

ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВІВ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК ВПРОДОВЖ ЇХ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ НА ДОВКІЛЛЯ

Т.Г. Бойко¹, М.В. Руда¹

¹Національний університет «Львівська політехніка», вул. Степана Бандери 12, Львів, країна, e-mail: Mariia.V.Ruda@lpnu.ua

Анотація

Оцінено вплив вітроенергетичних станцій на компоненти довкілля з урахуванням низки їх параметрів, зокрема технічних характеристик вітроенергетичних установок, характеристик мереж, інженерних та інших споруд. Для цього визначено межі дослідження вітроенергетичних установок, встановлені мета і предмет дослідження, а також виконано опис життєвого циклу вітроенергетичних установок з врахуванням (інвентаризацією) всіх необхідних матеріалів і ресурсів. Визначено перелік категорій впливу, якими представлено навантаження на довкілля, спричинене вітроенергетичної установки, а також для кожної категорії визначено відносний вклад шкідливих чинників з врахуванням можливих сценаріїв поведінки з відходами. За всіма потенційними впливами на довкілля побудовані екологічні профілі. Після нормалізації та визначення значущості (зважування) отримано окремі оцінки всіх показників та їх розподіл за трьома категоріями уражень: здоров'я людини, якість екосистеми і ресурси, а також чотири етапи життєвого циклу вітроенергетичної станції: виробництво, демонтаж і утилізація, експлуатація, транспортування і встановлення.

Ключові слова: відновлювальні джерела енергії, вітроенергетична установка, життєвий цикл, стани екосистеми, еко-бали.

Постановка проблеми. Кожному продукту властивий ряд стадій розвитку, які в сукупності становлять їх життєвий цикл (ЖЦ) і кожна зі стадій має власний, специфічний вплив на довкілля. Концепція ЖЦ розглядає продукти з моменту їх фізичного виникнення і до припинення їх існування та містить такі етапи, як безпосереднє виробництво продукту, транспортування, утилізація тощо. На всіх стадіях ЖЦ продукту, коли використовуються енергія та перетворюються матеріали, відбувається певне забруднення довкілля.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В останні десятиліття людство зіткнулося з двома суперечливими енергетичними проблемами. З одного боку це забезпечення надійності енергопостачання, з іншого – боротьба з негативним впливом виробництва енергії на довкілля [1]. Проблеми моделювання екологічних процесів і систем різних рівнів досліджували: І.С. Благун, В.В. Вітлінський, А.К. Прикарпатський, В.М. Гейц, М.В. Одрехівський, М.І. Скрипниченко, Б.В. Гнеденко, І.М. Коваленко, А.В. Яцик, А.Б. Качинський, В.І. Мунтіян. Однак проблемами альтернативної енергетики переважно займаються у технічному плані, вивчаючи питання подальшого вдосконалення конструкції і технологій використання вітроенергетичних установок (ВЕУ), або з економічного погляду розглядаючи економічну ефективність використання енергії вітру. А питання впливу об'єктів вітроенергетики на компоненти довкілля висвітлені недостатньо і у наукових дослідженнях екологів практично не розглядаються. Практика показує що необхідною є методологія, яку можна було б використовувати для дослідження і моделювання будь-яких екосистем і їх станів в різних регіонах. Зокрема, таким може

бути метод аналізу ЖЦ (*Life-cycle analysis, LCA*), що ґрунтується на серії ISO-стандартів [2-4] і є одним з провідних методів оцінки потенційних впливів вітроенергетичних станцій (ВЕС) на довкілля. Такий підхід був використаний у дослідженнях вчених В. Cleary і ін. [5], E. Martinez і ін. [6], Ch Ghemai [7], T. Toth і ін. [8]. Немало сучасних досліджень з оцінювання ЖЦ для ВЕУ з високою номінальною потужністю (600 кВт). Наявні дослідження [9-11] показують домінуючий вплив матеріального виробництва на екологічні показники ВЕС. Деякі з цих оцінок також вказують на велику кількість непрямо утворених відходів, зокрема, у роботі вчених Б.В. Єрмоленка і ін. [12], а також одним з найбільших виробників вітряних турбін – компанією *Vestas* [13].

Формулювання мети статті. Мета статті полягає в розробленні методичного підходу до побудови інтегрованої системи показників, для оцінювання впливів вітроенергетичних установок на яруси і підсистеми довкілля на всіх етапах їх ЖЦ.

Виклад основного матеріалу. Дослідження впливу ВЕС на компоненти довкілля виконано з урахуванням низки технічних характеристик ВЕУ фірми «*Siemens SWT DD-142*». До стаціонарних об'єктів ВЕС входять: система і споруди управління роботою ВЕС, споруди ремонтно-експлуатаційної бази та розподільчі пункти з силовим обладнанням та інженерними комунікаціями, фундаменти башт, башти ВЕУ, опори, повітряні і підземні лінії, під'їзні шляхи, інші допоміжні споруди та інженерні комунікації, необхідні для роботи і життєдіяльності ВЕС.

Межами системи дослідження ВЕУ є: виробництво матеріалів і обладнання для виготовлення складових частин ВЕУ, допоміжних споруд та фундаменту (бетон, алюміній, сталь,

скловолокно тощо); експлуатація наявних доріг для транспортування складових частин ВЕУ та іншого обладнання спеціалізованими вантажівками; монтаж ВЕУ за допомогою підйомних кранів тощо.

За результатами реалізації 1 – етапу встановлено мету та предмет дослідження. Метою є розрахунок інтегрованих показників впливу ВЕУ протягом його ЖЦ. Отримані показники – предмет дослідження – будуть використані для моделювання впливу на довкілля.

Встановлені мета і предмет дослідження дали змогу перейти до 2-го – етапу дослідження – опису життєвого циклу ВЕУ і кроку інвентаризації. Більшість використаних даних походять зі звіту, реалізованого *Vestas* [14], та з Загальної специфікації «*Siemens SWT DD-142*» [15]. Виробництво ВЕУ можна подати як виготовлення трьох її основних частин: вежі, ротора і гондоли, що охоплює період від отримання сировини до завершення робіт зі встановлення. В роботі також враховано такі можливі сценарії поводження для типів відходів: сталь і чорні метали; мідь; бетон; пластмаси та скловолокно.

Класифікація. Для досягнення вищого рівня агрегації даних застосовують їх класифікацію, з якої розпочинається 3-й етап дослідження – оцінювання впливу на довкілля життєвого циклу ВЕУ. Вхідні та вихідні потоки ЖЦ ВЕУ згруповано так, що кожна з груп представляла обрану категорію впливу. Аналогічно впорядковано інвентаризаційну таблицю щоби для кожної категорії впливу якісно і кількісно врахувати всі відповідні викиди чи споживання матеріалів.

Використано «стандартний» перелік впливів на довкілля. Зокрема, це канцерогенний вплив – 1, вплив респіраторної неорганіки – 2 і органіки 3, кліматичні зміни – глобальне потепління – 4, вплив радіації – 5, руйнування озонового шару – 6, екотоксичність – 7, підкислення і евтрофікація – 8, землекористування – 9, виснаження корисних копалин – 10 і викопного палива – 11. Існує багато інших категорій впливу, які можуть бути важливими в певних ситуаціях, особливо в локальному масштабі. Наприклад, залишкові поклади твердих відходів, шум, запах та деградація ландшафту. І, хоча вибір категорій впливу частково суб'єктивний, його скореговано так, щоби адекватно представити навантаження на довкілля, спричинене ВЕУ.

Впливи представлено типовими екологічними моделями, зокрема вплив на здоров'я людини виражають як кількість втрачених років життя та кількість років проживання інвалідами (англ. *Disability Adjusted Life Years – DALY*). Вплив на якість екосистеми виражають, як втрату видів на певній території протягом певного часу $PDF \times m^2 \times \text{рік}$ ($PDF \times m^2 \times \text{year}$).

Електроенергія, спожита для виготовлення ВЕУ, має найбільший вплив на зміну клімату, і становить 85% від загальної кількості або 1,58

DALY. Це очевидно, оскільки виробництво електроенергії в Україні в основному базується на використанні вугілля, як палива [37], що безумовно призводить до викидів CO_2 .

Виробництво арматурної сталі є наступним найістотнішим фактором, який, однак, є незначним порівняно з електроенергією з вугілля. Переробка сталі та чавуну з вітротурбіни позитивно впливає на зміну клімату, оскільки заміняє затрати енергії, необхідні для виробництва 334 тонн заліза.

Вплив використання вітрогенератора становить 2,14 *DALY*. Однак реалізація сценарію відходів (0,883 *DALY*) зменшує це значення до загального впливу 1,25 *DALY*. Електроенергія з вугілля найбільше сприяє канцерогенному впливу внаслідок виробництва сталі та міді. Оскільки вся сталь і залізо йдуть на переробку, то скорочення канцерогенів за рахунок їх рециклінгу є більшим (0,41 *DALY*), ніж під час виробництва арматурної сталі (0,38 *DALY*).

Основними речовинами, які мають канцерогенний вплив і потрапляють у воду як іони, є миш'як (0,81 *DALY*) та неідентифіковані метали (0,028 *DALY*), а в повітря – неідентифіковані метали (0,342 *DALY*), кадмій (0,06 *DALY*) та миш'як (0,27 *DALY*).

Вугілля для електростанцій є найбільшим джерелом респіраторної неорганіки. Також бетон для фундаментів ВЕУ має серйозний вплив на дихальну систему. Пил, діоксид азоту та діоксид сірки (2,33, 1,65 і 1,51 *DALY* відповідно) є головними загрозами для органів дихання. Використання сценарію відходів дає змогу знизити викиди неорганічних речовин на 15,4% і досягнути 5,91 *DALY*.

Викопне паливо, таке як вугілля, нафта та газ, в основному використовують для отримання електроенергії. Виробництво металів є дуже енергозатратним. Тому виробництво арматурної сталі є третім за обсягом споживачем викопного палива. Транспортування сировини і компонентів ВЕУ, а також його зведення потребують значної кількості дизельного палива, що на рисунку 7 виражено як сира нафта.

Респіраторна органіка. Сценарій відходів в цьому випадку недоцільний, оскільки сам має негативний вплив з обсягом 5,93% на довкілля. Загальні викиди становлять $33,2E-4$, серед яких основними є неметанові леткі органічні сполуки ($25,2E-4$), а також метан і неідентифіковані ароматичні вуглеводні ($7,45E-4$).

Зниження радіації при використанні сценарію відходів становить 16,5% з загальним обсягом впливу ВЕУ $3,79E-3$. Причиною, в основному, є радон-222 і вуглець-14. Їх випромінювання становить $2,55E-3$ і $1,22E-3$ відповідно.

Озоновий шар. Це ще одна категорія, коли сценарій з відходами має негативний вплив, який становить 7,34% від загального впливу, або $5,27E-4$. Здебільшого причиною є бромтрифторметан (БТМ) з впливом $5,02E-4$ D.

Екотоксичність. Це друга за розміром категорія з позитивною дією сценарію відходів, який зменшує вплив на довкілля на 47,8%. Після цього загальний вплив становить $2,32E6 \text{ PAF} \times \text{м}^2 \times \text{рік}$ з найбільшим внеском неідентифікованих металів ($1,25E6$), нікелю і цинку ($6,33E5$ разом) та свинцю ($9,64E4$), які є в повітрі.

Підкислення/евтрофікація. Тут реалізація сценарію відходів дає незначне зменшення негативного впливу на 4,07%, що разом становить $1,38E5 \text{ PAF} \times \text{м}^2 \times \text{рік}$. Найбільший вклад в це значення мають оксиди азоту і оксиди сірки, що містять $1,06E5$ та $2,88E4$ відповідно.

Землекористування. Сценарій відходів у цьому випадку дуже доречний оскільки мінімізує негативний вплив на 32,3%, а загальний вплив становить $3,1E4 \text{ PDF} \times \text{м}^2 \times \text{рік}$. Це переважно перетворення ($9,18E3$) або зайнятість промислових зон ($1,3E4$). Завдяки сценарію з відходами зайнятість сміттєзвалищ зменшують на $1,46E4$, що найістотніше впливає на зменшення впливу.

Корисні копалини. Дія сценарію відходів тут максимальна, що зменшує негативний вплив на 79,1% і становить $1,01E5$ МДж профіциту загалом. Негативний вплив переважно мають два мінерали: нікель (1,98% у силкатах, 1,04% у сирій руді) та мідь (0,99% у сульфіді, 0,36% у чистій міді та $8,2E-3\%$ МО у сирій руді). Вони становлять $6,47E4$ і $3,68E4$ МДж відповідно.

Як видно, сценарій з відходами має різний вплив на кожну категорію, серед яких виділяються три, де його дія найістотніша: корисні копалини, екотоксичність і канцерогенний вплив.

Зокрема з такого профілю видно, що респіраторна неорганіка становить 0,052% усіх еквівалентів CO_2 у життєвому циклі ВЕУ. Отже, ЖЦ ВЕУ більше впливає на глобальне потепління, ніж на руйнування озонового шару і майже не впливає на флору у регіоні будівництва та експлуатації ВЕУ.

Респіраторні неорганічні речовини, такі як оксиди азоту, сірки та багато інших, мають найбільший вплив на довкілля з загальною кількістю 454 балів. Вони викидаються, в основному, під час спалювання палива. Однак слід зазначити, що сценарій з відходами є найважливішим саме для цієї категорії. Навіть незважаючи на те, що вплив корисних копалин зменшився майже на 80%, а неорганічних речовин – лише на 15%, кінцевий результат показує, що ця остання кількість є більшою.

Наступним найбільшим впливом на довкілля є викопне паливо – 365 балів. Це спричинено, в основному, використанням електроенергії протягом усього процесу, яку зазвичай виробляють з вугілля, нафти та газу. Є очевидним, що споживання відбувається на дуже ранній стадії процесу, але впливає на подальші, де споживання найбільше – виготовлення деталей турбіни та її транспортування.

Нормалізація підтверджує вибір кліматичних змін, канцерогенів, респіраторної неорганіки та викопного палива як основних категорій характеристики. Вони мають значно більший вплив, ніж решта категорій.

Зважування – визначення значущості. Прийнято, що впливи на здоров'я і екосистему є вдвічі важливішими, ніж вплив на ресурси; відповідно вагові коефіцієнти становлять 40%, 40% і 20% [16]. Саме зважування виконують домножуванням значень нормалізованого довкільного профілю на присвоєні категорії коефіцієнти вагомості.

Визначення екологічних показників ЖЦ ВЕС. Протягом двох наступних кроків обчислюють експозицію та вплив експозиції навантажень, використовуючи середньоєвропейські дані. В *Eco-indicator*-підході виділено три категорії уражень: здоров'я людини, якість екосистеми та ресурси. До першої категорії віднесено: канцерогени, респіраторні речовини, зміну клімату, радіацію, руйнування озонового шару та екотоксичність. Якість екосистем охоплює підкислення/евтрофікацію і землекористування. Третя категорія – природні ресурси містить: корисні копалини і викопні види палива.

Значення *Eco-indicator* для певного впливу виражають як суму впливів для кожної з трьох категорій. Кожну з категорій впливу виражають однією одиницею. На рис. 4 показано розподіл отриманих в дослідженні значень екологічних показників за чотирма етапами життєвого циклу ВЕС: виробництво, демонтаж і утилізація, експлуатація, транспортування і встановлення.

4-й етап дослідження – інтерпретація результатів. Відповідно до стандартів *ISO 14040/44*, інтерпретація охоплює три види процедур: аналіз непевності (*uncertainty analysis*), аналіз чутливості результатів до зміни припущень і параметрів (*sensitivity analysis*) та аналіз вкладу окремих процесів / речовин у загальний вплив (*contribution analysis*).

Висновки. Запропоновано концепцію оцінки екологічного впливу альтернативних джерел енергії, якими є ВЕУ, впродовж їх ЖЦ, яка дасть змогу визначити існуючі і прогнозувати майбутні стани довкілля на основі екологічного імітаційного моделювання впливу ВЕУ на його компоненти. За допомогою програмного забезпечення *SimaPro* і методології *Eco-indicator'99* отримано інтегровану систему показників впливів ВЕС та побудовано діаграму дерева процесів для ідентифікації потенційних впливів, їх характеристизації, зважування і ранжування. Аналізуючи діаграму встановлено, що споживання енергії, яка походить з ТЕС, має найбільший вплив на довкілля – 57,5%; також істотними є впливи виробництво міді і арматурної сталі з відповідними значеннями 13,8% та 11,5%, а також процеси експлуатації і обслуговування ВЕУ з впливом 11% на загальний результат.

Отримано результати оцінювання показників, виражені в еко-балах, які показують, що найбільш суттєве зниження шкідливого екологічного впливу можна досягти протягом етапу ЖЦ ВЕУ – демонтаж і утилізація, зокрема застосовуючи розроблені сценарії поводження з відходами. Загалом найбільший шкідливий екологічний вплив зі значенням еко-індикатора – 14,1 відбувається протягом етапу виробництва ВЕУ. Особливо це пов'язано з типом використовуваної електроенергії. Аналіз показав, що хоча більшість продуктів була перероблена, а корисні копалини могли бути використані знову, все ж викопне паливо найбільше впливає на ресурс, і це питання слід враховувати під час

вдосконалення системи. Витрата енергії на виробництво ВЕУ є найбільшим фактором впливу в різних категоріях характеристик. Аналогічні результати демонструють оцінки впливу ЖЦ ВЕУ за трьома об'єднаними категоріями: вплив на здоров'я людини, вплив на якість екосистеми і виснаження ресурсів. З рис. 13 видно, що найістотніший вплив на ці категорії відбувається саме на етапі виробництва. Варто з'ясувати можливості для підвищення енергоефективності виробничого процесу ВЕУ для зниження його шкідливого екологічного впливу, зокрема викидів CO₂.

Abstract

The impact of wind power plants on the environmental components is assessed taking into account a number of their parameters, in particular the technical characteristics of wind turbines, the characteristics of networks, engineering and other structures. To do this, the scope of the study of wind power plants is determined, the aim and subject of the study are established, and the life cycle of the wind power plants is described taking into account (by way of inventory) all the necessary materials and resources. Based on the inventory and input data on the wind farm under study, a diagram is generated – a tree of life cycle processes of the wind power plant – to determine the potential environmental impacts. A list of impact categories that represent the load on the environment caused by the wind power plant is defined; also, the relative contribution of harmful factors is determined for each category, taking into account possible scenarios of waste management. After normalization and determination of significance (weighing), individual estimates of all indicators and their distribution in three categories of lesions were obtained: human health, ecosystem quality and resources, as well as four stages of the wind farm life cycle: production, dismantling and disposal, operation, transportation and installation.

Keywords: renewable energy sources, wind power plant, life cycle, ecosystem states, eco-points.

Аннотация

Оценено влияние ветроэнергетических станций на компоненты окружающей среды с учетом ряда их параметров, в том числе технических характеристик ветроэнергетических установок, характеристик сетей, инженерных и других сооружений. Для этого определены границы исследования ветроэнергетических установок, установленные цель и предмет исследования, а также выполнено описание жизненного цикла ветроэнергетических установок с учетом (инвентаризацией) всех необходимых материалов и ресурсов. Определен перечень категорий воздействия, которыми представлены нагрузки на окружающую среду, вызванное ветроэнергетической установкой, а также для каждой категории определены относительный вклад вредных факторов с учетом возможных сценариев обращения с отходами. По всем потенциальными воздействиями на окружающую среду построены экологические профили. После нормализации и определения значимости (взвешивания) получены отдельные оценки всех показателей и их распределение по трем категориям поражений: здоровье человека, качество экосистемы и ресурсы, а также четыре этапа жизненного цикла ветроэнергетической станции: производство, демонтаж и утилизация, эксплуатация, транспортировка и установка.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, ветроэнергетическая установка, жизненный цикл, состояния экосистемы, эко-баллы.

Список літератури

1. Ветроэнергетика / [под ред. Д. де Рензо]; [Пер. с англ. Зубарева В.В. и Дранкфурга М.О.]; [под. ред. Шефтера Я.И.] – М.: Энергоатомиздат, 1982. – 272 с.
2. ISO 14040 (1997). Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and framework. International Organisation for standardisation: Geneva, Switzerland.
3. Екологічне управління. Оцінювання впливів у процесі життєвого циклу. Приклади застосування ISO 14042: ДСТУ ISO/TR 14047:2007 (ISO/TR 14047:2003, ІДТ). – [Чинний від 2009-07-01]. – Офіц. вид. – К. : Держстандарт України, 2009. – 24 с.
4. Екологічне керування. Оцінювання життєвого циклу. Принципи та структура: ДСТУ ISO 14040:2004. – [Чинний від 2006-01-01]. – Офіц. вид. – К. : Держстандарт України, 2007. – 14 с.
5. Cleary B. Using life cycle assessment to compare wind energy infrastructure / B. Cleary, A. Duffy, A. O'Connor // Proceedings of International Symposium on Life Cycle Assessment and Construction. – 2012. – P. 31-39.
6. Life cycle assessment of a multi-megawatt wind turbine / E. Martinez, F. Sanz, S. Pellegrini [et. Al] // Renewable Energy. - № 34(3). – 2009. – P. 667-673.
7. Chenai Ch. Life cycle analysis of wind turbine // Sustainable Development – Energy, Engineering and Technologies – Manufacturing and Environment. – 2012.
8. Toth T. Anthropogeomorphologic impacts of onshore and offshore wind farms / T. Toth, S. Szegedi // Acta climatologica et chorologica. – 2007. - № 40-41. – P. 147-154.
9. Elsam (2004): Livscyklusvurdering af hav- og landplacerede vindmølleparker, 02-170261, Elsam Engineering A/S, Kraftværksvej 53, Fredericia, DK.
10. Burton T., Sharpe D., Jenkins N., Bossanyi E. (2001), Wind energy. Handbook. / [West Sussex], England, 643 p.
11. Chmielniak, T. (2008). Technologie energetyczne. [Wydawnictwa NaukowoTechniczne], Warszawa. – 564 p.
12. Ермоленко Б. В., Ермоленко Г.В., Рьженков М.А. Экологические аспекты ветроэнергетики / Теплоэнергетика. – 2011. - №11 – С.72-78.

13. Final Report. Life Cycle Assessment Of Electricity Production from a Vestas V112 Turbine Wind Plant. – 2011. <http://www.vestas.com>.
14. Vestas, 2005, Life cycle assessment of offshore and onshore sited wind power plants based on Vestas V90-3.0 MW turbines. Retrieved on 20/05/2006, <http://www.vestas.com/pdf/miljoe/pdf/LCA%20V90-3.0%20MW%20onshore%20og%20offshore%20sam%20energibalance,%202005.pdf>
15. Vestas, 2004, General Specification V90 – 3.0 MW 60 Hz Variable Speed Turbine. Retrieved on 20/05/2006, http://mainegov-images.informe.org/doc/lurc/projects/redington/Documents/Section01_Development_Description/Development_Electric/E_Pro_Reports/Appendix%20A%20V90%20General%20Spec%20950010R1.pdf.
16. SimaPro Manuals [Electronic source]. – Available from: <http://www.pre.nl/content/manuals>.

References

1. D. de Renzo, “Vetrojenergetika” [Wind power], [Pers angl. Zubareva V.V. i Drankfurta M.O.]; Jenergoatomizdat, Moskva, 1982 (in Russian).
2. Gh. M. Zabarnyj, A. V. Shhurchkov “Energhetychnyj potencial netradycijnykh dzherel energhiji” [Energy potential of non-traditional energy sources], ITTF, Kyiv, 2002, pp. 151–159 (in Ukrainian).
3. T. Burton, D. Sharpe, N. Jenkins, E. Bossanyi, “Wind energy”, Handbook, England, 2001.
4. T. Chmielniak, “Technologie energetyczne”, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2008.
5. ISO 14040 Environmental Management. Life Cycle Assessment. Principles and framework. International Organisation for standardisation: Geneva, Switzerland, 1997.
6. ISO 14042: DSTU ISO/TR 14047:2007 (ISO/TR 14047:2003, IDT) Ekologichne upravlinnja. Ocinjuvannja vplyviv u procesi zhyttjevogho cyklu. Pryklady zastosuvannja. [Environmental management. Impact assessment in the life cycle. Application examples], Derzhstandart Ukrainy, Kyiv, 2009 (in Ukrainian).
7. DSTU ISO 14040:2004 Ekologichne keruvannja. Ocinjuvannja zhyttjevogho cyklu. Pryncypy ta struktura [Environmental management. Life cycle assessment. Principles and structure], Derzhstandart Ukrainy, Kyiv, 2007 (in Ukrainian).
8. B. Cleary, A. Duffy, A. O’Connor, “Using life cycle assessment to compare wind energy infrastructure”, *Proceedings of International Symposium on Life Cycle Assessment and Construction*, 2012, pp. 31–39.
9. E. Martinez, F. Sanz, S. Pellegrini [et. Al] “Life cycle assessment of a multi-megawatt wind turbine”, *Renewable Energy* 34(3), 2009, pp. 667-673. doi: 10.1016/j.renene.2008.05.020
10. Ch. Chenai, “Life cycle analysis of wind turbine”, *Sustainable Development, Energy, Engineering and Technologies, Manufacturing and Environment*, 2012.
11. T. Toth, S. Szegedi, “Anthropogeomorphologic impacts of onshore and offshore wind farms” *Acta climatologica et chorologica* 40-41, 2007. pp.147–154.
12. B. V. Ermolenko, G. V. Ermolenko, M. A. Ryzhenkov “Jekologicheskie aspekty vitroenergetiki” [Environmental aspects of wind power]. *Teplojenergetika*, Moskva, 11, 2011, pp. 72–78 (in Russian).
13. Andersen PD (7/8.3.2002): Environmentally Sound Design and Recycling of Future Wind Power Systems. In: IEA R&D Wind’s Topical expert meeting on Material recycling and life cycle analysis (LCA) of wind turbines. Risoe National Laboratory.
14. M. Stachowicz, “Classification and evaluation of life cycle assessment tools”. MS Thesis, Faculty of Process and Environmental Engineering, Technical University of Lodz, Lodz, Poland, 2001.
15. State Energy Conservation Office (SECO). Retrieved on 01/06/2006 <http://www.infinitepower.org/resglossary.htm>.
16. Energy & Recycling. Retrieved on 20/05/2006, <http://faculty.washington.edu/crowther/KidsZone/recycling.html>