

УДК 330.13.662

Григор'єва Н.С., д.т.н., професор

Луцький національний технічний університет

### **ЗАСТОСУВАННЯ МОДУЛЬНОГО ПРИНЦИПУ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНОЇ ЕНЕРГІЇ ВІТРУ**

Розглянуті заходи підвищення економічної ефективності використання відновлювальної енергії – енергії вітру, як найпростішого засобу. В першу чергу до них відноситься покращення та здешевлення енергетичного обладнання за рахунок застосування інноваційного підходу та модульного принципу при їх проектуванні, стандартизації та уніфікації конструкційних рішень. Важливими є економічні аспекти вітроенергетики, національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року.

**Ключові слова:** вітроенергія, модуль, економіка, ефективність, здешевлення.

Григорьева Н.С.

### **ПРИМЕНЕНИЕ МОДУЛЬНОГО ПРИНЦИПА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГИИ ВЕТРА**

Рассмотрены меры повышения экономической эффективности использования возобновляемой энергии - энергии ветра как простейшего средства. В первую очередь к ним относится улучшение и удешевление энергетического оборудования за счет применения инновационного подхода и модульного принципа при их проектировании, стандартизации и унификации конструкторских решений. Важны экономические аспекты ветроэнергетики, национальный план действий по возобновляемой энергетике на период до 2020 года.

**Ключевые слова:** ветроэнергия, модуль, экономика, эффективность, удешевление.

Grigoryeva N.

### **APPLICATION MODULE PRINCIPLE IN DESIGNING ENERGETIC EQUIPMENT RESTORABLE ENERGY OF WIND**

Considered actions Increase of the cost-efficiency restorable energy of wind as simplest assets. In the first place apply improvement and mark down the price power equipment at the expense of innovation approach and modular principle in designing, standardization and unification constructional decisions. Important economic aspects wind-power engineering, national agreement of action on renewable energy per period in 2020 year.

**Keywords:** wind-power engineering, module, economics, efficiency, reduces a price.

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими та практичними завданнями.** Проблема полягає у збільшенні запотребування палива та підвищенні ціни на нього при глобалізації економіки, що вимагає широкого застосування відновлювальної енергії. Тому повстають важливі науково-практичні завдання з її освоєння. Енергія вітру є одним з простіших відновлювальних видів і базується на перетворенні кінетичної енергії повітряних мас в атмосфері в електричну, теплову та будь-яку іншу форму енергії для її використання. Перетворення відбувається за допомогою вітрогенератора для отримання електрики, вітряків - для отримання механічної енергії і багатьох інших агрегатів. Найбільшого поширення набула конструкція вітрогенератора із трьома лопатями і горизонтальною віссю обертання, хоча подекуди ще зустрічаються і дволопатні. Найбільш ефективною конструкцією для територій з малою швидкістю вітрових потоків визнані вітрогенератори з вертикальною віссю обертання, роторного чи карусельного типів.

У 2005 році сумарна потужність вітроенергетичних установок (ВЕУ) в Україні досягла 85 МВт і країна продовжувала залишатися лідером серед країн Східної Європи. І хоча цей показник занадто низький у порівнянні зі світовими вітроенергетичними лідерами Німеччиною та Іспанією, а враховуючи війну в Донбасі він взагалі впав. Україна належить до тих небагатьох країн, де було налагоджено серійне виробництво ліцензійних ВЕУ. У їх виробництві беруть участь 23 заводи колишнього ВПК, а складання вітротурбін для ВЕУ здійснює Дніпропетровський "Південний машинобудівний завод». Найбільш перспективними місцями для виробництва енергії з вітру є прибережні зони, а також височини та гори. У морі, на відстані 10-12 км від берега, будуються офшорні вітряні електростанції. ВЕУ практично не споживають добувного палива. Робота вітро-

генератора потужністю 1 МВт за 20 років експлуатації дозволяє заощадити приблизно 29 тис. тонн вугілля або 92 тис. барелів нафти.

**Аналіз останніх досліджень, у яких започатковано вирішення проблеми.** У перспективі планується використання енергії вітру не за допомогою вітрогенераторів, а з використанням п'єзоефекту. У ОАЕ планується будівництво таких електростанцій, які являють собою ліс з полімерних стовбурів покритих п'єзоелектричними пластинами. Ці 55-метрові стовбури будуть згинатися під дією вітру і генерувати струм. Оскільки кількість енергії, виробленої за рахунок вітру, залежить від щільності повітря, площі, охопленої лопатями вітротурбіни при обертанні, а також від куба швидкості вітру, ефективності енергетичного обладнання, то наукові дослідження проводяться в цьому напрямку.

Норвезька компанія StatoilHydro і німецький концерн Siemens AG розробили плаваючі вітрогенератори для морських станцій великої глибини. StatoilHydro у червні 2009 року побудувала демонстраційну версію потужністю 2,3 МВт. Турбіна під назвою Nuwind, розроблена Siemens Renewable Energy, важить 5300 тонн при висоті 65 метрів. Компанія планує в майбутньому довести потужність турбіни до 5 МВт, а діаметр ротора - до 120 метрів. Аналогічні розробки ведуться в США. Компанія Magenn розробила спеціальний апарат з встановленим на ньому вітрогенератором, який сам піднімається на висоту 120-300 метрів. Немає необхідності будувати вежу і займати землю. Апарат працює в діапазоні швидкостей вітру від 1 м/с до 28 м/с і може переміщатися в вітрові регіони. Компанія Windrotor пропонує конструкцію ротора потужної турбіни, що дозволяє значно збільшити його розміри і коефіцієнт використання енергії вітру. Передбачається, що ця конструкція стане новим поколінням роторів вітрових турбін. У травні 2009 року в Німеччині компанією Advanced Tower Systems був запущений в експлуатацію перший вітрогенератор, встановлений на гібридній вежі. Нижня частина вежі висотою 76,5 метрів побудована із залізобетону, а верхня частина висотою 55 метрів побудована зі сталі. Загальна висота становить 180 метрів. Збільшення висоти вежі дозволить збільшити вироблення електроенергії на 20%. В кінці 2010 року іспанські компанії Gamesa, Iberdrola, Acciona Alstom Wind, Técnicas Reunidas, Ingeteam, Ingeciber, Imatia, Tecnitest Ingenieros і DIgSILENT Ibérica створили групу для спільної розробки вітрогенератора потужністю 15,0 МВт.

**Цілі статті** – підвищення ефективності використання відновлювальної вітрової енергії за рахунок застосування модульного принципу та стандартизацією при проектуванні необхідного сучасного енергетичного обладнання.

**Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів.**

На сьогоднішній день відомі чисельні конструкції ВЕУ (рис.1), більшість з яких серійно випускається, що з однієї сторони свідчить про велику зацікавленість вітровою електроенергією, але з іншої збільшує їх ціну, а значить зменшує економічну ефективність використання. Тепер реалізовано 186 проектів ВЕУ. Тому повстає завдання проаналізувати їх, вибрати кращі варіанти, після чого представити конструкцію ВЕУ окремими стандартизованими модулями. Такий підхід дозволить здешевити їх виробництво та експлуатацію, а значить суттєво підвищити економічну ефективність застосування.

*Економічні аспекти вітроенергетики.* Основна частина вартості вітроенергії визначається початковими витратами на будівництво споруд ВЕУ. Вітрогенератори в процесі експлуатації не споживають палива і тому вартість вітряної електроенергії нижче вартості традиційної енергії навіть при дороговизні енергетичного обладнання.



Рис.1. Загальний вигляд різних вітроенергетичних установок

Однак все більше виробників вітрогенераторів пропонують роторні установки або вітрогенератори з вертикальною віссю обертання. Принципова відмінність полягає в зменшенні допустимої швидкості вітру до 1 м/с для виробництва електроенергії. Це знімає обмеження з використання енергії вітру в цілях електропостачання. Найбільш раціональне є поєднання в одному двох видів генераторів - вертикального вітрогенератора та сонячних батарей. Доповнюючи один одного, вони гарантують виробництво достатньої кількості електроенергії на різних територіях і в будь-яких кліматичних умовах [1].

Видача електроенергії з вітрогенератора в енергосистему відрізняється великою нерівномірністю. Неоднозначне навантаження, регулювати яке вітроенергетика не може, введення значної частки вітроенергетики в енергосистему сприяє її дестабілізації. Тому вітроенергетика вимагає резерву потужності в енергосистемі, а також механізмів згладжування неоднорідності їх вироблення. Це істотно здорожує отримання електроенергії. Виникають проблеми в мережах та диспетчеризації

енергосистем через нестабільність роботи вітрогенераторів після досягнення ними частки в 20-25% від загальної встановленої потужності системи. Це буде показник, близький до 55 тис. МВт. За даними іспанських компаній «Gamesa Eolica» і «WinWind» точність прогнозів видачі енергії вітростанцій при погодинному плануванні на ринку «на день вперед» перевищує 95%. Невеликі поодинокі вітроустановки можуть мати проблеми з мережевою інфраструктурою, оскільки вартість лінії електропередачі і розподільного пристрою для підключення до енергосистеми можуть виявитися значними. Проблема частково вирішується, якщо вітроустановка підключається до місцевої мережі з енергоспоживачами. У цьому випадку використовується існуюче силове й розподільче обладнання, а ВЕУ створюють деякий підпір потужності, знижуючи потужність, споживану місцевою мережею ззовні. Трансформаторна підстанція та зовнішня лінія електропередачі виявляються менш завантаженими, хоча загальне споживання потужності може бути вище. Великі вітроустановки мають проблеми з ремонтом, оскільки заміна великої деталі (лопати, ротора і т.п.) на висоті понад 100 метрів є складним і дорогим заходом.

Вважається, що застосування ВЕУ для забезпечення електрикою мало доцільно через високу вартість інвертора до 50% вартості всієї установки, який застосовується для перетворення змінного чи постійного струму, одержуваного від вітрогенератора в  $\sim 220\text{В } 50\text{Гц}$  і синхронізації його по фазі з зовнішньою мережею при роботі генератора паралельно, високої вартості акумуляторних батарей - близько 25% вартості установки для джерела безперебійного живлення при відсутності або виключенні зовнішньої мережі, використання для забезпечення надійного електропостачання дизель-генератора, порівнянного за вартістю з усією установкою.

Основними чинниками, що приводять до подорожчання енергії, одержуваної від ВЕУ, являються: необхідність дотримання електроенергії промислових вимог  $\approx 220\text{ В}$ ,  $50\text{ Гц}$  (потрібне застосування інвертора), необхідність автономної роботи протягом деякого часу (потрібне застосування акумуляторів), необхідність тривалої безперебійної роботи споживачів (потрібне застосування дизель-генератора). Найбільш економічно доцільно одержання за допомогою вітрогенераторів не електричної енергії промислових вимог, а постійного чи змінного струму, змінної частоти з подальшим перетворенням його за допомогою тенів в тепло, для обігріву житла та отримання гарячої води. Ця схема має кілька переваг: опалення є основним енергоспоживачем, схема вітрогенератора та керуючої автоматики кардинально спрощується, схема автоматики може бути в самому простому випадку побудована на декількох теплових реле, в якості акумулятора енергії можна використовувати звичайний бойлер з водою для опалення та гарячого водопостачання, споживання тепла не так вимогливо до якості і безперебійності (температуру повітря в приміщенні можна підтримувати в широких діапазонах  $19\text{-}25^\circ\text{C}$ , а в бойлерах гарячого водопостачання -  $40\text{-}97^\circ\text{C}$ ).

Для підвищення інвестиційної привабливості проектів державними органами може передбачатися механізм часткової чи повної компенсації вартості технологічного приєднання генераторів на основі відновлюваних джерел до мережі. На сьогоднішній день тільки в Китаї мережеві організації повністю приймають на себе всі витрати на технологічне приєднання.

В загальному економічна ефективність енергетичного обладнання відновлювальної енергії вітру розраховується за критерієм приведених витрат за методикою [2]. Економічне обґрунтування проводиться на підставі якісного та кількісного аналізу



порівняльної економічності можливих варіантів. На початку встановлюються початкові умови, вхідні, вихідні змінні та обмеження. Визначення чисельних значень керованих змінних, при яких цільова функція мети приймає значення і є суттю оптимізаційного завдання. В інституті кібернетики Білорусії опрацьована методика багатокрокового проектування оптимальних за собівартістю технологічних процесів і обладнання, яка зводиться до вирішення складних економічних задач з використанням теорії графів [3,4].

*Формування конструкційних модулів.* Модуляризація та стандартизація енергетичного обладнання може значно скоротити його вартість і тим самим підвищити економічну ефективність. Її сутність полягає в представленні конструкції енергетичного обладнання модулями. Реалізація модульного принципу з позицій системного підходу вимагає опрацювання: методів заміщення обладнання безліччю модулів, загальних принципів побудови з модулів обладнання та засобів технологічного забезпечення, методів уніфікації модулів і засобів технологічного забезпечення, методів оцінки ефективності модульної побудови. На початку розглядаються функціональні та конструкційні модулі [5].

Функціональний модуль (ФМ) - це закінчена частина певного обсягу функцій, якій притаманні закінченість, можливість стикування з іншими модулями, надмірність. Надмірність ФМ необхідна для охоплення більш широкого діапазону виробів, але вона повинна завжди бути технічно та економічно обґрунтована. Кілька ФМ можуть утворювати функціональний комплект (ФК), які в свою чергу об'єднуються в функціональні комплекси (ФКК). Кожному ФМ повинен повністю відповідати КМ і це основоположна основа модульного принципу, оскільки формуються вони паралельно, забезпечуючи єдність функцій та конструкції.

Конструкційним модулем (КМ) вважається закінчена частина конструкції обладнання або оснащення, яка відповідає виконанню певних функцій і стикується з іншими функціонально пов'язаними КМ. Формування ФМ і КМ наведено на рис. 2. Елементарний ФМ формується паралельно з елементарним КМ і описує складальне з'єднання або його закінчену частину, в склад якого входять спряжувані та інші деталі.

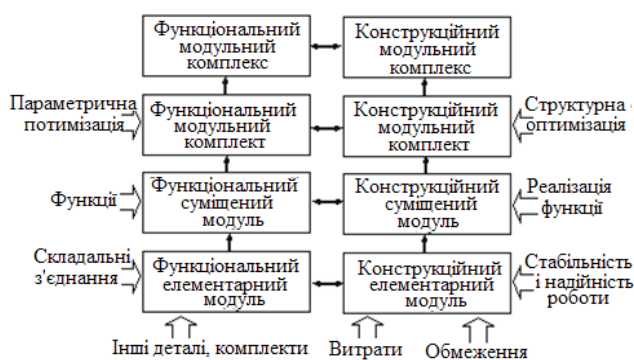


Рис. 2. Схема формування функціональних і конструкційних

номенклатуру об'єктів.

Для підвищення ефективності формованих модулів попередньо слід провести уніфікацію складальних з'єднань, їх деталей залежно від функціонального призначення, що зменшило б їх кількість і спростило склад, а головне підвищило надійність

При цьому враховуються обмеження, витрати на реалізацію, а при формуванні елементарних КМ стабільність і надійність роботи обладнання. На підставі об'єднання функцій формується суміщений ФМ разом з відповідним КМ, в якому враховується конструкційна реалізація суміщених функцій. При цьому проводиться параметрична та структурна оптимізація, котра охоплює всю

модульної конструкції для груп подібного енергетичного обладнання. Кожен КМ повинен стикуватися як з іншими модулями ланцюжка, так і модулями управління. Вихід кожного модуля повинен однозначно відповідати входу наступного і тому подібне, а якщо розглядати вхід-вихід одного модуля, то перетворення входу у вихід являє собою деяку трансформацію вхідних параметрів у вихідні  $P_{вих_{i-1}} \Rightarrow P_{вх_i} \Rightarrow P_{вих_i} \Rightarrow P_{вх_{i+1}}$  за даними законами зміни і умов стикування [5].

Модульні конструкції енергетичного обладнання, розроблені на основі запропонованого методу, повинні бути інноваційними з кращими показниками якості в порівнянні з традиційними і забезпечувати додатковий ефект. Структурно інноваційний додатковий ефект формується на окремих етапах розробки модульної конструкції і складається з ефектів взаємозв'язку нових і відомих ознак. Можливе також досягнення додаткового ефекту і при новому взаємозв'язку лише відомих ознак. Напрямок такого рішення залежить від вимог і визначається рівнями розвитку теорії та практики, а також доступністю проектних коштів, які в загальному обмежуються фінансуванням і кваліфікацією розробників. Після визначення мети та доступності коштів формується концепція інноваційного технологічного рішення з його прив'язкою до конструкції. Вже на цьому етапі проводиться розподіл пріоритетів з метою виділення чинників, які забезпечують більший додатковий ефект, для реалізації яких виявляються і описуються відомі і невідомі ознаки модульного рішення. Передбачається початкове формування ідеального рішення, яке по різним обмеженням буде доведено до реального інноваційного.



Рис. 3. Складові блоки промислової вітряної установки

Загальне конструкційне рішення встановлюється з конкурентоздатних, які відрізняються іншим поєднанням зазначених ознак, деталізується та підлягає опрацюванню та оптимізації за обсягом, етапам, параметрам і можливостям. У результаті такого підходу отримується оптимальне інноваційне рішення, котре підлягає в цілості чи окремим елементам експериментальній перевірці. Після його доробки за результатами дослідження проводиться впровадження. За запропонованою методикою можна розробляти не тільки інноваційні модульні конструкції, а й структури конструкцій окремих модулів, вирішувати часткові та інші завдання.

Таким чином, методика модуляризації конструкції енергетичного обладнання полягає в наступному:

1. Аналіз вихідних даних.
2. Формування груп обладнання за їх функціонально-конструкційними ознаками і вимогами модульності, виявлення комплексних представників групи.
3. Розробка функціональної схеми модульної конструкції комплексного представника групи.
4. Проведення розмірного аналізу конструкції енергетичного обладнання, встановлення показників якості.
5. Встановлення потрібних функціональних основних і допоміжних рухів, дій для модульної конструкції.
6. Формування ФМ і відповідних їм КМ.
7. Встановлення раціональної структури та компонування окремих КМ.

8. Уточнення схеми і структури комплексу КМ, коректування на цій підставі результатів всіх попередніх етапів розробки модульної конструкції.

9. З отриманих КМ побудова модульних комплектів, комплексів.

10. Реалізація вимог з техніки безпеки, виробничої санітарії, ергономічності і екологічності навколишнього середовища.

11. Розрахунок економічної ефективності застосування модульної конструкції.

12. Оформлення технічної документації на розроблену модульну конструкцію енергетичного обладнання.

На рис. 3 Складові блоки промислової ВЕУ. В кожному такому блоці необхідно чітко встановити одночасно потрібні функціональні та конструкційні елементарні модулі, провести їх суміщення та об'єднання з застосуванням стандартизації та уніфікації за потрібними критеріями, наприклад, потужності. Цьому мають передувати необхідні технічні та економічні розрахунки. Наприклад, в поворотному механізмі виділяється модуль електродвигуна, редуктора, корпусу, управління.

*Прогноз використання майбутніх видів енергії.* Можна вважати, що наступними видами енергії, яка має бути освоєна, є космічна та гравітаційна. Космічна енергія – це електромагнітне випромінювання частотою 1023 герца та довжиною хвилі 10-14 м. Її використання пов'язане з хрональним полем (мікрочастинки: позитивні та негативні хрони в мільйони та мільярди разів менші електрона), яке проявляється лише при русі, обертанні та вібрації об'єкту. Вже створено ряд цікавих пристроїв використання хрополя, але це лише перші маленькі кроки. Ще більш цікаві перспективи використання світлої та темної матерії та енергії, але це далі майбутнє, яке вимагатиме дальших теоретичних досліджень і тоді практичної розробки енергетичних установок [6].

Відомі також гравітаційні енергоустановки, які не вимагають дорогих енергоресурсів, забезпечуючи одержання чистої енергії потужністю від десятка кіловат до мегават. Вже тепер створені гравітаційні двигуни. В 2014 році Росія успішно випробувала антигравітаційний двигун Леонова. Одним з прикладів є також літаючі тарілки, якими німці займалися ще під час війни: його винайшов австрійський вчений Віктор Шауберг. Далі такими роботами займались США, результати яких поки що невідомі [6].

*Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року* розроблений відповідно до вимог Директиви № 2009/28/ЄС про сприяння використанню енергії з відновлюваних джерел і положень Енергетичної Хартії з метою досягнення в 2020 році 11% частки загальної енергії. Пов'язано це з дефіцитом енергії, високим енергетичним потенціалом відновлюваних джерел енергії, вичерпання власних енергоресурсів, екологічними наслідками виробництва традиційної енергії. Необхідне створення сприятливих умов для залучення інвестицій у сферу виробництва відновлюваної енергетики. Першочерговим завданням намічено впровадження інвестиційних проектів, які мають високий ступінь готовності до впровадження і можуть швидше дати економію традиційних паливно-енергетичних ресурсів. Передбачено звільнення від оподаткування землі, сплати ввізного мита щодо певних типів обладнання для відновлюваної енергетики, прибутку, введення «зеленого»

тарифу (фіксований тариф стимулювання розвитку відновлюваних джерел енергії, в основі якого лежать три основних фактори: гарантія підключення до мережі, довготерміновий контракт на покупку всієї виробленої електроенергії, гарантія покупки виробленої електроенергії за фіксованою ціною), широке розгортання інноваційних рішень, підвищення рівня розвитку сфери виробництва енергоносіїв, рівня конкурентоспроможності національної економіки, суттєве збільшення фінансування робіт, які мають проводитися.

Виконання плану в повному обсязі дозволить Україні до 2020 року вирішити наступні завдання: ефективно використати енергію та енергетичний сервіс, використати шаблон проекту ЕМЕЕES для держав-членів Енергетичної Хартії, визначити чотири сфери економічної діяльності: сферу послуг, житловий сектор, промисловість і транспорт.

**Висновки.** Підвищення ціни на електроенергію, спонукає потребу на відновлювальну енергію та як найпростіший її вид – вітряну. За рахунок відпрацювання конструкції ВЕУ на технологічність, проведення стандартизації та модуляризації можна значно підвищити її економічний ефект використання. Тепер відомі чисельні конструкції ВЕУ, які серійно випускаються по всьому світі. Така багаточисельність з одної сторони показує велике запотребування, але з іншої – резерв для збільшення ефективності використання за рахунок вдосконалення конструкції до сучасних світових вимог в залежності від потужності.

Сутність модуляризації полягає в представленні конструкції ВЕУ стандартизованими модулями. На початку розглядаються функціональні та конструкційні модулі, що представляють собою закінчену частину певного обсягу функцій та конструкцій, яким притаманні автономність, можливість стикування з іншими модулями, надмірність. Модулі формуються паралельно, забезпечуючи єдність функцій та конструкції. Розроблена методика модуляризації конструкцій ВЕУ складається з 12 ітераційних етапів, починаючи від аналізу вихідних даних, синтезу функцій та конструкцій передбачуваних модулів і закінчуючи оформленням технічної документації. Така методика може бути застосована і до іншого енергетичного обладнання для використання відновлювальної енергії. В тому і передбачається її цінність.

Відомий національний план дій з відновлювальної енергетики до 2020 року, розроблений відповідно до вимог ЄС та положень Енергетичної хартії, але він слабо виконується і мабуть виконаним не буде, т. я. ряд підприємств, які мали випускати енергетичне обладнання знаходяться на Донбасі, частково чи повністю зруйновані, а інші перепрофільовані на іншу продукцію.

#### **Список використаних джерел:**

1. Концепция использования ветровой энергии в России. [под ред. П.П. Безруких]. – М.: "Книга - Пента", 2005. – 128 с.
2. Великанов К.М. Методика расчета экономической эффективности новой техники / К.М. Великанов и др. - Л.: Машиностроение, 1985. -540 с.
3. Пузиня К.Ф. Экономическая эффективность научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок в машиностроении / К.Ф. Пузиня, А.С.Запаснюк. - Л.: Машиностроение, 1978. -120 с.
4. Алферова В.В. Математическое обеспечение экономических расчетов с использованием теории графов / В.В. Алферова. – М.: Статистика, 1994. – 218 с.



5. Григор'єва Н.С. Науково-технологічні основи гнучкого модульного автоматичного складання виробів: [монографія] / Н.С. Григор'єва. – Луцьк: Надстир'я, 2008. -520 с.
6. Відновлювальна енергетика. <http://uk.wikipedia>, <http://necin.com.ua/atomna-energiya/915-vidnovlyuvalna-energetika.html>.