

## ОБГРУНТУВАННЯ РОЗВИТКУ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК МАЛОЇ ТА НАДМАЛОЇ ПОТУЖНОСТІ

© Кузьо І.В., Корендій В.М., 2010

**Розглянуто конструктивні особливості вітроенергетичних установок (ВЕУ), доведено важливість розвитку альтернативних джерел енергії для зростання економіки України, а також подано техніко-економічне та екологічне обґрунтування доцільності використання енергії повітряних мас як альтернативного джерела електроенергії.**

**The article describes structural features of wind-power installation (WPI), proves the importance of development of alternative energy sources for the growth of Ukrainian economy and includes technical, economical and ecological substantiation of expedience of using the energy of air masses as the alternative source of electric power.**

**Постановка проблеми.** Останнім часом у світі все актуальнішою стає проблема енергетичного забезпечення. Вона переплітається з питаннями екології та ощадливого використання наявних ресурсів. Серед альтернативних джерел енергії особливе місце належить енергії повітряних мас, яка є доволі поширеною у світовій практиці.

Специфікою повітряних потоків України є їхня мала питома потужність, що не дає змоги широко використовувати досвід світової практики будівництва вітроенергетичних установок (ВЕУ). Саме через це актуально розробляти дешеві вітряки малої одиничної потужності, які працюють при слабких середньорічних вітрах.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Вітроенергетичний потенціал України можна наближено оцінити за даними вимірів швидкості вітру і проведеними комп'ютерними розрахунками на всіх 216 метеостанціях системи Державного гідрометеоцентру України за двадцятирічний період [3, 4]. Така оцінка дає змогу зробити висновок, що територія України є доволі сприятливою щодо широкого впровадження вітрогенераторів для електрозабезпечення. Тривалість роботи вітрогенераторів у різних частинах України і в різні місяці може становити від 65 до 80 % днів [1, 2]. Найпоширеніші сьогодні швидкохідні і тихохідні ВЕУ з горизонтальною віссю обертання ВК [8]. Також доволі важливими і актуальними є розробки теплових ВЕУ [11], вібраційних ВЕУ [12], ВЕУ з використанням електрохімічних та інерційних акумуляторів та інверторів [10, 14] тощо. За даними статистики, для автономних ВЕУ наближена питома вартість номінальної потужності дорівнює 1,4 тис. доларів за 1 кВт без врахування вартості акумуляуючих пристроїв [16]. Така ціна є прийнятною для товаровиробників та фермерських господарств в Україні.

**Формулювання цілі статті.** Метою статті є оцінити три основні критерії, які дають змогу обґрунтувати можливість і доцільність використання тихохідних вітроенергетичних установок малої та надмалої потужності:

- важливість розвитку альтернативної енергетики для розвитку господарства України;
- конструктивні особливості ВЕУ;
- техніко-економічне та екологічне обґрунтування розвитку ВЕУ.

**Виклад основного матеріалу.** Обґрунтуємо важливість розвитку альтернативної енергетики для зростання економіки України.

Протягом останніх років в Україні розгорнулися роботи з пошуку альтернативних джерел енергії, котрі повинні відповідати трьом основним умовам: ці джерела повинні бути відносно дешевими; бути в наявності в достатніх кількостях; задовольняти екологічні вимоги, прийняті у світі, що, враховуючи екологічні умови України, особливо важливо. Вітроенергетичні установки малої потужності задовольняють ці три умови.

Територія України є доволі сприятливою для широкого впровадження вітрогенераторів для електрозабезпечення. Вітрогенератори дають змогу економити інші види палива (вугілля, уранове паливо, бензин тощо) а також зберігають чистоту навколишнього середовища. Тривалість роботи вітрогенераторів у різних частинах України і в різні місяці може становити від 65 до 80 % днів, тобто від 500 до 600 годин за місяць, або від 5700 до 7000 годин за рік [1, 2].

Отже, простої вітрогенератора за умови слабких вітрів можуть становити в окремі місяці і в окремих районах України від 120 до 200 годин за місяць (5–10 днів). Це пояснюється тим, що вітрогенератор не має можливості працювати протягом 25–30 днів підряд, оскільки перерви в його роботі обмежуються або частиною доби (влітку вночі) чи продовжуються на 1–2 або, що трапляється досить рідко, 3–4 дні підряд (наприклад, взимку при антициклонній погоді і стійких температурних інверсіях, коли вертикальний обмін повітря слабшає). Для таких періодів в наявності повинен бути певний запас енергії – «запасний блок», розрахунок якого неважко зробити на підставі даних про тривалість і частоту слабких вітрів.

Можна відмітити певну закономірність в можливості використання енергії вітру на території України. У січні, наприклад, максимум часу можливого використання енергії повітряних мас спостерігається в приморській зоні, південному степу і в Донбасі, де тривалість роботи вітрогенератора може досягати, а можливо і перевершувати 24 дні, тобто майже 600 годин на місяць. Ці території, а також гірські райони Карпат і Криму характеризуються вищими швидкостями вітру порівняно з іншими районами України.

Найменшою вітровою активністю характеризуються центральна і північно-західна частини України. У цих районах внаслідок невеликої тривалості вітрів, які можуть використовуватися вітроелектростанціями, вітрогенератори можуть дати споживачеві близько 50000 кВт-годин електроенергії на рік. Отже, в середньому з 1 км<sup>2</sup> площі, на якій споруджено вітроелектростанцію, можна щорічно отримувати в середньому 800000 кВт-годин електроенергії на рік. Відомо, що для виробництва 1 кВт-год енергії необхідно або близько 1 кг деревини, або 0,25 кг нафти, або 0,35 кг вугілля. Отже, використання вітрогенераторів допоможе заощадити близько 270 тонн вугілля, або 200 тонн нафти на рік.

Відомо, що будівництво вітроелектричних станцій можливе лише за наявності в регіоні відповідних вітроенергетичних ресурсів та значних площ для будівництва цих станцій (див. табл.1).

Таблиця 1

**Площі відчужуваних земель, які відводяться для будівництва електростанцій**

Тип електростанції	АЕС	Сонячна	Вітрова	З використанням біомаси
Площа відчужуваних земель для 1000-мегаватної станції	1–4 км <sup>2</sup>	20–50 км <sup>2</sup>	50–150 км <sup>2</sup>	4000–6000 км <sup>2</sup>

Досвід західних країн говорить про доцільність будівництва ВЕС у морських і прибережних зонах (Данія, США, Норвегія, Бельгія, Греція і ін.), а також в гірських і степових місцевостях (США, Канада). З цього погляду територія України, що має широкий спектр географічних зон, є потенційно придатною для будівництва ВЕС. Про це ж свідчать результати вже проведені досліджень вітрового потенціалу.

Попереднє оцінювання вітроенергетичного потенціалу України допоможуть зробити комп'ютерні розрахунки, проведені за даними вимірів швидкості вітру на всіх 216 метеостанціях системи Державного гідрометеоцентру України за двадцятирічний період [3, 4].

Метеостанції реєструють дані періодичних вимірів швидкостей і напрямів вітру на висоті флюгера (в більшості випадків 10 метрів) з градацією швидкості 2 м/с. Крім того, метеостанції мають в своєму розпорядженні дані про екстремальні швидкості вітру. З 216 станцій 80 розташовані в потенційно багатих вітровими ресурсами районах – Криму і Причорномор'ї. У Криму розташовано 30 станцій, в Миколаївській, Одеській, Херсонській, Запорізькій і Донецькій областях – близько 50 станцій.

Для використання сучасних ВЕУ, які виготовляються в Україні, можуть використовуватися райони з середньорічними швидкостями вітру на рівні 5 м/с і більше на висоті флюгера. Із збільшенням висоти швидкості вітру значно зростають. Можна з високою достовірністю стверджувати, що в Україні є значна кількість перспективних з погляду вітроенергетики зон. Найбільшим вітровим потенціалом володіють значні території, прилеглі до Чорного і Азовського морів, а також райони Карпат, Закарпаття і Прикарпаття. Крім того, спостерігаються ділянки підвищеного вітрового потенціалу в Донбаському регіоні і в Дніпропетровській області. Введення в експлуатацію ВЕС на всіх цих територіях зможе забезпечити близько 30 % потреби України в електроенергії. Сумарна потужність цих електростанцій становитиме понад 70 МВт.

До 2006 року вітрова енергетика фінансувалась за рахунок відрахування 0,75 % виручки від загального об'єму продажу електроенергії у спеціальний фонд. На початку 2006 року цю схему було скасовано та встановлено нову: відрахування у розмірі 0,75 % продажу електроенергії ідуть до спеціальної статті Державного бюджету (близько 80 млн. грн./рік) на підтримку розвитку вітроенергетики. Вітер є найдорожчим джерелом енергії на оптовому ринку.

Оцінений технічний потенціал потужності вітроенергетики загалом в Україні становить 16000 МВт, що може виробити до 30 ТВт·год/рік. Енергетичною стратегією України 2006 року заплановано, що вітрова енергетика генеруватиме 2 ТВт·год/рік у 2030 році, що замінить використання 0,7 млн. т вугілля на рік.

Розглянемо класифікацію вітроенергетичних установок (ВЕУ) та їхні конструктивні особливості.

Сьогодні промисловим виробництвом ВЕУ різноманітних конструкцій займається понад 300 фірм, і щоби оцінити ефективність їх використання в конкретних умовах, доцільно скористатися класифікаціями ВЕУ, які склалися історично.

За основу класифікації конструкцій ВЕУ, як правило, беруть розташування і конструкцію вітрового колеса (ВК), а також форму і конструкцію лопатей ВК. Конструкції ВК поділяються на 2 класи залежно від розташування в просторі осі обертання вітрового колеса:

- з вертикальною віссю обертання типу Дар'є, Савоніуса або їхні комбінації (рис. 2);
- з горизонтальною віссю обертання, де кількість лопатей може бути різною, наприклад, 2–3 (пропелерного типу), 18–24 (щільно заповнені ВК) (рис. 1);
- вітрогенератори інших типів (рис. 3).

Найпоширеніші сьогодні ВЕУ з горизонтальною віссю обертання ВК [8].

Такого типу ВЕУ додатково поділяються на швидкохідні (кутова швидкість обертання ВК більша, ніж 120 об/хв) і тихохідні (30–40 об/хв).

Основною ознакою швидкохідних вітрових коліс є те, що кількість лопатей у них від 1 до 3, а відхилення перерізу лопаті за зовнішнім діаметром від фронтальної площини в робочому стані становить 3–5°.

Основною ознакою тихохідних ВК є те, що вони виконуються щільно заповненими (від 18 до 22 лопатей та більше), а кут відхилення перерізу лопаті за зовнішнім діаметром від фронтальної площини в робочому стані становить 18–22°.

Основними перевагами швидкохідних ВК є те, що висока швидкість обертання ВК обумовлює спрощення трансмісійних зв'язків вітроколеса з генератором електричного струму і достатньо високу якість електроенергії без ускладнення перетворюючих електричних схем [9]. Завдяки тому, що профіль лопаті виконаний у формі крила, ККД такого ВК значно збільшується внаслідок достатнього впливу аеродинамічних сил, які виникають при обтіканні крила потоком повітря.

Однак, при виготовленні швидкохідних ВК ставляться жорсткі вимоги до форми поперечного перерізу лопаті. Також для швидкохідних ВК є неможливим самозапуск, тому вітрове колесо повинне використовувати додаткові механізми повороту та орієнтації, або ВЕУ повинна бути забезпечена додатковим джерелом енергії, яке використовується для запуску ВК. При великих швидкостях обертання ВК незрівноваженість його елементів призводить до появи значних динамічних напружень в опорах вітрового колеса. Тому проблема балансування таких коліс є доволі актуальною, а при великих габаритах вітрових коліс стає технічно складною. За великих кутових швидкостей повною мірою проявляються гіроскопічні ефекти, які накладають додаткові обмеження на конструкцію і умови роботи механізмів повороту та орієнтації ВК.

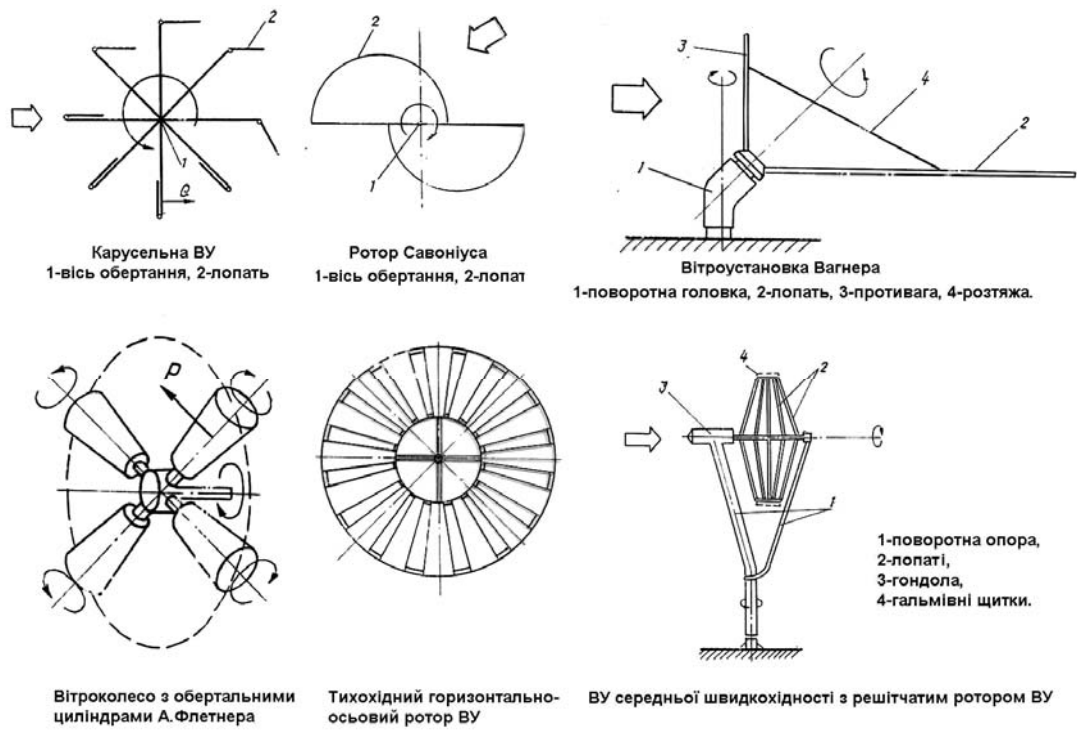


Рис. 1. Вітрогенератори с горизонтальною віссю обертання

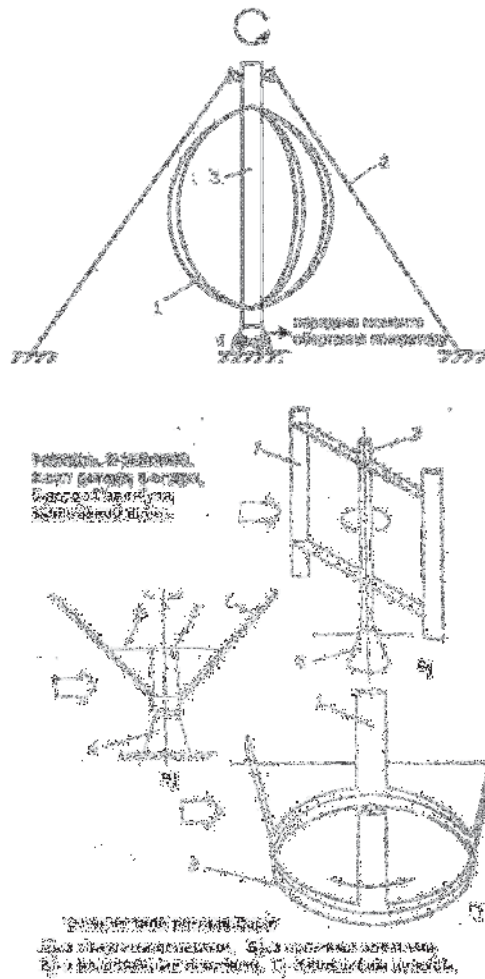


Рис. 2. Вітрогенератори с вертикальною віссю обертання з використанням сили опору і підйомної сили

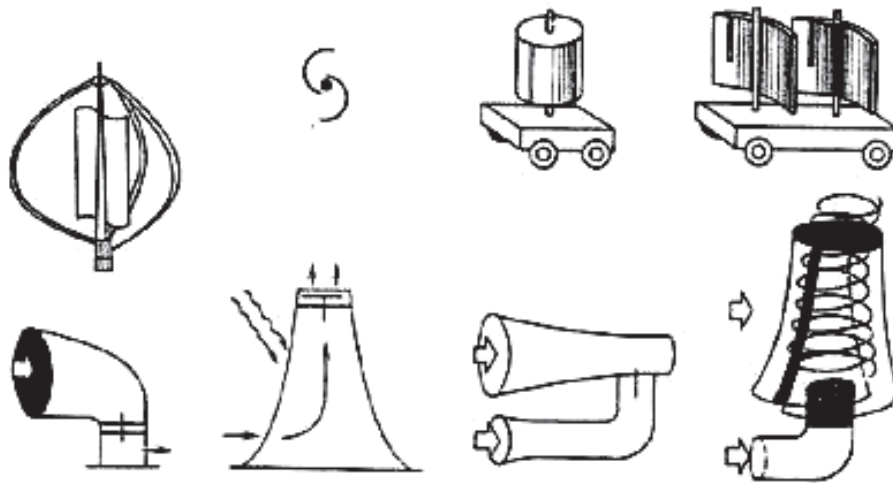


Рис. 3. Вітрогенератори інших типів

На відміну від швидкохідних, тихохідні вітрові колеса мають можливість самозапуску. Їх можна використовувати безпосередньо як джерело механічної енергії без перетворювачів кутової швидкості. Оскільки при малих швидкостях аеродинамічні явища істотно не впливають на ККД, тому профіль поперечного перерізу лопаті може бути спрощеним, тобто мати лінійчасту поверхню, що робить лопать технологічнішою при виготовленні, а отже – дешевшою. Однак, тихохідні ВК матеріалоемніші, для них характерні жорсткіші вимоги до точності підтримки сталих обертів ВК.

Крім наведених класифікацій ВЕУ, де критеріями є: розташування в просторі осі обертання ВК і його швидкість обертання, ВЕУ класифікують ще за потужністю, вводячи поняття ВЕУ великої, середньої та малої потужності. З розвитком вітроенергетики цифрові значення потужностей перелічених груп змінювалися, тому сьогодні не існує загальноприйнятих усталених меж такої класифікації. Саме тому ввели додаткову ознаку – за формою використання виробленої енергії: для автономних або системних ВЕУ.

До системних ВЕУ належать ВЕУ великої та середньої потужності, які, як правило, утворюють вітроелектростанції (ВЕС), побудовані з ВЕУ малої потужності.

До автономних ВЕУ належать ВЕУ малої потужності (10–100 кВт) і надмалої потужності (менше 10 кВт). Для ВЕУ малої і надмалої потужності найефективнішою є горизонтально-осьова пропелерна схема.

Залежно від сфери використання ВЕУ компонується різними перетворювачами механічної енергії ВК. Наявність тих чи інших перетворювачів механічної енергії вітроколеса суттєво впливає як на конструкцію всієї ВЕУ, так і на ефективність її подальшого використання. Тому прийнято класифікувати ВЕУ за призначенням (відповідно до типу перетворювача механічної енергії ВК):

- ВЕУ для виробництва електроенергії та передачі її в загальну електромережу. Для цього переважно використовуються ВЕУ великої і середньої потужності. Оскільки мережі загального призначення ставлять доволі жорсткі вимоги до електроенергії, що надходить до них, за частотою, напругою, силою струму, то перетворювачі механічної енергії на електричну достатньо складні, а тому дорогі;
- ВЕУ для виробництва електроенергії, що надходить для потреб автономного споживача. Для цього використовують ВЕУ надмалої та малої потужності. В цих ВЕУ поширеними є перетворювачі кінетичної енергії на електричну, які компонують з генераторів постійного струму, батарей електрохімічних акумуляторів і, останнім часом, інверторів, які перетворюють постійний струм на змінний;
- ВЕУ для піднімання, акумулявання та транспортування рідин і газів. У цьому випадку кінетична енергія вітроколеса перетворюється на механічну енергію рідин та газів, а до складу перетворювача входить рідинна або газова помпа;

- ВЕУ для обігрівання житлових та виробничих приміщень. До складу перетворювача входить ємність з рідиною (теплоносієм), в якій рухається крильчатка;
- ВЕУ для електролізу речовин;
- ВЕУ для безпосереднього приводу машин та механізмів, в яких до складу перетворювачів, крім редукторів, варіаторів та інших механічних передач, часто входять інерційні, пружно-інерційні акумулятори механічної енергії.

Відповідно до останньої класифікації необхідно відзначити наступні, відносно нові конструктивні рішення ВЕУ:

- для збільшення коефіцієнта використання енергії вітру та зменшення витрат електроенергії конструкція ВЕУ складається з електрохімічного акумулятора та інвертора, вал якого з'єднаний з генератором постійного струму [10];
- теплові вітроустановки, які обладнуються перетворювачем механічної енергії вітроколеса на теплову (резервуаром з рідиною, в якому рухається крильчатка) [11];
- вітроустановка, де механічна енергія вітроколеса перетворюється на потенціальну енергію робочого газу, що стискається і накопичується в ресиверах [12];
- вітроустановки, що використовуються як привід гідропомп поливальних машин [13];
- вітроустановки, в яких механічна енергія ВК запасується інерційним акумулятором та набором пружних елементів, які надалі використовують за потреби [14];

Оскільки ВЕУ є багатопараметричними машинами широкого спектра використання, для ефективного їх застосування необхідно опиратися на всі аспекти перелічених класифікацій.

Обґрунтуємо техніко-економічну доцільність розвитку і впровадження ВЕУ малої і надмалої потужності на території України.

Для України характерні невеликі середньорічні швидкості потоків повітря за винятком деяких незначних за площею районів. Тобто переважна більшість повітряних потоків – малопотужні. Отже, для того, щоб отримати значні об'єми електроенергії за рік з однієї ВЕУ, необхідно, щоб вона мала вітроколесо значного діаметра, що не завжди просто реалізувати.

Одночасно привабливою є ідея використання ВЕУ в районах із середніми швидкостями вітру близько 5 м/с, коли постає потреба у малих потужностях (до 10 кВт) та незначних річних об'ємах енергії. Вітроколесо в цьому випадку – невелике, а тому не виникає ускладнень технічного характеру під час конструювання, виготовлення, транспортування до місця установки, монтажу та експлуатації ВЕУ. А така потреба є. Саме тому однією із специфічних особливостей структурних змін в господарстві України сьогодні, яка домінуватиме і в найближчі роки, є забезпечення відносно дешевою і якісною електроенергією дрібного товаровиробника, фермерських господарств тощо, потреби яких, як правило, не перевищують 4 – 6 кВт, шляхом впровадження ВЕУ.

Одним з основних загально визначених показників ефективності використання ВЕУ є ціна 1 кВт номінальної потужності. Відповідно до даних, наведених в [15], в період з 1988 по 1994 р. близько 100 фірм випустили до 100 тис. ВЕУ загальною вартістю 3 млрд. доларів США і сумарною потужністю 2 тис. МВт, що становить в середньому 1,5 тис. доларів за 1 кВт номінальної потужності ВЕУ. Найбільшим попитом користувалися ВЕУ, ціна яких знаходилася у межах від 900 до 1000 доларів за 1 кВт номінальної потужності. Так, в США та Данії більше 80% проданих ВЕУ мали цей показник у межах 900 доларів за 1 кВт номінальної потужності.

За даними статистики [16], для автономних ВЕУ (без агрегатів зарядного типу) питома вартість номінальної потужності дорівнює 1,4 тис. доларів за 1 кВт без врахування вартості акумулюючих та резервуючих пристроїв. Найменшу питому вартість на сучасному етапі розвитку мають ВЕУ з діаметром ВК 15-30 м (0,8–0,9 тис. доларів за 1 кВт). Питома вартість ВЕУ з діаметром ВК 5-10 м – 1,8 тис. доларів за 1 кВт. Найбільша питома вартість ВЕУ з діаметром ВК до 5 м – 3–5 тис. доларів за 1 кВт номінальної потужності. Коливання вартості 1 кВт номінальної потужності ВЕУ залежить від багатьох чинників – таких, як виготовлення, транспортування, монтаж, обслуговування ВЕУ. Тому актуальною стає задача пошуку оптимального співвідношення між ними, що означає пошук оптимального значення потужності і вартості ВЕУ.

Ще одним з основних показників ефективності використання ВЕУ є ціна 1 кВт/год виробленої нею енергії. Практика використання ВЕУ [17] показала, що розміри інвестицій на 1 кВт/год електроенергії зменшується із збільшенням потужності ВЕУ. Так, в Данії із збільшенням потужності від 150 до 200 кВт відповідний показник зменшився з 0,7 до 0,3 долара за 1 кВт/год на рік. Найефективнішими вважають ВЕУ потужністю від 150 до 500 кВт. Однак, до цього часу не вироблено рекомендацій щодо конкретних параметрів найефективнішої ВЕУ, яка б працювала паралельно з електромережею. В Данії, наприклад, вважають, що оптимальна потужність ВЕУ – 300–700 кВт, що відповідає діаметру ВК 25-45 м, а одержані в Англії результати показують, що у ВЕУ з діаметром ВК 15-30 м показники питомої вартості нижчі, ніж у більших агрегатів.

Розбіжність у результатах оцінки ВЕУ пояснюється ще й тим, що на ефективність їх роботи значною мірою впливає правильність оцінки вітропотенціалу місцевості, де будується ВЕС, та правильний вибір розрахункових параметрів ВЕУ для заданого потенціалу повітряних мас, тобто вибір економічно оптимального типорозміру ВК. Недооцінка або хибна оцінка цих факторів може призвести до різкого погіршення економічних показників ВЕУ. Так, в Каліфорнії на ВЕС Алтамонт фактичний виробіток електроенергії становив тільки 50–60% від прогнозованого, зокрема через невідповідність вибраного типорозміру ВЕУ до реального потенціалу вітру [18].

**Висновки.** На підставі проведених досліджень можна констатувати, що:

1. Проблема виробництва електроенергії в Україні за останні роки переросла в проблему економічної розбудови країни. До існуючих проблем виробництва електроенергії додається проблема відсутності достатніх об'ємів енергоносіїв, які має Україна в своєму розпорядженні. Це призводить до великих валютних витрат на їх імпорт. Уряд України прийняв Національну програму з розвитку енергетики країни, яка передбачає реконструкцію діючих об'єктів енергетики та впровадження на них прогресивних технологій.

2. Як показує світова практика, існують ефективні додаткові способи виробництва електроенергії на основі нетрадиційних відновлюваних джерел (НВДЕ), зокрема енергії вітру. Для реалізації цих намірів прийнято національні програми розвитку і використання НВДЕ, де окремим розділом виділено розвиток вітроенергетики.

3. На відміну від більшості країн Західної Європи та Америки, де потоки повітря мають середню швидкість у межах 10–14 м/с, на території України найбільшу повторюваність мають вітри зі швидкостями до 5 м/с (70–80 %). Цей та багато інших факторів, розглянутих у статті, дають змогу стверджувати, що саме тихохідні вітроенергетичні установки малої та надмалої потужності є потенційно перспективними як у техніко-економічному, так і в екологічному плані для використання автономними споживачами (наприклад, фермерськими господарствами).

1. [http://viter.com.ua/ispolzovanie\\_vetr\\_ogeneratorov-v-ukraine\\_-95.htm](http://viter.com.ua/ispolzovanie_vetr_ogeneratorov-v-ukraine_-95.htm), 2. [http://nep.crimea.ua/vetrogenerator\\_kadastr.php](http://nep.crimea.ua/vetrogenerator_kadastr.php), 3. Гос. ком. по гидрометеорологии. Украинское республиканское управление по гидрометеорологии. Научно прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Ч. 1–6, вып. 10. Украинская ССР. Книга 1. Ленинград. Гидрометеиздат. – 1990. – 420 с. 4. Швень Н.І., Петренко К.В. Оцінка вітрових ресурсів на території України, просторово-часовий аспект // Відновлювана енергетика. – 2007. – № 3. – С. 43–46. 5. Яковлев Ю. Деньги на ветер? SciTecLibrary.ru 6. [http://solarcompany.com.ua/Klassifikacija\\_vetrogeneratorov.html](http://solarcompany.com.ua/Klassifikacija_vetrogeneratorov.html), 7. <http://ist-ener.ru/tag/vetrogenerator/>, 8. Гуманицкий В.П. Научно-технические проблемы создания ветроэнергетических агрегатов // Энергетика и электрификация. – 1993. – № 4. – С. 47–49. 9. Никипенко Г.В., Коноплев Е.В. Применение ветроэнергетической установки в системах автономного электроснабжения // Альтернативная энергетика и экология. – 2007. – № 5(49). – С. 144–146. 10. Иванов Н. Ветродвижитель с машущим ротором // Наука и жизнь. – 2001. – № 1. – С. 59. Крижановський А.С. Динаміка флатерної вітронасосної установки // Вісник КМУЦА. – 1999. – № 1 – С. 72–79. 11. Кудря С.О., Головка В.М., Тучинський Б.Г., Пермінов Ю.М., Коханевич В.П., Шевченко Ю.В., 12. Шихайлов М.О., Яценко Л.В., Іванченко І.В. Розроблення ефективних методів і засобів перетворення, акумуляції та використання енергії вітру // Відновлювана енергетика. – 2007. – № 3. –

С. 35–39. 13. Нетрадиционная энергетика: Общие техн. требования. – М. : Изд-во стандартов, 2003. – IV, 8 с. 14. Гуманицкий В.П. Научно-технические проблемы создания ветроэнергетических агрегатов // Энергетика и электрификация. – 1993. – № 4. – С. 47–49. 15. Состояние и перспективы развития ветроэнергетики в Украине // Энергетика и электрификация. – 1995. – № 2. – С. 37–39. 16. Мхітарян Н.М., Кудря С.О., Щокін А.Р. Деякі аспекти подальшого розвитку об'єктів альтернативної енергетики. // Відновлювана енергетика. – 2007. – № 2. – С. 9–12. 17. Боярчук В.М., Татомир А.В. Узагальнена модель управління проектом енергозабезпечення сільськогосподарських підприємств за рахунок енергії вітру // VII Міжнар. наук.-практ. конф. "Відновлювана енергетика XXI століття": Тези доп. – Крим: МНТЦ вітроенергетики НАН України. – 2006. – С. 63. 18. Мокін Б.І. Шляхи підвищення ефективності вітроенергетичних установок в місцевостях з малою потужністю вітру // VII Міжнар. наук.-практ. конф. "Відновлювана енергетика XXI століття": Тези доп. – Крим: МНТЦ вітроенергетики НАН України, 2006. – С. 71.

УДК 539.3

О.М. Римар

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

## ОПТИМІЗАЦІЯ ОБЧИСЛЕННЯ ПАРАМЕТРІВ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ В КОНТАКТІ ДВОХ ТІЛ ПОДВІЙНОЇ КРИВИНИ

© Римар О.М., 2010

Проаналізовано напружений стан у точках площини  $z = 0$  та поверхні контакту двох тіл подвійної кривини для нового розв'язання просторової задачі. Складено програми для оптимізації обчислення головних та еквівалентних напружень за теоріями міцності та виконано такі обчислення для точок площини  $z = 0$  у повному діапазоні значень ексцентриситету еліпса поверхні контакту.

The analysis of the accomplishment of the sibelborder conditions by means of two solutions the task of the elasticity theory about the contact of two bodies of the double flexure are performed on the basis of the given calculation results. The hypothesis about the determination of the unique solution of the elasticity theory solutions by the minimum of the capacity deformation is formulated on the basis of the received results.

**Постановка проблеми.** Визначення еквівалентних напружень за відомими теоріями міцності є основним питанням будь-якої методики підвищення надійності, довговічності та несучої здатності деталей машин та агрегатів, які працюють в умовах контактного навантаження. Напружений стан точок тіла визначається нормальними осьовими  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$ , та дотичними  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{zx}$ ,  $\tau_{yz}$  напруженнями. Звідси саме визначення еквівалентних напружень передбачає громіздкість викладок. Формули для визначення нормальних та дотичних напружень певною мірою складні для обчислення та вимагають дослідження в часткових випадках та оптимізації самого процесу обчислення, який є важливою ланкою оптимізації виробничих процесів проектування нового технологічного обладнання або оптимізації геометричних параметрів існуючих конструкцій.

**Аналіз відомих досліджень.** У роботі [1] нами одержано новий розв'язок просторової задачі теорії пружності про контакт двох тіл подвійної кривини. Для точок поверхні контакту цієї задачі розв'язок виявив наявність дотичних напружень  $\tau_{xz}$  і  $\tau_{yz}$  [2, 3, 4], тобто ці точки навантажені інтенсивніше, ніж це показує відомий розв'язок [5]. Тепер з'явилася необхідність дослідити напружений стан у точках площини  $z = 0$  у межах та за межами поверхні контакту тіл.