

VĖJO JĖGAINIŲ GALIOS REGULIAVIMAS

POWER REGULATION OF THE WIND TURBINES

Algirdas Gulbinas

LŽŪU Žemės ūkio inžinerijos institutas

Raudondvaris, LT-54132 Kauno raj.

El. paštas: gulbinas@mei.lt

Gauta 2007-12-07- pateikta spauda 2007-12-22

Straipsnyje aptariami vėjo jėgainių galios reguliavimo būdai. Nustatyta nedidelės galios horizontaliosios ašies vėjaratų veikiančios aerodinaminių jėgų atstojamosios jėgos priklausomybė nuo vėjo greičio bei kitų faktorių. Parinktas vėjaračio galios ribojimo būdas, keičiant vėjaračio padėtį oro sraute, priklausomai nuo tos jėgos veikimo ir sukurtas vėjaračio galios reguliavimo įtaisas šiai jėgainei. Atlikti eksperimentiniai tyrimai 4–14 m/s vėjo greičio diapazonu parodė, kad horizontaliosios ašies vėjo jėgainės galios ribojimo įtaisas pakankamai gerai atlieka savo funkcijas.

Vertikaliosios ašies vėjo jėgainei analitiniais tyrimais nustatyta mentės traukos jėgos priklausomybė nuo jos pastatymo kampo. Kai mentės pastatymo kampai -13° ir mažesni (mentės priekinė dalis nukreipta į vėjaračio vidų) arba $+14^{\circ}$ ir didesni (mentės priekinė dalis nukreipta į vėjaračio išorę) vėjaratis yra stabdomas. Pateikta vertikaliosios ašies vėjo jėgainės galios reguliavimo mechanizmo, keičiančio mentės pastatymo kampą schema.

Vėjaratis, ašis, mentė, atakos kampas, galia, reguliavimas.

Įvadas

Vystant vėjo energetiką Lietuvoje didžiausias dėmesys kreipiamas į didelės galios 2 MW ir galingesnes vėjo jėgaines, kurios statomos vėjo jėgainių parkuose Lietuvos vakariniuose rajonuose. Iki 2010 m. tokių jėgainių instaliuota galia turi siekti 200 MW ir jos turėtų gaminti iki 330 GWh elektros energijos per metus. Tačiau elektros energetikos veiklos taisyklių, elektros energijos, kuriai gaminti naudojami atsinaujinantys energijos ištekliai, gamybos ir pirkimo skatinimo tvarkos aprašo 2 priede (Valstybės žinios, 2001, nr. 104-3713 ir pakeitimai Valstybės žinios, 2006, nr. 100-3862) nurodoma, kad reikia skatinti ir nedidelių, neviršijančių 250 kW galios vėjo jėgainių statybą. Iki 2009 m. tokių jėgainių bendra galia turėtų sudaryti iki 3,5 MW. Mažosios vėjo jėgainės nesunkiai integruojamos į aplinką kaimo vietovėse ir jas galėtų įsirengti ūkininkai ar kiti

kaimo vietovių gyventojai savo sodybų energetiniams poreikiams tenkinti. Tad Lietuvoje mažoji vėjo energetika turi neblogas perspektyvas, tačiau užsienyje pagamintos nedidelės vėjo jėgainės yra labai brangios. Jų santykinė kaina siekia iki kelių tūkstančių eurų už vieną kilovatą instaliuotos galios. Didelė jėgainių kaina yra dėl įvairių priežasčių, bet nemaža dalimi tai lemia pačios jėgainės, ypač vėjaračio bei jo reguliavimo mechanizmų konstrukcijos sudėtingumas. Lietuvoje nedideles iki 5 kW galios jėgaines būtų galima gaminti pigiau, bent kai kuriuos komplektuojančius mazgus, pavyzdžiui vėjaratį, kurio galią galima būtų reguliuoti nesudėtingais įtaisais.

Tyrimų tikslas – analitiniais tyrimais nustatyti nedidelės galios horizontaliosios ašies vėjo jėgainės vėjaračio ir vertikaliosios ašies ortogonalinio vėjaračio mentės veikiančių aerodinaminių jėgų kitimą priklausomai nuo vėjo greičio ir pagrįsti vėjaračių galios reguliavimo būdus. Eksperimentiniais tyrimais patikrinti horizontaliosios ašies vėjo jėgainės galios ribojimo mechanizmo veikimo efektyvumą.

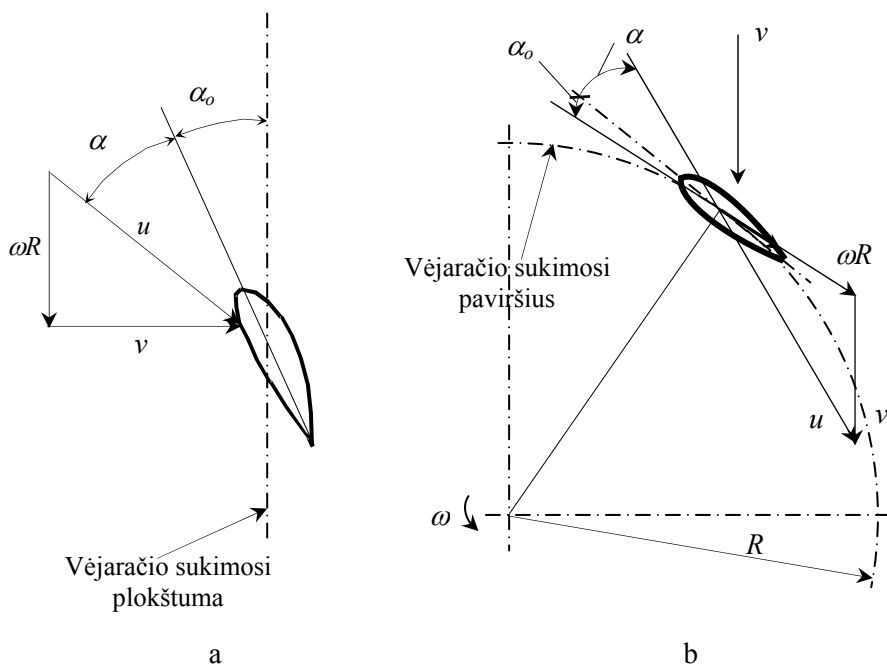
Tyrimų objektas ir metodika

Tyrimų objektai – nedidelės galios vėjo jėgainės su horizontaliosios ašies trijų menčių 3,5 m skersmens vėjaračiu ir vertikaliosios ašies dvimenčiu ortogonaliniu 6,78 m skersmens vėjaračiu.

Kintant vėjo greičiui oro srauto galia kinta proporcingai vėjo greičio trečiajam laipsniui, todėl vėjo greičiui padidėjus iki tam tikro dydžio, paprastai iki vardinio konkrečios jėgainės vėjo greičio, būtina riboti vėjaračio galią. Vėjaračių galia reguliuojama keliais būdais. Dažniausiai yra keičiamas mentės arba jos dalies pastatymo kampas α_0 . Tai kampas, kurį sudaro mentės styga su vėjaračio sukimosi plokštuma (horizontaliosios ašies vėjo jėgainėse 1 pav. a) arba su mentės judėjimo apskritimu liestine (vertikaliosios ašies vėjo jėgainėse 1 pav. b). Taikant šį būdą, mentės pastatymo kampas gali būti keičiamas dvejopai. Paprastai horizontaliosios ašies vėjo jėgainėse, kuriose vėjaračiai sukasi pastoviu greičiu, keičiant šį kampą yra reguliuojamas oro srauto atitrūkimas nuo mentės profilio. Vėjo greičiui pasiekus vardinį ir toliau didėjant, menčių pastatymo kampas mažinamas, tuo pačiu didėja menčių atakos kampas. Atakos kampui pasiekus tam tikrą ribą, oro srautas atitrūksta nuo mentės paviršiaus ir mažėja menčių aerodinaminė kokybė (keliamosios ir pasipriešinimo jėgų koeficientų santykis), o tai riboja vėjaračio galios augimą didėjant vėjo greičiui. Taikant šį būdą nevisai išnaudojamos vėjaračio galimybės.

Vėjaratis efektyviausiai veikia ir daugiau energijos vėjo jėgainė pagamina, kai vėjaračio galios koeficientas yra didžiausias. Paprastai didžiausią reikšmę galios koeficientas pasiekia esant tam tikram optimalaus vėjaračio greitaiegiškumui (vėjaračio greitaiegiškumas yra mentės galo linijinio greičio ir vėjo greičio santykis). Siekiant palaikyti optimalų greitaiegiškumą vėjaračio sukimosi greitis keičiamas priklausomai nuo vėjo greičio. Didėjant vėjo greičiui mentės pastatymo kampas tolygiai didinamas, kartu didinant vėjaračio sukimosi greitį taip išlaikant

optimalų atakos kampą, kai pasiekama geriausia menčių aerodinaminė kokybė. Taikant šį būdą praplečiamas vėjo greičių diapazonas, kuriame vėjaratis veikia optimaliomis sąlygomis ir gaunama daugiau energijos negu vėjaračiui sukantis pastoviu greičiu. Tačiau šiuo atveju reikalingos priemonės, kurios jėgainės generatoriaus gaminamą kintamų parametrų elektros srovę paverstų į standartinių parametrų.

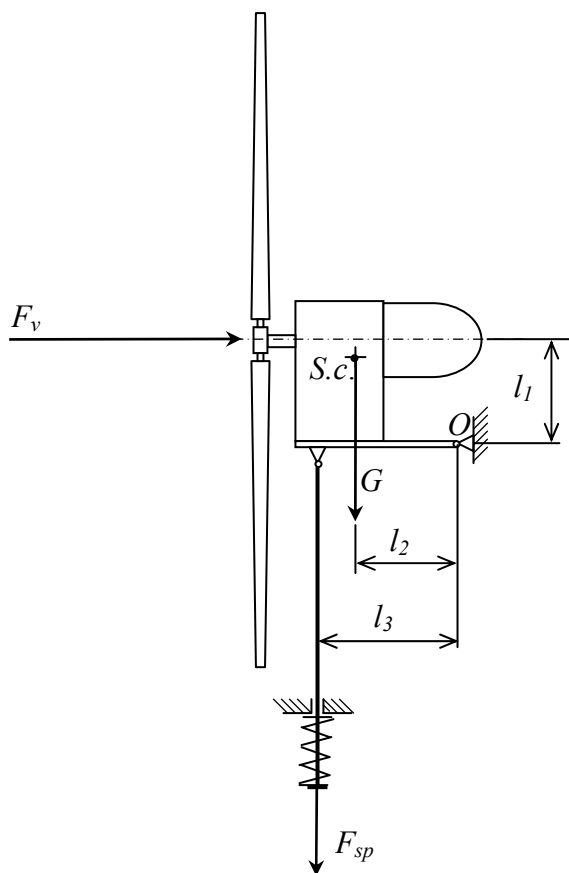


1 pav. Vėjaračių menčių kampai: a – horizontaliosios ašies vėjo jėgainės, b – vertikaliosios ašies vėjo jėgainės. v – vėjo greitis, m/s; ω – kampinis vėjaračio greitis, rad/s; u – oro srauto greitis mentės atžvilgiu, m/s; R – vėjaračio spindulys, m; α – mentės atakos kampas, laipsn.; α_0 – mentės pastatymo kampas, laipsn.

Fig. 1. Scheme of the blade angles: a – horizontal axis windmill; b – vertical axis windmill

Nedidelių vėjo jėgainių galia gali būti reguliuojama ir nekeičiant menčių pastatymo kampo, o apribojant pro vėjaratį praeinantį oro srautą. Šiuo atveju gali būti keičiamas vėjaračio dydis, reguliuojant menčių ilgį (pritaikant teleskopines mentes) arba vėjaračio geometrinę formą (vertikaliosios ašies vėjaračiuose naudojant sulankstomas mentes). Taip pat gali būti keičiama vėjaračio padėtis oro sraute, t. y. jis gali būti pasukamas į šoną arba paverčiamas vertikalioje plokštumoje taip sumažinant pro jį praeinantį oro srautą.

Tiriamoje horizontaliosios ašies vėjo jėgainėje siekiant paprastesnės konstrukcijos vėjaračio galią numatoma reguliuoti keičiant jo padėtį oro sraute, t. y. jėgainės galvutę su vėjaračiu, pavarų dėže bei generatoriumi pakreipiant vertikaloje plokštumoje. Šiuo atveju reikia nustatyti, kokios jėgos veikia vėjaračio galvutę. 2 pav. pateikta tokios vėjo jėgainės galvutės schema. Galvutė su vėjaračiu, pavarų dėže ir generatoriumi sumontuota ant pado, pasukamo apie centrą O . Vėjo greičiui viršijus varinį greitį, vėjo sukelta jėga F_v nugali galvutės su jos elementais svorio jėgą G bei spyruoklės jėgą F_{sp} ir pasuką galvutę apie tašką O . Sumažėjus vėjo greičiui, tuo pačiu ir jėgai F_v , dėl svorio jėgos G ir spyruoklės jėgos F_{sp} veikimo, galvutė grįžta į pradinę padėtį.



2 pav. Horizontaliosios ašies vėjo jėgainės galvutės jėgų schema: F_v – vėjo sukelta jėga; G – jėgainės galvutės svorio jėga; F_{sp} – spyruoklės jėga; O – galvutės sukimosi centras; $S. c.$ – galvutės svorio centras; l_1, l_2, l_3 – jėgų atstumai iki sukimosi centro

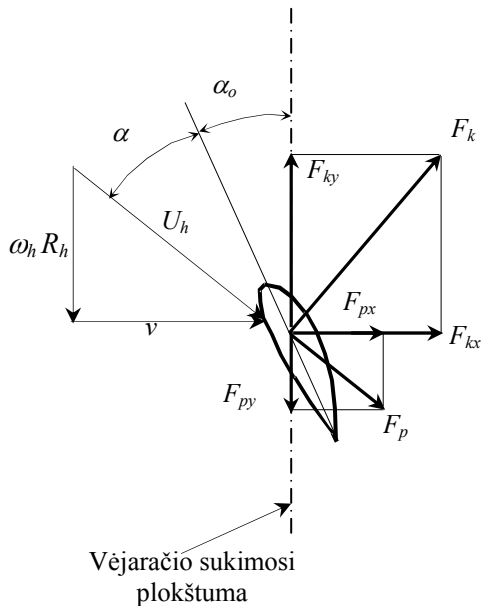
Fig. 2. Scheme of the forces on the horizontal axis windmill hub

Ši sistema bus pusiausvyroje, kai momentų M suma apie tašką O bus:

$$\Sigma M_O = 0, \text{ t. y.: } F_v \cdot l_1 - G \cdot l_2 - F_{sp} \cdot l_3 = 0, \quad (1)$$

čia: F_v – aerodinaminių mentę veikiančių jėgų atstojamoji jėga, N;
 G – jėgainės galvutės svorio jėga, N;
 F_{sp} – spyruoklės, grąžinančios galvutę į pradinę padėtį, jėga, N;
 l_1, l_2, l_3 – veikiančių jėgų atstumai iki sukimosi centro O , m (2 pav.).

Aerodinaminių mentę veikiančių jėgų atstojamoji jėga F_v yra kiekvieną mentę veikiančių jėgų į vėjaračio ašį ($F_{kx}+F_{px}$) suma (3 pav.). Jėgų sudedamosios ($F_{ky}-F_{py}$) sukelia vėjaračio sukimo momentą.



3 pav. Horizontaliosios ašies vėjo jėgainės mentę veikiančių jėgų schema: F_k – keliamoji jėga (statmena greičiui u_h); F_p – pasipriešinimo jėga (veikia greičio u_h kryptimi); F_{kx} , F_{ky} , F_{px} ir F_{py} – jėgų F_k ir F_p projekcijos

Fig. 3. Airfoil forces of the horizontal axis windmill

Yra žinoma [1], kad keliamosios ir pasipriešinimo jėgų išraiškos yra:

$$F_k = 0,5c_y S_h \rho u_h^2; \quad (2)$$

$$F_p = 0,5c_x S_h \rho u_h^2, \quad (3)$$

čia: c_y ir c_x – mentės profilio aerodinaminiai koeficientai;
 S_h – mentės plotas, m^2 ;
 ρ – oro tankis, kg/m^3 ; ($\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$, esant $10^\circ C$ temperatūrai ir 760 mm Hg slėgiui);
 u_h – oro srauto greitis mentės atžvilgiu, m/s ; $u_h = \sqrt{v^2 + \omega_h^2 R_h^2}$ (ω_h – vėjaračio kampinis greitis, rad/s ; R_h – vėjaračio spindulys, m).

Aerodinaminiai koeficientai c_y ir c_x priklauso nuo mentės profilio formos bei geometrinių matmenų, Reinoldso skaičiaus Re , atakos kampo α dydžio. Tiriamos jėgainės mentės profilio NACA 23012 (mentės plotas $S_h = 0,41 \text{ m}^2$) aerodinaminiai koeficientai surandami kataloge [2].

Jėgos F_k projekcija F_{kx} į vėjaračio ašį bus:

$$F_{kx} = F_k \cos \alpha = 0,5c_y S_h \rho u_h^2 \cos \alpha, \quad (4)$$

o jėgos F_p projekcija F_{px} :

$$F_{px} = F_p \sin(\alpha + \alpha_0) = 0,5c_x S_h \rho u_h^2 \sin(\alpha + \alpha_0). \quad (5)$$

Tuomet jėga F_v :

$$F_v = (F_{kx} + F_{px}) \cdot i_h = 0,5 S_h \rho u_h^2 [c_y \cos \alpha + c_x \sin(\alpha + \alpha_0)] \cdot i_h, \quad (6)$$

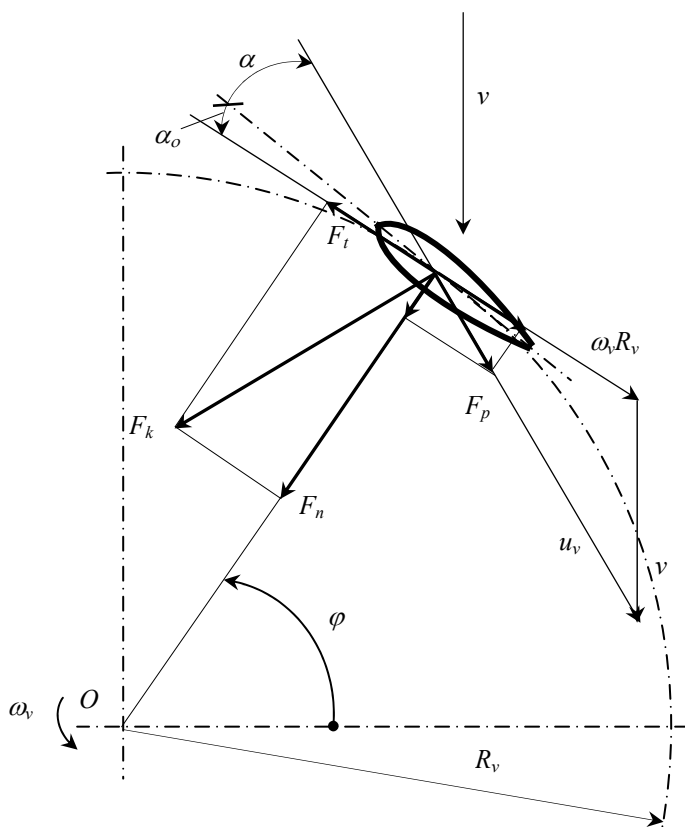
čia i_h – vėjaračio su horizontaliaja ašimi menčių skaičius, vnt.

Žinant vėjo jėgainės galvutės konstrukcinius parametrus (svorio jėgą G , matmenis l_1 , l_2 , l_3) ir pasirinkus vėjo greitį, nuo kurio reikia riboti vėjaračio galią, iš (1) išraiškos nustatoma reikiama spyruoklės jėga:

$$F_{sp} = \frac{0,5 S_h \rho u_h^2 [c_y \cos \alpha + c_x \sin(\alpha + \alpha_0)] \cdot i_h \cdot l_1 - G \cdot l_2}{l_3}. \quad (7)$$

Tiriamai horizontaliosios ašies vėjo jėgainei, kurios vėjaračio spindulys $R_h = 1,75 \text{ m}$, vėjaračio sukimosi greitis 170 min^{-1} , vėjo greitis nuo kurio pradedama riboti galia $v = 8 \text{ m/s}$, parinkta spyruoklė, kurios jėga $F_{sp} = 1500 \text{ N}$.

Vertikaliosios ašies vėjo jėgainėse keisti vėjaračio padėtį oro sraute ar riboti pro vėjaratį praeinančių oro srautą, keičiant jo geometrinę formą ar menčių ilgį, yra sudėtinga. Konstrukciniu požiūriu vertikaliosios ašies vėjaračio galią patogiau reguliuoti keičiant menčių pastatymo kampą. Tačiau vertikaliosios ašies ortogonaliniame vėjaratyje mentės pastatymo kampas turi kiek kitokią įtaką menčių atakos kampo dydžiui negu horizontaliosios ašies vėjo jėgainėse. Vertikaliosios ašies vėjaračio apsisukimo metu mentės atakos kampas α , kinta gana smarkiai, priklausomai nuo vėjo greičio, vėjaračio sukimosi greičio bei vėjaračio pasisukimo kampo. 4 pav. pavaizduota vertikaliosios ašies vėjo jėgainės mentę veikiančių jėgų schema.



4 pav. Vertikaliosios ašies vėjo jėgainės mentę veikiančių jėgų schema: F_k – keliamoji jėga (statmena greičiui u_v); F_p – pasipriešinimo jėga (veikia greičio u_v kryptimi); F_t – mentės traukos jėga, F_n – normalinė jėga (veikia į vėjaračio ašį)

Fig. 4. Airfoil forces of the vertical axis windmill

Mentės atakos kampas α , turintis didelę įtaką mentės aerodinaminiams koeficientams, gali būti išreiškiamas lygtimi [3]:

$$\alpha = \arcsin \frac{v \sin \varphi}{u_v} - \alpha_0, \quad (8)$$

čia: v – vėjo greitis, m/s;

u_v – oro srauto greitis mentės atžvilgiu, m/s;

$u_v = \sqrt{v^2 + \omega_v^2 R_v^2 + 2v\omega_v R_v \cos \varphi}$ (ω_v – vertikaliosios ašies vėjaračio

kampinis greitis, rad/s; R_v – vėjaračio spindulys, m).

α_0 – mentės pastatymo kampas, laipsn.;

α – mentės atakos kampas, laipsn.;

φ – vėjaračio pasisukimo kampas, laipsn.

Kaip matome iš (8) išraiškos, mentės pastatymo kampas α_0 tiesiogiai turi įtakos atakos kampo dydžiui o tuo pačiu keičia ir mentės traukos jėgą F_t , kuri verčia suktis vėjaračių. Ši jėga F_t nustatoma iš tokios išraiškos [3]:

$$F_t = S_v \frac{\rho u_v^2}{2} \left[c_y \frac{v \sin \varphi}{u_v} - \left(c_x + \frac{c_y^2}{\pi \lambda} \right) \cos \arcsin \frac{v \sin \varphi}{u_v} \right], \quad (9)$$

čia: S_v – mentės plotas, m²;

ρ – oro tankis, kg/m³;

λ – mentės proilgis ($\lambda = l^2/S_v$; l – mentės ilgis, m).

Siekiant sukurti mentės pastatymo kampo keitimo įtaisą, tiriamai vertikaliosios ašies vėjo jėgainei, remiantis (8) ir (9) išraiškomis bei mentės profilių katalogu [2] aerodinaminiams koeficientams c_y ir c_x nustatyti, apskaičiuojama kaip kinta mentės atakos kampas α bei traukos jėga F_t vėjaračio apsukimo metu. Skaičiuojant mentės pastatymo kampas keičiamas nuo -20° iki +20°, esant vardiniam 8 m/s vėjo greičiui. Vėjaračio kampinis greitis pasirenkamas $\omega_v = 6,28$ rad/s (60 min⁻¹), atitinkantis nominalų jėgainės elektros generatoriaus sukimosi greitį (750 min⁻¹). Vertikaliosios ašies vėjo jėgainės mentės yra simetrinio WORTMAN FX–L150/25 profilio. Vidutinė mentės aerodinaminė styga – 0,586 m, mentės ilgis – 3,39 m, vėjaračio skersmuo – 6,78 m, vienos mentės plotas – 1,92 m², vienos mentės masė – 15 kg.

Matavimams naudojami prietaisai:

vėjo jėgainės elektrinei galiai – matavimo komplektas K 541;

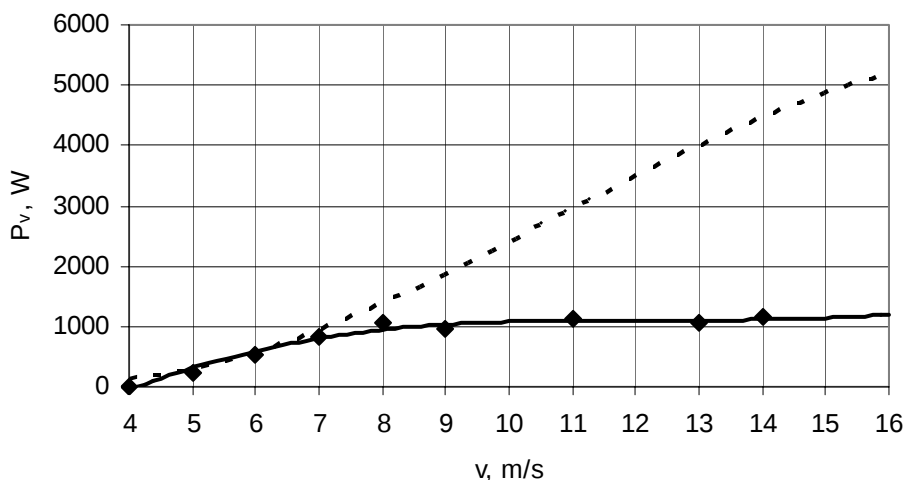
vėjo greičiui – anemometras 4.006/WG su prietaisu ALMEMO 2290-2/3;

vėjaračio sukimosi greičiui – tachogeneratorius G (Γ)-205.

Tyrimų rezultatai

Remiantis analitiniais tyrimais, pagal 2 pav. pavaizduotą schemą buvo sukonstruotas ir pagamintas horizontaliosios ašies vėjo jėgainės galios ribojimo mechanizmas. Veikiant šiam mechanizmui, vėjo greičiui viršijus 8 m/s, į vėjaračio ašį veikianti jėga pasuka vėjaračio galvutę, taip mažėja pro vėjaračio sukimosi plokštumą praeinantis oro srautas, o tuo pačiu ir vėjaračio galia. Eksperimentiniai jėgainės tyrimai atlikti elektros generatoriaus pagamintą elektros energiją atiduodant į elektros tinklą. Vėjo jėgainės tyrimų rezultatai pavaizduoti grafiku 5 pav. Grafike punktyrine linija parodyta teorinė jėgainės galios priklausomybė nuo vėjo greičio, nustatyta analitiniais tyrimais. Eksperimentiniai tyrimai rodo, kad vėjo jėgainė pradeda gaminti elektros energiją, kai vėjo greitis didesnis negu 4 m/s. Vardinė galia 1,1 kW pasiekama esant vėjo greičiui 8–9 m/s. Toliau didėjant vėjo greičiui pradeda veikti jėgainės galios ribojimo įtaisai: galvutė su vėjaračiu atsilenkia ir jėgainės galia išlieka pastovi. 6 pav. parodyta jėgainės normali darbinė padėtis (a) ir su atlenkta galvute (b).

Vertikaliosios ašies vėjo jėgainei analitiniais tyrimais nustatyta kaip kinta vidutinė mentės traukos jėga F_f , priklausomai nuo mentės pastatymo kampo α_0 esant vėjo greičiui 8 m/s ir vėjaračio sukimosi greičiui 60 min^{-1} . Šių skaičiavimų rezultatai pavaizduoti grafike 7 pav.



5 pav. Horizontaliosios ašies vėjo jėgainės galios P_v priklausomybė nuo vėjo greičio v : punktyrinė linija – analitinių, ištinė – eksperimentinių tyrimų

Fig. 5. Horizontal axis wind turbine power dependance on wind speed



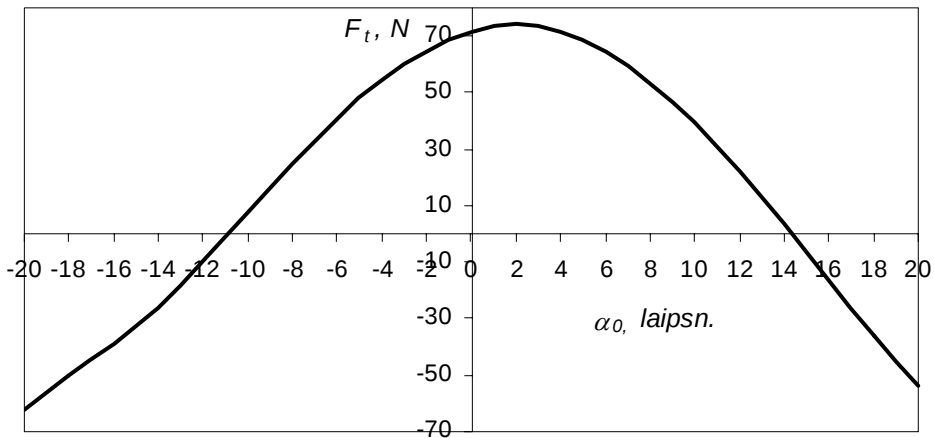
a



b

6 pav. Horizontaliosios ašies vėjo jėgainė: a – normali darbinė padėtis; b – su atlenkta galvute

Fig. 6. The horizontal axis windmill: a – normal working position; b – hub turning position

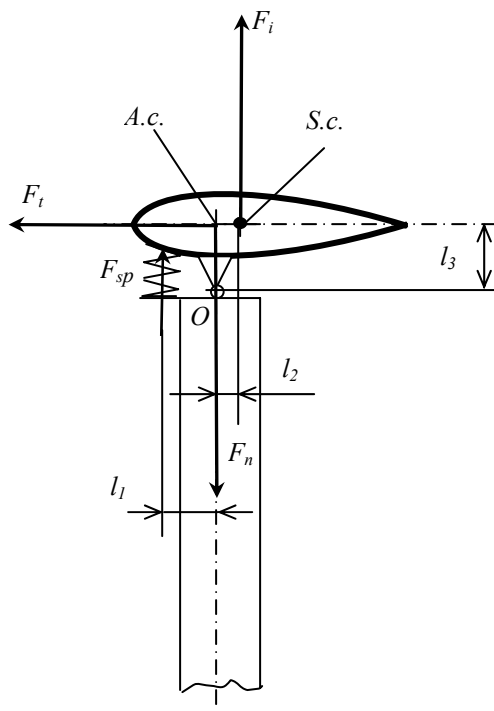


7 pav. Vėjaračio mentės traukos jėgos F_f priklausomybė nuo mentės pastatymo kampo α_0

Fig. 7. Wind turbine airfoil tangential force F_f dependance on blade setting angle α_0

Grafike 7 pav. matome, kad esant neigiamiems mentės pastatymo kampams pradedant minus 13° (mentės priekinė dalis nukreipta į vėjaračio vidų) arba plius 14° ir didesniems (mentės priekinė dalis nukreipta į vėjaračio išorę), vėjaračio mentės vidutinė traukos jėga yra neigiama. Tai reiškia, kad esant tokiems kampams vėjaratis yra stabdomas.

Remiantis šiais tyrimais, vertikaliosios ašies vėjo jėginei sudaryta mentės pastatymo kampo keitimo įtaiso schema, pavaizduota 8 pav. Vėjaračio mentė aerodinaminių jėgų centre (*A. c.*) šarnyriškai pritvirtinta prie vėjaračio traversos. Mentės svorio centras (*S. c.*) šiuo atveju nesutampa su aerodinaminių jėgų centru. Įtaisas veikia taip. Didėjant vėjo greičiui didėja ir traukos jėga, verčianti sukintis vėjaračį, vėjaračio sukimosi greitis auga. Viršijus vardinį vėjaračio sukimosi greitį (60 min^{-1}), mentės išcentrinės jėgos F_i momentas ir traukos jėgos F_t momentas apie šarnyro centrą *O* nugali spyruoklės jėgos F_{sp} momentą ir mentės priekinė dalis pasisuka į vėjaračio vidų. Mentės pastatymo kampas tampa neigiamas ir sumažėja traukos jėga F_t bei vėjaračio sukimosi greitis. Šiuo atveju išcentrinė jėga $F_i = m\omega^2 R_v$ (m – mentės masė, kg; ω – vėjaračio kampinis greitis rad/s; R_v – vėjaračio spindulys, m).



8 pav. Vertikaliosios ašies vėjo jėginės mentės pastatymo kampo keitimo įtaiso schema: *A. c.* – mentės aerodinaminių jėgų centras; *S. c.* – mentės svorio jėgos centras; F_v – mentės traukos jėga; F_i – mentės išcentrinė jėga; F_{sp} – spyruoklės jėga; F_n – normalinė jėga (veikia į vėjaračio ašį); l_1 , l_2 , l_3 – veikiančių jėgų atstumai iki šarnyro centro *O*

Fig. 8. Scheme of the blade setting angle changing device of the vertical axis windmill

Reikia atkreipti dėmesį į tai, kad aerodinaminių jėgų centro padėtis mentėje nėra fiksuota, ji keičiasi priklausomai nuo atakos kampo dydžio. Paprastai prie atakos kampų iki plus 30° šis centras yra 1/3 nuo priekinės mentės briaunos [4]. Esant dideliems 15–20 m/s vėjo greičiams, kai kuriose vėjaračio padėtyse atakos kampas gali siekti 50° ir daugiau [3]. Tuomet aerodinaminių jėgų centras slenka į mentės galą ir gali atsirasti už mentės svorio centro. Tada normalinė jėga F_n mažins išcentrinės jėgos F_i veikimą. Tačiau šis poveikis nėra didelis, nes jėga F_n yra daug kartų mažesnė negu išcentrinė jėga F_i . Pavyzdžiui apskaičiuojama, kad esant vėjo greičiui 8 m/s ir vėjaračio sukimosi greičiui 60 min⁻¹ išcentrinė jėga $F_i=1428$ N, tuo metu vidutinė normalinė jėga tesiekia $F_n=40$ N.

Reikiama įtaiso spyruoklės jėga F_{sp} , konstruktyviai pasirinkus matmenis l_1 , l_2 , l_3 , gali būti nustatoma iš tokios išraiškos:

$$F_{sp} = \frac{F_i \cdot l_2 + F_t \cdot l_3}{l_1}, \text{ N.} \quad (10)$$

Remiantis analitiniais tyrimais sukonstruotas mentės kampo keitimo įtaisas, kurio matmenys: $l_1=0,06$ m; $l_2=0,03$ m; $l_3=0,116$ m; spyruoklės jėga $F_{sp}=700$ N. Šio įtaiso konstrukcijoje yra numatyta ir užfiksuoti mentę norimu kampu nuo minus 20° iki plus 12°.

Išvados

1. Nustatyta horizontaliosios ašies vėjaratį veikiančių aerodinaminių jėgų atstojamosios jėgos priklausomybė nuo vėjo greičio bei kitų faktorių.
2. Parinktas horizontaliosios ašies vėjaračio galios ribojimo būdas keičiant vėjaračio padėtį oro sraute, priklausomai nuo aerodinaminių jėgų atstojamosios jėgos veikimo ir sukurtas jėgainės vėjaračio galios reguliavimo įtaisas.
3. Atlikti eksperimentiniai tyrimai 4–14 m/s vėjo greičio diapazonu parodė, kad horizontaliosios ašies vėjo jėgainės galios ribojimo įtaisas pakankamai gerai atlieka savo funkcijas.
4. Vertikaliosios ašies vėjo jėgainei analitiniais tyrimais nustatyta mentės traukos jėgos priklausomybė nuo jos pastatymo kampo. Kai mentės pastatymo kampai -13° ir mažesni (mentės priekinė dalis nukreipta į vėjaračio vidų) arba +14° ir didesni (mentės priekinė dalis nukreipta į vėjaračio išorę) vėjaratis yra aerodinamiškai stabdomas.
5. Pateikta vertikaliosios ašies vėjo jėgainės galios reguliavimo mechanizmo, keičiančio mentės pastatymo kampą, schema.

Literatūra

1. Wind energy conversion systems/ L. L. Freris. Prentice Hall International (UK), 1990, 338 p.

2. Althaus, D. Stuttgarter Profilkatalog/ Institut für Aerodynamik und Gazdynamik der Universität Stuttgart, 1972, 389 p.
3. Gulbinas, A. Vertikalios ašies vėjaračio darbo efektyvumo tyrimas. *Žemės ūkio inžinerija: LŽŪII ir LŽŪU mokslo darbai*, 2002, t. 34(4), p 79–89.
4. Paknys, L. Transporto priemonių aerodinamikos pagrindai. Kaunas: Technologija, 1999, 140 p.
5. Markevičius, A., Katinas, V. Vėjo energetikos plėtros tendencijos. *Energetika*, 2003, nr. 1, p. 22–27.
6. Ветроэнергетические станции: сборник научных трудов Гидропроекта, 1988, вып. 129, с. 106–113.

Algirdas Gulbinas

POWER REGULATION OF THE WIND TURBINES

Abstract

In the article is presented methods of the wind turbines power regulation. Chosen power regulation method for the small-scale horizontal axis windmill by changing turbine position in air flow depending on the forces in turbines hub. Design power regulation device for such windmill. Done experimental research in 4–14 m/s wind speed range show that power regulation equipment functioning well.

Analytical research estimated blade tangential force dependence on the setting angle of the vertical axis wind turbine. When the blade's setting angles – 13° and less (the front part of the blade is directed towards the interior of the wind turbine) is aerodynamic stopping of the turbine. It is presented scheme of the vertical axis wind turbine's power control device which is changing blade setting angle depending on rotation speed of the wind turbine.

Vertical axis wind turbine, horizontal axis wind turbine, blade setting angle, power regulation.

А. Гульбинас

РЕГУЛИРОВАНИЕ МОЩНОСТИ ВЕТРОУСТАНОВОК

Резюме

В статье изложены способы регулирования мощности ветроустановок. Установлена зависимость равнодействующей аэродинамической силы на ось ветроколеса с горизонтальной осью от скорости ветра и других факторов. Предложен способ регулирования

мощности, изменяя положение ветроколеса в воздушном потоке в зависимости от равнодействующих аэродинамических сил и создано приспособление для регулирования мощности ветроколеса с горизонтальной осью вращения. Проведенные экспериментальные исследования данного приспособления показали, что в диапазоне скоростей ветра 4–14 м/с оно достаточно точно выполняет свои функции.

Для ветроустановки с вертикальной осью вращения аналитическими исследованиями определена зависимость тянущей силы лопасти от угла установки этой лопасти. Установлено, что при углах установки лопасти -13° и меньших (отклонение носка лопасти в центр вращения ветроколеса) а также $+14^\circ$ и больших (отклонение носка лопасти наружу от центра вращения ветроколеса) происходит аэродинамическое торможение ветроколеса. Предложена схема механизма, регулирующего мощность ветроколеса с вертикальной осью вращения.

Ветроколесо с горизонтальной осью, ветроколесо с вертикальной осью, угол установки лопасти, регулирование мощности.