

УДК 621.548

ІСТОРІЯ І СУЧАСНИЙ СТАН ВИКОРИСТАННЯ ТИХОХІДНИХ БАГАТОЛОПАТЕВИХ ВІТРОУСТАНОВОК У СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ

Корендій В.М

Національний університет «Львівська політехніка»

Розглянуто історичні аспекти та сучасний стан розвитку вітроенергетики на території України, обґрунтовано доцільність використання багатолопатевиx вітроустановок малої потужності у сільському господарстві, запропоновано механізм регулювання потужності та стабілізації частоти обертання тихохідного вітроколеса.

Historical aspects and modern development state of wind-power engineering on the territory of Ukraine are considered, the expediency of usage of multiblade wind turbines of small power in agriculture is substantiated, the mechanism of power regulation and rotation frequency stabilization of low-speed wind-wheel is offered.

Постановка проблеми

Енергія вітру здавна використовувалася людиною. Відомо, що вітряки понад 200 р. до н.е. працювали у Персії і ще раніше застосовувалися у Китаї та Єгипті. До 1917 року практично у кожному другому українському селі працював вітряк. Першу вітрову електростанцію потужністю 100 кВт було споруджено у Криму ще в 1931 році. У наш час великі здобутки у розвитку вітроенергетики мають Німеччина, Данія, США, Канада, Нідерланди, Китай та інші країни. Енергетична криза 70-х років минулого століття й усвідомлення наслідків Чорнобильської катастрофи і зовсім нещодавніх подій на атомних станціях у Японії підштовхнули світове товариство до пришвидшеного розвитку та якнайширшого використання нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії, частка яких до 2020 року в загальному енергопостачанні повинна перевищити 20% [1]. При цьому, за підрахунками вчених, загальний світовий енергетичний потенціал лише вітру приблизно у 30 разів перевищує річне споживання енергії людством.

Потреби і можливості розвитку вітроенергетики в Україні зумовлені наступними чинниками: дефіцитом та поступовим виснаженням традиційних паливно-енергетичних ресурсів; дисбалансом у розвитку енергетичного комплексу, орієнтованого на централізоване електро- і теплопостачання та значне (понад 40%) виробництво енергії на АЕС. При цьому практично відсутні власне виробництво ядерного палива, технології його утилізації і переробки відходів, підприємства для модернізації устаткування діючих АЕС; наявністю науково-технічної і промислової бази, придатної для виробництва майже усього комплексу вітроенергетичного устаткування; сприятливими клімато-метеорологічними умовами для використання енергії вітру.

Саме тому енергетична стратегія України на період до 2030 року передбачає значне зростання частки використання нетрадиційних енергоресурсів, економію викопних видів палива і зменшення негативного впливу енергетики на довкілля. З цією метою необхідно удосконалювати теоретичну й експериментальну бази для дослідження й

удосконалення конструкцій і технологій застосування вітроенергетичного обладнання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питання розвитку і якнайширшого використання альтернативних джерел енергії є досить актуальними на даний час. Недаремно їм присвячена численна наукова література. В роботі [1] розглянуто конструктивні особливості вітроенергетичних установок, доведено важливість розвитку альтернативних джерел енергії для зростання економіки України, подано техніко-економічне та екологічне обґрунтування доцільності використання енергії повітряних потоків. У статті [2] розглянуто історичний процес становлення та розвитку вітроустановок, у [3] – описано перспективи використання тихохідних вітроустановок малої потужності, у [4] – проаналізовано енергетичні проблеми людства, шляхи їх вирішення, сучасний стан та перспективи розвитку вітроенергетики, у [5] – розглянуто передумови використання енергії відновлюваних джерел та конструкції «малих» вітроустановок, у [6] – проаналізовано можливості їх використання для потреб сільського господарства і промисловості. Однак, варто було б узагальнити набуті на даний час відомості про тихохідні вітроустановки та довести доцільність їх подальшого розвитку і якнайширшого використання.

Мета роботи

Обґрунтувати актуальність розвитку «малої» вітроенергетики в Україні шляхом аналізу історичних аспектів її становлення та сучасних напрямків використання у сільському господарстві.

Минуле і сьогодення вітроенергетики в Україні

В Україні у 1917 році налічувалося від 20 до 30 тисяч вітряків, які виробляли близько 200 тисяч кВт·год енергії в рік. Поступово до 1955 року їх кількість зменшилася до 8500 із загальною потужністю дещо вищою, ніж 7 МВт. У середині 60-х років минулого століття у сільському господарстві експлуатувалося всього кілька сотень вітрових енергетичних установок із встановленою середньою потужністю близько 4 кВт, здебільшого для водопостачання, виробництва електроенергії та перемелювання зерна. До 1982 їх кількість скоротилася до 15 із виробітком електроенергії близько 10 тисяч кВт·год, що свідчить про майже повний занепад у вітроенергетичній галузі. На даний час в Україні налічується понад 10 вітроенергетичних станцій великої потужності (Аджигольська, Миронівська, Воробіївська, Донузлавська, Трускавецька, Новоазовська, Чорноморська, Євпаторійська та інші) [4]. Частина їх уже зупинені, зважаючи на застарілість і спрацьованість обладнання. Частка вітроенергетики у загальному електропостачанні нашої держави не перевищує 5%, хоча річний потенціал вітрових потоків на її території в десятки або й сотні разів більший (близько 30 мільярдів кВт·год). Хоча в Україні й прийнята комплексна програма будівництва вітрових електростанцій, в якій окреслено першочергові заходи з розвитку вітроенергетики, все ж на даний час темпи виготовлення й встановлення вітроустановок зовсім не задовольняють потреби країни, зважаючи навіть на значну кількість підприємств-виробників обладнання («Вінденерго», Державне конструкторське бюро «Південня», «Крименерго», ПФГ «Конкорд», «Альтекс», «ЕСО», «Світ вітру» тощо). Наприклад, потреба у вітроустановках малої потужності сягає 176 тисяч одиниць для виробництва

електроенергії і 60 тисяч вітромеханічних установок [5].

Теоретичні ресурси, тобто загальна кінетична енергія повітряних потоків у межах території України, перевищують виробництво електроенергії на даний час приблизно у 150 разів, а ресурси суші, які реально можна використовувати на сучасному рівні розвитку вітротехніки, перевищують ці обсяги вдвічі. Значно більші ресурси можливо залучити, використовуючи вітроустановки «водного базування» (офшорні), насамперед на морі. Наприклад, лише вітровий потенціал затоки Сиваш дозволяє виробляти електроенергії в 1,5-2 рази більше, ніж сучасні обсяги її виробництва в Україні [1, 6].

В умовах України за допомогою вітроустановок на даному етапі їх розвитку потенційно можливим є використання 15-19% енергії повітряних потоків. Приблизні обсяги виробництва електроенергії з 1 м² площі вітроколеса у перспективних районах становлять 800-1000 кВт·год/м² за рік [4].

Застосування вітроустановок для виробництва електроенергії у промислових масштабах найбільш ефективні в регіонах України, де середньорічна швидкість вітру перевищує 5 м/с, тобто на Азовсько-Чорноморському узбережжі, в Одеській, Херсонській, Запорізькій, Донецькій, Луганській, Миколаївській областях та в районі Карпат [4]. При цьому експлуатації тихохідних багатолопатевих вітроустановок з підвищеним обертальним моментом для безпосереднього механічного приводу більшості сільськогосподарських машин (перемелювання зерна, системи водопостачання та зрошування, подрібнення кормів, розпилювання деревини, вентиляція складських та підвальних приміщень тощо) є ефективною практично на всій території України.

Вітроенергетика України набула достатнього досвіду проектування, виробництва й експлуатації вітроенергетичних установок, зважаючи на досить високий рівень науково-технічного потенціалу та розвинену виробничу базу. Останнім часом на розвитку вітроенергетичного сектору позначається державна підтримка, що забезпечує реалізацію ініціатив щодо удосконалення законодавства, структури керування, створення вигідних умов для внутрішніх і зовнішніх інвесторів.

Основні аспекти розвитку «малої» вітроенергетики

Гостру нестачу енергії постійно відчувають фермери, садівники, геологи, тваринники тощо. Близько 30% фермерських господарств і 20% садово-городніх ділянок взагалі не підключені до електричних мереж. Будівництво нових ліній електропередач для постачання віддалених ізольованих споживачів є досить вартісним і довготривалим процесом. Тим часом, за підрахунками експертів, середнє споживання електроенергії сільськими мешканцями, до яких, принаймні в літній період, частково можна віднести і власників дачних ділянок становить 115 кВт на місяць [6]. Ця цифра складається з вимог забезпечення так званого «інтелектуального побуту»: освітлення, радіо, телебачення, холодильник, дрібні електроінструменти, комп'ютер, праска, пральна машина тощо. Взимку енергії потрібно набагато більше, оскільки будинок необхідно опалювати.

Сучасні вітроенергетичні вітроустановки поділяються на два класи: великої потужності (в сотні й тисячі кіловат), які називають мережевими і за безвітряної погоди забезпечують споживача енергією за рахунок зовнішньої (загальної) мережі, та малої потужності (до 30 кВт), або автономні, які можуть працювати як самостійно, так і в комбінованих вітро-дизельних, вітро-гідро- чи вітро-геліо-установках із застосуванням акумуляторів

(накопичувачів) енергії.

Вітроустановки малої потужності прості й дешеві в монтажі, експлуатації (обслуговуванні й ремонті), екологічно чисті (порівняно з традиційними джерелами енергії). Автономність їх роботи не передбачає практично жодного обслуговування чи періодичного налаштування. Таким комплексним набором переваг не володіє жодний клас відновлюваних джерел енергії. При цьому багатолопатеві вітроустановки малої потужності здатні забезпечувати енергопостачання в регіонах із середньою швидкістю вітру в межах 3-5 м/с, що дозволяє власнику такої установки (особливо у сільській місцевості) заощаджувати понад 50% витрат на енергоносії [1].

Немає жодної необхідності створювати нові потужні вітряки величезних розмірів. Перехід в енергетичну область середньої і великої потужності (понад 100 кВт) досить легко здійснити шляхом створення енергетичних комплексів, що складаються з декількох вітроустановок (до 5-10 одиниць). При цьому вартість виготовлення такого комплексу, порівняно з вартістю вітряка значно більших розмірів, знижується в 3-4 рази [6]. Такі енергетичні комплекси у комбінації з іншими відновлюваними джерелами енергії здатні повністю забезпечити енергією не тільки велике фермерське господарство, але й невелике селище, куди лінії електропередач не проведені або гранично зношені. Також вітроустановки малої потужності практично не мають альтернативи у розв'язанні проблем забезпечення енергією найрізноманітніших автономних станцій: навігаційних, радіорелейних, метеорологічних, обслуговуючих нафтогазопроводи, віддалених військових об'єктів, портів тощо.

Термін окупності вітроенергетичної установки, залежно від місця розташування, комунікацій, потужності, становить 3-8 років, тоді як період експлуатації може сягати 20 років. Питомі капітальні витрати на будівництво установок малої потужності для різних потреб (виробництво електроенергії, системи подачі води тощо) становлять 800-2000 доларів за 1 кВт встановленої потужності і зменшуються зі збільшенням потужності установки [1]. Терміни будівництва – приблизно у 3-5 разів менші, ніж для аналогічних установок традиційної енергетики.

Історія і сучасні напрямки використання багатолопатевих вітроустановок малої потужності у сільському господарстві

Виникнення борошномельного виробництва у найпримітивнішому вигляді датується VI-IV тисячоліттям до нашої ери, тобто епохою нового кам'яного віку. Подрібнення зерен у ті часи відбувалося за допомогою двох каменів. Згодом почали використовувати кам'яні ступки, у яких зерна товкли важким товкачем. У міру розвитку людство зрозуміло, що розтирати зерна легше, ніж товкти, і таким чином виникли примітивні жорна. З плином часу попит на борошно підвищувався, що спричиняло різке збільшення каменів для тертя зерна та залучення щораз більшої фізичної сили для їх приводу в рух, тому близько III століття до нашої ери люди почали використовувати тварин (коней, ослів), а згодом і такі джерела енергії, як вода і вітер.

Найпростіші вітрові млини з'явилися в Китаї у II-I століттях до нашої ери і до VIII-IX століття почали широко використовуватися у Київській Русі та Європі. Спочатку вони мали вертикальну вісь обертання, а згодом у Середземномор'ї була розроблена горизонтально-осьова вітроустановка. Перші вітрові млини володіли досить низьким коефіцієнтом корисної

дії, оскільки використовували ефект різниці тисків на поверхнях лопатей по обидва боки від осі. Згодом горизонтально-осьові вітроустановки почали працювати за рахунок ефекту підйомної сили.

Використовуючи вітроустановки для перемелювання зерна, люди зрозуміли, що їх можна застосовувати для виконання будь-якої іншої роботи. Проблема полягала лише в тому, щоб передавати обертальний момент від валу вітроколеса до валу машини-споживача, або за допомогою спеціальних технічних пристроїв перетворювати його обертовий рух у прямолінійний і зворотно-поступальний рух робочого органу. Найбільш широкого розповсюдження вітрові установки отримали в Голландії, де їх використовували з X-XI століття для осушування сільськогосподарських територій. Спочатку будували земляні дамби, які відокремлювали мілководну ділянку моря, а потім за допомогою примітивних вітронасосних установок відкачували воду. У 1582 році в Голландії була збудована перша масло-збивальна машина, а в 1586 – паперова фабрика, які використовували в якості механічного приводу вітроколеса [2]. Також у XVI столітті вітроустановки почали масово використовуватися на лісопилних заводах.

Перша вітростанція промислового типу для виробництва електроенергії була побудована у США в місті Клівленд (штат Огайо) у 1888 році Чарльзом Брашем. Ця багатолопатева конструкція номінальною потужністю 12 кВт пропрацювала майже 20 років, успішно довівши перспективність даного напрямку енергетики та ставши для конструкторів робочою моделлю для виробництва більш досконалих установок [2]. У XIX столітті у США було збудовано понад 6 мільйонів «малих» вітроустановок для виробництва електроенергії та виконання механічної роботи. Для підймання води переважно використовувалися горизонтально-осьові багатолопатеві вітроколеса діаметром до 5 м з механізмами орієнтації за напрямком вітру. Такі установки були здатні викачувати до 160 л води щохвилини із глибини до 7 м [2].

Із початку XX століття і до даного часу більшість зусиль вчених і дослідників у галузі вітроенергетики зосереджені на розробках установок перш за все для виробництва електроенергії. При цьому залишають поза увагою багато інших перспективних напрямків, таких як безпосередній механічний привід різноманітних машин, що вимагають відносно низької частоти обертання привідного валу та великих обертальних моментів. До таких машин можна віднести шнекові і транспортерні механізми, гідравлічні та пневматичні насоси, системи вентиляції приміщень, різання кормів тощо. При цьому значно спрощується конструкція вітроустановок, зникає необхідність у дорогих і технічно складних редукторах, а завдяки низькій частоті обертання покращуються екологічні показники роботи (шумність, інфра-, ультразвук, вібрації, небезпека для птахів тощо) та знижуються вимоги до технологічності виготовлення окремих вузлів і агрегатів (лопатей, маточин тощо).

В більшості тихохідних вітроустановок потужність, яка відбирається вітроколесом з потоку повітря, фіксується на деякому сталому рівні. Якщо генерована 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 (2-4 м/с), то номінальну потужність потрібно встановлювати на такому рівні, щоб забезпечити роботу установки в нижньому діапазоні зміни швидкостей вітру. Це забезпечує практично постійну її працездатність, але понижує ефективність 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 (акумуляторів), і призвести до недовикористання установки при низьких швидкостях вітру. Іншими словами, при проектуванні автономної тихохідної вітроустановки 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 умови малої швидкості вітру або штилю.

Для розв'язання цих проблем можуть застосовуватися два варіанти. У першому варіанті для підвищення ефективності використання генерованої потужності пропонується використовувати систему управління перетворювачем зі змінним рівнем потужності, яку може забезпечити вітроустановка на певний момент. Даний спосіб досить складний у виконанні і вимагає значних матеріальних затрат, хоча й дещо ефективніший. Другий метод набагато простіший, дешевший і з достатньою ефективністю може використовуватися для установок усіх типів. Він полягає у використанні в ланці передачі потужності від вітроколеса до споживача контура зворотного зв'язку з елементом регулювання зворотного перенаправлення потужності та акумулятора електричної (механічної) 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 вітроенергетичної установки з електродинамічним гальмом і пружинним регулятором повороту лопатей зображена на рис. 1 [3].

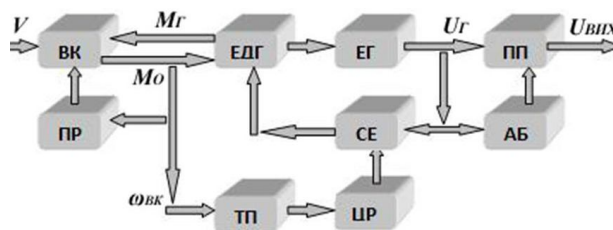


Рис. 1. Структурна схема ВЕУ

Як показано на структурній схемі, вітровий потік зі швидкістю V діє на вітроколесо ВК. Обертовий момент M_O 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_r електричного генератора ЕГ або у перевищенні розрахункової швидкості обертання ω_{BK} 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 елементу СЕ, який частину вихідної потужності електричного генератора ЕГ передає електродинамічному гальму ЕДГ. Електродинамічне гальмо ЕДГ створює додатковий гальмівний момент M_r на валу вітроколеса ВК, стабілізуючи швидкість його обертання за рахунок розвертання лопатей супроти опору елементів пружинного регулятора ПР [3]. Таким чином вдається оптимізувати відбір потужності з повітряного

потоків в залежності від потреб споживача і водночас забезпечити відносну стабільність частоти обертання вітроколеса, оскільки більшість машин і механізмів найбільш ефективно працюють у конкретних проміжках зміни кутової швидкості привідного валу.

Висновки

Енергоспоживання у світі різко зростає, тоді як запаси викопних паливних ресурсів поступово виснажуються і, за прогнозами експертів, їх вистачить не довше, ніж на 100 років. Альтернативою органічному паливу можуть стати відновлювані джерела енергії, зокрема вітер, енергетичного потенціалу якого вистачить для забезпечення потреб навіть восьмимільярдного населення планети. Незважаючи на суттєвий прогрес у створенні вітротехніки та значні потреби у «малих» вітроустановках, до цього часу в Україні їх серійний випуск практично відсутній. При цьому, аналізуючи історичні аспекти розвитку вітротехніки, бачимо, що процес її становлення був тісно пов'язаний із розвитком суспільства, яке постійно намагалося удосконалювати знаряддя своєї праці для зменшення затрат власної енергії. Тому слід задуматися, чи варто занедбувати тисячолітні досягнення у вітроенергетиці. Можливо доцільніше вкладати хоча б незначні матеріальні ресурси для удосконалення існуючих конструкцій вітроустановок та технологій використання енергії повітряних потоків, аніж виснажувати запаси органічного палива та жити в постійній небезпеці з атомними електростанціями, прирікаючи планету на безповоротні екологічні зміни.

Щодо можливостей використання вітроустановок у сільському господарстві, то сприятливою для цього є практично вся територія України. І потреба на тихохідні багатолопатеві вітроустановки малої потужності, які можуть ефективно використовуватися не лише для виробництва електроенергії, але й для безпосереднього механічного приводу машин і механізмів різного призначення: підйом води, зрошування угідь, порізка кормів, перемелювання зерна, заготівля деревини, вентилявання складських і підвальних приміщень тощо, з боку сільського населення, фермерів і дачників є досить значною.

Література

1. Кузьо І.В. Обґрунтування розвитку вітроенергетичних установок малої та надмалої потужності / І.В. Кузьо, В.М. Корендій // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – 2010. – № 679. – С. 61-68. – Режим доступу до електронного ресурсу:
http://korwind.ucoz.ua/load/korendij_v_m_obgruntuвання_rozvitku_vitroenergetichnikh_ustanovok_maloji_ta_nadmaloji_potuzhnosti/1-1-0-2.
2. Лижичка Б.М. Нетрадиційні джерела енергії (вітрові двигуни) / Б.М. Лижичка // Фізика і хімія твердого тіла. – 2006. – Т. 7, № 2. – С. 386-389.
3. Корендій В.М. Перспективи використання тихохідних вітроенергетичних установок малої та надмалої потужності / В.М. Корендій // Енергетика та системи керування 2011: 3-я міжнародна наукова конференція студентів, аспірантів та молодих вчених, 24-26 листопада 2011 р.: тези доповідей. – Львів, НУ«ЛП», 2011. – С. 32-35. – Режим доступу до електронного ресурсу:
http://korwind.ucoz.ua/load/publikacii_v_materialakh_konferencij/perspektivi_vikoristannja_tikhokhidnikh_vitroenergietichnikh_ustanovok_maloji_ta_nadmaloji_potuzhnosti/2-1-0-15.
4. Поліщук В.М. Сучасний стан та перспективи розвитку вітроенергетики / В.М. Поліщук // Науковий вісник НУБіП України. – 2010. – Вип. 144 (4). – С. 360-369.
5. Легошин Д.В. Перспективи розвитку малої вітроенергетики в Україні / Д.В. Легошин // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – 2008. – Вип. 39. – С. 265-269.
6. Корендій В.М. Можливості застосування тихохідних горизонтально-осьових вітроустановок малої

*потужності / В.М. Корендій // Світлотехніка й електроенергетика: історія, проблеми, перспективи: 4-а Міжнародна науково-технічна конференція, 24-26 квітня 2012 р.: матеріали конференції. – Тернопіль, ТНТУ ім. І. Пулюя, 2012. – С. 100-103. – Режим доступу до електронного ресурсу:
http://korwind.ucoz.ua/load/publikaciji_v_materialakh_konferencij/mozhlivosti_zastosuvannja_tikhokhidnikh_gorizont_alno_osovikh_vitroustanovok_maloji_potuzhnosti/2-1-0-16*