

УДК 551.521.37:621.548

Сербій В., канд. техн. наук, зав. лабораторії, Рудик Л., мол. наук. співроб. (УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого)

## Огляд новітніх конструкцій обладнання для використання вітрової і сонячної енергії та визначення вітросонячного потенціалу

У статті розглядаються результати дослідження новітніх конструкцій обладнання для використання вітрової та сонячної енергії, їх класифікація та визначення вітросонячного потенціалу.

**Ключові слова:** вітрова та сонячна енергія, вітросонячний потенціал, вітрогенератори, сонячні панелі.

**Вступ.** Останнім часом у зв'язку із загостренням екологічних проблем і усвідомленою необхідністю енергозбереження у всьому світі все актуальнішим

стає використання відновлюваної енергії – сонячної та вітрової енергії.

Кожні два тижні Сонце віддає Землі таку кількість енергії, яку споживають жителі нашої планети протягом усього року. Середньорічна кількість сумарної сонячної радіації, що надходить на 1 м<sup>2</sup> поверхні, на території України знаходиться в межах: від 1070 кВт·год/м<sup>2</sup> в північній частині України до 1400 кВт·год/м<sup>2</sup> – на південних територіях.

За рівнем інтенсивності сонячного випромінювання на території України необхідно виділити чотири зони, показані на рис. 1 [9].

У першій і другій зонах знаходяться всі південні області України; більше половини території країни належать до третьої зони, четверта зона найменш сприятлива для використання сонячної енергії. Найбільша величина надходження сонячного опромінення становить в першій зоні 1350 кВт·час/км<sup>2</sup> на рік, а найменша – в четвертій зоні 1000 кВт·час/км<sup>2</sup> на рік. У другій і третій зонах ці величини становлять відповідно: 1250 кВт·час/км<sup>2</sup> і 1150кВт·час/км<sup>2</sup> на рік.

В цілому територія України належить до зони середньої інтенсивності сонячної радіації. У реальних умовах величина щільності прямої і дифузійної сонячної радіації залежить від широти місцевості, прозорості атмосфери, характеристик земної поверхні, а також від часу доби і пори року. З цієї причини величина річного надходження сонячної радіації на 1 м<sup>2</sup> земної поверхні істотно варіюється для різних регіонів України і має статистичний характер розподілу. Однак, цілком очевидною визначальною тенденцією в таких умовах є збільшення щільності сонячної радіації та кількості сонячних днів у напрямку з півночі на південь з відповідним зростан-



Рис. 1 – Потенціал сонячної енергії України

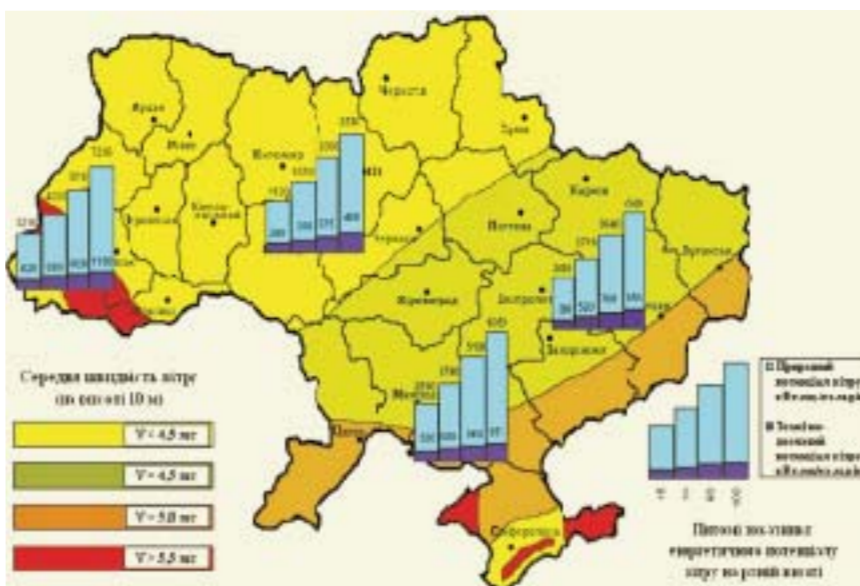


Рис. 2 – Потенціал вітрової енергії України

ням річного надходження сонячної радіації на 1 м<sup>2</sup> земної поверхні.

В Україні середня швидкість руху повітря становить 4,5 м/с. Чималий потенціал має вітрова енергетика (рис. 2). Україна має території з постійним досить сильним вітром, завдяки чому розвиток вітроенергетики має логічне обґрунтування. Навіть незважаючи на більшу вартість вітрової енергії (у порівнянні з традиційно виробленою з викопних ресурсів), використання енергії вітру є економічно виправданим у степових (зокрема приморських) та гірських районах країни (Одеській, Миколаївській, Харківській, Луганській і Донецькій областях, а також у гірських районах Карпат). За підрахунками, вітрова енергетика може забезпечити Україну на 15% від загальних потреб електроенергії [10].

**Актуальність дослідження.** Впровадження поновлюваних джерел енергії (ПДЕ) та енергозбереження в усіх галузях економіки є актуальною завданням. Україна є однією з енергодефіцитних країн, які можуть задовольнити свої проблеми в паливно-енергетичних ресурсах за рахунок власного видобутку менш ніж на 50%. В той же час, ефективність використання паливно-енергетичних ресурсів в Україні дуже низька, а енергоємність валового внутрішнього продукту в три-пять разів вища, ніж в розвинених країнах світу.

Актуальність законодавчої бази з питань регулювання процесу впровадження ПДЕ і енергозбереження в Україні дозволяє констатувати, що цій проблемі надається увага з боку держави, однак вагомим позитивних змін, не дивлячись на цілу низку прийнятих

нормативно-правових актів, не спостерігається. Особливо гостро ця проблема постає в сільському господарстві України, оскільки воно є потужним споживачем енергії.

Відомо, що на територію України припадає значна кількість сонячної енергії, яку можливо використовувати на потреби АПК. А тому дуже важливо визначити сонячний потенціал у регіонах України разом із вітровим для певних висот. Скомбінувавши вітросонячну систему у єдиний комплекс вироблення електричної енергії, можливо забезпечити безперебійну подачу електроенергії до об'єктів сільськогосподарського призначення.

#### Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Серед глобальних проблем, що постали перед людством на початку XXI століття, однією з найважливіших є енергетична. Виникнення її зумовлене невпинним зростанням обсягів споживання традиційних паливно-енергетичних ресурсів до межі, за якою настає вичерпання [1-3].

Серед найбільш досконалих, економічно ефективних і технічно готових до масового застосування технологій використання цих джерел енергії на сьогодні розглядають технології перетворення енергії вітру в електричну (та механічну). Маючи переваги над іншими нетрадиційними джерелами енергії, вітроенергетика надзвичайно інтенсивно прогресує [2, 4-8].

Вітроустановки виготовляють двох типів: з горизонтальною та вертикальною віссю обертання (рис. 3).

До вітроустановок з горизонтальною віссю обертання належать: лопатеві (одно-, дво-, три- та багатолопатеві), установки з парусним крилом, багатолопатеві установки, барабанне колесо, спіральні-гвинтові та інші.

Основним недоліком горизонтально-осьових вітрогенераторів є необхідність орієнтації ротора на вітер, що потребує впровадження додаткових механізмів або способів орієнтації.

Багатолопатеві вітрогенератори мають до п'ятдесяти лопатей. Ротор цих вітрогенераторів має великий момент інерції та низьку швидкість обертання, а тому розвиває більш високий крутний момент.

Установки з парусним крилом відомі давно, але м'які полотнища його лопатей (рис. 3) почали виготовляти з появою високоміцних зносостійких синтетичних тканин і плівок.

Багатолопатеві вітряки з жорсткими вітрилами широкого використовують як привід малопотужних автоматичних водопідій-



Рис. 3 – Структурна класифікація вітроустановок

мальних установок, але їх технічні дані навіть нижчі, ніж у каруселей. Однак м'яке вітрило, як крило вітряка, схоже, виявилось не таким вже й простим. Справа не у вібростійкості, а в енергетиці.

До спіральних-гвинтових установок відносяться такі як Liam F1 та ротор Оніпко.

Голландські інженери взялися за вирішення двох основних проблем вітряків: шумність та низька ефективність. Їм вдалося вирішити цю проблему, створивши Liam F1 турбіну, яка може генерувати від 1500 кВт.год енергії в рік за швидкості вітру 5 м/с (рис. 3).

Завдяки оригінальному аеродинамічному дизайну турбіна практично безшумна (45 Дб) та ефективна в перетворенні енергії, а компактний розмір (1,5 м) в діаметрі, дозволяє розташовувати її на даху практично різних за конструкцією будівель або окремих мачт.

Конусна аеродинаміка лопатей дає ще одну перевагу – турбіна не створює завихрення, які могли б заважати сусіднім турбінам ефективно перетворювати вітер в електроенергію, тому поряд можна розміщувати кілька вітряків.

До вітроустановок з вертикальною віссю обертання належать: ротор з прямими криловими лопатями (ортогональний), ротор Савоніуса, гелікоїдальний ротор, ротор Дар'є, установка з парусним крилом, багатолопатева установка з напрямним апаратом, ротор пластинчастий, чашковий ротор та багато інших.

Вітроустановка багатолопатева з вертикальним ротором та напрямним апаратом (рис. 4) у промислового виконання зустрічається рідко, оскільки дороге введення в дію землі не компенсує приросту потужності, а матеріаломісткість і складність виробництва великі, але для отримання 0,5-1,5 кВт електроенергії цю вітроустановку можна використовувати, оскільки:

- ротор такого типу абсолютно безпечний, безшумний, не створює вібрацій і може бути встановлений де завгодно, хоч на дитячому майданчику;
- в обертанні – абсолютно рівномірний, деталі механіки можна взяти найдешевші;
- не боїться ураганів – занадто сильний вітер не може проштовхнутися в «бочку»; навколо неї виникає обічний вихровий кокон.

Ротор з прямими криловими лопатями (ортогональний) відноситься до швидкохідних вітряків (рис. 3), тобто обов'язково вимагає розкручування під час введення в експлуатацію і після шторму. За ортогональною схемою випускаються серійні установки потужністю до 20 кВт.

Ротор Дар'є – тип турбіни низького тиску, вісь обертання якої перпендикулярна потоку рідкого або

газового середовища (рис. 3). Запропонована у 1931 році французьким авіаконструктором Джорджем Дар'є. Ротор Дар'є знайшов широке застосування у вітроенергетиці.

Ротор Савоніуса – роторна вітроприймальна конструкція, в якій у якості лопатей застосовують різні криволінійні поверхні (рис. 3). Він являє собою два зміщених один відносно одного напівциліндри з невеликим (10-15 %) від діаметра лопаті перекриттям.

Гелікоїдальний ротор або Ротор Горлова є модифікацією ортогонального ротора (рис. 3). За рахунок закручування лопатей обертання ротора є більш рівномірним, що значно знижує динамічні навантаження на опорні вузли і тим самим збільшує їх термін служби, в порівнянні з опорними вузлами ортогональних роторів, однак технологія виробництва закручених лопатей значно ускладнюється, що позначається на збільшенні їх вартості.

До новинок вітроустановок відносяться висотна вітряна турбіна та вітряна турбіна Wind Harvester, вертикальні турбіни Дабірі та модель вітростатичного вітрогенератора.

Вітрові турбіни залишаються актуальними за технологією чистої електроенергії, майбутнє вітрової енергетики для віддалених районів може бути знайдено у висотних вітряних турбінах (рис. 5) (high altitude wind turbines (HAWTs)), які розміщені високо над землею, де вони можуть використовувати більш сильні та стійкі вітри.

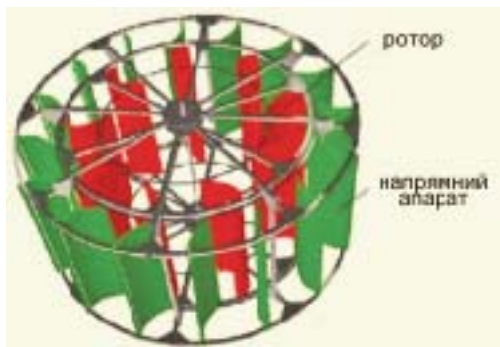


Рис. 4 – Вертикальний ротор з напрямним апаратом



Рис. 5 – Висотна вітряна турбіна

Англійський дизайнер Хіт Евдемон сконструював таку вітряну турбіну, яка може виробляти недорогу електроенергію, а її вартість буде доступною для звичайних громадян (рис. 6).

Установка відрізняється тим, що має всього дві горизонтальні лопаті довжиною один метр, які можуть працювати в різному діапазоні швидкості вітру. Переваги Wind Harvester над стандартними вітроустановками полягають у тому, що вона майже безшумна в роботі, а швидкість вітру, яка необхідна для експлуатації, може бути як зовсім низькою, так і високою.

Джон Дабірі, директор Центру вітряної енергетики (Bioinspired Wind Energy) в Каліфорнійському технологічному інституті в Пасадені (California Institute of Technology in Pasadena) виявив, що вертикальне роз-



Рис. 6 – Вітряна турбіна Wind Harvester



Рис. 7 – Вертикальні турбіни Дабірі



Рис. 8 – Модель електростатичного вітрогенератора

ташування осі вітрових турбін з лопатями, які за формою нагадують плавники риб, можуть працювати разом (рис. 7), щоб більш ефективно використовувати енергію вітру.

«Зграї риб, що плавають в океані, доводиться боротися з вихровими потоками, хвилями та перешкодами, що викликають інші риби», – розповідає Джон. «Деякі

види використовують менше енергії для переміщення з точки А в точку Б, перебуваючи в групах, ніж коли вони самі по собі, тому що вони в змозі використати ці перешкоди для підвищення їх загальної ефективності».

І, на думку Джона, це якраз те місце, де знадобиться досвід риб. Вертикальні турбіни Дабірі становлять близько дев'ять метрів у висоту (одна десята висоти багатьох звичайних турбін), що дозволить помістити сотні таких зменшених турбін на площі, де зазвичай розміщується одна традиційна.

Результат був вражаючий. Сучасна комерційна вітроелектростанція з масштабними територіальними вимогами виробляє близько 2,5 Вт електроенергії на

квадратний метр. Одна звичайна турбіна генерує від 1 до 3 МВт електроенергії. І не дивлячись на те, що його «каруселі» генерують всього лише 3,5 кВт, можна (і необхідно) встановити 280 одиниць, щоб дотягнути до 1 МВт електроенергії, одержуваної від традиційної турбіни. Встановлені у великому масиві вітряки Дабірі можуть виробляти в десять разів більше енергії, займаючи таку ж площу.

Голландська фірма «Mecapoo» розробила робочу модель електростатичного вітрогенератора (рис. 8), котрий не має лопатей і рухомих деталей. Як джерело та накопичувач енергії тут використовують краплі води, котрі виходять з горизонтально розміщених сопел. Краплі води мають позитивний заряд і в звичайній ситуації вони притягуються до негативно заряджених електродів або поверхонь. Але в цій системі використовується вітер, котрий відносить краплі у зворотний бік, до позитивно заряджених електродів. Це



приводить до збільшення потенційної енергії позитивно зарядженої краплі і цю енергію отримують, коли крапля попадає на позитивно заряджений електрод.

Конструкційно цей генератор має рамку з металу, всередині якої знаходяться ізольовані трубки. Кожна трубка має сопла і кілька електродів. Кількість виробленої енергії залежить від

кількості крапель води, від заряду крапель, від швидкості вітру і сили електричного поля. Цікава ідея ще не готова до практичної реалізації, а прототип розміщено біля університету в місті Delft.

Сонячні фотоелектричні модулі є цілком реальною



Рис. 9 – Класифікація сонячних фотоелементів за технологією виробництва

технічно і економічно вигідною альтернативою викопному паливу у ряді застосувань. Вони можуть безпосередньо перетворювати сонячне випромінювання на електроенергію без застосування будь-яких рухомих

механізмів, і завдяки цьому їх термін використання досить тривалий (біля 20 років).

Сонячні фотоелементи за технологією виробництва

ва поділяються на кремнієві, композиційні, тонкоплівкові та органічні (рис. 9).

Фотоелектричні модулі, що виконані з монокристалічних елементів, характеризуються кращою ефективністю перетворення енергії, однак мають більшу вартість в перерахунку на вартість 1 Вт виробленої енергії. Ефективність модулів такого типу становить близько 14-17 %. Як правило, монокристалічні фотоелектричні елементи мають форму багатокутників, через що заповнення всієї корисної площі модуля неможливе. Тому питома потужність модуля поступається питомій потужності окремо взятого елемента.

Полікристалічні сонячні елементи отримали найширше застосування завдяки ефективному співвідношенню вартості і коефіцієнта перетворення світла в електричну енергію. Найчастіше ефективність модулів цього типу коливається в межах 12-14 %. Візуально фотоелектричні елементи цього типу відрізняються кристалічною структурою і синім кольором.

Фотоелектричні елементи, що виготовляються на основі аморфного кремнію, мають найнижчий показник ефективності – всього 6-7 %. Разом з тим, модулі такого типу виробляють найдешевшу енергію серед усіх їх модулів, сконструйованих за кремнієвою технологією.

Фотоелектричні панелі, виконані на основі телуриду кадмію (CdTe), виготовляються з використанням плівкової технології. Напівпровідниковий шар наноситься дуже тонко, всього в кілька сотень мікронів. Ефективність модулів на основі телуриду кадмію невисока – лише 11 %. Разом з тим, модулі цього типу виробляють енергію, кінцева вартість якої нижча на 20-30 %, ніж у кремнієвих аналогів.

Фотоелектричні елементи даного типу засновані на використанні CIGS-напівпровідника, що має у своєму складі такі елементи, як мідь, індій, галій і селен. Як і попередній, цей тип сонячних модулів виготовляється з використанням плівкової технології. Разом з тим їх ефективність набагато вища – близько 15 %.

Сонячні фотоелектричні модулі розділяються на стандартні, циліндрові, вигнуті, двосторонні, напіввигнуті та гнучкі (рис. 10).

**Результати досліджень.** Дослідження вітросонячного потенціалу було проведено в

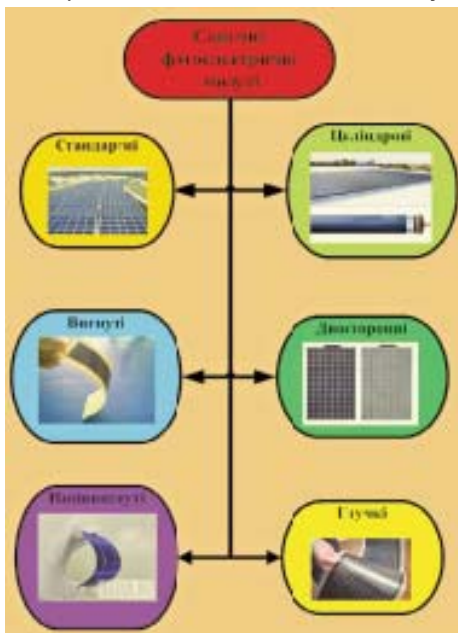


Рис. 10 – Класифікація сонячних панелей за виконанням

сміт Дослідницьке: аерокосмічний знімок регіонального розташування приладів вимірювання швидкості вітру та інтенсивності інсоляції сонця з географічними координатами  $49^{\circ} 55' 10''$  північної широти та  $30^{\circ} 8' 54''$  східної

довготи наведено на рис. 11.

В результаті проведення експерименту нами було отримано графіки потенціалу вітру та сонця (рис. 12). Датчик швидкості вітру змонтовано на висоті (h) 12 м. За даними спостережень вітропотенціалу отримано ансамбль реалізацій середньодобової швидкості вітру.



Рис. 11 – Регіональне розташування датчиків вітру та сонця



Рис. 12 – Графік ансамблю реалізацій значень середньодобової швидкості вітру в смт Дослідницьке Київської області 2014 року

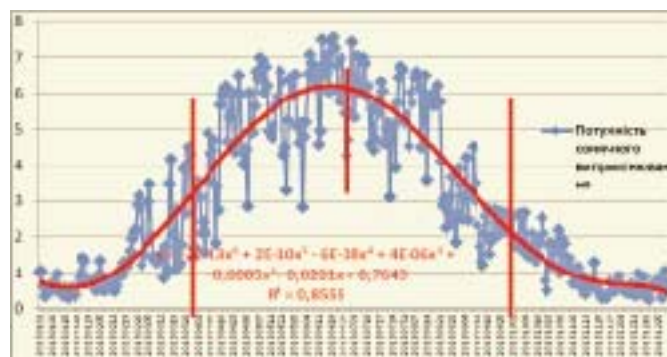


Рис. 13 – Графік ансамблю реалізацій значень середньодобового сонячного випромінювання в смт Дослідницьке Київської області 2014 року

Графік було апроксимовано та отримано рівняння регресії:

$$y = -4E - 14x^6 + 3E - 11x^5 - 6E - 09x^4 + 7E - 07x^3 - 0,0002x^2 + 0,0165x + 1,6575$$

Річна середньодобова швидкість вітру склала  $V_{\text{сер}} = 2$  м/с, середня потужність –  $W_{\text{сер}} = 9,3$  Вт/м<sup>2</sup>, середня технічно можлива потужність, яку здатні зареєструвати датчики  $W_{\text{сер,т}} = 3,7$  Вт/м<sup>2</sup> та кількість добової енергії, отриманої з 1 м<sup>2</sup> у вертикальній площині становить  $E_{\text{сер}} = 0,23$  кВт·год/м<sup>2</sup>·добу.

Апроксимовано також у рівняння регресії графік

інтенсивності сонячної радіації:

$$y = -2E - 13x^6 + 2E - 10x^5 - 6E - 08x^4 + 4E - 06x^3 + 0,0005x^2 - 0,0201x + 0,7649$$

Середньорічна потужність сонячного випромінювання  $W_{\text{сєр}} = 125 \text{ Вт/м}^2$  (рис. 13), з врахуванням сучасного рівня ККД сонячної панелі  $W_{\text{сєр.т.}} = 19 \text{ Вт/м}^2$ , середньодобова кількість енергії  $E_{\text{сєр}} = 3 \text{ кВт} \cdot \text{год/м}^2 \cdot \text{добу}$  та з врахуванням сучасного технічного рівня  $E_{\text{сєр.т.}} = 0,45 \dots 0,6 \text{ кВт} \cdot \text{год/м}^2 \cdot \text{добу}$ .

**Висновки.** У статті наведено результати аналітичного огляду конструкцій з класифікацією вітроелектричних установок. Зроблено аналіз конструкційних рішень фотопанелей.

Отримано графіки вітросонячного потенціалу регіону в смт Дослідницьке Київської області за 2014 рік для розроблення методики складання вітросонячного парку з метою безперерйного забезпечення сільськогосподарських об'єктів.

Середньодобова потужність вітру за рік склала  $9,3 \text{ Вт/м}^2$ , а сонячного випромінювання –  $125 \text{ Вт/м}^2$ .

### Список літератури

1. Енергетика в XXI столітті / В.П. Кухар // Доп. Міжнародної конференції «Енергетична безпека Європи. Погляд у XXI століття» 3-6 травня 2000 р. – Київ: Українські енциклопедичні знання. – 2000. – С. 5-10.
2. Енергетика XXI століття / Коробко Б.П. // Винахідник і раціоналізатор. – №1-2. – 1999. – С. 1-2.
3. Енергетика України в третьєм тисячелітті – пути преодоления кризисна и задачи научных исследований / Кузьмин В.В. // Доповіді форуму ВЕР «Київ-2000». Ринкові перетворення в енергетиці. Перспективи на початок III тисячоліття. – Київ, 16-19 травня 2000. – К., Всеукраїнський енергетичний комі-

тет, 2000. – Т.2. – С. 135-140.

4. Энергетика после Рио-де-Жанейро: Перспективы и задачи. Резюме Программы развития ООН / Э.К.Н. Реддл, Р.Х. Уильямс, Т.Б. Джохенссон // 1997. – 35 с.

5. World Record Tumbles Again // Wind Directions, March 2000. P. 6.

6. Ветроэнергетика / Д. Рензо // М.: Энергоатомиздат, 1982.

7. Вітропотенціал та перспективи розвитку вітроенергетики в Україні / Коробко Б.П. // Винахідник і раціоналізатор. – № 1-2. – 1999. С. 2-9.

8. Переобразование и использование ветровой энергии / О.Г. Денисенко, Г.А. Козловский, Л.П. Федосенко, А.Н. Осадчий. – К.: Техника, 1992. – 176 с.

9. Солнечные энергетические ресурсы Украины [Электронный ресурс]. – 2014. – Режим доступа к журн.: [http://www.siriusone.net/index.php?action=page&page\\_id=136&lang=ru](http://www.siriusone.net/index.php?action=page&page_id=136&lang=ru) – Название с экрана.

10. Потенциал ветровой энергии в Украине [Электронный ресурс]. – 2014. – Режим доступа к журн.: [http://esco-ecosys.narod.ru/2005\\_11/art07\\_71\\_1.htm](http://esco-ecosys.narod.ru/2005_11/art07_71_1.htm) – Название с экрана.

**Аннотация.** В статье рассматриваются результаты исследования новейших конструкций оборудования для использования ветровой и солнечной энергии, их классификация и определение ветросолнечного потенциала.

**Summary.** In this article the results of the latest research designs equipment for use wind and solar energy, their classification and identification of potential wind and sun.

Стаття надійшла до редакції 30 січня 2015 р.