

АНАЛІЗ СИСТЕМ ОРІЄНТАЦІЇ ВІТРОКОЛІС

© Корендій В.М., 2012

Розглянуто існуючі сьогодні конструкції систем орієнтації горизонтально-осьових вітроколес за напрямком повітряного потоку. Проаналізовано можливості їх застосування у різних типах вітроустановок та вказано на переваги і недоліки.

The actually existing constructions of the orientation systems of horizontal axis wind-wheels after the direction of air-flow are considered. The possibilities of their application in different types of wind turbines are analyzed and the advantages and faults are shown.

Постановка проблеми. Відомо, що традиційні енергоресурси нашої планети є обмеженими і до кінця XXI ст. людство повністю вичерпає запаси нафти, природного газу і вугілля поряд із поступовим підвищенням цін на ці енергоносії. При цьому однією з основних стратегій розвитку енергетичного комплексу Євросоюзу є послідовна відмова від атомних електростанцій і запровадження енергоощадних технологій та альтернативних джерел енергії в усіх галузях промисловості та сільського господарства. Вітер є одним із найбезпечніших і найдешевших джерел енергії, яке використовувалося ще до нашої ери і залишається актуальним і сьогодні. Вітроенергетика розвивається найдинамічніше, а в найближчі кілька десятків років, за оцінками експертів, разом із сонячною, геотермальною та іншими видами відновлюваних джерел енергії очолить енергетичний сектор розвинених країн.

Вітер постійно змінює свій напрям, передусім у горизонтальній площині. Вітроустановка (ВУ) найефективніше працює протягом того часу, коли швидкість повітряного потоку напрямлена перпендикулярно до площини обертання вітроколеса (ВК). В такий спосіб виникає необхідність так чи інакше змусити ВК постійно налаштовувати положення власної осі обертання за напрямком потоку повітря. Рухи ВК, спричинені мінливістю вітру, називаються орієнтацією вітроколеса за його напрямком.

Якщо вітер напрямлений до осі обертання вітроколеса під гострим кутом, то площа потоку повітря, яку охоплює ВК, зменшується, внаслідок чого знижується потужність вітроустановки [1]. Для практичних розрахунків можна прийняти, що потужність вітроустановки змінюється пропорційно до третього степеня косинуса кута відхилення осі ВК від напрямку вітру (рис. 1).

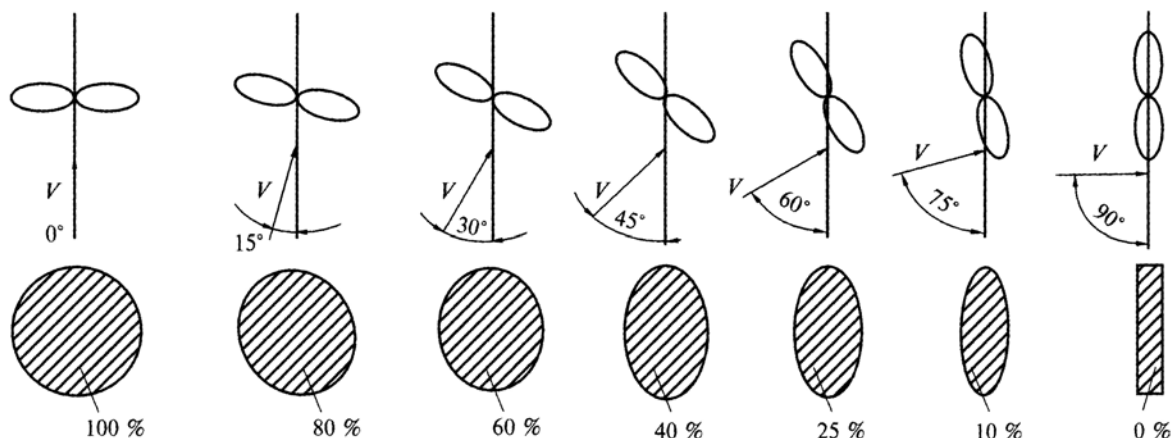


Рис. 1. Зміна площі охоплення вітроколесом повітряного потоку за різних кутів між напрямком вітру та віссю обертання

Необхідність орієнтації за напрямком вітру вимагає наявності у конструкції вітроустановок системи для безперервного стеження за станом повітря, повороту гондоли з ВК в оптимальному напрямку та утримування їх у цьому положенні. Наявність системи орієнтації ускладнює конструкцію вітроустановок. Крім того, за постійних змін напрямку вітру внаслідок інертності механізму фактично неможливо абсолютно точно і ефективно орієнтувати вітроколесо. У найпростіших ВУ орієнтація за напрямком вітру здійснюється вручну, у досконаліших – ВК повертається автоматично. Ручна орієнтація здійснюється або звичайним важелем, закріпленим на поворотній частині, або за допомогою механічної передачі. Автоматична орієнтація за напрямком вітру здійснюється переважно такими чотирма способами: 1) хвостовим стабілізатором (аналог флюгера); 2) невеликими вітряками, які називаються відрозами і діють на поворотну частину ВК через зубчасту передачу; 3) розміщенням вітроколеса позаду башти за принципом хвостового стабілізатора; 4) орієнтація за допомогою електричних, гідравлічних або пневматичних приводів. Усі способи використовуються у різних конструкціях сучасних ВУ.

Зважаючи на велику кількість існуючих систем орієнтації вітроколес за напрямком вітрового потоку, актуальним є питання аналізу ефективності та доцільності їх застосування у різних типах вітроустановок (малої, середньої і великої потужності) для різних споживачів (індивідуальні споживачі, фермерські господарства, промислові підприємства, загальна електромережа).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Доволі ґрунтовний аналіз можливостей орієнтації горизонтально-осьових вітроколес за напрямком вітру був зроблений у роботах Сабініна, Фатєєва та інших авторів ще у 30–40-х роках минулого століття [2, 3]. Більшість сучасних досліджень у напрямку моделювання динаміки та удосконалення конструкції вітроустановок, наприклад [4–6], ґрунтуються саме на цих публікаціях. Проте з плином часу актуальним стає питання доцільності використання тих чи інших конструкцій систем орієнтації для вітроустановок різного призначення (виробництво електроенергії, зрошувальні та водонапірні системи, шнекові і транспортерні механізми, конвеєри тощо), враховуючи їх переваги і недоліки.

Формулювання цілі роботи. Проаналізувати існуючі конструкції систем орієнтації горизонтально-осьових вітроколес за напрямком вітру, можливості їх застосування у різних типах вітроустановок та вказати на переваги і недоліки кожної з них.

Орієнтація за допомогою хвостового стабілізатора. Пасивна орієнтація за допомогою хвостового стабілізатора, який під час повороту гондоли з вітроколесом функціонує як флюгер, застосовується переважно для вітроустановок потужністю близько 15 кВт [3]. Коли напрямок вітру перпендикулярний до площини вітроколеса, на хвостовому стабілізаторі відсутні сили, які відхиляють його в бік. При цьому ВК знаходиться перед баштою з боку потоку повітря. Якщо вітер змінює напрям, то на хвостовому стабілізаторі виникає бокова сила, яка повертає його разом із гондолою навколо вертикальної осі башти, поки його площина не стане паралельною, а площина обертання вітроколеса – перпендикулярною до напрямку повітряного потоку.

Поряд із звичайним хвостовим стабілізатором (рис. 2, а), механізм повороту гондоли може додатково обладнуватися боковою лопаттю (рис. 2, б) або в його конструкції може бути передбачений ексцентриситет горизонтальної осі ВК стосовно поздовжньої осі гондоли (рис. 2, в). Для прикладу, бокову лопать використовують у моделях Aquasolar 2,5 Passat, TWFi-500, ексцентриситет осі – Sviab VK 240, UE 15LV/HV [4].

Загалом на гондолу з вітроколесом, хвостовим стабілізатором і боковою лопаттю діють такі сили: 1) сила лобового тиску на поверхню хвостового стабілізатора та бокової лопаті за відхилення напрямку вітру; 2) аеродинамічні сили на лопатях вітроколеса. Вказані сили створюватимуть обертальні моменти стосовно вертикальної осі башти, які орієнтуватимуть вітроколесо за напрямком потоку повітря. Особливістю цього методу є фактично миттєве реагування вітроустановки на зміну напрямку вітру. При цьому ВК затрачає мінімум часу для повороту у положення, перпендикулярне до напрямку вітру, і фактично протягом усього часу працює із максимальною потужністю. Однак за швидкого повороту гондоли та одночасного обертання вітроколеса, особливо під час сильних поривів вітру, навантаження

на лопатях і осі ВК різко збільшуються за рахунок виникнення додаткових коріолісових сил інерції та моментів (згинальних, крутних тощо) від цих сил.

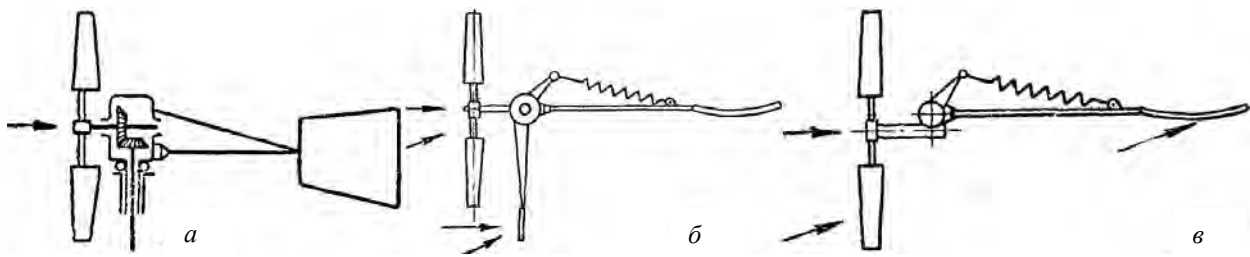


Рис. 2. Схеми орієнтації вітроколеса за допомогою хвостового стабілізатора

Орієнтація за допомогою віндроз. Віндрозою називається невеликий горизонтально-осьовий вітряк, який встановлюється на певному вильоті гондoli позаду вітроколеса. Вона використовується у деяких вітроустановках потужністю понад 15 кВт [3]. Площина обертання віндрози перпендикулярна до площини обертання ВК і паралельна до напрямку вітру. Діаметр її становить 15–20 % від діаметра вітроколеса, а кількість лопатей – понад шість. На гондолі може бути встановлена одна (на одній боковій стороні гондoli) або дві (на обох бокових сторонах) віндроз. Прикладом вітроустановки з орієнтацією за напрямком вітру за допомогою однієї віндрози є модель «Жаворонок» ММЗ «Вперед» і модель WE 8000 фірми WindElectric [4]. Схему орієнтації вітроколеса за допомогою віндрози показано на рис. 3.

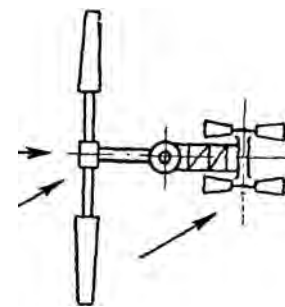


Рис. 3. Схеми орієнтації за допомогою віндроз

Коли вітер напрямлений під кутом до площини обертання віндрози, на її лопатях виникає крутний момент і вона починає обертатися. Через черв'ячну пару і зубчасті шестерні крутний момент від віндрози передається на циліндричну шестірню, яка знаходиться у зачепленні із зубчастим колесом, закріпленим на башті. Під час обертання віндрози за допомогою описаного механізму приводиться у рух гондола з вітроколесом у горизонтальній площині. Поворот гондoli буде продовжуватися до того часу, поки її вісь не буде збігатись з напрямком вітру і крутний момент на віндрозі зникне. При цьому площина обертання вітроколеса буде розміщена перпендикулярно до напрямку повітряного потоку.

Якщо за орієнтації за напрямком вітру за допомогою хвостового стабілізатора кутова швидкість повороту системи навколо вертикальної осі у разі різких шквальних поривів спричиняла значні додаткові інерційні навантаження, то застосовуючи віндрози, це явище менш ймовірне. Швидкість повороту гондoli більшою мірою залежить від передавального відношення трансмісії, а меншою – від параметрів вітрового потоку. Усе ж затримка під час спрацювання цього механізму дещо вища, ніж за орієнтації за допомогою хвостового стабілізатора [6].

Розміщення вітроколеса за баштою. Якщо розмістити вітроколесо позаду башти на доволі великій відстані, то на нього діятиме аеродинамічний момент, який буде самостійно встановлювати площину обертання перпендикулярно до напрямку вітру. У такому випадку саме вітроколесо виконуватиме роль хвостового стабілізатора або флюгера (рис. 4).

Такий спосіб самоорієнтації вітроколеса, наприклад, застосовується у серії Simplex фірми Sirena, моделі Raum фірми Raum Energy, ВГ-3 Еней фірми Телефон [4].

Цей конструктивно простий спосіб орієнтації ВК за напрямком вітру має істотні недоліки, а саме: 1) оскільки

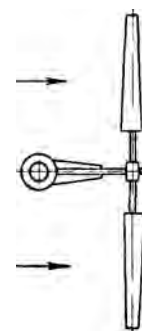


Рис. 4. Схеми самоорієнтації

відстань від осі обертання гондоли до площини обертання вітроколеса у кілька разів менша, ніж довжина хвостового стабілізатора, то кутова швидкість повороту гондоли та відповідно й додаткові гіроскопічні навантаження будуть значно вищими, ніж у вітроустановках із хвостовим стабілізатором; 2) центр ваги поворотної частини ВУ (гондоли з вітроколесом) зміщений стосовно вертикальної осі обертання, що спричинятиме перевантаження підшипників в опорах; 3) оскільки вітроколесо розміщене позаду башти, то лопаті під час кожного повороту проходять через збурений баштою повітряний потік. Цей ефект зумовлює втрату вітроколесом потужності, появу циклічних навантажень, які знижують втомну міцність лопатей, та підвищення шумності під час роботи установки внаслідок проходження лопатями аеродинамічного сліду башти [5].

Орієнтація за допомогою приводу. У вітроустановках малої потужності (від 10 до 40 кВт) доволі рідко застосовують активну орієнтацію за допомогою електричного, гідравлічного чи пневматичного приводу. Це пов'язано з труднощами виготовлення та значною вартістю систем керування, необхідних для забезпечення оптимальної роботи приводу. Вартість системи керування інколи може бути співмірною з вартістю самої установки [6].

Якщо вітер змінює свій напрямок, а кут між ним і віссю ВК збільшується, то за сигналом давача спрацьовує привід системи орієнтації, наприклад, електродвигун, передавання моменту від якого здійснюється через механічну трансмісію до гондоли, спричиняючи її поворот. При цьому вітроколесо знаходиться у робочому положенні перед баштою. Активна орієнтація застосовується, наприклад, у моделях Aircon 10, Envia 15 [4]. Перевагами такої системи є розміщення ВК перед баштою, коли лопаті обертаються у незбуреному потоці повітря, та можливість керування кутовою швидкістю гондоли з метою обмеження додаткових навантажень на вітроколесо.

Висновки. Аналіз способів орієнтації горизонтально-осьових вітроустановок за напрямком вітру показав, що зі збільшенням потужності кількість ВУ, які застосовують пасивну орієнтацію за допомогою хвостового стабілізатора, знижується, а кількість вітроустановок, які використовують самоорієнтацію та активну орієнтацію за допомогою приводу, збільшується (рис. 5).



Рис. 5. Діаграма розподілу вітроустановок за способом орієнтації

До конструктивних недоліків усіх типів систем орієнтації горизонтально-осьових вітроустановок слід зарахувати відсутність жорсткого зв'язку між гондолою та опорною баштою, що зумовлює виникнення коливних явищ і розбіжностей у частотних характеристиках рухомої і нерухомої частин конструкції, які врешті й знижують надійність ВУ та збільшують затрати на їх обслуговування. Місце розриву жорсткого зв'язку між гондолою і баштою також потребує уваги під час монтажу механізмів передачі крутного моменту або електроенергії від електрогенератора, що обертається з гондолою, до споживачів, які знаходяться на землі. Наприклад, з метою запобігання скручуванню електропроводки використовують два способи: обмеження кута повороту гондоли з подальшим її розкручуванням; застосування струмознімачів. В обох випадках у конструкцію вітроустановки вводять додаткові ускладнення, які знижують її надійність.

Поряд із конструктивними недоліками під час використання систем орієнтації горизонтально-осьових вітроустановок за напрямком вітру слід відзначити виникнення додаткових інерційних навантажень. Зі збільшенням кутової швидкості вітроколеса та різкими когерентними (одночасно змінними за напрямком і швидкістю) потоками повітря на лопаті, поряд із відцентровими та дотичними силами під час обертання ВК і гондоли, діють коріолісові сили інерції. Вказані навантаження мають змінний у часі (а інколи й циклічний) характер, спричиняють виникнення згинальних і крутних моментів та коливних процесів лопатей, що негативно впливають на їхню втомну міцність та підвищують ризик появи резонансних режимів під час роботи вітроустановки [5, 6]. Тому у подальших дослідженнях планується зосередити увагу на вищевказаних навантаженнях та дослідити їх вплив на динамічну поведінку лопатей.

1. <http://www.src-vertical.com/information/beginners/>. 2. Сабинин Г.Х. Теория и аэродинамический расчет ветряных двигателей / Г.Х. Сабинин // Труды ЦАГИ. – 1931. – Вып. 104. – 88 с. 3. Фатеев Е.М. Ветро двигатели и ветроустановки / Е.М. Фатеев. – М.: ОГИЗ-СЕЛЬХОЗГИЗ, 1948. – 544 с. 4. Дзензерский В.А. Ветроустановки малой мощности / В.А. Дзензерский, С.В. Тарасов, И.Ю. Костюков. – К.: Наук. думка, 2011. – 592 с. 5. Johnson G.L. Wind energy systems. Manhattan: Electronic edition, 2006. – 449 p. 6. Manfred Stielbler. Wind energy systems for electric power generation. – Berlin: Springer, 2008. – 193 p.

УДК 621.548

І.В. Кузьо, В.М. Корендій

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра механіки та автоматизації машинобудування

ДИНАМІКА СИСТЕМ ОРІЄНТАЦІЇ ВІТРОКОЛІС

© Кузьо І.В., Корендій В.М., 2012

На основі спрощеної кінематичної схеми горизонтально-осьової вітроустановки та з використанням рівнянь Лагранжа другого роду побудовано диференціальне рівняння руху гондоли за орієнтації вітроколеса за напрямком вітрового потоку. Визначення параметрів руху та побудова відповідних часових діаграм проводились з урахуванням змінних у часі швидкості та напрямку повітряного потоку.

The differential equation of nacelle motion when orientation of the wind-wheel after the wind-flow direction was built on the basis of the simplified kinematic scheme of horizontal axis wind turbine and with the help of Lagrange second-order equations. The determination of motion parameters and the construction of appropriate time diagrams were realized taking into consideration time dependencies of wind-flow speed and direction.

Постановка проблеми. Сьогодні особливо гостро постала проблема виснаження запасів традиційних енергетичних ресурсів, таких як нафта, природний газ, вугілля тощо. Ситуація, що склалася у світовому енергетичному балансі, погіршується ще й екологічними проблемами, які виникають під час використання атомної та гідроенергетики. Саме тому в усьому світі спостерігається підвищений інтерес до альтернативних та відновлюваних джерел енергії, серед яких особливе місце посідає енергія повітряних потоків. За одну годину на поверхню земної кулі надходить стільки сонячної енергії, скільки людство використовує за цілий рік. При цьому близько двох процентів від цієї енергії перетворюється на енергію повітряних потоків. Враховуючи той факт, що коефіцієнт корисної дії (коефіцієнт відбору потужності) сучасних вітроустановок досягає 45 %, неважко підрахувати, що вітер здатний повністю забезпечити енергетичні потреби людства.