

УДК 621.311.26

ПРОМІЖНИЙ ЕНЕРГОНОСІЙ І ОБ'ЄДНАННЯ ПОНОВЛЮВАНИХ ТА ТРАДИЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

О.І. Адаменко, докт. техн. наук, проф.,

І.О. Адаменко, інж.,

С.О. Тарнавський, О.В. Ладоренко, аспіранти

ННЦ "ІМЕСГ"

Поновлювана енергетика сьогодні — це високі тарифи на електроенергію і тисячі малопотужних фотопанелей, сонячних колекторів, вітрових установок на полях. Промислова електроенергетика пройшла такий етап розвитку за століття. В даній роботі обговорюється задача об'єднання всіх поновлюваних джерел енергії (вітру, хвиль, сонячного світла і тепла, біогазу, біомаси) в один потік, спрямований на спільний генератор.

Проблема. Поновлювані джерела енергії приходять на заміну енергії викопних палив. Найважливішою стає вітроенергетика. Планується підвищити внесок вітроенергетики до 20%, витіснити спалювання природного газу.

Розсіяна енергія повинна бути зосереджена і перетворена у інші види енергії, насамперед, у промисловий струм.

Паралельна робота вітрових агрегатів, фотоперетворювачів, акумуляторів електричної енергії з базовою енергетикою стає найважливішою технічною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основні задачі, вирішувані при об'єднанні енергетик, сформульовані в [1, 2].

1. Вітрові агрегати повинні створювати "вітрові греблі".
2. Необхідно створювати спеціальні мережі вітроагрегатів з підвищеним опором.
3. Поновлювані джерела потребують реактивної електричної енергії, електромагнітної енергії для синхронізації і додаткові джерела для покриття пікових навантажень.
4. Поновлювані джерела енергії повинні знаходити комплексне застосування.
5. Промислове застосування вітрової і сонячної енергії повинно супроводжуватися зростанням потужності вітряка, фотоперетворювача.

Мета досліджень. В цій статті автори обґрунтовують нові шляхи розвитку поновлюваної енергетики і нові способи об'єднання базової і поновлюваної енергетик.

Суть нового методу полягає у розділенні процесів збирання розсіяної енергії і перетворення її у електричну енергію. Збирання вітрової енергії на всіх частотах і швидкостях. Перетворення енергії на частоті 50 Гц. Вітрову енергію необхідно доповнювати енергією хвиль, сонячною тепловою енергією і енергією із біомас.

Для збирання поновлюваної енергії потрібно використати проміжний енергоносіє (повітря, воду, гази, рідинно — повітряні, парогазові суміші). Ставиться задача використати тепловий насос з приводом від вітрового колеса чи гідравлічного колеса “хвиляка”, використати повітряно — трубні сонячні котли і сучасні газові, парові, гідравлічні турбіни для генерування електричного струму. Генератори вітряків опустити на землю і виконати їх груповими.

Вітрова енергетика повинна включитися в існуючу базову енергетику, витісняючи викопні палива.

Результати досліджень.

1. **Вітроенергетика.** Вітроенергетика започаткована сільськими механізаторами. Український НДІ механізації та електрифікації сільського господарства у 1938 році виготовив вітрові електричні агрегати для дрейфуючої станції “Північний полюс”.

Дві задачі вирішуються у вітроенергетиці: електрозабезпечення дачних котеджів і розвиток промислової вітроенергетики.

При енергозабезпеченні котеджів використовуються вітрові колеса з діаметром до 2 м, з орієнтацією до вітру, з синхронним генератором потужністю до 5 кВт, акумуляторами, фотопанелями і інверторами. Три джерела енергії мають різні частоти і різні напруги. Вартість такого енергетичного джерела досягає значень 13000\$ за 1 кВт (фірма “Дизайн студія”, США, Поновлювана енергія. Київ 3–5/XI, 2009 р.).

При цьому вартість вишки (вежі) залежить від висоти

Висота H , м	12	21	30
Ціна, \$ США	6650	11650	16650

Потужні вітроелектричні перетворювачі енергії повинні працювати разом з енергосистемами, з базовою енергетикою.

Вітряки, включені в енергомережу, не повинні перетворюватися на вентилятори. Кожний вітряк обладнано генератором, трансформатором, роз'єднувачем, вимикачем, регулятором орієнтації. Синхронізація

досягається виведенням вітрового колеса із потоку і втратою потоків, потужність яких перевищує номінальну. Вітроагрегати ПКБ “Конкорд” (Дніпропетровськ) на потужності 0,75 МВт і 1,5 МВт розраховані на номінальну швидкість вітру $v_1=12,5$ м/с мають затрати металів 150–110 кг/кВт. Найбільш дискусійним є розміщення у вітровому колесі турбогенераторів. Один генератор замінено на 3. Лопаті розрізані по діаметру 3 м. Контактні кільця передають струм на нерухомі щітки. Підшипникові щити сприймають відцентрові сили мас роторів.

Вітрові колеса для Новоазовського вітрового комплексу спроектовані з асинхронними генераторами, збуджуваними перетворювачами частоти через обмотку ротора.

Синхронізація магнітних потоків в статорі, включеного в мережу струму стандартної частоти, і ротора, що обертається із змінною частотою, досягається за допомогою обертового поля обмотки ротора. Поле ротора може змінювати швидкість і напрям. При цьому вітрове колесо може працювати в діапазоні швидкостей вітру.

Вітрові агрегати Новоазовського вітрового комплексу (їх буде 40) більше пристосовані до роботи в енергосистемі. Проте на валу вітрового колеса розміщуються муфти, редуктори, перетворювачі частоти. Гондоли вітряків розміщені на висоті 150 м, діаметр вітрового колеса 100 м, обслуговування вітрової установки важке і дороге.

Вітрові колеса з вертикальними валами не потребують ні високих веж, ні надвеликих діаметрів. Апарати керування і перетворювачі енергії розміщені на доступній висоті.

Значно менше розробок присвячено вертикально — осевим вітроустановкам, які дозволяють побудувати “вітрові греблі” [1], займають менші земельні ділянки, забезпечують доступ для обслуговування, мають менші вежі, простіші конструкції, вищі обертові швидкості.

Наукові висновки про необхідність комплексного використання усіх поновлюваних джерел енергії, про необхідність паралельної роботи вітроагрегатів і базової енергетики [1–3] залишаються нереалізованими.

Вимоги до вітроагрегатів не конкретизовані. Прикладом цього можуть бути рекомендації об’єднувати вітроагрегати окремими мережами з великим опором [2], завдяки якому буде досягнута ізоляція від енергосистеми.

Пряме перетворення енергії вітру в електричну енергію стандартних параметрів (стабільність частоти, напруги, симетрія напруг, синусоїдальність струмів і напруг) призводить до значних втрат.

Гідроенергетика має великі резерви часу і невикористані потужності. Поновлювана енергетика повинна допомагати базовій енергетиці, замінюючи викопні палива.

2. Проміжний енергоносіє. Значне спрощення всієї системи збирання, акумулювання і перетворення поновлюваної енергії в електричну забезпечує використання проміжного енергоносія [3–7]. Проміжним енергоносієм може бути рідина, газ, суміш рідин і газів. Перетворювачами енергії служать компресори, насоси, парові і газові турбіни.

Енергія, яка переноситься повітрям, визначається рівнянням Клапейрона–Менделєєва[4]:

$$P V = \mu R T, \quad (1)$$

де P – тиск; V – об’єм; $\mu = M/m$ – мольний показник, що дорівнює масі повітря (μ , кг, т), поділеній на мольне число (μ г – молях, кг – молях, т – тонн-молях); T – температура повітря у Кельвінах $T = t^{\circ}\text{C} + 273$, $R = 8314$ Дж/кмоль·К.

Вітрові агрегати, обладнанні компресором, перетворюють кінетичну енергію вітру в потенціальну енергію стисненого повітря. Вони мають температури повітря на виході T_1 і на вході T_0 , які пов’язані наступним співвідношенням [5]:

$$T_1 = T_0 \tilde{P}^{\gamma}, \quad (2)$$

де $\gamma = (n-1)/n$, $n = 4/3$ – показник політропи; $P = P_1/P_0$.

Температури, приведені до шкали Цельсія, при $p=4$, $p=9$ і $t_p = -39$, 0 і $+30^{\circ}\text{C}$ мають значення: $t_{1(p=4)} = 67, 112, 142^{\circ}\text{C}$ і $t_{1(p=9)} = 147, 199, 247^{\circ}\text{C}$.

Сучасні мастильні матеріали і матеріали трубопроводів дозволяють використовувати тиски до 10 атм без охолодження повітря.

Україна має сприятливі умови для застосування компресорів і турбін. В Україні працюють гіганти газових турбін (Миколаїв “Зоря”), парових турбін (Харків “Енергоатом”), реактивних двигунів (Запоріжжя “Мотор-Січ”), холодильних машин (Харків і Одеса), холодильників і теплових насосів (Донецьк), компресорів (Суми і Мелітополь). В Україні розроблені гвинтові компресори потужністю до 300 кВт, роторні поршневі компресори.

3. Паралельна робота вітряків. Всі генератори базової енергетики працюють синхронно на частоті 50 Гц. Коли змінюється частота, то всі генератори одночасно змінюють свої швидкості. Вітрові генератори мають вітрові колеса, розміщені у потоках з різними швидкостями.

Потужність вітрового колеса пропорційна швидкості в степені 3. Будь-яке відхилення швидкості різко змінює потужність і роль генератора, що розміщений на валу вітрового колеса.

Систему, що має вітрове колесо з обертовим моментом M_{BK} , генератором r , компресором з моментом M_K і загальним моментом інерції J , описуємо рівнянням Даламбера:

$$J(dw/dt) = M_{BK} - M_K. \quad (3)$$

При паралельній роботі вітряків, обладнаних компресорами, кожен вітряк працює зі своєю швидкістю.

Кожен із вітряків приєднується до контуру повітря через зворотній клапан, який направляє потік газу від вітряка до збірного колектора. Контур стисненого повітря може бути розімкнутим (зворотного трубопроводу не передбачено) і замкнутим, коли відпрацьовані гази повертаються до вхідних патрубків компресорів.

Вітряк, що стоїть, надійно відключений від контуру повітря (газів).

Сумарна енергія стисненого газу

$$W = \sum_{i=1}^n W_i = \sum_{i=1}^n P_i V_i = R \sum_{i=1}^n \mu_i T_i \quad (4)$$

може бути охарактеризована параметрами середніх значень температури і тиску.

В загальну суму вноситься енергія на будь-якій швидкості вітру, здатній обернути вал вітрового колеса. Колесо, що стоїть, не потребує додаткових комутацій. Обертові частини не потребують наявності махових мас. На вежі не виносяться генератори — маховики.

4. Тепло Сонця. Г.І. Денисенко [1] розробив систему енергозабезпечення району на основі поновлюваних джерел, в якій знайшли застосування і вітер, і теплові насоси, і фотоперетворювачі. Але особлива увага приділена використанню теплоти сонячного проміння. Фотоперетворювачі використовують фотосинтетично активну енергію. Фотопанель з площею $1,275 \text{ м}^2$ виробляє 180 Вт. Потужність потоку проміння $3,1 \text{ кВт/м}^2$. В літню пору — $4,7 \text{ кВт/м}^2$. Тому увага спеціалістів до теплової енергії сонця не зменшується. Розробляються системи опалювання будинків, кондиціювання, забезпечення теплою водою.

В Австралії (Мельбурн) розроблено проект генерування електричної енергії за рахунок пари, утворюваній теплом Сонця.

Прості і дешеві пристрої для концентрування сонячної енергії можуть бути застосовані для підвищення енергії повітряного потоку, що направляється із ресивера до турбіни. Застосовують оптичну концентрацію з показником 50. Для підведення цієї енергії використані світловоди. В проміжній енергоносії сонячне тепло може бути введено

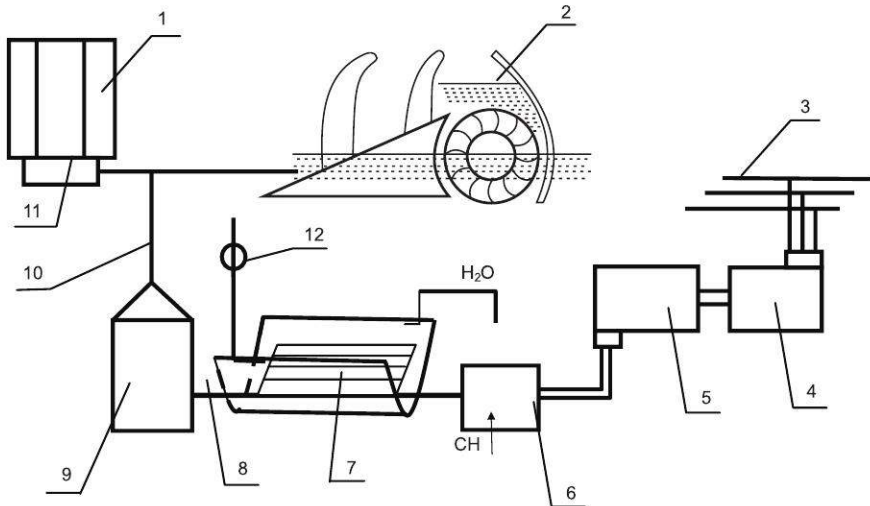


Рис. Схема включення турбогенератора: 1 — вітряк; 2 — “хвиляк”; 3 — трифазна мережа; 4 — турбогенератор; 5 — турбіна; 6 — пристрій зовнішнього спалювання біогазу і біопалив, охолоджуваний водою; 7 — сонячний повітряно-трубний котел; 8 — трубопровід; 9 — ресивер; 10 — трубчатий збірний колектор; 11 — компресор; 12 — контур подачі води в парогазовому циклі

при використанні повітряно-трубних сонячних котлів, сонячних парових котлів при послідовному чи паралельному об’єднанні потоків. Цей напрям використання теплової енергії чекає на своїх дослідників.

На рисунку приведена схема об’єднання вітрових, хвилевих і сонячних колекторів при роботі на мережу енергосистеми.

Сонячний колектор з водяними трубками нагріває і воду, що підводиться до камери спалювання газу і біогазу.

Потужний сонячний колектор перетворить воду у пару. Пара і повітря приводять у рух турбіну і турбогенератор. Сонячного тепла нема. Тоді працює котел і повітря. В топці котла можуть бути використані всі палива.

Коли є стиснене повітря і біогаз, турбіна працює на суміші: повітря, продукти горіння біогазу і пара води із сонячного колектора.

5. Генерування електричного струму і паралельна робота поновлюваної і базової енергетик. Проміжний енергоносієй дозволяє перенести електричний генератор з вітрового колеса у інше зручне для обслуговування місце, вибрати раціональне число генераторів, показники потужності, швидкості, напруги, схеми синхронізації автоматичного керування.

Схема включення турбогенератора приведена на рисунку. Ми вводимо рівняння термодинаміки процесу перетворення, користуючись законом Клапейрона–Менделєєва, беручи до уваги можливість введення в цикл додаткової енергії і додаткового енергоносія.

Вводимо в розгляд різні мольні показники μ і μ_1 , а також температури T_0, T_1, T_2, T_3, T_4 (табл.).

Важливе значення мають співвідношення перенесеної повітрям енергії до ресивера і до турбіни.

Беручи за базовий показник механічної роботи вітрових і хвильових агрегатів, одержуємо співвідношення:

$$K_1 = \frac{Q_1}{Q_{\text{мех}}} = \frac{T_1}{T_1 - T_0} = \frac{T_1}{\Delta T}; \quad (5)$$

$$K_2 = \frac{Q_{\text{тур}}}{Q_{\text{віт}}} = \frac{M'(T_3 - T_4)}{M(T_1 - T_0)}. \quad (6)$$

Ці співвідношення важливі тим, що вітрова енергія здатна накопичити в 3–5 разів більшу теплову енергію. Так, при $T_1=400\text{K}$ і $\Delta T_1=100$ маємо $K_1=4$.

Функцію теплового насоса може виконувати вітряк. Накопичена теплова енергія буде збережена у ресивері.

Співвідношення енергій турбіни і вітрового колеса має мольні показники μ і μ' і перепади температур. Це дозволяє аналізувати роботу парогазових циклів, циклів з додатковими введеннями енергій сонячного світла, біогазу та ін.

Таблиця. **Потоки енергії**

Місце визначення	Температура, К	Мольний показник	Енергія робота
1. Перед компресором вітряка	T_0	μ_T	$Q_0 = \mu RT_0$
2. Робота вітряка	$T_1 - T_0$	μ	$Q = \mu R(T_1 - T_0)$
3. Ресивер	T_1	μ	$Q = \mu RT_1$
4. Додаткові введення тепла	$T_2 - T_1$	μ'	$Q = \mu' R(T_2 - T_1)$
5. Вхід в турбіну	T_2	μ'	$Q = \mu' RT_2$
6. Робота турбіни	$T_3 - T_4$	μ'	$Q = \mu' R(T_3 - T_4)$
7. Вихід турбіни	T_4	μ'	$Q_4 = \mu' RT_4$

Якщо на шляху до турбіни будуть збережені маси ($\mu'=\mu$) і температури $T_3-T_4=T_1-T_0$, то вся енергія вітру перетвориться в електричний струм. При $T_3-T_4=4\Delta T_1$, а $\mu'=\mu$ то $K_2=4$. На турбогенератор подається енергія більша, ніж енергія вітру.

Підведена до турбогенератора енергія визначається сумою енергій вітру і повітря на вході в компресор, енергії, одержаної в повітряно-трубному сонячному котлі, енергії спалювання біогазу і рослинних залишків. Рівень відбирання визначається призначенням установки (холодильник, турбодетандер).

Турбіни повинні мати стабільну частоту обертання. Турбогенератор працює при частоті 50 Гц і напругах мереж. Первинне джерело — вітер має широкий діапазон швидкостей. Накопичення проміжного енергоносія відбувається в ресивері.

Від ресивера стиснене повітря відбирають системи опалювання, трактори, автомобілі, системи меліорації.

Технічні рішення, які будуть враховані в конкретних проектах, залежать від природних умов. На початку 2010 року в Криму, де розмішені вітряки України, швидкість вітру досягає 30 м/с, а висота хвиль $h=4$ м. Енергія хвиль і сонячне тепло не будуть використані. Потужність вітру буде використана на 1%.

6. Напрямки розвитку. Схема термодинамічного циклу, в якій початковим джерелом є вітер і хвилі, має продовження в зоні холодильних і криогенних температур. Система дозволяє введення нових джерел енергії в будь-яку точку контуру і виведення енергії при робочому тиску.

Ця обставина дозволяє підвищити економічні показники потужних теплових насосів, парових і газових турбін, роторних поршневих двигунів. Важливою задачею сьогодення є включення агрегатів вітроенергетики на паралельну роботу з атомними, тепловими і гідравлічними електростанціями. О.Г. Денисенко[2] звернув увагу на необхідність мати потужності реактивної, електромагнітної і пікової енергій. На жаль, вітроенергетика не надає ці потужності для колективного вжитку. Введення “зеленого тарифу” створює додаткові перешкоди для приєднання вітроелектричних агрегатів у енергосистему. Введення і об'єднання проміжних енергоносіїв знімає всі перешкоди. Колективний генератор вітряків і “хвиляків” завжди буде бажаним в енергосистемі. Енергія цих генераторів буде коштувати стільки, як і гідрогенераторів. Електричні мережі і апарати включення і захисту будуть у одному екземплярі. Вітрові колеса будуть без маховиків. Енергосистеми не будуть витрачати паливо для стабілізації швидкості вітрів.

Висновки.

1. Пряме перетворення вітрової, світлової енергії в електричну енергію стандартних параметрів призводить до значних втрат при накопиченні енергії і при об'єднанні на паралельну роботу.

2. Введення проміжного енергоносія у вітроенергетику дозволяє використати вітри всіх швидкостей, об'єднати на паралельну роботу вітряки. Використати енергію хвиль, сонячного тепла, біогазу і біомаси і спільний потік енергоносія перетворити в електричну енергію за допомогою групового генератора чи генератора базової енергетики.

3. Об'єднаний проміжний енергоносієв спрощує систему і підвищує перенесену енергію у 3–4 рази при використанні тепла для обігріву, меліорації і при введенні в проміжний енергоносієв тепла сонячного проміння, біогазу та ін. і перетворення її в електроенергію.

4. Проміжні енергоносії включають поновлювану енергетику в базову енергетику через гідрогенератори існуючих ГАЕС і ГЕС.

5. Об'єднання проміжних енергоносієв поновлюваної і гідравлічної енергетик дозволяє підвищити потужності малих ГЕС.

6. Вітрові агрегати створюють новий енергоносієв для мобільних і стаціонарних машин, водної, теплової і хімічної меліорацій, опалювання житла, обігріву ферм, теплиць, водоростевих фотореакторів.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Денисенко Г.И. Возобновляемые источники энергии. — К.: Вища школа, 1983. — 168 с.
2. Денисенко О.Г. та ін. Преобразование и использование ветровой энергетики. — К.: Техніка, 1992. — 176 с.
3. Соколов Е.Я., Бродянский В.М. Энергетические основы трансформации тепла и процессов охлаждения. — М.: Энергоиздат, 1981. — 320 с.
4. Елизаров А.Г. Общая теплотехника, теплоснабжение и вентиляция. — М.: Стройиздат, 1982. — 250 с.
5. Абдурашитов С.А. и др. Насосы и компрессоры. — М.: Недра, 1974. — 296 с.
6. Непорожний П.С., Обрезков В.И. Гидроэлектроэнергетика. — М.: Энергоиздат, 1982. — 304 с.
7. Адаменко І.О. Вітрова електроустановка. Патент України № 83301С2. Заявлено 10.11.2006. Надруковано 25.06.2008. Бюл. № 12.

**ПРОМЕЖУТОЧНЫЙ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЬ
И СВЯЗЫВАНИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ И ТРАДИЦИОННЫХ
ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ**

Рост вклада ветроэнергетики в энергетический баланс Украины требует уменьшения стоимости установленного киловатта и выработанного киловатт-часа. Новые возможности для достижения этого появляются, если связать базовую и

возобновляемые энергетики промежуточным энергоносителем, который позволяет использование энергии поверхностных волн, широкого спектра скоростей ветра, тепловую энергию солнечного света, биогаз и биомассы.

INTERMEDIATE KEEPER OF ENERGY AND CONNECTING OF THE RENEW AND TRADITIONAL ENERGY SOURCES

The increasing of contribution of wind power engineering in energy balance of Ukraine requires the decreasing of cost of the established kilowatt and produced kilowatt –hour. New possibility for achievement of that are appeared if basis- and renew-power engineering are connected by intermediate keeper of energy, including in the use the energy of surface wave, the big spectrum of wind velocity, thermal energy of sun light biogas and biomass.

УДК 620.92

ВДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ВІТРОУСТАНОВОК

М.І. Трегуб, канд. техн. наук

Білоцерківський НАУ

Розглянуті теоретичні та практичні методи підвищення пускового моменту та ефективного використання енергії вітру при малих швидкостях.

Проблема. На території України більша частина сільськогосподарських угідь розташована на місцевостях з середньорічною швидкістю вітру близько 4 м/с. При таких середньорічних швидкостях вітру використання вітроустановок (ВУ) вважається економічно недоцільним [1]. Однак багатовіковий досвід використання вітрових млинів на Україні спростовує такі однозначні висновки. Проте конструкції сучасних ВУ мають одноцільову структуру, тобто розраховані на якісь одні оптимальні параметри, як правило, при високих швидкостях вітру. Дво- і трилопатеві швидкохідні ротори мають низькі пускові показники (примистість [1]), тому потребують суттєвого вдосконалення при пуску в роботу при мінімальних швидкостях вітру. Одночасно для ефективнішого електромеханічного перетворення енергії необхідно розробити досконаліші конструкції вітроелектрогенераторів з меншими втратами потужності на збудження.

© М.І. Трегуб.

Механізація та електрифікація сільського господарства. Вип. 94. 2010.