электродвигателей с обеспечением вращения ветроколес в направлении обратном рабочему ходу. Т.е. никаких работ на высоте не предполагается. Конструкция состоит из легких и недорогих материалов, изготавливается на поверхности Земли. Приведение в рабочее состояние (монтаж), а также выход из него (приземление) осуществляется одним оператором, с помощью дистанционного управляемого манипулятора.

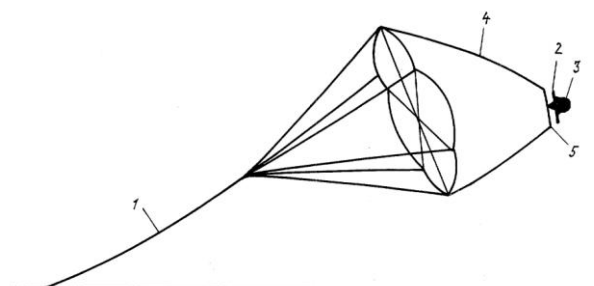


Рисунок 1 – Схема ветроэнергетической установки

Преимущества леерной энергетики в освоении энергетического ресурса достаточно больших высот перед традиционной ветроэнергетикой проиллюстрируем примером. Рассмотрим случай использования энергии ветра трехсотметровой высоты. Рама с системой ветроколес (с горизонтальной осью вращения), центр которой находится на вершине опоры (башни) высотой 200 м.

Действительно, использование энергии воздушных потоков такой высоты уже представляет сложную техническую задачу обеспечения устойчивости и прочности башенной опоры.

Допустим – номинальная мощность данной установки – 1 МВт. В этом случае при скорости 9 м/с и КПД установки – 0,4 воздействующий на опору опрокидывающий (он же у основания опоры изгибающий) момент (результат воздействия на опору расположенного на ней ветросилового агрегата) будет определяться формулой:

$$M = F \cdot h, \quad (2)$$

где F – горизонтальное усилие потока ветра на ветросиловую установку, h – высота башни.

В нашем случае необходимо перехватить $1000/0,182 = 5495 \text{ м}^2$ живого сечения воздушного потока. Определяем величину F в предположении, что ветроколесо полностью останавливает ветер во всем живом сечении. При этом на основании закона об изменении количества движения получаем:

$$F = Y \cdot V^2 \cdot \frac{S}{g}. \quad (3)$$

Т.е. $F = 1,25 \cdot 81 \cdot 5495 / 9,81 = 56714 \text{ кг}$.

Заниженное значение этой силы получим из допущения о том, что часть ветропотока, которая не приняла участия в полезной работе ветроустановки, проходит через ветроагрегат, не изменив направления и скорости движения. Т.е. выполняемая ветром работа (за одну секунду) составляет 1000 кВт, а прочими потерями мы пренебрегаем. Из этого допущения и (3) следует:

$$Y \cdot V^3 \cdot \frac{S_1}{2g} = 1000 \text{ кВт} = 102000 \text{ кгм}, \quad (4)$$

где S_1 – площадь живого сечения потока ветра, который обеспечивает требуемую мощность при наших допущениях. Из (4) $S_1 = 2196 \text{ м}^2$. Из (3) получаем заниженное значение величины $F = 22,685 \text{ т}$. А изгибающий/опрокидывающий момент – M_1 (для среднего значения) будет равен: $M_1 = (22,685 + 56,715) \cdot 200 / 2 = 7940 \text{ н·м}$.

В целях удешевления конструкции, леер должен быть равнопрочного (переменного по длине) сечения.

Можно (для облегчения леера) вместо гибкого крыла взять крыло планера и к нему подвесить раму с размещенными на ней ветроколесами и генераторами электрического тока. Такая конструкция будет обладать лучшим гидродинамическим качеством. Кроме того появится возможность изготовления такой подвески (крепление рамы к крылу), при которой отклонение рамы от вертикали (под действием ветра) обеспечит малое отклонение скорости вращения ветроколес от требуемого показателя (вы-

полнение условия выработки переменного тока стандартной частоты). При этом задние стропы крепления крыла к лееру следует сделать кусочно – упругими, с тем, чтобы с возрастанием скорости ветра автоматически уменьшался угол атаки крыла на ветер, что также снизит нагрузку на леер. Но такая конструкция будет значительно дороже. Поэтому нами предлагается все изложенное в данном абзаце реализовать с помощью гибкого крыла (рис. 2).

Самым ответственным звеном данной конструкции является леер, ибо его обрыв может привести к тяжелым последствиям.

Определим параметры леера для рассматриваемого случая в предположении:

- удельный вес материала леера 3 кг/дм^3 ;
- допустимое напряжение на разрыв 1000 кг/см^2 ;
- леер постоянного (по длине) диаметра;
- длина леера – 500 м;
- значение гидродинамического качества нашего устройства – 0,8;
- вес рамы с электрооборудованием (включая электропроводный кабель) – 8 т;
- вес крыла со стропами – 2,5 т;
- леер – гибкий (испытывает только разрывающее напряжение).

Требуется определить площадь поперечного сечения леера и его (леера) вес.

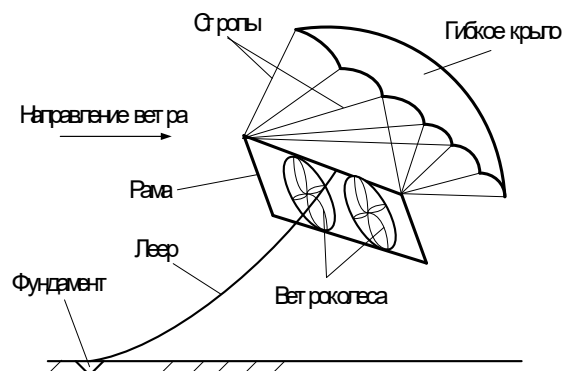


Рисунок 2 – Предложенный вариант ветроустановки

Решение. Верхняя точка леера, в которой разрывающее леер усилие – максимально, находится под действием двух сил. Во первых это отрывающее (горизонтальное) усилие ветра – F_1 , которое в свою очередь состоит из двух слагаемых – суммарного давления ветра на раму и ветросиловой агрегат (39,7 т) и давления ветра на крыло, обеспечивающее подъёмную силу $(8\text{т} + 2,5\text{т} + F_2) \cdot 0,2 = 2,1\text{т} + 0,2 \cdot F_2$. Т.е. $F_1 = 41,8\text{т} + 0,2 \cdot F_2$. Во вторых – это вертикальная составляющая равная весу леера – F_2 . Равнодействующая этих двух сил – это и есть максимальное разрывающее леер усилие. Но с другой стороны эта сила определяется из условия принятой с запасом прочности леера на разрыв.

Т.е. $\sqrt{F_1^2 + F_2^2} = s \cdot 10000 \text{ т/м}^2$. Здесь s – площадь поперечного сечения леера в квадратных метрах в верхней его (леера) точке. Но сила F_2 равна весу леера, т.е. $F_2 = s \cdot 500\text{м} \cdot 3 \text{ т/м}^3$. Следовательно, спра-

ведливо равенство $(41,8t+0,2F_2)^2+F_2^2=(s\cdot 10000t/m^2)^2$. Таким образом, получаем: $(41,8t+0,2\cdot s\cdot 500m\cdot 3t/m^3)^2=(s\cdot 500m\cdot 3t/m^3)^2=(s\cdot 10000t/m^2)^2$. Или: $1747,24+2\cdot 12540s+2340000s^2=100000000s^2$. Приведенное уравнение имеет вид: $s^2-2\cdot 0,0001284s-0,000017891=0$. Откуда, $s=0,0001284+\sqrt{(0,0001284^2+0,000017891)}=0,00611158$ м². Вес леера – Р будет равен: $P=0,00611158\cdot 500\cdot 3=9,167$ т.

В рассмотренном примере, авторы в принятых допущениях заложили значительный запас прочности (завышены величины нагрузок, не учитывалась возможность уменьшения веса леера за счет выполнения его в виде каната равнопрочного сечения, В расчет не приняты прочностные характеристики современных материалов). Авторы преднамеренно упрощали расчетную схему с целью расширения круга специалистов способных включиться в процесс реализации данной технологии. В тоже время, если при тех же исходных данных использовать для изготовления леера материал с допустимым напряжением на разрыв 1,5 т/м², вес леера будет – 4,3 т.

Авторам представляется, что может оказаться востребованным портативный вариант предлагаемой ветроэнергетической установки кочевниками, экспедициями, альпинистами и владельцами малых удаленных хозяйств. Особенно удобным будет это устройство для альпинистов и горных экспедиций. Поскольку в горах зачастую сильные ветры. Нередко, ветер имеет восходящую (вдоль склона) составляющую. В этом случае гибкое крыло может быть приспособлено (в качестве паруса) для подъема грузов и в помощь совершающим восхождение. А спуск с вершины может быть заменен полетом, так как гибкое крыло нашего портативного устройства является парашютом.

В заключение авторы сообщают, что действующий макет данного устройства (по схеме, изображенной на рис. 1) прошел испытания в мае 1981 года. Гибкое крыло было изготовлено из спортивного парашюта. Подъемной силы данного крыла было достаточно для того, чтобы один из авторов данной статьи (весом 63 кг) был 02.05.81 поднят и совершал полет по дуге окружности радиусом 120 м на высоте (примерно) 30 м. Противоположный конец леера был прикреплен к стволу дерева на высоте около 5 м.

Задачи дальнейших исследований. Необходимо провести разработку средств автоматической посадки оторвавшейся части конструкции в заданный район (срабатывает в случае разрыва леера). До завершения данной работы, конструкцию должна защитить аварийная подушка, которую следует разработать с использованием опыта автомобилестроения.

Также необходимо разработать систему защиты от молний. В грозовой период систему следует приземлять.

ВЫВОДЫ. Леерная ветроэнергетика имеет значительные преимущества перед традиционной (башенной) энергетикой при использовании энергии ветра достаточно высоких слоев атмосферы, что

определяется уменьшением размеров, веса и стоимости фундамента, заменой дорогой башни значительно более дешёвым леером. Удобством выполнения ремонтных работ.

1. На данном этапе исследований ещё не решены вопросы обеспечения безопасности в случае возможной аварии, но намечены пути решения этой проблемы.

2. Заслуживает внимания предложение об использовании портативного варианта предлагаемой ветроэнергетической установки кочевниками, экспедициями, альпинистами и владельцами малых удаленных хозяйств.

3. Предложенная технологии может помочь решить задачу обеспечения Украины энергией с доступной для населения ценой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анализ ветроэнергетики Украины и выявление перспектив ее развития: Збірник наукових праць XI Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених і спеціалістів, 09–11 квітня 2013 р., Кременчук / Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації. – Кременчук: КрНУ, 2013. – С. 186–187.
2. Лапшин Ю.С., Ардашов С.А. Безбашенная ветроэнергетическая установка // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КрНУ, 2013. – Вип. 3/2013 (80). – С. 50–53.
3. Лапшин Ю.С., Ардашов С.А. К вопросу об увеличении производительности гидроэлектростанций за счет перекачки воды из нижнего бьефа в верхний бьеф водохранилищ ветросиловыми установками // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КрНУ, 2014. – Вип. 5/2013 (82). – С. 44–47.
4. Роспатент RU (11) 2045683 (13) C1 (51) 6 F03D11/00. Ветроэнергетическая установка / Лапшин Ю.С., Лихачев О.К., Голубцова Н.Ю., Милецкая С.А.; заявл 07.07.1992, опубл. 10.10.1995.
5. Будзак В. Становление ветроэнергетики в Украине // Энергетика Украины. – 1992. – № 3. – С. 13–17.
6. Люшня О.О., Фаворський Ю.П. Вітроенергетичні системи малої потужності // Зелена енергетика, 2004. – Вип. № 1. – С. 14–16.
7. Денисенко О.Г., Козловский Г.А., Федосенко Л.П. Преобразование и использование ветровой энергии. – К.: Техніка, 1992. – 174 с.
8. Левенко А.С. Энергия солнца и ветра. Расчеты, проектирование и использование экологически чистых преобразователей энергии. – Днепропетровск: ИМА-пресс, 2003. – 64 с.
9. Hinsch C. (2001), “Wind power flying even higher”, New Energy, Vol. 1, pp. 14–20.
10. Sorrrsen B. (1995), “History of, and resent progress in, wind-energy utilization”, Annual Review of Energy and the Environment, Vol. 20, pp. 387–424.

DEVELOPMENT PROSPECTS OF NON TRADITIONAL WIND ENERGETICS IN UKRAINE

Y. Lapshin

Environmental Academy of Postgraduate Education and Management of the Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine

vul. Uritskogo, 35, Kyiv, 03035, Ukraine. E-mail: lanko@ua.fm

S. Ardashov

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: ardashov.serhiy@gmail.com

L. Parikov

President of joint venture «Lanko». E-mail: lanko@fm.ua

A layer wind power installation that is considered is placed on the kite (Pastukhov's invention with the author's modification). The construction is automatically set in a working position by providing rotation of working windwheels due to the generator power supply from the electrical outlet with further support of installation in working condition by the force of wind. It is suggested to use quite high wind energy resource with help of the layer wind power installation. The possibility of increasing efficiency of the layer wind power installations is substantiated by concentrating a wind flow by confused guides and artificially created effect of yawing. Attention is drawn to the expediency of making not permanent crossing but equally-durable layer (in order to reduce capital costs and increase reliability). A number of advantages (in Ukrainian conditions) of the layer wind energetics to wind energetics based on the use of tower pillars are proved. It is indicated the necessity to ensure security in case of emergency and ways to resolve this problem are being outlined. Two options for the protection of installations against lightning were suggested. References 10, figures 2.

Key words: the layer wind power station, the pumped storage station.

REFERENCES

1. Ardashov, S.A., Lapshin, Y.S. (2013) "Analysis of wind power in Ukraine and prospects for its development", *Zbirnyk naukovykh prats XI Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii molodykh uchenykh i spetsialistiv* [Electromechanical and Energy Systems, Modeling and Optimization Methods. Conference proceedings of the 11 th International conference of students and young researches], Kremenchuk, KrNU, April 28-29, 2013, pp. 186–187.
2. Lapshin, Y.S., Ardashov, S.A. (2013) "A towerless wind power plant", *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*, no. 3 (80), pp. 50–53.
3. Lapshin, Y.S., Ardashov, S.A. (2013) "On the issue of efficiency enhancement of hydro-power plants due to the wind-driven pumping over of water from the tail pond to the upstream pond", *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*, no. 5 (82), pp. 44–47.
4. Lapshin, Y.S., Likhachev, O.K., Golubtsova, N.Y., Miletskaya, S.A. (1995), "A tower wind power installations, publ. 10.10.1995, Rospatent no. RU (11) 2045683 (13) C1 (51) 6 F03D11/00.
5. Budzyak, V. (1992), "Formation of wind energy in Ukraine", *Energy of Ukraine*, no. 3, pp. 13–17.
6. Lushnja, O.O., Favorskiy, Y.P. (2004), "Wind energy systems of low power", *Zelena energetika*, vol. 1, pp. 14–16.
7. Denisenko, O.G., Kozlovskiy, G.I., Fedosenko, L.P. (1992), *Preobrazovanie i ispol'zovanie vetrovoi energii* [Transformation and use of wind energy], Tehnika, Kiyv, Ukraine.
8. Levenko, A.S. (2003), *Energiya solnca i vetra. Raschety, proektirovanie i ispol'zovanie ekologicheski chistykh preobrazovatelei energii* [Solar and wind energy. Calculations, design and use of clean energy converters], IMA-Press, Dnepropetrovsk, Ukraine.
9. Hirsch, C. (2001), "Wind power flying even higher", *New Energy*, vol. 1, pp. 14–20.
10. Sorerrsen, B. (1995), "History of, and resent progress in, wind-energy utilization", *Annual Review of Energy and the Environment*, Vol. 20, pp. 387–424.

Стаття надійшла 30.07.2015.