

УДК 621.311.245:711.438

АНАЛІЗ СТАНУ ГІБРИДНИХ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК ТА ЇХ ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

В. В. Коробський, кандидат технічних наук, доцент

А. В. Проскура, студент магістратури

Національний університет біоресурсів і природокористування України

E-mail: kor.vladlen.2002@gmail.com

Анотація. Здійснено аналіз забезпеченості вітроенергетичних установок (ВЕУ) малої потужності електропостачання різноманітних споживачів з урахуванням встановленої потужності та віддаленості. Розглянуто доцільність застосування деяких конструкційних рішень вітроенергетичних установок (ВЕУ) з горизонтальною віссю обертання, що входять в обмеження потужності до 20 кВт.

Виявлено, що гібридні ВЕУ малої потужності, які укомплектовані акумулюючими пристроями, є найбільш придатним варіантом забезпечення електропостачання споживачів, де в радіусі 20 км відсутня централізована електромережа. Зазначено, що найбільш доцільними для застосування є синхронні генератори змінного струму перед асинхронним чи генераторами постійного струму.

Розглянуто два технічні рішення функціонування ВЕУ, одному з яких поєднується традиційне застосування установки зі споживачем; а в іншому – з'єднання ВЕУ із електроспоживачем з використанням сонячних панелей, акумуляторної батареї та інвертора напруги. Зазначено, що обидві мають свої переваги і недоліки застосування на практиці, а також те, що особливістю електромеханічної системи вітроустановок є непрогнозоване і некероване надходження первинної енергії стохастичного повітряного потоку, яке призводить до коливання вихідних параметрів (напруги і частоти струму). Тому для усунення цього недоліку і гарантованого електрозабезпечення споживачів вироблена генератором електроенергія використовуватиметься для заряду акумуляторної батареї.

Зазначено, що недоліки традиційних ВЕУ створюють суттєве протиріччя, яке полягає у виникненні потреби підвищення їх енергоефективності функціонування, шляхом удосконалення традиційної конструкції, з одного боку, та неспроможності існуючих ВЕУ забезпечити таке підвищення, з іншого боку. У такому випадку найбільш раціональним рішенням може бути застосування конструкції ВЕУ с сонячними панелями, що забезпечить можливість функціонування ВЕУ у безвітряний період та ефективного регулювання корисним електричним навантаженням при збільшенні швидкості вітру з використанням акумульованої енергії для живлення струмоприймачів.

При проведенні досліджень в області вітроенергетики часто буває необхідно використовувати різноманітні моделі. Математична модель описує реальний об'єкт лише з деякою мірою наближення (деталізації). При цьому вигляд моделі залежить як від природи досліджуваного об'єкту, так і від завдань дослідження, методики моделювання, необхідної точності опису об'єкту.

У дослідженні пропонується імітаційна модель вітроенергетичної установки (BEU) в програмному додатку Simulink для оцінки генерованої потужності. Отримані залежності розрахункової потужності BEU від швидкості вітру при трьох різних радіусах вітроколеса.

Ключові слова: *вітроенергетична установка, споживач, встановлена потужність, поновлювальні джерела енергії, швидкість вітру, імітаційне моделювання, вітродвигун, акумуляторна батарея, генератор, інвертор напруги*

Актуальність. Нині значна увага приділяється розвитку поновлюваних джерел енергії. У першу чергу це пов'язано з підвищенням цін на органічне паливо, погіршенням екологічної обстановки, появою нових технологій в області нетрадиційних поновлюваних джерел енергії. Сучасні тенденції розвитку сільського господарства України спрямовані на підвищення ефективності постачання фермерських та селянських господарств електричною енергією. При цьому, виходячи із умов економічної доцільності та екологічної безпеки, особливо для місцевостей, віддалених від централізованих електричних мереж та систем енергопостачання, установки для забезпечення споживачів електричною енергією повинні максимально використовувати наявні поновлювані джерела енергії.

Актуальність забезпечення електроенергією споживачів у регіонах зумовлена великою їх розосередженістю при незначному споживанні електроенергії на 1 м² території, розвитком фермерських господарств, дачного будівництва та наявністю великої кількості малопотужних споживачів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Одним з найбільш перспективних видів поновлюваної енергетики є вітроенергетика. Розвиток вітроенергетики в Україні та країнах СНД знаходиться на початковій стадії, але в середині 90-х років минулого століття до розвитку вітроенергетики фахівці знову повернулись на державному рівні. Тому в Україні останнім часом, як і в цілому світі, спостерігається безперервне зростання встановленої потужності вітроенергетичних установок (BEU).

Отже, розвиток вітротехніки і серійний випуск ВЕУ для підвищення ефективності функціонування ВЕУ потребує вдосконалення конструкцій і розробки нових, більш ефективних і в той же час простих та надійних машин і механізмів, що перетворюють кінетичну енергію повітряного потоку в механічну роботу, або електричну енергію, що набуває значної актуальності.

Мета дослідження – аналіз розвитку та дослідження експлуатаційних режимів роботи ВЕУ, підвищення енергоефективності ВЕУ шляхом вдосконалення керування режимів електроспоживання гібридної вітроустановки з урахуванням стохастичного надходження енергії вітру.

Матеріали та методика дослідження. При дослідженнях застосовувалися методи статистичного аналізу, імітаційного і математичного моделювання з використанням теорії електричних кіл та електромагнітного поля.

Вважаємо найбільш поширеним і продуктивним у проведенні даних досліджень використання програмного додатку Simulink інтегрованого до пакету MatLAB. При моделюванні з використанням Simulink реалізується принцип візуального програмування, у відповідності з яким, користувач на екрані створює модель пристрою із власних або стандартних блоків за допомогою яких здійснюються розрахунки.

Результати досліджень та їх обговорення. Головним призначенням ВЕУ є забезпечення електричною енергією індивідуальних споживачів при відсутності централізованої мережі, а також з метою зниження витрат на користування електроенергією і покращення якості електрозабезпечення. У ряді країн світу створені і успішно працюють ВЕУ для заміни дизельних електроагрегатів систем електропостачання. У таких системах дизельні електроагрегати і системи працюють у час, коли вітер відсутній. Аналіз вітроустановок малої потужності свідчить, що в основному виробники орієнтуються на відносно низьку одинарну вартість агрегату, їх механічну простоту, повну автономність і універсальність в роботі, при мінімальних затратах праці на технічне обслуговування.

За розрахунками Інституту відновлюваної енергетики НАН України та світовим досвідом, ВЕУ малої потужності можуть забезпечувати електропостачання таких

споживачів [1]: 10...20 кВт – малі села, хутори, великі фермерські господарства; 5...10 (6,3...7,5) кВт – невеликі та середні фермерські господарства; 2,0...5,0 кВт – окремі споживачі віддалених об'єктів; 2,0...2,4 кВт – приватні сімейні підприємства; 0,25...2,0 кВт – приміський дачний будинок; 0,63...0,75 кВт – середньостатистична українська сім'я.

Ринку вітчизняної та зарубіжної вітротехніки малої потужності властиві переважно однотипні традиційні конструкції вітродвигунів із горизонтальною віссю обертання та номінальною швидкістю вітру, як правило, 6...12 м/с.

При незначних середньорічних швидкостях вітру, від 2,3 до 6,9 м/с, що характерні для території України, доцільним вирішенням є широкомасштабний розвиток і створення ВЕУ малої потужності, техніка для якої, виходячи із технічних умов приєднання до енергосистеми, обмежується потужністю у 20 кВт [1].

Але використання існуючих технічних рішень в одному випадку пов'язане із відсутністю можливості генерувати електричну енергію і недостатнім завантаженням вітродвигуна, а іншому – складністю конструкції та низькою ефективністю перетворення кінетичної енергії повітряного потоку. Також не раціонально збільшувати номінальну потужність ВЕУ з метою живлення додаткового окремого електрообладнання.

До автономного класу ВЕУ малої потужності відносяться агрегати, що живлять електроенергією та забезпечують механічною енергією відокремлених споживачів і не є частиною загальної системи. Враховуючи стохастичність кінетичної енергії вітрового потоку, такі вітроустановки, залежно від застосування, комплектуються акумулюючими пристроями (аккумуляторні батареї, резервуари-накопичувачі енергії тощо). ВЕУ не потребують регулювання швидкості обертання ротора вітродвигуна, вироблення мінімальної потужності, оскільки робота агрегатів оцінюється головним чином його продуктивністю за даний проміжок часу, а частота вихідної ВЕУ, як правило, стабілізована. Дольова частина ринку цих вітросистем становить більше 50 % [2]. Цей варіант є абсолютно безальтернативним для місцевості, де в радіусі більше 20 кілометрів відсутня електромережа і перспектива її появи в найближчому майбутньому [3].

У нашому дослідженні увага була приділена вітродвигунам із горизонтальною віссю обертання (коефіцієнт використання встановленої потужності вітродвигуном $C_p < 0,48$) [8]. Використання вітродвигунів з вертикальною віссю обертання для ВЕУ є не досить доцільним, адже потребує додаткового зовнішнього джерела потужності або зовнішнього приводу для виходу на робочий режим.

Створенню сучасних ВЕУ, а також електромеханічних систем присвячено багато наукових праць. Головні принципи побудови електромеханічних систем автономних вітроелектричних установок з детальним описом принципу роботи наведені в науковій праці [4]. Вони характерні для таких діапазонів потужності: 0,1..1,0 кВт; 1..10 кВт; 10..100 кВт.

У наукових працях пропонується ряд різних варіантів класифікації систем генерування електроенергії для ВЕУ: залежно від типу застосування електричних машин, систем генерування електроенергії автономного класу. Причинами обмеженого застосування генераторів постійного струму є висока вартість, низька надійність, потреба в ретельному ТО та складність використання агрегатів із швидкохідними роторами у зв'язку з великим початковим моментом опору.

Асинхронні генератори з короткозамкненою обмоткою ротора в більшості випадків призначені для паралельної роботи з мережею, в автономних ВЕУ використовуються не часто, із-за складності дотримання електричних характеристик при зміні $\cos\phi$ навантаження [5]. При роботі асинхронних генераторів в автономних ВЕУ головною проблемою є збудження. На відміну від синхронних генераторів, що виробляють реактивну потужність ємнісного характеру, асинхронні генератори споживають її, а тому повинні мати власне джерело реактивної енергії, внаслідок чого виконуються із самозбудженням (конденсаторним або напівпровідниковим).

Як генератори автономних ВЕУ застосовуються, в основному, синхронні безконтактні генератори та їх модифікації (індукторні; з електромагнітним, магнітоелектричним збудженням тощо.). Найбільш розповсюджені тихохідні синхронні генератори зі збудженням від постійних магнітів. Зазначені генератори не мають кілець у колі збудження, працюють при змінній частоті обертання сумісно з перетворювачем частоти в широкому діапазоні її зміни.

Сучасні технічні рішення дозволяють поєднувати ВЕУ зі споживачами шляхом застосування однієї із двох схем (рис. 1 та рис. 2).

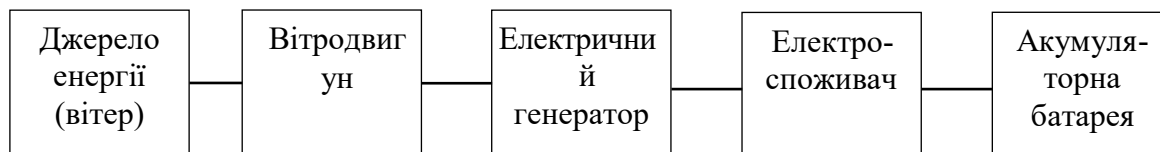


Рис. 1. Функціональна блок-схема ВЕУ зі споживачем

Недоліками такого технічного рішення є: генератор і електроспоживач працюють при швидкості обертання, що змінюється від 0,4 до 1,5 номінального значення; завантаження електродвигуна значно впливає на режим роботи електричної системи (генератора, електродвигуна) вітроустановки; генератор приводиться в дію від швидкохідного ротора з малим початковим моментом, внаслідок чого погіршені умови пуску агрегату при малих швидкостях вітру; при постійному з'єднанні з генератором необхідне застосування регуляторів напруги, або увімкнення електроспоживача на задане значення напруги; робота споживача неможлива при відсутності вітру; загальний ККД електричної системи таких ВЕУ малої потужності становить 0,17...0,22.

Поліпшену ефективність мають ВЕУ, де електроспоживач з'єднаний із генератором і сонячними панелями з використанням акумуляторної батареї та інвертора напруги (рис. 2).

Характерними технічними недоліками такої системи (рис. 2) є: низький коефіцієнт потужності електроспоживача, що ускладнює його використання з електроживленням від інверторів сумарної потужності; вимагає підвищення потужності джерела енергії для електроспоживачів шляхом можливого застосування перетворювача напруги з 12 В до 150..220 В і комутатора струму з конденсаторним накопичувачем енергії для підвищення продуктивності споживача до номінальних значень; для роботи електроспоживача, що отримує живлення від джерела постійного струму напругою 12 В, встановлена потужність інвертора повинна

перевищувати потужність електроспоживача в 2,5..3 рази; порівняно низький загальний коефіцієнт корисної дії установки.

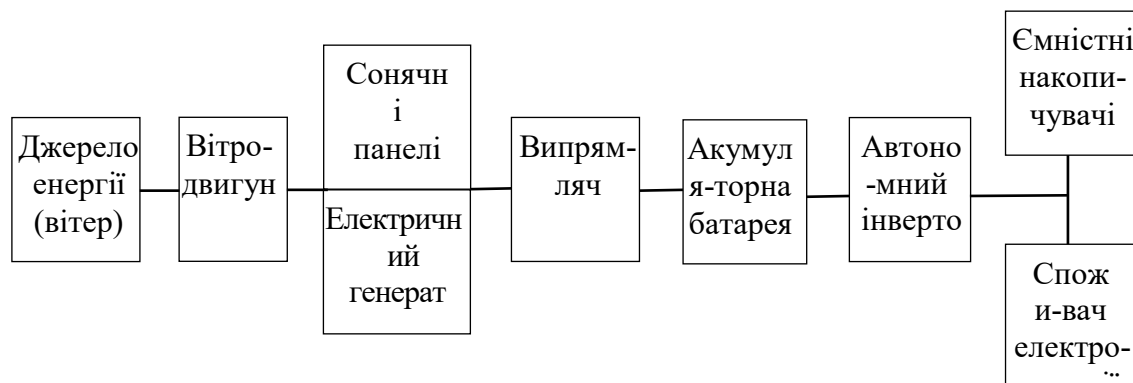


Рис. 2. Функціональна блок-схема з'єднання ВЕУ із електроспоживачем з використанням сонячних панелей, акумуляторної батареї та інвертора напруги

Особливістю електромеханічної системи вітроустановок на відміну від інших є непередбачуване і некероване надходження первинної енергії стохастичного повітряного потоку, внаслідок цього вітроустановка працює з постійною або змінною частотою обертання ротора вітродвигуна, тому її необхідно розглядати як стохастичне джерело енергії зі змінною потужністю. Вихідні параметри (напруга і частота струму) при цьому коливаються в широкому діапазоні. Для усунення недоліку змінного генерування електричної потужності і гарантованого електрозабезпечення споживачів вироблена генератором електроенергія використовуватиметься для заряду акумуляторної батареї (АКБ). Відповідно, розробка методики аналізу характеристик функціонування АКБ у складі електротехнічної системи ВЕУ з розрахунком тривалості безперервного автономного живлення електроспоживачів від АКБ у періоди відсутності вітру є обов'язковою вимогою.

Аналіз наукових праць відомих у галузі вітроенергетики авторів Є. М. Фатєєва, Я. І. Шефтера, Г. І. Денисенка, П. Ф. Васька, С. О. Кудрі, В. М. Головка, В. С. Кривцова, Л. І. Мазуренка, К. М. Василіва, А.І. Яковлєва, В. П. Харітонова, О. М. Яхно, В. І. Радіна, Т. В. Рудого, Д. Г. Алексієвського, О. О. Тихевича, А. С. Креймера та інших показав, що значна кількість авторів пов'язала свої дослідження з автономним електрозабезпеченням територіально розосереджених

споживачів від централізованих електропостачальних систем з використанням поновлюваних джерел енергії, а саме вітротехніки. Особливістю робіт попередників є застосування генераторів обертового руху (генераторів постійного струму, асинхронних і синхронних генераторів) змонтованих у гондолі, що, як правило, ускладнює конструкцію гондолої ВЕУ, збільшує її масогабаритні показники, а з цим і навантаження на опору. Значний вплив вітру на опорну конструкцію та гондолу, в якій розташоване коштовне та важке електрогенеруюче обладнання, висуває підвищені вимоги до несучої опорної конструкції. При підвищенні продуктивності вітроагрегату збільшується навантаження на опору. Ускладнюють конструкцію існуючих ВЕУ наявність мультиплікатора, підшипникових блоків, необхідність струмознімачів, що з'єднують електрогенератор у гондолі із розподільчим пристроєм розташованим внизу стійки. Вплив відхилення вітрового потоку не дозволяє вигідно експлуатувати ВЕУ без визначення рози вітрів на місці встановлення.

Недоліки традиційних ВЕУ створюють суттєве протиріччя, що полягає у виникненні потреби підвищення їх енергоефективності функціонування, шляхом удосконалення традиційної конструкції, з одного боку, та неспроможності існуючих ВЕУ забезпечити таке підвищення, з іншого боку.

У такому випадку найбільш раціональним рішенням може бути застосування конструкції ВЕУ з сонячними панелями, що забезпечить можливість функціонування ВЕУ у безвітряний період та ефективного регулювання корисним електронавантаженням при збільшенні швидкості вітру з використанням акумульованої енергії для живлення струмоприймачів (рис. 2). Це дозволить підвищити ефективність використання механічної енергії вітродвигуна, шляхом його дозавантаження під час зростання швидкості вітру, розширити функціональність установки та підвищити коефіцієнт використання встановленої потужності.

Робота будь-якої енергетичної установки, в тому числі вітроустановки, характеризується ефективністю використання первинної енергії, яка визначається ККД, або віддачею корисної потужності відповідним споживачам енергії.

При проведенні досліджень в області вітроенергетики часто буває необхідно використовувати різноманітні моделі, оскільки натурні експерименти не завжди можливі як з технічних, так і з економічних міркувань.

Математична модель описує реальний об'єкт лише з деякою мірою наближення (деталізації). При цьому вигляд моделі залежить як від природи досліджуваного об'єкту, так і від завдань дослідження, методики моделювання, необхідної точності опису об'єкту. Загальноприйнятим є розділення математичного моделювання на три основні види – аналітичне, імітаційне і комбіноване [5].

Характерною особливістю аналітичного моделювання є запис процесів функціонування елементів модельованої системи у вигляді деяких співвідношень – диференційних, інтегрально-диференційних, кінцево-різницевих, або логічних умов. Аналітична модель може бути досліджена такими методами [6]:

- аналітичним; при цьому метою є отримання в загальному вигляді різноманітних залежностей для визначених характеристик;
- чисельним; в цьому випадку метою є отримання чисельних результатів при певних початкових даних. Рішення в загальному вигляді не може бути знайдене;
- якісним; рішення в явному вигляді відсутнє, але можна оцінити деякі його властивості.

На відміну від аналітичного моделювання принцип імітаційного моделювання ґрунтується на тому, що математична модель відтворює процес функціонування в часі, причому імітуються елементарні події, що протікають в системі зі збереженням логіки їх взаємодії і послідовності протікання в часі. Таким чином, є можливість отримання за вихідними даними відомостей про стан системи в певні проміжки часу, що дозволяє оцінити характеристики системи. Імітаційне моделювання може бути покладене в основу структурного, алгоритмічного і параметричного синтезу великих систем, коли потрібно створити систему із заданими характеристиками при певних обмеженнях, яка буде оптимальною за деякими критеріями оцінки ефективності [6].

З розвитком обчислювальної техніки з'явилася можливість проводити досить точне моделювання різних систем. При цьому значно скорочуються витрати на

проведення безпосереднього експерименту, оскільки багато параметрів моделі уточнюються ще в ході комп'ютерного моделювання. Крім того, існує ряд завдань, де постановка досліду на реальній моделі просто неможлива або економічно невиправдана. У більшості випадків сучасні засоби моделювання дозволяють забезпечити високий рівень адекватності моделі. Одним з таких засобів є Simulink – інтерактивний інструмент для моделювання, імітації і аналізу динамічних систем. Він дає можливість будувати графічні блок-діаграми, імітувати динамічні системи, досліджувати працездатність систем і удосконалювати проекти. Simulink повністю інтегрований з MATLAB®, забезпечуючи доступ до широкого спектру інструментів аналізу і проектування.

Пропонується імітаційна модель вітроенергетичної установки в пакеті Simulink для оцінки генерованої потужності.

Відомо, що енергія, генерована ВЕУ, пропорційна енергії вітрового потоку, питому потужність W якого на одиничну поверхню, перпендикулярну йому, можна представити в наступному вигляді [7] :

$$W = \frac{1}{2} \rho V^3 \quad (1)$$

де ρ – густина повітря ($\rho = 1,225 \text{ кг/м}^3$ при $T = 15^\circ\text{C}$);

V – середнє значення швидкості вітру, м/с.

Механічна енергія обертання вітроколеса W_m визначається коефіцієнтом використання енергії вітру W (в іноземній технічній літературі прийнятий термін «коефіцієнт потужності») C_p :

$$C_p = \frac{W_m}{W}. \quad (2)$$

Максимальна енергія, яку можна отримати від ідеального вітроколеса складає приблизно 59 % від кінетичної енергії повітряного потоку, тобто $C_{p\text{max}} = 0.59$. Для реальної турбіни з горизонтальною віссю обертання коефіцієнт потужності зазвичай знаходиться в діапазоні 0,1 – 0,47 [7].

Швидкохідність Z вітроколеса ВЕУ з горизонтальною віссю обертання залежить від кількості лопатей, швидкості вітра та інших чинників і визначається за відомою формулою:

$$Z = \frac{\omega R}{V} \quad (3)$$

де ω – кутова швидкість обертання вітроколеса;

R – радіус вітроколеса;

V – швидкість вітру.

При цьому для крильчастих роторів вітроустановки з урахуванням коефіцієнта використання енергії вітру формула визначення розрахункової потужності вітроустановки має вигляд:

$$P_p = \frac{\pi}{2} \rho R^2 V^3 C_p. \quad (4)$$

Корисна потужність ВЕУ $P_{\text{ВЕУ}}$ менша розрахункової P_p на величину втрат потужності: у трансмісії вітродвигуна, генераторі, випрямлячі, автономному інверторі напруги, контролерах. Ці втрати визначають загальний коефіцієнт корисної дії ВЕУ $\eta_{\text{ВЕУ}} = \frac{P_{\text{ВЕУ}}}{P_p}$.

На підставі приведених співвідношень побудуємо залежність потужності на валу вітроколеса від швидкості вітру для визначення робочої швидкості ВЕУ.

Найбільші труднощі викликає аналітичне визначення C_p , зважаючи на надзвичайну складність і нелінійність аеродинамічних процесів, що виникають при взаємодії лопастей вітроколеса з потоками повітря. Як правило, для заданого вітроколеса аеродинамічний коефіцієнт моделюється за допомогою спеціального програмного забезпечення (PROPPC, WT_PERF та інші). Для отримання C_p може бути використана програма WT_PERF і дані турбіни з трьома лопастями, швидкохідністю $Z=9$ і профілем NACA 4415 (що аналогічна моделі, яка серійно випускається вітчизняною промисловістю ВЕУ LMV – 3600). На рис. 3 наведена залежність C_p від швидкості вітру. Для побудови графіка використовувалася таблиця, отримана в результаті роботи програми WT_PERF.

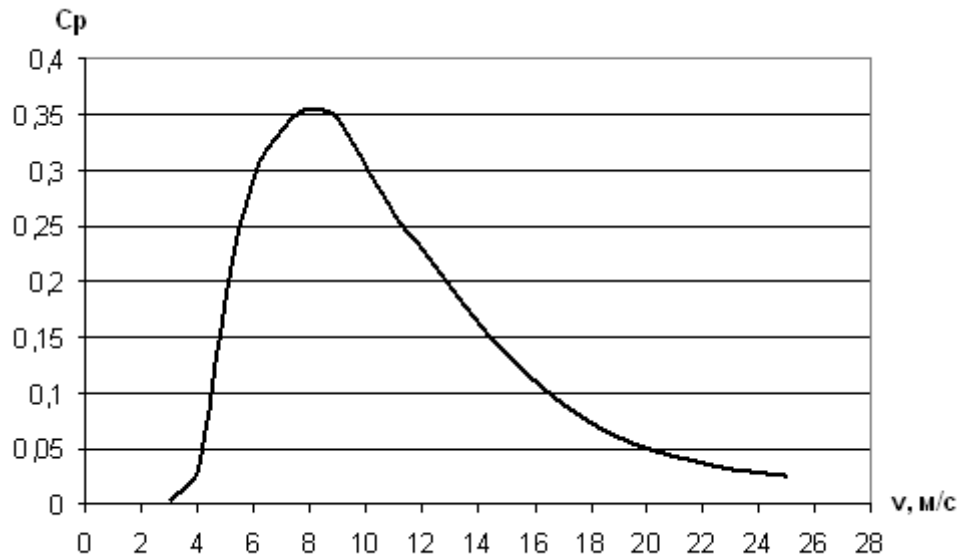


Рис. 3. Залежність коефіцієнта C_p від швидкості вітру

Як видно з діаграми на рис. 3, для даної турбіни максимальний коефіцієнт використання енергії вітру досягається при швидкості вітру приблизно 8,5 м/с.

Як було показано вище, зважаючи на складність аналітичного обчислення C_p значно зручніше виконати його імітаційне його моделювання. Для оцінки потужності, що виробляється вітроколесом, побудуємо імітаційну модель. Змінними параметрами будуть швидкість вітру V і радіус вітроколеса R . Схема моделювання процесу наведена на рис. 4.

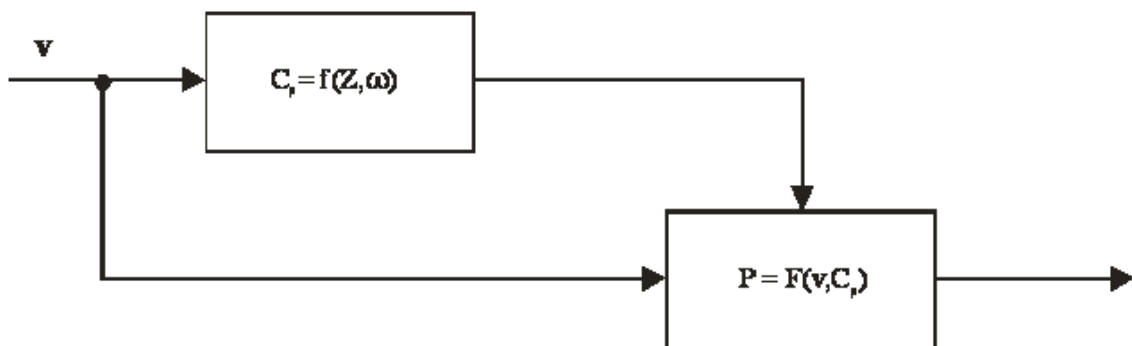


Рис. 4. Схема імітаційної моделі БЕУ для здобуття залежності $P = f(v)$

Для моделювання використовувалося програмне забезпечення з пакету MATLAB – Simulink. Залежність $C_p(V)$ реалізована у вигляді блоку Lookup Table і є

фактично табульованою функцією. Модель, що побудована в Simulink наведена на рис. 5.

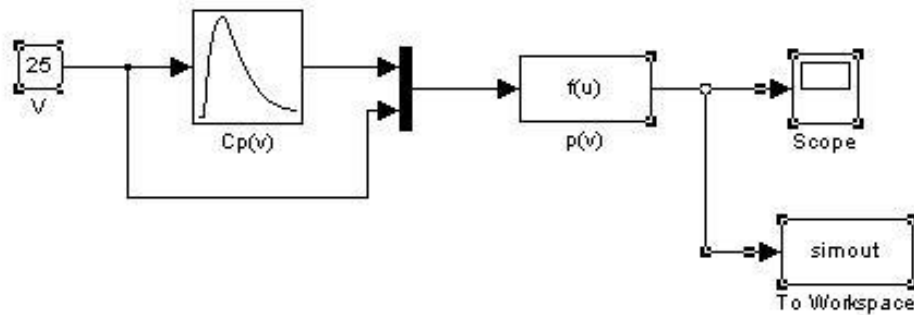


Рис.5. Модель Simulink для отримання залежності $P = f(v)$

Дані моделювання використані для побудови залежності $P(V)$ (радіуси вітроколеса – 2.5, 3.5 і 5 м) (рис. 6).

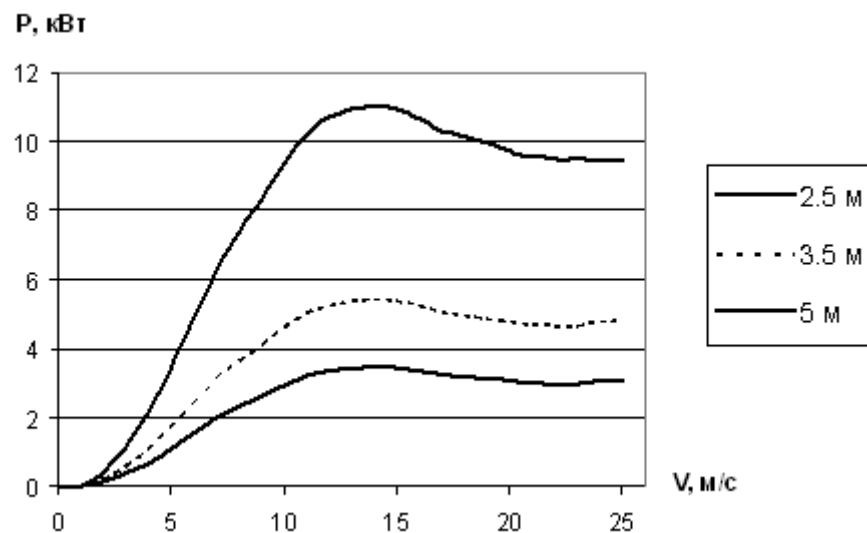


Рис. 6. Залежність потужності на валу вітроколеса від швидкості вітру і радіусу вітроколеса при постійній частоті обертання

Висновки і перспективи.

1. Впровадження результатів проведеного дослідження дозволить забезпечити комплексне розв'язання задачі альтернативного електрозабезпечення споживачів з використанням поновлюваних джерел енергії.

2. Пропоновану методику побудови імітаційної моделі можна використовувати для аналізу потужності ВЕУ при різних швидкостях вітру (в різних районах) і при різних радіусах вітроколеса.

3. Аналіз досліджень показує, що при високих швидкостях вітру при підтриманні постійної кутової швидкості обертання вітроколеса відбувається зниження потужності, що виробляється вітроколесом. Цей факт, зазвичай, не враховується при оцінці середньої потужності ВЕУ.

4. У результаті імітаційного моделювання режиму роботи ВЕУ встановлено, що найбільша потужність генератора забезпечується при швидкості вітру 11...13 м/с.

5. Здійснений аналіз сутності та актуальності ситуації, що полягає у виникненні потреби підвищення енергоефективності функціонування ВЕУ, шляхом удосконалення їх традиційної конструкції та розробки науково-методичної бази для дослідження гібридної вітроустановки дозволять визначити протиріччя, що склалися на практиці та при дослідженнях систем вітроенергетики.

Список використаних джерел

1. Ясенецький В., Клименко В. Сучасне вітроенергетичне обладнання для сільськогосподарських підприємств і приватного сектора. Пропозиція. 2002. №7. С. 96–99.

2. Креймер А. С. Теоретические положения создания систем автономного электроснабжения сельскохозяйственных потребителей с ВЭУ малой мощности: автореф. дис... на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.20.02. Краснодар, 2003. 22 с.

3. Лось С.И. К вопросу о выборе схемы ветроагрегата для индивидуального электроснабжения. Энергетика та електрифікація. 2006. №10. С.18–21.

4. Васько П.Ф. Системы электромеханического преобразования энергии ветра: дис...доктора техн. наук: 05.14.08. Київ, 1998. 343 с.

5. Советов Б. Я., Яковлев С. А. Моделирование систем. М.: Высшая школа, 1999. 271 с.

6. Симанков В. С., Зангиев Т. Т. Системный анализ при решении структурных задач альтернативной энергетики. Краснодар: Институт современных технологий и экономики, 2001. 151 с.

7. Шефтер Я. И. Использование энергии ветра. М.: Энергоатомиздат, 1983. 200 с.

8. Петренко А.В. Комбінована електроводопостачальна вітроустановка з магнітоелектричним лінійним генератором зворотно-поступального руху: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.09.03. Київ, 2010. 27 с.

References

1. Yasenets'kii, V., Klimenko, V. (2002). Suchasne vitroenergetichne obladnannya dlya sil'skogospodars'kikh pidpriemstv i privatnogo sektora [Modern wind power equipment for agricultural enterprises and the private sector]. Propozitsiya – Proposition, 7, 96 – 99.
2. Kreimer, A. S. (2003). Teoreticheskie polozheniya sozdaniya sistem avtonomnogo elektrosnabzheniya sel'skokhozyaistvennykh potrebitelei s VEU maloi moshchnosti [Theoretical provisions for the creation of autonomous power supply systems for agricultural consumers with low-power wind turbines]. Extended abstract of candidate's thesis. Krasnodar, 22.
3. Los', S. I. (2010). K voprosu o vybore skhemy vetroagregata dlya individual'nogo elektrosnabzheniya [On the issue of choosing a scheme of a wind turbine for individual power supply]. Energetika ta elektrifikatsiya – Energy and electrical engineering, 10, 18-21.
4. Vas'ko, P. F. (1998). Sistemy elektromekhanicheskogo preobrazovaniya energii vetra [Systems for electromechanical conversion of wind energy]. Extended abstract of Doctor's thesis. Kyiv, 343.
5. Sovetov, B. Ya., Yakovlev, S. A. (1999). Modelirovanie sistem [System modeling]. Moskva: Vysshaya shkola, 271.
6. Simankov, V. S. (2001). Sistemnyi analiz pri reshenii strukturnykh zadach al'ternativnoi energetiki [System analysis in solving structural problems of alternative energy]. Krasnodar: Institut sovremennykh tekhnologii i ekonomiki, 151.
7. Shefter, Ya. I. (1983). Ispol'zovanie energii vetra [Use of wind energy]. Moskva: Energoatomizdat, 200.
8. Petrenko, A. V. (2010). Kombinovana elektrovodopostachal'na vitroustanovka z magnitoelektrichnim liniinim generatorom zvorotno-postupal'nogo rukhu [Combined electrical water supply wind turbine with a magnetoelectric linear generator of reciprocating motion]. Extended abstract of candidate's thesis. Kyiv, 27.

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ГИБРИДНЫХ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК И ИХ ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

В. В. Коробский, А. В. Проскура

Аннотация Осуществлен анализ обеспеченности ветроэнергетических установок (ВЭУ) малой мощности электроснабжения разных потребителей с учетом установленной мощности и удаленности. Рассмотрена целесообразность применения некоторых конструктивных решений ветроэнергетических установок (ВЭУ) с горизонтальной осью вращения, которые входят в ограничение мощности до 20 кВт.

Обнаружено, что гибридные ВЭУ малой мощности, укомплектованные аккумулялирующими устройствами, являются наиболее подходящим вариантом обеспечения электроснабжения потребителей, где в радиусе 20 км отсутствует централизованная электросеть. Отмечено, что наиболее предпочтительными для применения являются синхронные генераторы переменного тока перед асинхронным или генераторами постоянного тока.

Рассмотрены два технических решения функционирования ВЭУ, в одном из которых сочетается традиционное применение установки с потребителем; а в другом – соединение ВЭУ с электропотребителем с использованием солнечных панелей, аккумуляторной батареи и инвертора напряжения. Отмечено, что оба варианта имеют свои преимущества и недостатки применения на практике, а также особенностью электромеханической системы ветроустановок является непрогнозируемое и неуправляемое поступление первичной энергии стохастического воздушного потока, что приводит к колебанию выходных параметров (напряжения и частоты тока). Поэтому для устранения этого недостатка и гарантированного электроснабжения потребителей произведенная генератором электроэнергия будет использоваться для заряда аккумуляторной батареи.

Отмечено, что недостатки традиционных ВЭУ создают существенное противоречие, заключающееся в возникновении необходимости повышения их энергоэффективности функционирования путем усовершенствования традиционной конструкции, с одной стороны, и неспособности существующих ВЭУ обеспечить такое повышение, с другой стороны. В таком случае наиболее рациональным решением может быть применение конструкции ВЭУ с солнечными панелями, что обеспечит возможность функционирования ВЭУ в безветренный период и эффективной регулировке полезных электрических нагрузок при увеличении скорости ветра с использованием аккумулированной энергии для питания токоприемников.

При проведении исследований в области ветроэнергетики часто бывает необходимо использовать разные модели. Математическая модель описывает реальный объект только с некоторой степенью приближения (детализации). При этом вид модели зависит как от природы изучаемого объекта, так и от задач исследования, методики моделирования, требуемой точности описания объекта.

В исследовании предлагается имитационная модель ветроэнергетической установки в программном приложении Simulink для оценки генерируемой мощности. Получены зависимости расчетной мощности ВЭУ от скорости ветра при трех разных радиусах ветроколеса.

Ключевые слова: *ветроэнергетическая установка, потребитель, установленная мощность, возобновляемые источники энергии, скорость ветра, имитационное моделирование, ветродвигатель, аккумуляторная батарея, генератор, инвертор напряжения*

ANALYSIS OF THE STATE OF HYBRID WIND POWER PLANTS AND THEIR SIMULATION

V. Korobskyy, A. Proskura

Abstract. *The analysis of the provision of wind power plants of low power power supply to different consumers, taking into account the installed capacity and remoteness, is carried out. The expediency of using some design solutions of wind power plants with a*

horizontal axis of rotation, which are included in the power limitation up to 20 kW, is considered.

It was found that low-power hybrid wind turbines equipped with storage devices are the most suitable option for providing power supply to consumers, where there is no centralized power grid within a radius of 20 km. It is noted that the most preferable for use are synchronous alternators over asynchronous or direct current generators.

Two technical solutions for the operation of wind turbines are considered, one of which combines the traditional use of the installation with the consumer; and in the other - the connection of the wind turbine with an electric consumer using solar panels, a storage battery and a voltage inverter. It is noted that both options have their own advantages and disadvantages in practice, as well as a feature of the electromechanical system of wind turbines is the unpredictable and uncontrollable input of primary energy of a stochastic air flow, which leads to fluctuations in the output parameters (voltage and current frequency). Therefore, in order to eliminate this drawback and ensure the supply of electricity to consumers, the electricity generated by the generator will be used to charge the storage battery.

It is noted that the disadvantages of traditional wind turbines create a significant contradiction, consisting in the emergence of the need to increase their energy efficiency of operation by improving the traditional design, on the one hand, and the inability of existing wind turbines to provide such an increase, on the other hand. In this case, the most rational solution may be the use of a wind turbine design with solar panels, which will ensure the operation of the wind turbine in a windless period and efficient adjustment of electrical payloads with increasing wind speed using the accumulated energy to power the current collectors.

When conducting research in the field of wind energy, it is often necessary to use different models. The mathematical model describes a real object only with a certain degree of approximation (detail). In this case, the type of model depends both on the nature of the object under study and on the research tasks, modeling techniques, and the required accuracy of object description.

The study proposes a simulation model of a wind power plant in the Simulink software application to estimate the generated power. The dependences of the design power of the wind turbine on the wind speed at three different radii of the wind turbine are obtained.

Key words: wind power plant, consumer, installed capacity, renewable energy sources, wind speed, simulation, wind turbine, storage battery, generator, voltage inverter