

Invenția se referă la energetica eoliană, și anume la turbine eoliene destinate pentru consumatorii individuali.

Este cunoscută o turbină eoliană, care include un turn, pe care este instalat un rotor cu pale, amplasat pe un butuc într-o gondolă, instalată cu posibilitatea rotirii în jurul turnului, precum și un generator electric, arborele căruia este legat direct cu arborele rotorului cu pale.

Dezavantajele turbinei cunoscute constau în aceea că la depășirea valorii nominale ale vitezei vântului are loc schimbarea automată a unghiului de atac al palelor, micșorându-se turațiile rotorului, precum și în aceea că construcția este complicată și posedă fiabilitate redusă [1].

Problema pe care o rezolvă invenția este sporirea eficienței conversiei energiei eoliene în energie utilă la vânturi cu rafale cu direcția schimbătoare în scurt timp.

Problema se rezolvă prin aceea că turbină eoliană cu roți-vindroză aerodinamice conține un turn, pe care este instalat un rotor cu pale, amplasat pe un butuc într-o gondolă, instalată cu posibilitatea rotirii în jurul turnului, precum și un generator electric, arborele căruia este legat cu arborele rotorului cu pale. În interiorul gondolei este instalat un sistem hidraulic, prin intermediul căruia gondola are posibilitatea de înclinare față de axa turnului. De o parte și de alta a gondolei sunt instalate două roți-vindroză, palele cărora sunt executate cu profil aerodinamic asimetric, amplasat față de planul de rotație a roților-vindroză sub un unghi $\theta = (8...28)^\circ$, care este egal cu unghiul $\theta(t)$ de variație a extremelor direcției vântului, dependent de viteza nominală a vântului și diametrul roții-vindroză (9), conform formulei:

$$\theta_{(t)} = \left\{ \begin{array}{ll} 0^\circ (1) & \text{pentru } t < 0; \\ \pm 0.5\theta_e \left(1 - \cos \frac{\pi}{T} t\right) (2) & \text{pentru } 0 < t < T; \\ \theta_e (3) & \text{pentru } t > T, \end{array} \right\}$$

$$\text{unde } \theta_e = \pm 4.8 \arctan \left\{ \frac{\sigma_1}{V_{a.r.} \left[1 + 0.1 \left(\frac{D}{\Lambda_1} \right) \right]} \right\},$$

$V_{a.r.}$ – viteza vântului la înălțimea axului rotorului;

$\sigma_1 = 0,16(0,75 V_{a.r.} + 5,6)$ – deviația standard a vitezei longitudinale a vântului la înălțimea axului rotorului;

D – diametrul roții-vindroză;

Λ_1 – parametrul scalei de turbulență;

$T = 6$ s – durata schimbării direcției extreme a vântului;

t – durata schimbării direcției rafalei de vânt.

Roțile-vindroză sunt legate cinematic cu rotorul, astfel încât acesta se poziționează perpendicular pe direcția schimbată a fluxului de aer, iar profilurile palelor roților-vindroză sunt executate cu simetrie în oglindă.

Roțile-vindroză pot fi plasate simetric față de axa longitudinală a gondolei la o distanță $l > D$, iar diametrul gondolei constituie $d = (0,4 \div 0,6)D$.

Roțile-vindroză pot fi amplasate în zona amonte a rotorului.

Roțile-vindroză (9) pot fi amplasate în zona aval a rotorului, fiind dotate cu niște ecrane circulare cu lățimea $b \leq l \sin \theta(t)$.

Turbina eoliană cu roți-vindroză conform invenției asigură următoarele avantaje.

Palele roților-vindroză dotate cu profil aerodinamic asimetric amplasat față de planul de rotație a roților-vindroză sub un unghi $\theta = (8...28)^\circ$ dependent de viteza vântului și diametrul roții-vindroză asigură majorarea forțelor aerodinamice aplicate asupra palelor și sporirea frecvenței de rotație a roții-vindroză și a momentului de torsiune transmis arborelui acesteia, fapt ce conduce la sporirea operativității și sensibilității orientării rotorului la direcția schimbată a vântului și implicit la sporirea eficienței conversiei.

Plasarea roților-vindroză în zona amonte a rotorului poziționate simetric față de axa longitudinală a gondolei la o distanță $l > D$, conduce la diminuarea influenței negative a efectelor de turbulență, provocate de rotorul cu pale și gondolă asupra forțelor aerodinamice, ce acționează asupra palelor roții-vindroză.

În turbina eoliană cu roți-vindroză amplasate în zona avală a rotorului cu pale, acestea sunt dotate cu niște ecrane circulare cu lățimea $b \leq l \sin \theta(t)$, care protejează roțile-vindroză de influența turbulenței provocate de rotorul cu pale și sporește sensibilitatea orientării turbinei la direcția vântului.

Invenția se explică prin desenele din fig. 1-8, care reprezintă:

- fig.1, vederea generală a turbinei eoliene cu amplasarea roților-vindroză cu profil aerodinamic al palelor în zona amonte a rotorului;

- fig. 2, schema cinematică a mecanismului de orientare a turbinei eoliene cu roți-vindroză cu profil aerodinamic al palelor, amplasate în zona amonte a rotorului;

- fig. 3, schema principală a mecanismului de orientare a turbinei eoliene la direcția vântului;
- fig. 4, turbina eoliană la schimbarea direcției vântului în timp, pentru $V_{a.r.} = 25$ m/s;
- fig. 5, schema principală a mecanismului de înclinare a axei rotorului față de planul orizontal;
- fig. 6, schema forțelor aerodinamice în roată-vindroză cu profil asimetric;
- fig. 7, vederea generală a turbinei eoliene cu amplasarea roților-vindroză cu profil aerodinamic al palelor în zona avală a rotorului;
- fig. 8, schema principală a turbinei eoliene cu roți-vindroze amplasate în zona aval a rotorului.

Turbina eoliană (fig.1) conține un turn 1, pe care este instalat un rotor 3 cu pale 4, amplasat pe un butuc într-o gondolă 2, instalată cu posibilitatea rotirii în jurul turnului 1, precum și un generator electric 5, arborele căruia este legat cu arborele rotorului 3 cu pale 4. Gondola 2 este instalată în rulmenți într-o carcasa 6 cu posibilitatea de a se înclina sub un anumit unghi față de planul orizontal, iar carcasa 6 este instalată în rulmenți pe arborele 7 fixat de turnul 1 cu posibilitatea de a se roti în jurul acestuia.

În zona amonte a rotorului 3 pe un arbore comun 8 (fig. 2), instalat în sprijini cu rulmenți 16 fixate de carcasa 6, sunt instalate două roți-vindroză 9 cu pale cu profil aerodinamic amplasate simetric pe de o parte și alta a gondolei 2. Roțile-vindroză 9 sunt amplasate astfel încât profilurile aerodinamice ale palelor reprezintă o simetrie oglindă. Arborele 8 (fig. 2) este dotat cu un angrenaj melcat 10 de stânga (cu suprafața elicoidală de stânga) angrenat cu o roată melcată 11 instalată pe un arborele condus 12 al altui angrenaj melcat de dreapta (cu suprafața elicoidală de dreapta) și o roată melcată 13, instalată pe carcasa 6 cu rulmenți 14 montați pe arborele 7 fixat de turn. În interiorul gondolei 2 pe o platformă fixată de carcasa 6 este instalată o stație hidraulică, care antrenează un hidrocilindru 15 fixat la un capăt, prin intermediul articulației 17 cu gondola 2, iar la altul, prin intermediul articulației 18 cu carcasa 6. Gondola 2 este instalată în rulmenți pe sprijinele 19 fixate imobil de carcasa 6.

Turbina eoliană funcționează în modul următor.

La viteza vântului $V > 3$ m/s, fluidul interacționând cu palele 4 cu profil aerodinamic (fig. 3, a) antrenează rotorul 3 și implicit arborele generatorului electric 5 cu magneți permanenți în mișcare de rotație cu viteza unghiulară de rotație ω .

În cazul în care direcția vântului este perpendiculară pe suprafața baleiată a rotorului 3 cu palele 4 (fig. 3,b), roțile-vindroză 9 având profiluri asimetrice (oglină) nu se rotesc sub acțiunea fluxului de aer. Roțile-vindroză 9 încep să se rotească într-o direcție sau alta doar în cazul în care direcția vântului (V_1, V_2) se schimbă și formează un oarecare unghi $\theta(t)$ cu axa de rotire a rotorului 3.

Palele roților-vindroză 9 cu profil aerodinamic sunt amplasate astfel încât la schimbarea direcției vântului (spre exemplu V_1) sub un anumit unghi $\theta(t)$ (fig. 3,b) forțele aerodinamice dezvoltate de pale impun roților-vindroză 9 o mișcare de rotație cu viteza unghiulară ωV în sensul mișcării acului de ceasornic. Mișcarea de rotație de la roțile-vindroză 9, prin intermediul celor două angrenaje melcate (fig. 2), unul fiind de stânga, iar altul de dreapta, se transmite carcasei 6, care împreună cu gondola 2 (fig. 3, b) se vor roti în jurul axei turnului O-O cu viteza unghiulară $\omega_g = \omega V / i_1 \cdot i_2$ în sensul opus mișcării acului de ceasornic. Rotirea gondolei 2 (în sensul opus mișcării acului de ceasornic) împreună cu rotorul 3 în jurul axei turnului O-O va dura până când planul de rotire a roților-vindroză 9 nu va coincide cu direcția vântului V_1 , iar planul de rotire a rotorului 3 nu se va poziționa perpendicular pe direcția vântului.

Palele cu profil aerodinamic al roților-vindroză 9 sunt amplasate astfel încât la schimbarea direcției fluxului de aer V_2 (fig. 3,b) forțele aerodinamice impun roților-vindroză 9 mișcare de rotație cu sens opus mișcării acului de ceasornic, iar rotorului 3 mișcare de rotație în jurul axei turnului O-O după sensul mișcării acului de ceasornic, astfel orientându-l la direcția fluxului de aer V_2 (sau în sens opus în raport cu cazul direcției fluxului de aer cu V_1).

Conform măsurărilor pe durata unui an s-a constatat că rafalele de vânt într-o perioadă de timp t de până la 10 s își schimbă direcția pe extreme de la 0° până la 28° , conform funcției prezentate în fig. 4 (pentru viteza la axul rotorului $V_{a.r.} = 25$ m/s).

Pentru ca roțile-vindroză 9 să se poziționeze în zona amonte sub acțiunea fluxului de aer și pentru a asigura orientarea operativă a rotorului turbinei eoliene la direcția vântului este necesar ca la schimbarea într-un anumit interval de timp a direcției vântului lanțul cinematic „vindroză – angrenajele melcate – turn” trebuie să satisfacă următoarele cerințe:

1. Roțile-vindroză 9 să dezvolte frecvență de rotații n_V necesare să orienteze rotorul cu pale la direcția vântului în timp de până la 10 s cu o oarecare inerție (întârziere) pentru a exclude efectele dinamice (provocate de schimbarea rapidă a direcției vântului), conform relației:

$$n_V = \frac{1}{k} n_r i_1 \cdot i_2 = \frac{1}{k} \frac{\theta(t)}{t} i_1 \cdot i_2, \text{ min}^{-1}$$

unde: k este coeficientul de asigurare a inerției orientării turbinei la direcția vântului ($k > 1$);

n_r – frecvența de rotație a rotorului cu pale aerodinamice la direcția vântului, min^{-1} ;

i_1, i_2 – rapoarte de transmitere a angrenajelor melcate;

$\theta(t)$ – unghiul dintre extremele de schimbare a direcției rafalei de vânt, grade unghiulare;

t – durata de timp de schimbare a direcției rafalei de vânt, sec.

2. Roțile-vindroză 9 să dezvolte moment de torsiune T , necesar pentru a învinge momentul reactiv T_r (la arborele 7, fig. 3,a în jurul căruia se rotește gondola), dezvoltat de la interacțiunea rafalelor de vânt cu rotorul aerodinamic în rotație, determinat din relația:

$$T_v = \frac{T_r}{i_1 \cdot i_2 \eta_\Sigma},$$

unde: T_r este momentul reactiv (la arborele 7 în jurul căruia se rotește gondola) dezvoltat de interacțiunea rafalelor de vânt cu rotorul aerodinamic în rotație;

i_1, i_2 – rapoarte de transmitere ale angrenajelor melcate;

η_Σ – randamentul mecanic sumar al lanțului cinematic (angrenaje melcate, perechi de rulmenți).

3. Transmisiile lanțului cinematic de orientare a rotorului turbinei la direcția vântului, trebuie să asigure rotirea acestuia împotriva sensului mișcării acului de ceasornic, când direcția fluxului de aer s-a schimbat conform V1, și după sensul mișcării acului de ceasornic, când direcția fluxului de aer s-a schimbat conform V2.

Viteza vântului conform cerințelor de proiectare a turbinelor eoliene de putere mică de până la 20 kW variază de la 3 m/s până la 22,5 m/s. Odată cu creșterea vitezei fluxului de aer până la $V = 14$ m/s crește și viteza unghiulară ω ale arborilor rotorului 3 și generatorului electric 5 (fig. 5,a) și, respectiv, puterea energiei convertite la bornele acestuia în limite admisibile.

În scopul protejării generatorului electric 5 de suprasarcini în intervalul vitezelor (14...22,5) m/s este necesar de a micșora suprafața baleiată de către palele 4 ale rotorului 3 proiectată pe planul perpendicular direcției fluxului de aer.

În soluția tehnică propusă, micșorarea acestei suprafețe se realizează prin înclinarea sub un anumit unghi γ al axei $O'-O'$ rotorului 3 față de planul orizontal, prin intermediul, spre exemplu, a unui sistem hidraulic, astfel menținând mai operativ (în scurt timp) frecvența de rotație a generatorului electric 5 în limitele admisibile, respectiv și tensiunea curentului electric la bornele acestuia (fig. 5,b).

În cazul în care vitezele fluxului de aer nu depășesc 14 m/s axa $O'-O'$ rotorului 3 și a gondolei 2 se află pe planul orizontal, iar când viteza vântului depășește 14 m/s prin intermediul unui traductor de tensiune a curentului electric motorul electric al stației hidraulice 20 (fig.5,b) se conectează la un acumulator electric (individual), și, acționând hidrocilindrul 15, axa $O'-O'$ a rotorului 3 se înclină sub un anumit unghi γ față de planul orizontal. În acest caz suprafața baleiată de către palele rotorului 3 proiectată pe planul perpendicular pe direcția vântului (V) se micșorează și, respectiv, se micșorează frecvența de rotații a generatorului electric 5 și puterea generată de acesta.

Roțile-vindroză 9 cu profil rectiliniu al palelor se caracterizează prin frecvențe de turații și momente de torsiune reduse, dependente de presiunea fluxului de aer dezvoltată pe suprafața paletelor și de dimensiunile diametrale ale acestora.

Din aceste considerente, la utilizarea roților-vindroză 9 cu profil rectiliniu al palelor timpul de orientare a rotorului la direcția vântului este mult mai mare (180o în aproximativ 30 de minute) decât durata unei rafale de vânt. Aceasta conduce la diminuarea randamentului conversiei energiei eoliene în energie utilă.

În invenția propusă, roțile-vindroză 9 dotate cu pale cu profil aerodinamic din familia NACA (fig.6) la aceleași viteze ale fluxului de aer, datorită forțelor aerodinamice dezvoltă turații mult mai mari, asigurând astfel orientarea rotorului la direcția vântului mult mai operativă.

De asemenea este de menționat că momentul de torsiune la arborele 8 al roților-vindroză 9 se formează prin acțiunea asupra palelor a presiunii p exercitată de fluxul de aer și complementar prin acțiunea forțelor aerodinamice portante FL , datorate profilului aerodinamic al acestora.

În fig. 6 sunt prezentate forțele care acționează asupra palei la interacțiunea acesteia cu fluxul de aer. Palele cu profil aerodinamic sunt amplasate astfel încât cordul lor formează cu planul de rotație al roților-vindroză 9 unghiul θ . Unghiul θ este egal cu unghiul $\theta(t)$ de variație a extremelor direcției vântului, care cuprinde intervalul valoric 8o...28o dependent de viteza vântului și diametrul roții-vindroză, conform formulei:

$$\theta_{(t)} = \left\{ \begin{array}{ll} 0^0 \quad (1) & \text{pentru } t < 0; \\ \pm 0.5\theta_e \left(1 - \cos \frac{\pi}{T} t\right) \quad (2) & \text{pentru } 0 < t < T; \\ \theta_e \quad (3) & \text{pentru } t > T, \end{array} \right\}$$

$$\text{unde } \theta_e = \pm 4.8 \arctan \left\{ \frac{\sigma_1}{V_{a.r.} \left[1 + 0.1 \left(\frac{D}{\Lambda_1} \right) \right]} \right\},$$

Fluxul de aer exercită presiunea p asupra palelor plasate în zona superioară axei O-O de rotație a roților-vindroză 9 (conform desenului) și penetrează palele plasate în zona inferioară axului de rotație a acestora.

În acest caz datorită diferenței proiecției suprafețelor palelor de pe ambele părți ale axei O-O roților-vindroză 9 pe planul perpendicular direcției vântului, roțile-vindroză 9 se va roti după sau contra sensului mișcării acului de ceasornic (funcție de schimbarea direcției vântului) cu momerntul de torsiune aplicat $T_{pl}=F_t \cdot d/2$ la axa roților-vindroză 9. Forța aerodinamică portantă F_L se determină din formula:

$$F_L = \frac{1}{2} C_L \rho V_{ref}^2 A_{proiecție},$$

unde C_L este coeficientul de portanță care este funcție de forma profilului aerodinamic a palei, unghiul de atac și numărul lui Reynolds, ρ – densitatea aerului, V_{ref} – viteza de referință a vântului, $A_{proiecție}$ – aria proiecției palelor pe planul ortogonal direcției vântului. Frecvența de rotație n și puterea P depind de viteza de referință și sunt în relație cu momentul la mecanismul de acționare T_M :

$$T_M = \frac{30P}{\eta \pi n},$$

unde η este randamentul mecanismului de acționare calculat prin formula:

$$\eta = 0,6 + 0,000005 \cdot P.$$

Timpul de orientare a rotorului la direcția vântului este comparabil cu durata rafalei de vânt, iar momentul la arborele 8 al roților-vindroză 9 crește. Datorită acestor avantaje utilizarea roților-vindroză 9 cu pale cu profil aerodinamic asigură sporirea operativității orientării rotorului eolian la direcția schimbătoare a vântului și respectiv a eficienței conversiei energiei eoliene în energie utilă.

Pentru turbine eoliene cu diametrul rotorului aerodinamic de până la 10 m caracterizate prin momente reactive T_r relativ mici, roțile-vindroză 9 (fig.7) pot fi amplasate în zona aval a rotorului 3. Principiul de funcționare a turbinei cu roțile-vindroză 9 amplasate în zona aval a rotorului 3 este similar cu cel al turbinei prezentate în fig. 1.

În turbina eoliană prezentată în (fig.8,a) rotorul 3 se orientează la direcția vântului în modul următor. La interacțiunea fluxului de aer, spre exemplu cu viteza V_1 palele cu profil aerodinamic se vor roti cu viteza unghiulară ωV împotriva sensului mișcării acului de ceasornic, iar prin intermediul lanțului cinematic, spre exemplu, cu două angrenaje melcate cu ambii melci de dreapta, gondola 2 se va roti în jurul axei O-O după sensul mișcării acului de ceasornic. Rotirea gondolei 2 va dura până când axa rotorului 3 nu va coincide cu direcția de curgere a fluxului de aer.

Protecția generatorului electric 5 de suprasarcina la viteze mari ale vântului se asigură similar ca și în turbina eoliană cu roțile-vindroză 9 amplasate în zona amonte ale rotorului. Unghiul de înclinare γ a gondolei 2 depinde de tensiunea curentului electric generală la bornele generatorului, în funcție de viteza fluxului de aer.

Avantajul major a turbinei eoliene cu amplasarea roților-vindroză 9 (fig.8,a,b) în zona aval a rotorului 3 constă în excluderea efectului de umbrire de către turnul 1 a palei 4 (fig.8,b), care traversează zona inferioară a suprafeței baleiate de către rotorul 3. Totodată această configurație se caracterizează negativ prin faptul că roțile-vindroză 9, amplasate în zona aval a rotorului 3, sunt influențate de posibile perturbații turbulente provocate de către rotorul 3 cu pale 4 aerodinamice în rotație și gondolă 2. Pentru a realiza avantajul major menționat și a diminua impactul negativ al perturbațiilor turbulente, roțile-vindroză 9 sunt dotate cu ecran circular 21 (fig.8,a), amplasat la periferia palelor, cu lățimea:

$b \leq l \sin(\theta)$, unde roțile-vindroză 9 sunt plasate simetric față de axa longitudinală a gondolei 2 la o distanță $l > D$, diametrul gondolei constituie $d=(0,4+0,6)D$, iar D este diametrul exterior al roții-vindroză.

Pentru orientarea corectă a rotorului aerodinamic la direcția fluxului prin intermediul roților-vindroză 9 cu pale cu profiluri poziționate în simetrie oglindă, în turbina eoliană prezentată în fig.7 cu amplasarea acestora în zona aval rotorului, cele două angrenaje melcate ale lanțului cinematic de orientare sunt dotate cu melci analogici (ambii de stânga sau ambii de dreapta), iar în turbina eoliană prezentată în fig.1 cu roțile-vindroză 9 amplasate în zona amonte a rotorului angrenajele melcate trebuie să fie dotate cu melci diferiți, unul de stânga și altul de dreapta.