



УДК 621.311.245

JEL Classification: L25, L26

Любомир Окопний, Андрій Колесніков

Тернопільський національний економічний університет

## ОБґРУНТУВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК ДЛЯ ПІДПРИЄМСТВ ТЕРНОПІЛЬСЬКОЇ ОБЛАСТІ

*Анотація.* В статті досліджено історичне становлення, динаміку досліджень та переваги використання енергії вітру; здійснено порівняння характеристик використання вітрових станцій; досліджено технічні характеристики та продуктивність вітрогенераторів різного типу; охарактеризовано аспекти державної підтримки розвитку альтернативних джерел енергії; обґрунтовано переваги застосування вітроенергетичних установок, як джерела альтернативної енергії; здійснено порівняння економічної ефективності застосування установок різних типів для кліматичних умов тернопільської області та обґрунтовано їх доцільність на прикладі підприємства.

*Ключові слова:* вітроенергетична установка, альтернативні джерела енергії, обґрунтування економічної ефективності.

Любомир Окопный, Андрей Колесников

## ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ТЕРНОПОЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

*Аннотация.* В статье исследованы историческое становление, динамику исследований и преимущества использования энергии ветра; по сравнению характеристик использования ветровых станций; исследованы характеристики и производительность ветрогенераторов различного типа; охарактеризованы аспекты государственной поддержки развития альтернативных источников энергии; обоснованы преимущества применения ветроэнергетических установок, как источники альтернативной энергии; по сравнению экономической эффективности применения установок различных типов для климатических условий тернопольской области и обоснована их целесообразность на примере предприятия.

*Ключевые слова:* ветроэнергетическая установка, альтернативные источники энергии, обоснование экономической эффективности.

Lubomir Okopnyy, Andrei Kolesnikov

## GROUND APPLICATION FOR COMPANIES WIND-ENERGETIC INSTITUTIONS IN TERNOPIL REGION

*Abstract.* The article investigates the historical development, dynamics research and the benefits of wind power by comparing the characteristics of wind power stations, research

*specifications and performance of wind generators of different types, described aspects of state support for the development of alternative energy sources, the advantages of the use of wind power plants as a source of alternative energy; by comparing the economic effectiveness of different types of plants to climate Ternopil region and proved their relevance in the example of the company.*

**Keywords:** *wind-energetic institutions, alternative energy sources, cost-effectiveness study.*

**Постановка проблеми.** В умовах сучасної економіки коли світові енергетичні ресурси починають вичерпуватись, а атмосфера стає все більш забрудненою, актуальності набувають альтернативні види енергії, які раніше не використовувались. Вчені підрахували, що через 178 років єдиним викопним джерелом енергії на Землі залишиться торф. У 2056 р. закінчатся всі розвідані на сьогодні запаси нафти, до 2077 р. не стане урану, у 2079 р. буде спалений останній кубометр газу, а в 2178 р. вичерпаються поклади кам'яного вугілля. В такій ситуації життєво необхідним є створення та використання всіх можливостей для впровадження і використання новітніх технологій, що змогли б дати доступ до дешевих і екологічно чистих джерел енергії. Додатковим чинником, що робить альтернативні джерела енергії привабливим є зростання цін на нафту газ, що пов'язане з політикою експортерів цих ресурсів, а також з їх вичерпністю. Україна має усі можливості забезпечити власну енергетичну, і тим самим економічну, незалежність, дати робочі місця населенню та зберегти для наступних поколінь залишки природи. Також варто зазначити, що альтернативна енергетика – дуже високотехнологічна галузь, тому потребує залучення великих наукових і технологічних ресурсів, тобто це і розвиток вітчизняної науки.

Останні дослідження розкривають перспективність і альтернативних джерел, і показують що на сьогоднішній день найбільш ефективним і широко використовуваним для України є вітрова енергія.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблеми альтернативних джерел енергії розглядають такі науковці як Райхенбах Т. М., який класифікує і систематизує характеристики не відновлюваних та відновлюваних джерел енергії; Тюрін К. П. обґрунтовує доцільність та проблеми застосування альтернативних джерел енергії саме в Україні, в тому числі окремо за регіонами; Поліщук В. М., Тарасенко С. Є., Сергеева О. В. розглядають сучасні та перспективні технічні засоби для використання енергії вітру, їх переваги та недоліки; дослідники Кузьо І. В., та Корендій В. М здійснили характеристику особливостей вітроенергетичних установок та обґрунтували ефективність використання енергії повітряних мас; автори Антоненко Л. А., та Рабіа А. Абдуллах розглянули питання акумуляування і застосування альтернативної енергетики з позиції держави, зокрема, розглянуто використання “зеленого” тарифу. Також напрямки і можливості акумуляування акумуляування альтернативних джерел енергії закладені в основу науки «Ресурсономіка», інституційні засади якої розробляються авторським колективом ТНТУ ім. І. Пулюя за керівництвом Андрушківа Б. М. [9, с. 90-99], [10].

**Невирішені раніше частини загальної проблеми.** Разом з тим недостатньо висвітленою є технічна сторона акумуляування вітрової енергії та економічне обґрунтування доцільності застосування вітроенергетичних установок різних типів.

**Постановка завдання.** Дослідження аспектів державної підтримки та обґрунтування застосування вітроенергетичних установок на підприємствах Тернопільщини.

**Виклад основного матеріалу.** Зважаючи на ресурси енергоносіїв, вітчизняну інфраструктуру, кліматичні та геологічні умови, та з огляду на світовий рівень енергетичних технологій, в нашій країні доцільно масштабно розвивати і впроваджувати сучасні технології використання поновлюваних та нетрадиційних (альтернативних) джерел енергії. Ці джерела енергії практично не завдають шкоди довкіллю. Окрім того, їх не потрібно видобувати, купувати і транспортувати, бо вони є результатом дії сонячного випромінювання на фізичні, хімічні та біологічні процеси, що повсюдно відбуваються на Земній кулі, а з цього випливає їх практична невичерпність та поновлюваність.

До таких джерел відносять вітрову енергію. Енергію вітру люди почали використовувати доволі давно. Перше відоме використання було в 5000 р. до н. е., коли люди використовували вітрила для переміщення по річці Ніл. Перси вже використовує вітряні млини за 400 років по 900 рік нашої ери для того, щоб качати воду і молоти зерно. Вітряний млин, можливо, навіть був розроблений в Китаї до 1 ст. н.е., але ранні письмові документації надходить від 1219. Критяни використовували сотні вітрил ротора млина качали воду для сільськогосподарських культур і худоби.

Науковці підрахували що за даних технологій енергії вітрів достатньо для забезпечення всіх потреб в енергоресурсах більше ніж в 50 разів, а при використанні енергозберігаючих технологій то й ще більше. Сучасні вітряки, що виробляють електрику, з'явилися лише в XX столітті. Ще у 30-х роках у Криму була побудована найбільша, для того часу, вітрова електрогенеруюча установка (ВЕУ) потужністю 100 кВт, незабаром була спроектована ВЕУ потужністю 5 тис. кВт, але війна перервала цей проект. Перші дві ВЕУ сучасної конструкції потужністю 100 кВт з'явилися в Данії в період між світовими енергетичними кризами 1973 та 1979 років [2]. Інтенсивному розвитку вітроенергетики великою мірою сприяла її комерціалізація та державна підтримка, у першу чергу, правова. Сучасні ВЕУ мегаватного класу потужності за термін їх експлуатації спроможні до 3 – 4 разів повернути затрачені на них кошти. В кінці 80-х на початку 90-х рр.. на теренах Тернопільщини було здійснено спробу відродження діючих нетрадиційних джерел енергії. Програма передбачала в південних районах області розміщення геліоустановок, на відрогам Волино-подільської височини – вітрових установок. Незважаючи на досягненні результати, сьогодні ми не бачимо активного використання даного виду енергії, і її частка в енергозабезпеченості країни складає менше одного відсотка.

На сьогоднішній день Україна споживає 147483,4 млн. кВт год. електроенергії щороку, і ця цифра зростає в середньому на 10% кожного року. Більше 25% енергії споживається населенням. При цьому 46,7% електроенергії виробляється тепловими електростанціями, 49-атомними, 4,3 гідроелектростанціями. Це потребує значних затрат капіталу для купівлі сировини, утилізації відпрацьованого палива, ліквідації негативних наслідків на довкілля та інших затрат. Враховуючи це перевагами використання енергії вітру є:

- екологічно-чистий вид енергії. Виробництво електроенергії за допомогою "вітряків" не супроводжується викидами вуглекислого чи будь-якого іншого газу;
- ергономіка. Вітрові електростанції займають мало місця і легко вписуються в будь-який ландшафт, а також відмінно поєднуються з іншими видами господарського використання території;
- відновлювана енергія. Енергія вітру, на відміну від викопного палива, невичерпна;
- краще рішення для важкодоступних місць. Для віддалених місць встановлення вітрових електрогенераторів може бути найкращим і найдешевшим рішенням [4].

Застосовується 2 види вітрових генераторів: горизонтальні та вертикальні.

Горизонтальна вітрова станція застосовується у місцях, де відсутнє підключення до електромережі та в якості резервного джерела електрики для приватних житлових будинків і замських котеджів. На вітрогенераторі застосована універсальна аеромеханічна система обмеження частоти обертання вітротурбіни, що дозволяє експлуатувати її в широкому діапазоні швидкостей вітру [5].

Вертикальна вітрова станція відрізняється безшумною роботою і низькими стартовими швидкостями. За відсутності вібрації і низькочастотних шумів, даний тип вітрогенераторів може використовуватися для встановлення в безпосередній близькості житлових будівель. Вітряні установки створюють певний шум, як і всі джерела енергії. Шумові характеристики вітряної установки 10 кВт – приблизно 40 дБ безпосередньо під установкою під час роботи на середніх оборотах. Для порівняння, шум міських доріг 70-80 дБ, а звук від працюючого дизель-генератора – 90-110 дБ [4].

Ще однією перевагою є механізм стимулювання. Відповідно до закону "Про електроенергетику" [8], всі обленерго зобов'язані прийняти в мережу кожен кВт виробленої за рахунок відновлюваних джерел електроенергії. "Зелений тариф" на сьогоднішній день – найбільш продуктивний механізм в Європі.

Величина «зелених» тарифів на електричну енергію, вироблену суб'єктами господарювання на об'єктах електроенергетики, що використовують альтернативні джерела енергії, зокрема вітроу, на березень 2012 року складає 122,77 коп / кВт·год. [3].

Також варто зазначити що згідно пункту 5 постанови Кабінету Міністрів України від 15.07.98 № 1094 "Про державну експертизу з енергозбереження" та доповнення № 3 "Інструкції про порядок передачі документації та здійснення державної експертизи з енергозбереження" вітроенергетичні установки енергоємністю до 75 кВт не підлягають обов'язковій державній комісії з енергозбереження. Імпортовані вітроенергетичні установки також не підлягають сертифікації.

Паралельно переваги даного виду енергії важливим є економічна ефективність її використання. Розглянемо можливості використання малих вітряків для підприємств Тернопільщини на прикладі ТОВ «Термобуд плюс».

Тернопільщині переважають середні вітри (4,5-6 м/с), вони є більшими ніж в середньому по Україні (4 м/с.).

Вартість електроенергії для підприємств станом на березень 2012 р. становить 93,02 коп/кВт год. без ПДВ [3].

Річний обсяг використання електроенергії становить 42536 кВт год., тобто річні витрати на електроенергію підприємства становлять 39567 грн..

Розглянемо кілька варіантів встановлення вітроелектро-генераторів:

1. WIND16 від WindElectric для забезпечення автономного електропостачання (необхідно 3 таких установки) [7].

2. Вітрогенератор ВЕУ-4 4000 Вт від Українського виробника ТОВ «ФЛАЙ-ТЕК» з низькими стартовими та номінальними швидкостями вітру для повного автономного енергозабезпечення (4 установки) [6].

3. Вітрогенератор ВЕУ-20М (20 кВт) Українського виробника ТОВ «ФЛАЙ-ТЕК» з низькими стартовими та номінальними швидкостями вітру для повного автономного енергозабезпечення [6].

У вітроенергетиці прийнято, що номінальна (розрахункова) швидкість вітру не повинна більш ніж в 2 рази перевищувати середньорічну. На Тернопільщині середньорічна швидкість вітру близько 5 м/с, отже, номінальна повинна бути не більше 8 м/с. При такій швидкості вітру установка розвиває номінальну потужність 4 кВт і може працювати з  $K_{ввп} = 0,4$ .

За рік ВЕУ – 4 здатна виробити:

$$Q_{\text{річне}} = 8760 * N_h * K_{\text{ввп}};$$

$$Q_{\text{річне}} = 8760 * 4 * 0,4 = 10521 \text{ кВт/год},$$

$N_h = 4 \text{ кВт}$ , номінальна потужність;  $K_{\text{ввп}}$  – коефіцієнт використання встановленої потужності, тобто це час роботи установки з повною потужністю. На місяць, відповідно, 1168 кВт год., на день – 38,93 кВт год.

В установці ВЕУ-4 передбачені два потоки енергії: кондиційна, для критичних до якості споживачів (циркуляційні насоси, холодильники, освітлення та інше); некондиційна, для живлення активних навантажень (нагрівання води, опалення). При цьому не виключається можливість використання будь-якого потоку енергії на 100%. ВЕУ-4 ефективно підтримує швидкість обертання на заданому рівні до швидкості вітру в 40 м/с.

ВЕУ-20М застосовується як джерело електроенергії в автономних і резервних системах енергопостачання промислових і житлових об'єктів. Система дозволяє віддавати вироблену електроенергію в загальну електромережу (бажаний режим роботи).

Розрахункова (номінальна) потужність: 20 кВт

Номінальна напруга: 380/220В.

Номінальна швидкість вітру: 9 м/с.

Максимальна робоча швидкість вітру: 25 м/с.

Гранично допустима швидкість вітру (швидкість вітру, після впливу якій зберігається працездатність установки): 50 м/с.

За рік ВЕУ-20М здатна виробити:

$$Q_{\text{річне}} = 8760 * Nh * K_{\text{ввп}} ;$$

$$Q_{\text{річне}} = 8760 * 20 * 0,325 = 4745 \text{ кВт/год.}$$

На місяць, відповідно, 4745 кВт год. На день – 158,17 кВт год.

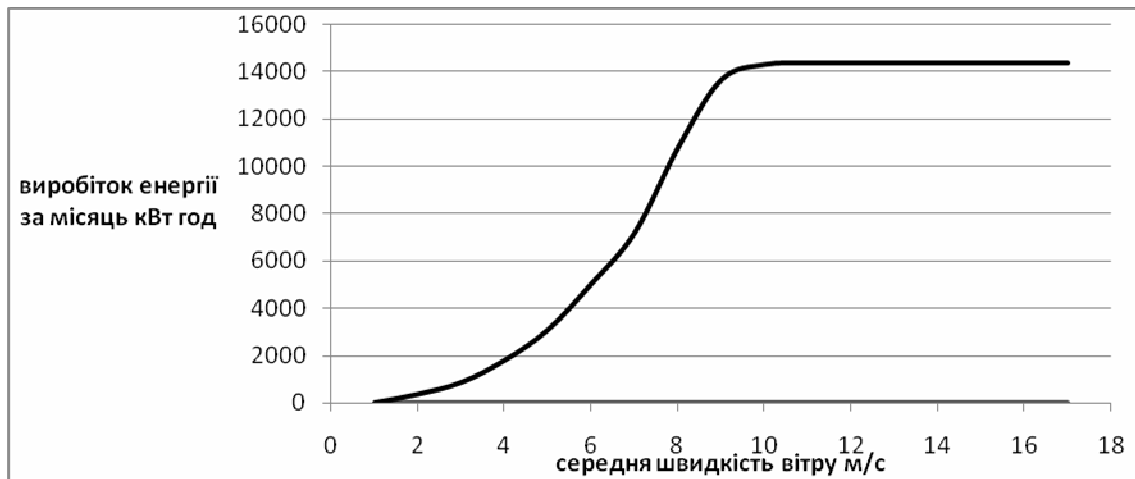


Рис. 1. Продуктивність вітроелектростанції ВЕУ-20М, кВт-год. за місяць

WIND16 при швидкості вітру більше 12 м/с WIND16 може генерувати більше 16 кВт. Під час шторму, при швидкості вітру 25 м/с мікропроцесорна система управління, гарантовано зупинить турбіну, з автоматичним перезапуском при зниженні вітру.

Завдяки всім застосованим новаціям, турбіна WIND16 здатна виробляти до 1518,4 кВт-год (середня швидкість вітру від 5 м/с).

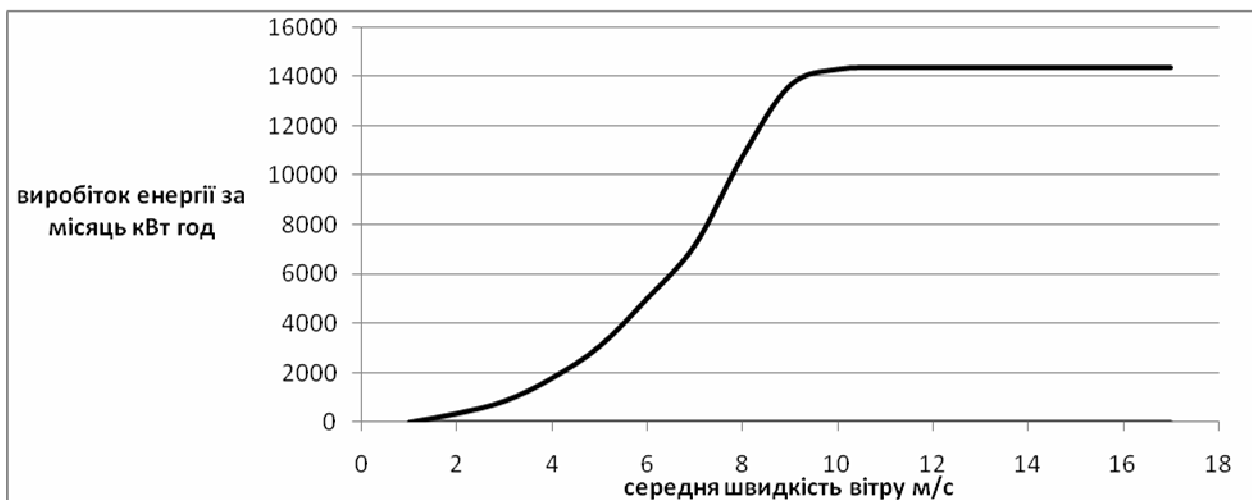


Рис. 2. Продуктивність вітроелектростанції WIND16, кВт год за місяць

Термін служби усіх розглянутих установок становить 15-20 років.

Розрахунки показників ефективності впровадження вітроустановок наведено в табл. 1.

Таблиця 1

## Розрахунок показників ефективності застосування вітроустановок різних типів

Показник	Методика розрахунку	BEY-4	BEY-20M	WIND16
Витрати електроенергії (кВт год)*	-	42536	42536	42536
Витрати на електроенергію (вартість 0,93 грн за кВт год.)	-	39558,48	39558,48	39558,48
Вартість вітрогенератора (грн.)	-	343601,3**	464000**	322368** *
Амортизація (грн.)	Вартість/термін експлуатації	22906,75	30933,33	21491,2
Ефект економії на електроенергії (грн.)	Витрати на електроенергію – амортизацію	16651,73	8625,15	18067,28
Виробництво електро енергії в рік (кВт год.)	Qрічне = 8760 x Nh x Кввп	56064	56940	54662,4
Вартість невикористаної енергії відповідно до зелених тарифів(1,22 грн.) (грн.)	(Виробництво електро енергії в рік – річні витрати електроенергії) x 1,22	16504,16	17572,88	14794,21
Чистий річний ефект від використання установки(грн.)	Ефект економії на електроенергії +Вартість невикористаної енергії відповідно до зелених тарифів	33155,89	26198,03	32861,49
Термін окупності (років)	Вартість / (витрати на електроенергію + вартість невикористаної електроенергії відповідно до зелених тарифів)	6,13	8,12	5,93
Чиста приведена вартість (NPV) (грн.)	$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} - IC$	160416,72	82378,13	163183,5 9
Індекс рентабельності (Pi)	$PI = \frac{NPV}{IC} + 1$	1,47	1,18	1,51
Внутрішня норма дохідності (IRR) (%)	$IRR = r_1 + \frac{NPV_{r1}}{NPV_{r1} + NPV_{r2}} \cdot (r_2 - r_1)$	31,11	25,64	32,82
Дисконтований період окупності (DPP)	$DPP = \min n$ , при якому $\sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} \geq IC$	7 років і 5 днів	10 років 2 місяці і 21 день	6 років і 9 місяців

\* інформація з енергобалансу ТОВ «Термобуд плюс»;

\*\* інформація з інтернет-порталу ТОВ «ФЛАЙ-ТЕК»[6];

\*\*\* інформація з інтернет-магазину SIRIUSone.net[7].

Ставка дисконту при розрахунку динамічних показників становить 22 % (ставка депозиту в банку).

З даних розрахунків випливає, що для підприємства вигідно встановлювати вітрогенератори малої потужності для забезпечення власних потреб електроенергією.

Найбільш ефективним з економічної точки зору виявився проект з використанням вітрогенераторів WIND16, хоча вони характеризуються менш стабільною роботою. Оскільки різниця в ефективності між проектом з використанням ВЕУ-4 і WIND16 є не надто великою (2766,86) доречно, на нашу думку, реалізувати проект з використанням ВЕУ-4. Цьому вітрогенератору характерно:

- більш низька початкова швидкість вітру, що забезпечить менше простоїв і зменшить кількість необхідних акумуляторів;
- стабільність роботи;
- стійкість до зовнішнього середовища;
- надійність генератора.

Також варто зазначити, що даний вітрогенератор Українського виробництва.

**Висновки та перспективи подальших досліджень в даному напрямку.** Отже, на сьогодні дуже актуальним залишаються питання використання альтернативних видів енергії, при чому як в державному так і в приватному секторі економіки. В Україні є всі передумови для використання нетрадиційних видів енергії таких як вітер. Вже створені підприємства по виробництву вітрових енергогенераторів продукція яких виявилась навіть більш продуктивною і стабільною в експлуатації за імпортні аналоги. Разом з тим, недостатніми є практичні напрацювання щодо встановлення вітроенергоустановок на реальних об'єктах, що демонструватиме підприємцям реальну вигоду в конкретних практичних випадках.

#### Використана література:

1. Тарасенко Н. Альтернативна енергетика в Україні: стан та перспективи розвитку / Н. Тарасенко // Україна: події, факти, коментарі. Інформаційно-аналітичний журнал. – 2011. – № 16. – С. 23.
2. Майбутнє відновлювальних, альтернативних та вільної енергії // «HiCow» Безкоштовний каталог статей [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ua.hicow.com/енергія-вітру/розвиток-енергетики/викопне-паливо-705574.html>.
3. Національна комісія з регулювання електроенергетики України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.nerc.gov.ua/control/uk/publish>.
4. Переваги та недоліки вітрової енергетики [Електронний ресурс] // Екологія життя. – Режим доступу: <http://www.eco-live.com.ua/content/blogs/perevagi-ta-nedol-ki-v-trovo-energetiki>.
5. Вітрові електростанції [Електронний ресурс] // Науково-популярний блог. – Режим доступу: <http://www.npblog.com.ua/index.php/ekologiya/vitrovi-elektrostantsiyi.html>.
6. Інтернет портал Товариства з обмеженою відповідальністю «ФЛАЙ-ТЕК» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://fly-tech.com.ua/index%20ukr.html>.
7. Інтернет-магазин SIRIUSone.net [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.siriusone.net/index.php?action=page&page\\_id=35&lang=ua](http://www.siriusone.net/index.php?action=page&page_id=35&lang=ua).
8. Закон України Про електроенергетику (Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1998, N 1, ст. 1.
9. Андрушків Б. М. Ресурсономіка: новітня наука в системі виживання людства / Б. М. Андрушків, Н. Б. Кирич, Вовк І. П., Стойко І.І., Вовк Ю. Я. // Авторське свідоцтво на твір № , 2012.
10. О. І. Амоша, С. С. Аптекар, М. Г. Білопольський, С. І. Юрій та ін. Структурні реформи економіки: світовий досвід, інститути, стратегії для України. Монографія. Тернопіль: Економічна думка ТНЕУ, 2011, 848 с.

#### REFERENCES:

1. Tarasenko N. Alternative Energy in Ukraine: Status and Prospects [Al'ternatyvna enerhetyka v Ukrayini: stan ta perspektyvu rozvytku]. *Ukrayina: podiyyi, fakty, komentari – Ukraine: events, facts and comments*, 2011, No. 16, p. 23.
2. The future of renewable, alternative and free energy [Maybutnye vidnovlyuval'nykh, al'ternatyvnykh ta vil'noyi enerhiyi], available at: <http://ua.hicow.com/enerhiya-vitru/rozvytok-enerhetyky/vykopne-palyvo-705574.html>.
3. National Electricity Regulatory Commission of Ukraine [Natsional'na komisiya z rehulyuvannya elektroenerhetyky Ukrayiny], available at: <http://www.nerc.gov.ua/control/uk/publish>.
4. Advantages and disadvantages of wind power [Perevahy ta nedoliky vitrovoyi enerhetyky], available at: <http://www.eco-live.com.ua/content/blogs/perevagi-ta-nedol-ki-v-trovo-energetiki>.
5. Wind power [Vitrovi elektrostantsiyi], Naukovo-populyarnyy blog, available at: <http://www.npblog.com.ua/index.php/ekologiya/vitrovi-elektrostantsiyi.html>.
6. Internet portal Limited Liability Company "Fly-TEK" [Internet portal Tovarystva z obmezhenoyu vidpovidal'nistyuu «FLAY-TEK»], available at: <http://fly-tech.com.ua/index%20ukr.html>.

7. Online store SIRIUSone.net [Internet-mahazyn SIRIUSone.net], available at:  
[http://www.siriusone.net/index.php?action=page&page\\_id=35&lang=ua](http://www.siriusone.net/index.php?action=page&page_id=35&lang=ua).
8. Law of Ukraine On Power (Supreme Council of Ukraine (VVR) [*Zakon Ukrainy Pro elektroenerhetyku (Vidomosti Verkhovnoyi Rady Ukrainy)*], 1998, No 1, st.1.
9. Andrushkiv B. M., Kyrych N. B., Vovk I. P., Stoyko I.I., Vovk Yu. Ya. Resourcenomy: the newest science in the system of human survival [*Resursonomika: novitnya nauka v systemi vyzhyvannya lyudstva*], Copyright certificate for product number, Ukraine, 2012.
10. Amosha O. I., Aptekar S. S., Bilopol'skyi M. H., S. et. al. Structural economic reform: international experience, institutions, strategies for Ukraine. Monograph. [*Strukturni reformy ekonomiky: svitovyy dosvid, instituty, stratehiyi dlya Ukrainy. Monohrafiya*]. Ternopil', Ekonomichna dumka TNEU, 2011. 848 p.

*Рецензія:* д.е.н., проф. Андрушків Б. М.

*Received:* February, 2012

*1st Revision:* April, 2012

*Accepted:* May, 2012