

The Analysis of Problems of Exploitation of Wind-power Installations

Vitaliy Korendiy

Chair of Mechanics and Automation of Machine Building,
Lviv Polytechnic National University, UKRAINE, Lviv,
Profesorska Street 1, E-mail: vitaliy_korendiy@mail.ru

It is known that the welfare of society is indissolubly related to its power potential. Presence of energy is one of necessary conditions for the decision of any practical tasks. With development of the civilization the expense of energy, which is consumed by separate person, increases continuously. Herewith the population of our planet grows steadily. Reserves of basic power sources, got at incineration of organic fuels (coal, gas, petroleum etc.) and accumulated by nature for millions of years, are not boundless and gradually exhaust at simultaneous environmental contamination by products of their combustion.

In spite of the considerable amount of positives, a level of development of wind-power installations (WPI) in Ukraine is rather low in comparison with other countries. It is conditioned by both economic position of the state and aggregate of negative factors which arise up at building and exploitation of WPI. The process of designing of WPI is rather difficult and requiring the expenditure of much labour, so far as includes: 1) determination of location of WPI; 2) realization of technical and economical assessment of the project, which take into account a positive effect due to generating electric energy; 3) determinations of negative influence of WPI on an environment and support staff; 4) accomplishment of the project of WPI, which take into account the requirements of labour and environmental protection; 5) making the estimates of costs for building and exploitation of WPI; 6) realization of installation and adjusting of equipment; 7) selection and preparing of trained personnel etc.

The factors of negative influence of WPI can be grouped in such a manner: 1) selection of the considerable land resources; changing of constitution of superficial stratum of soil; 2) acoustic influence, background noise; 3) influences on a landscape; 4) electromagnetic radiation, obstacles for distribution of television and radio waves; a 5) influence on flora and fauna; 6) emergency situations, danger of origin of breakages; 7) meteorological and other factors (decline of speed of wind, diminishing of wind erosion of soils).

Two technical tasks appear at designing of low-speed WPI. Providing of conditions of work of electric generator during high speeds or gusts of wind with a small or absent generating power takeoff is the first task. Maintenance of power supply on condition of small speed of wind or calm is the second task.

Аналіз проблем експлуатації вітроенергетичних установок

Віталій Корендій

Кафедра механіки та автоматизації машинобудування,
Національний університет "Львівська політехніка",
УКРАЇНА, м. Львів, вул. Професорська, 1,
E-mail: vitaliy_korendiy@mail.ru

У доповіді обґрунтовано доцільність використання вітроенергетичних установок (ВЕУ) як найбільш перспективних відновлюваних джерел енергії; зроблено аналіз найбільш актуальних еколого-економічних та технічних проблем, які виникають на стадіях проектування та експлуатації ВЕУ; описано різні варіанти схем управління ВЕУ з метою забезпечення максимального коефіцієнта їх використання.

Ключові слова – вітроенергетика, негативні фактори, вітроелектрична станція (ВЕС), нетрадиційні і відновлювані джерела енергії (НВДЕ), вітроенергетична установка.

I. Вступ

Відомо, що добробут суспільства нерозривно пов'язаний з його енергетичним потенціалом. Наявність енергії – одна із необхідних умов для вирішення практично будь-яких завдань. Із розвитком цивілізації витрата енергії, яку споживає кожна окрема людина, безперервно збільшується. При цьому неухильно зростає і населення планети. Об'єми джерел основного потоку енергії, отриманого при спалюванні органічного палива (вугілля, газу, нафтопродуктів тощо), накопичених природою за мільйони років, не безмежні і поступово виснажуються при одночасному забрудненні навколишнього середовища продуктами їх згорання.

Вітер утворюється в атмосфері Землі в результаті нерівномірного нагрівання її окремих шарів сонячною енергією. Повітря циркулює також внаслідок обертання Землі. Упродовж року на планету надходить енергії в 15 тис. разів більше, ніж обсяги споживання усіма країнами світу на даний час [1]. На енергію вітру перетворюється близько 3 % енергії сонячного випромінювання, а отже, потенціал повітряних потоків приблизно у 50 разів більший, ніж сумарні енергетичні потреби людства [1]. Вітри переносять величезну енергію – $1,58 \cdot 10^{16}$ кВт·год за рік із потужністю $1,8 \cdot 10^{12}$ кВт [4]. Для прикладу, кількість сонячної енергії, яка перетворюється в біомасу Землі, в 50-100 менша, ніж та, яка акумулюється вітрами. Запаси енергії повітряних потоків більш, ніж у 100 разів перевищують запаси гідроенергії всіх рік планети [4].

Енергію вітру людина використовує здавна (паруси, вітрові млини, механізми підйому води тощо). Сучасні вітряки для виробництва електроенергії з'явилися лише в ХХ столітті. До середини минулого століття суспільству нав'язувалася думка, що вітроенергетика має вкрай малий потенціал, що вона неконкурентоспроможна, потребує великих площ, розлякує і нищить птахів, негативно впливає на людей і тварин, генеруючи інфразвук тощо. У 70-80-х роках ХХ ст. у зв'язку з виснаженням запасів

органічного палива, аваріями на атомних електростанціях, а також через екологічні причини, розпочався досить бурхливий розвиток вітроенергетики, продовження якого очікується і в майбутньому. Середньорічний приріст світової вітроенергетики становить у середньому 26–27 % і є найвищим у порівнянні з іншими джерелами енергії. За 30 років розвитку загальна потужність світової вітроенергетики зростає майже у 30 тис. разів [1].

Наприкінці XX століття почали відчутно проявлятися зміни клімату. Найпоширеніше пояснення цьому – парниковий ефект, однією з причин виникнення якого є спалювання вугілля, нафти та газу. Україна 4 лютого 2004 р. ратифікувала Кіотський протокол, головним зобов'язанням якого є зниження викидів парникових газів. Для цього усьому світу й Україні, зокрема, необхідно реалізувати гігантський потенціал енергозбереження та енергоефективності. На одній із конференцій з проблем зміни клімату представниками Європейської асоціації з вітроенергетики, Данського форуму з енергетики та розвитку і Greenpeace була запропонована програма, яка передбачає збільшення виробництва електроенергії вітростанціями до 2017 р. з досягненням цифри 844 тис. МВт, що становитиме 10 % від її загального виробництва [1].

У березні 2006 р. Кабінет Міністрів України затвердив «Енергетичну стратегію України на період до 2030 р.», згідно з якою частка ВДЕ в загальному енергопостачанні країни поступово зростатиме від 3% до 15,5 % у 2030 році [2]. Теоретичні ресурси, тобто загальна кінетична енергія вітру в межах території України, на даний час перевищують виробництво електроенергії приблизно в 150 разів, а ресурси суші, які реально можна використовувати на сучасному рівні розвитку вітротехніки, перевищують ці обсяги вдвічі [1]. Значно більші ресурси можна залучити, використовуючи вітростанції «водного базування», насамперед на морі, де вітри сильніші та стабільніші. Наприклад, лише вітровий потенціал затоки Сиваш дозволяє виробляти електроенергії в 1,5–2 рази більше, ніж сучасні обсяги її виробництва в Україні.

II. Виклад основного матеріалу

Еколого-економічні проблеми. Незважаючи на вказані позитиви, рівень розвитку вітроенергетики в Україні є досить низьким у порівнянні з іншими країнами. Це обумовлене як економічним станом держави, так і сукупністю негативних факторів, що виникають при будівництві та експлуатації ВЕС. Сам процес проектування ВЕС досить складний і трудомісткий, оскільки передбачає [2]: 1) визначення місця розташування вітроенергетичних установок; 2) проведення техніко-економічної оцінки проекту з урахуванням позитивного ефекту за рахунок генерованої електричної енергії; 3) визначення негативного впливу ВЕС на навколишнє середовище та обслуговуючий персонал; 4) виконання проекту ВЕС з урахуванням вимог охорони праці і навколишнього середовища; 5) складання кошторисів на будівництво та експлуатацію ВЕС; 6) проведення монтажу та наладки

обладнання; 7) підбір та підготовка кваліфікованого персоналу тощо.

Розглядаючи етап експлуатації ВЕС, на перший план висувуються завдання із забезпечення вимог надійності електропостачання та захисту навколишнього середовища й обслуговуючого персоналу від негативних факторів, що супроводжуються роботою вітроелектростанції. Фактори негативного впливу ВЕС можна згрупувати наступним чином [3]: 1) виділення значних земельних ресурсів, зміна властивостей поверхневих шарів ґрунту; 2) акустичний вплив, шумові ефекти; 3) вплив на ландшафт; 4) електромагнітне випромінювання, перешкоди для поширення телевізійних та радіохвиль; 5) вплив на флору та фауну; 6) аварійні ситуації, небезпека виникнення поломки; 7) метеорологічні та інші фактори (зниження швидкості вітру, зменшення вітрової ерозії ґрунтів).

Для промислових ВЕС необхідна площа із розрахунку від 5 до 15 МВт/км² у залежності від рози вітрів та рельєфу регіону [3]. Виділення таких площ у промислових районах спричинює значні труднощі, хоча частково ці території можна використовувати і для господарських потреб. Використання територій, зайнятих ВЕС, в інших цілях залежить від шумових ефектів та ступені ризику при поломках ВЕС. У великих ВЕС лопать при відриві може бути відкинута на 400–800 м [3]. Питомі капітальні витрати для будівництва малопотужних ВЕС становлять 800–1600 доларів за 1 кВт встановленої потужності і зменшуються зі збільшенням потужності установки. Термін окупності ВЕС, залежно від місцевості, забезпечення комунікаціями, номінальної потужності тощо, становить від 3 до 8 років [1].

Шум при роботі ВЕС генерується різними механічними, аеродинамічними та електромагнітними нестационарними процесами, зі змінними в часі спектральними та енергетичними параметрами. При цьому виділяють чотири типи шуму, що може утворювати вітроустановка [2]: тональний, ширококутовий, низькочастотний та імпульсний. Тональний шум – це сполучення звуків на дискретних частотах. На ВЕС він викликається, в основному, шестернями внаслідок аеродинамічної нестационарної взаємодії повітряного потоку з поверхнею лопаті, чи непостійними потоками повітря, що протікають через отвори, розрізи чи прямокутні краї лопатей. Ширококутовий – це шум, що характеризується неперервним розподіленням звукового тиску з частотами в діапазоні, більшому, ніж одна октава. На ВЕС він найчастіше викликається взаємодією лопатей з атмосферною турбулентністю (взаємодією турбулентного межового шару повітря із задньою кромкою лопаті). Низькочастотний – це шум з частотою, меншою 100 Гц. Відносно ВЕС параметри цього типу шуму головним чином залежать від взаємодії вітрового потоку з вітроколесом (утворення розріджень повітря за вітроколесом). Імпульсний – це короткі акустичні імпульси звуку, тривалістю не більше 1 с. На ВЕС цей шум викликається, в основному, взаємодією лопатей з порушеним повітряним потоком, тобто пульсаціями підйомної сили на профілях лопатей. Проблема зменшення шумів

розв'язується шляхом розташування вітроустановок на певних відстанях (до 250 м) від населених пунктів та місць відпочинку з метою забезпечення допустимого рівня шуму (40-50 дБ) [1].

Екрануючий вплив ВЕУ малої та середньої потужності на шляхи природних повітряних потоків є незначним. Такі ВЕУ використовують невеликий приземний шар рухомих повітряних мас і при цьому не більше 50 % їх кінетичної енергії. Однак, потужні ВЕС мегаватного класу можуть значно зменшувати швидкість переміщення повітря в районах їх розміщення. При цьому їх екрануюча дія може виявитися еквівалентною дії підвищень висотою порядку 100-150 м [3]. Перешкоди, викликані відбиванням електромагнітних хвиль лопатями вітрових турбін, можуть відбиватися на якості телевізійних та радіопередач, а також на працездатності різноманітних навігаційних систем у районі розміщення ВЕС. Найбільш дієві способи усунення вказаних перешкод – віддалення ВЕС на значні віддалі від комунікацій або використання ретрансляторів.

Проблеми технічного характеру. В більшості тихохідних ВЕУ потужність, яка відбирається вітроколесом з потоку повітря, фіксується на деякому сталому рівні. Якщо генерована ВЕУ енергія менша, ніж цей рівень, то перетворення не відбувається, і установка знаходиться в режимі очікування. Зважаючи на те, що швидкість постійно діючих вітрів може бути досить низькою (3-4 м/с), то номінальну потужність потрібно встановлювати на такому рівні, щоб забезпечити роботу установки в нижньому діапазоні зміни швидкостей вітру. Це забезпечує практично постійну працездатність ВЕУ, але знижує ефективність її використання на більш високих швидкостях вітру, коли потенційно можна отримати потужності більше, ніж встановлений рівень. З іншого боку, підвищення рівня потужності може бути обмежене максимальними струмами заряду накопичувальних елементів (аккумуляторів), і призвести до недовикористання установки при низьких швидкостях вітру. Іншими словами, при проектуванні автономної тихохідної ВЕУ постають два завдання. По-перше, забезпечення умов роботи електричного генератора під час великих швидкостей або поривах вітру водночас з малим або відсутнім відбором генерованої потужності. По-друге, підтримання енергозабезпечення за умов малої швидкості вітру або шторму [5].

Розглянемо два варіанти розв'язання цих проблем. Перший із них полягає у тому, що їх можна розв'язати комплексно, використовуючи у ланці передачі потужності від вітроколеса до споживача контур зворотного зв'язку з елементом регулювання зворотного перенаправлення потужності та аккумулятора електричної енергії. Кількість потужності, відібраної від повітряного потоку для збереження загального балансу потужності здійснюється за допомогою пружинного регулятора, який змінює кут повороту лопатей вітроколеса відносно напрямку вітру. Структурна схема ВЕУ з електродинамічним гальмом і пружинним регулятором вітроколеса зображена на рис. 1 [5].

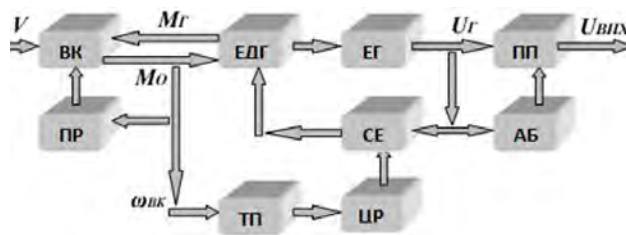


Рис. 1. Структурна схема ВЕУ.

На структурній схемі вітровий потік зі швидкістю V діє на вітроколесо ВК. Обертовий момент M_0 через вал електродинамічного гальма ЕДГ передається на електричний генератор ЕГ. Вироблена електрична енергія проміжним перетворювачем ПП формується у якісну синусоїдну напругу $U_{вих}$, що передається споживачам. Невелика надлишкова потужність використовується для заряджання акумуляторної батареї АБ, яка за відсутності генерованої потужності створює резервне енергозабезпечення. Під час порушення балансу потужності, що проявляється у перевищенні норми вихідної напруги U_G електричного генератора ЕГ або у перевищенні розрахункової швидкості обертання $\omega_{вк}$ вітроколеса ВК з тахоперетворювача ТП та вихідних виводів електричного генератора ЕГ, на центральний регулятор ЦР надходять сигнали. Центральний регулятор ЦР виробляє керуючий сигнал для силового елемента СЕ, який частину вихідної потужності електричного генератора ЕГ передає електродинамічному гальму ЕДГ. Електродинамічне гальмо ЕДГ створює додатковий гальмівний момент M_G на валу вітроколеса ВК, стабілізуючи швидкість його обертання за рахунок розвертання лопатей супроти опору елементів пружинного регулятора ПР.

У другому варіанті для підвищення ефективності використання генерованої потужності пропонується використовувати систему управління перетворювачем зі змінним рівнем потужності, яку може забезпечити ВЕУ на певний момент. Пропонована система використовується для ВЕУ без системи механічної стабілізації швидкості (як у першому варіанті). В даному випадку перед системою управління покладена задача передавання в мережу такої потужності, яку в даний момент може реалізувати вітрогенератор, і таким чином забезпечити максимальний коефіцієнт використання ВЕУ. Структурна схема такої системи подана на рис. 2 [6].

Вона складається власне із генератора, стабілізатора та інвертора. Для нормальної роботи інвертора на його вході необхідно підтримувати постійну за величиною напругу $U_{ст}$ з точністю до 5 % та задавати потужність P_3 , що віддається в мережу, яка під'єднана до виходу інвертора. Саме стабілізатор повинен забезпечувати постійну вихідну напругу при зміні в широких межах вхідної напруги U_G від генератора. Частота обертання генератора, яка передається йому від валу вітроколеса через мультиплікатор, а отже і напруга U_G змінюється в залежності від швидкості повітряних потоків. В такому випадку стабілізатор повинен мати можливість як підвищувати, так і понижувати вхідну напругу, тобто системі управління

необхідно забезпечувати два режими: підвищення або пониження, коли напруга на вході стабілізатора, відповідно, менша або більша, ніж напруга стабілізації.



Рис. 2. Структурна схема системи управління ВЕУ

Силову частину стабілізатора з урахуванням вказаних вимог можна виготовляти за безтрансформаторною схемою з однією загальною індуктивністю. Функціональна схема силової частини стабілізатора напруги для ВЕУ подана на рис. 3 [6]. У першому режимі, коли ключ К1 замкнутий, а ключ К2 працює із певною шпаруватістю, утворюється так звана бустерна схема. При цьому, коли ключ К2 замкнений, напруга на вході стабілізатора прикладається до індуктивності L1, запасуючи в ній енергію. Коли ключ К2 розмикається, в індуктивності виникає ЕРС самоіндукції, яка сумується із напругою на вході стабілізатора. Таким чином на виході стабілізатора отримується напруга вища, ніж на вході. У другому випадку, коли ключ К2 розімкнутий, а ключ К1 працює з певною шпаруватістю, утворюється так звана чоперна схема пониження. Індуктивність разом із вихідною ємністю С2 виконує роль фільтра. Величина шпаруватості та частота комутації, з якою працюють ключі у кожному з режимів, визначається схемою управління.

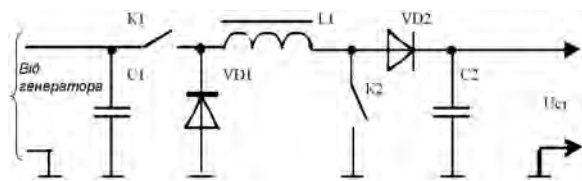


Рис. 3. Функціональна схема силової частини стабілізатора ВЕУ

Для визначення енергетичних показників ВЕУ стабілізатор оцінює вхідну напругу у відповідності з закладеною функцією, що являє собою залежність допустимої потужності $P_{\text{з}}$ від вхідної напруги $U_{\text{Г}}$ при заданій геометрії вітроколеса (параметри лопатей, кут атаки тощо), і задає потужність $P_{\text{з}}$, яка віддається інвертором у мережу. Разом із заданням $P_{\text{з}}$ для інвертора стабілізатор формує струмообмеження, яке не перевищує максимальну силу струму, що може віддати генератор з метою максимального використання установки, але не перевантажити її, оскільки це призведе до різкого зменшення частоти обертання вітроколеса та його зупинки.

Висновок

Сьогодні держава не приділяє належної уваги розвитку вітроенергетики. В Україні близько 30 тис. населених пунктів у сільській місцевості. Якби в

кожному з них побудували лише по одному вітроагрегату, потужністю 1 кВт, то отримали б встановлену потужність вітроенергетичного комплексу близько 30 МВт. У деяких випадках, механічна енергія вітру може бути використана і без перетворення в електричну. Вітродвигун може бути конструктивно пристосований для роботи з насосом, архімедовим гвинтом, компресором, перетворювачем механічної енергії в теплову тощо. Наприклад, вітродвигун потужністю 11 кВт може зрошувати за сезон понад 15-20 гектарів угідь. І досягнути цього можна без застосування електроенергії та значних матеріальних затрат. Задача визначення можливості застосування вітроенергетичних установок на відкритих сільськогосподарських просторах, які залишені без інших постійних джерел енергії, є досить привабливою та актуальною. У господарстві будь-якої країни, особливо у сільськогосподарських районах, надзвичайно необхідні сотні тисяч таких ВЕУ, які б вирізнялися простотою конструкції, були невибагливі до якості вітрового потоку, дешеві в обслуговуванні та надійні в експлуатації, являлись придатними до тиражування за короткі терміни в умовах найпростішого виробництва і вартість яких була б прийнятною для будь-якого звичайного покупця: багаточисельних фермерських господарств чи приватних власників дачних ділянок.

Література

- [1] Крижанівський О.В., Бережна Ю.В., Левченко О.В., Гижко Н.В. Енергоефективні технології в сільській місцевості. Методичні рекомендації, – Вінниця, 2009. – 136 с.
- [2] Я.О. Серіков, О.М. Пархоменко. Вітроенергетика. Перспективи та проблеми розвитку // Світлотехніка та електроенергетика. 2010. № 1. С. 66-70.
- [3] Агеев В.А. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Курс лекций, – Москва, 2004. – 136 с.
- [4] В.М. Солодовниченко, Ю.В. Солодовниченко, И.А. Шатохина. Основные проблемы создания ветроэнергетических установок // Вестник ХНТУ. 2009. № 3. С. 116-121.
- [5] Корендій В. Аналіз проблем експлуатації та ефективності роботи тихохідної вітроенергетичної установки // 68-ма студентська науково-технічна конференція: Збірник тез доповідей. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2011. – С. 108-109.
- [6] Е.А. Смотров, В.Д. Вершинин, М.В. Гулый. Повышение эффективности использования энергии ветра в маломощных ВЭУ // Електромашинобудування та електрообладнання. 2005. № 64. С. 5-9.