



MD 660 Y 2013.07.31

REPUBLICA MOLDOVA



(19) Agenția de Stat  
pentru Proprietatea Intelectuală

(11) **660** (13) **Y**  
(51) Int.Cl: *F03D 1/00* (2006.01)  
*F03D 7/04* (2006.01)  
*F22B 3/06* (2006.01)  
*F04B 17/02* (2006.01)

(12) **BREVET DE INVENȚIE  
DE SCURTĂ DURATĂ**

În termen de 6 luni de la data publicării mențiunii privind hotărârea de acordare a brevetului de invenție de scurtă durată, orice persoană poate face opoziție la acordarea brevetului

(21) Nr. depozit: s 2013 0047  
(22) Data depozit: 2013.03.12

(45) Data publicării hotărârii de  
acordare a brevetului:  
2013.07.31, BOPI nr. 7/2013

(71) Solicitant: UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI, MD  
(72) Inventatori: BOSTAN Viorel, MD; SOBOR Ion, MD  
(73) Titular: UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI, MD

(54) **Turbină eoliană**

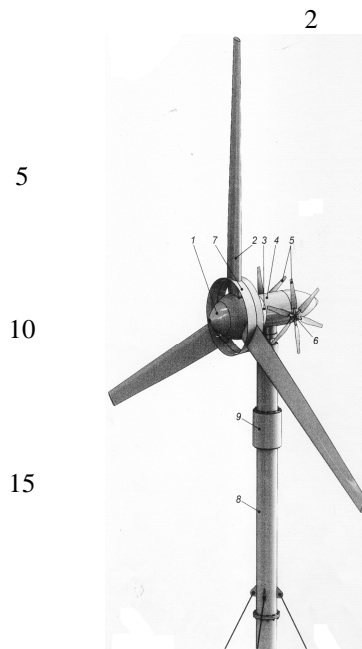
(57) **Rezumat:**

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

Turbina eoliană conține un turn (8), pe care este instalat un rotor (1) cu pale (2) cu profil aerodinamic, amplasat într-o gondolă, montată cu posibilitatea rotirii ei în jurul turnului (8) prin intermediul unor roți-vindroză (5), cuplate la un mecanism de acționare, format din două angrenaje cu melc, un difuzor (7) inelar convergent, fixat de pale (2) coaxial cu rotorul (1), precum și un generator termic (9), montat între secțiunile turnului (8) și legat cinematic cu rotorul (1) printr-un angrenaj conic.

Revendicări: 1

Figuri: 13



MD 660 Y 2013.07.31

## (54) Wind turbine

### (57) Abstract:

The invention relates to wind-power engineering, namely to wind turbines designed for individual consumers.

The wind turbine comprises a mast (8), on which is installed a rotor (1) with blades (2) with aerodynamic profile, placed in a gondola, mounted with the possibility of rotation around the mast (8) by means of tail-vane wheels (5), connected to a drive, formed of two worm gearings, an annular convergent diffuser (7),

fixed to the blades (2) coaxially with the rotor (1), and a thermogenerator (9), mounted between the sections of the mast (8) and kinematically connected to the rotor (1) by means of a bevel gearing.

Claims: 1

Fig.: 13

## (54) Ветроэнергетика

### (57) Реферат:

Изобретение относится к ветроэнергетике, а именно к ветротурбинам, предназначенным для индивидуальных потребителей.

Ветроэнергетика содержит мачту (8), на которой установлен ротор (1) с лопастями (2) с аэродинамическим профилем, размещенный в гондоле, смонтированной с возможностью ее вращения вокруг мачты (8) посредством винтовых колес (5), подсоединенных к приводу, сформирован-

ному из двух червячных передач, кольцевой сужающийся диффузор (7), закрепленный к лопастям (2) коаксиально с ротором (1), а также термогенератор (9), смонтированный между секциями мачты (8) и кинематически связанный с ротором (1) посредством конической передачи.

П. формулы: 1

Фиг.: 13

**Descriere:**

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

5 În domeniul sistemelor de conversie a energiei curenților atmosferici direct în energie termică s-au configurat trei direcții de dezvoltare.

Prima direcție se referă la soluțiile tehnice, prin care potențialul energetic disponibil al curenților atmosferici se convertește în energie electrică, iar aceasta ulterior se transformă în energie termică. Aceste sisteme de conversie a energiei eoliene în energie utilă se caracterizează prin pierderi suplimentare la transformarea energiei mecanice în energie electrică, apoi în energie termică și, respectiv, prin costuri relativ sporite.

10 A doua direcție se referă la sistemele de conversie a energiei curenților atmosferici direct în energie termică, produsă în dispozitive speciale prin forțele de frecare internă a lichidului, spre exemplu prin injectarea lichidului sub presiune prin orificii de dimensiuni mici cu degajarea căldurii.

15 Dezavantajele acestor sisteme constau în fiabilitatea redusă și costurile înalte ale dispozitivelor hidraulice de presiune înaltă.

A treia direcție se referă la dezvoltarea sistemelor tehnice de conversie a energiei eoliene direct în energie termică, produsă în generatoare termice cu curenți turbionari, care transformă energia mecanică în energie termică.

20 Această direcție de dezvoltare se caracterizează prin lărgirea posibilităților de sporire a eficienței conversiei potențialului energetic eolian disponibil în energie utilă pentru un diapazon extins al vitezelor curenților de aer. Se consideră ideal, ca sistemul de conversie a energiei eoliene să funcționeze eficient în întreaga gamă de variație a vitezei curenților de aer în localitatea de instalare a turbinei eoliene, spre exemplu, de la 3 până la 20...25 m/s. Totodată, în turbinele eoliene cu puterea de până la 30 kW, puterea nominală corespunde vitezei vantului de 10...12 m/s.

În acest caz în turbinele eoliene cu trei pale, la viteza vantului de 20 m/s, factorul de suprasarcină a sistemului de conversie a energiei eoliene în energie electrică (cu generatoare electrice) ar trebui să crească de 5...6 ori.

30 În realitate, generatoarele electrice uzuale au un factor de suprasarcină de 1,2 ...1,3.

Rezultă că pentru viteze ale vântului mai mari decât cea nominală de 10...12 m/s trebuie să limităm puterea mecanică convertită în energie electrică, fapt ce conduce la scăderea bruscă a eficienței conversiei energiei mecanice în energie electrică.

35 Pentru conversia energiei cinetice a curenților atmosferici direct în energie termică cu turbine eoliene relativ mici (până la 20...30 kW) sunt cunoscute soluții tehnice bazate pe diferite dispozitive de transformare a energiei mecanice în energie termică.

40 Este cunoscut un sistem de încălzire cu acționare eoliană, care include un turn, pe care este instalat un rotor cu pale, amplasat pe un butuc cu posibilitatea orientării lui la direcția vântului cu ajutorul unei giruete, o pompă hidraulică volumetrică cu roți dințate, arborele conducător al căreia este legat coaxial cu arborele rotorului cu pale, un sistem hidraulic conectat la pompa hidraulică volumetrică cu roți dințate și la un rezervor cu ulei prin conductele de aspirație și refulare, dotat cu un dempfer cu orificiu cu diametrul mic. Rotorul cu pale, sub acțiunea curenților de aer, acționează în mișcare de rotație arborele pompei cu roți dințate angrenate între ele, astfel încât uleiul din spațiul interdental generează presiune în conducta de refulare. La curgerea uleiului prin dempferul cu orificiu cu diferență de presiune se degajă căldură cu evacuarea acesteia în rezervorul cu ulei, iar din rezervor – în sistemul de încălzire rezidențial [1].

45 Este cunoscut un sistem de încălzire cu acționare eoliană, care include un turn, pe care este instalat un rotor cu pale, amplasat pe un butuc cu posibilitatea orientării lui la direcția vântului cu ajutorul unei giruete, o pompă hidraulică volumetrică cu roți dințate, arborele conducător al căreia este legat coaxial cu arborele rotorului cu pale, un sistem hidraulic conectat la pompa hidraulică volumetrică cu roți dințate și la un rezervor cu ulei prin conductele de aspirație și refulare, dotat cu un dempfer cu orificiu cu diametrul mic. Rotorul cu pale, sub acțiunea curenților de aer, acționează în mișcare de rotație arborele pompei cu roți dințate angrenate între ele, astfel încât uleiul din spațiul interdental generează presiune în conducta de refulare. La curgerea uleiului prin dempferul cu orificiu cu diferență de presiune se degajă căldură cu evacuarea acesteia în rezervorul cu ulei, iar din rezervor – în sistemul de încălzire rezidențial [1].

50 Dezavantajul acestui sistem constă în fiabilitatea redusă a componentelor exploatate sub presiune înaltă. Totodată, sistemul hidraulic cu lungime considerabilă (egală cu înălțimea turnului), conectat la un capăt cu pompa cu roți dințate, iar la alt capăt cu rezervorul de ulei, se rotește în jurul axei turnului odată cu orientarea rotorului cu pale la direcția schimbătoare a vântului, fapt care necesită soluții constructive complexe și costisitoare.

55 În calitate de cea mai apropiată soluție este prezentată o turbină eoliană, care 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. Turbina este dotată cu două roți-vindroză cu pale cu profil aerodinamic, amplasate simetric de o parte și de alta a gondolei, în interiorul gondolei este instalat un sistem hidraulic, prin intermediul căruia gondola are posibilitatea de înclinare față

de axa turnului. Pentru sporirea eficienței conversiei energiei fluxului de aer cuprins de toată suprafața baleiată de către palele rotorului, inclusiv de zona adiacentă butucului, în zona centrală a rotorului este amplasată coaxial o turbină multipală centrală cu un diametru  $d=(0,1\dots 0,15)$  din diametrul  $D$  al rotorului, constituită dintr-un difuzor interior divergent, un difuzor exterior convergent și o coroană cu pale, amplasată în zona amonte între acestea, care au profil aerodinamic și sunt înclinate față de planul suprafeței baleiate a rotorului sub un unghi în aceeași direcție ca și înclinarea palelor rotorului. Turbina multipală centrală poate fi dotată suplimentar cu al doilea rând de pale, amplasat în zona aval a rotorului [2].

Dezavantajele acestei turbine, în cazul utilizării energiei eoliene în vederea producerii energiei termice pentru încălzirea spațiilor rezidențiale și alte necesități, constau în următoarele.

În primul rând, este relevantă problema legată de acumularea energiei utile produse și folosirii ei în perioadele când viteza curenților de aer  $V < 3$  m/s, care în cazul energiei termice tehnic se rezolvă mai simplu și cu costuri mai reduse. Spre exemplu, raportul dintre costul unui acumulator electric (în cazul turbinelor eoliene cu generatoare electrice) și al unui acumulator termic de aceeași capacitate (în cazul turbinelor eoliene cu conversia energiei eoliene direct în energie termică) este de 10 ori mai mare, iar durata de exploatare a acumulatorului termic este mai mare decât a celui electric.

În al doilea rând, producerea energiei termice din energie electrică cu utilizarea acumulatorilor electrice sau din energia electrică produsă direct de generatorul electric al turbinei eoliene se caracterizează prin costuri mai mari și eficiență mai redusă, determinată de transformarea dublă a energiei mecanice în energie termică.

În al treilea rând, în turbinele eoliene cu generatoare electrice rotorul cu pale este proiectat astfel încât pentru diapazonul vitezelor curenților de aer cuprins între 3 m/s și 10...12 m/s potențialul energetic eolian disponibil se convertește în energie utilă cu o eficiență maximal posibilă, iar la vitezele curenților de aer mai mari de 10...12 m/s rotorul convertește energia eoliană cu o eficiență mult mai mică, deoarece trebuie limitată puterea mecanică prin rotirea rotorului sub un anumit unghi de la direcția vântului sau prin schimbarea unghiului de atac al palelor aerodinamice, frânare etc. Astfel, la viteze de până la 12 m/s, eficiența conversiei este determinată de profilul aerodinamic al palelor cu coeficientul de performanță  $C_p$ . Proiectarea rotoarelor aerodinamice se efectuează ținând cont de coeficientul  $C_p$  și de factorul de suprasarcină a generatorului electric, care nu trebuie să depășească 1,2...1,3 din sarcina nominală convertită la vitezele curenților de aer de 10...12 m/s. În acest caz, forma profilului aerodinamic al palelor trebuie să asigure autofranare la viteze mari ( $V > 11...12$  m/s), sau trebuie micșorată proiecția suprafeței baleiate de palele rotorului pe planul perpendicular pe direcția curentului de aer, de exemplu prin înclinarea rotorului sub un anumit unghi față de axa turnului.

Din aceste considerente rezultă că în turbinele eoliene cu generatoare electrice, pentru viteze ale curenților de aer mai mari decât cea nominală, trebuie limitată puterea eoliană disponibilă convertită în energie utilă, în consecință se diminuează brusc eficiența conversiei potențialului energetic eolian în energie electrică. Totodată, se reduce eficiența transformării energiei electrice în energie termică.

Problema pe care o rezolvă invenția constă în sporirea eficienței de conversie a potențialului eolian disponibil (la viteze mai mari decât viteza nominală de 10...12 m/s) în energie termică și diminuarea costului energiei.

Problema se rezolvă prin aceea că turbina eoliană conține un turn, pe care este instalat un rotor cu pale cu profil aerodinamic, amplasat într-o gondolă, montată cu posibilitatea rotirii ei în jurul turnului prin intermediul unor roți-vindroză, cuplate la un mecanism de acționare, format din două angrenaje cu melc, un difuzor inelar convergent, fixat de pale coaxial cu rotorul, și un dispozitiv de transformare a energiei. În calitate de dispozitiv de transformare a energiei este utilizat un generator termic, montat între secțiunile turnului și legat cinematic cu rotorul printr-un angrenaj conic. Palele cu profil aerodinamic posedă un coeficient minim de performanță aerodinamică mai mare de 0,1 la viteze ale fluxului de aer mai mari de 10...12 m/s. Forma profilului aerodinamic al palelor este executată astfel încât caracteristica lui de putere  $P(V)$  corelează cu caracteristica de putere a generatorului termic, iar unghiul de răsucire a profilului aerodinamic în secțiuni pe întreaga lungime a palelor constituie  $1\dots 3^\circ$ . Diametrul gurii de aspirație a difuzorului  $d_l=(0,1\dots 0,12)D$ , unde  $D$  este diametrul exterior al rotorului, iar lățimea axială a difuzorului  $l=a_1+c+a_2$ , unde:

$$a_1 = (0,05 \dots 0,1)d_1;$$

$c$  este cota maximă a secțiunii palei în direcția axei de rotație a rotorului, amplasată la o distanță egală cu raza gurii de aspirație a difuzorului;

$$a_2 = (0,1 \dots 0,15)d_1.$$

5 Turbina eoliană cu coeficient înalt de performanță asigură următoarele avantaje.

Turbina eoliană asigură conversia eficientă a potențialului eolian disponibil la viteze ale curenților de aer cuprinse între 10 și 20 m/s, datorită formei profilului aerodinamic al palelor rotorului, caracterizat printr-un coeficient minim de performanță mai mare de 0,1, și corelării puterii mecanice dezvoltate cu coeficientul de suprasarcină a generatorului termic cu curenți turbionari cuprinși între 2 și 3, fără a micșora suprafața baleiată de palele rotorului, de  
10 exemplu prin rotirea rotorului la un oarecare unghi de la 0 până la 45° în jurul axei turnului, sau prin varierea unghiului de atac al palelor, sau prin frânare aerodinamică prevăzută la proiectarea rotoarelor cu pale.

Aceasta, precum și specificul construcției palelor cu un unghi de răscuire a profilului aerodinamic în secțiuni pe întreaga lungime a palelor de 1...3°, permit sporirea eficienței de conversie a potențialului eolian disponibil în energie utilă, spre exemplu termică. Totodată, dotarea rotorului cu difuzorul inelar convergent cu diametrul gurii de aspirație  $d_1 = (0,1 \dots 0,12)D$  și lățimea axială  $l = a_1 + c + a_2$ , amplasat coaxial cu rotorul, stopează curgerea curenților de aer în direcția longitudinală a palelor, fapt ce esențial diminuează separarea stratului limită la interacțiunea pală-fluid (la viteze mari  $V = 10 \dots 20$  m/s) și, respectiv, influența negativă a turbulenței în zona adiacentă palelor. În consecință, sporește eficiența conversiei energiei eoliene în energie utilă, sporește cantitatea de energie produsă anual și scade costul acesteia.

Invenția se explică prin desenele din fig. 1-13, care reprezintă:

- 25 - fig. 1, vederea generală a turbinei eoliene cu coeficient de performanță aerodinamică înalt;
- fig. 2, vedere în secțiune a turbinei eoliene;
- fig. 3, vederea generală a turbinei eoliene cu secțiunea axială a turnului;
- fig. 4, vederea generală a turbinei eoliene cu amplasarea roților-vindroză în zona aval a  
30 rotorului;
- fig. 5, rotor cu difuzor inelar convergent în secțiune (a) și în 3D (b);
- fig. 6, puterea disponibilă a vântului și puterea obținută de turbină;
- fig. 7, coeficientul de performanță funcție de viteza specifică  $\lambda$ ;
- fig. 8, familia de caracteristici  $n$  funcție de ( $\lambda, V_\infty$  - parametru);
- 35 - fig. 9, familia de caracteristici  $P(V_\infty, \lambda$  - parametru);
- fig. 10, familia de caracteristici  $P(n, V_\infty$  - parametru);
- fig. 11, caracteristicile de putere  $P(V)$  a turbinei cu diferite profile aerodinamice;
- fig. 12, distribuția Weibull a vitezei vântului în amplasamentul turbinei;
- fig. 13, caracteristicile de putere  $P(V)$  a turbinei cu generator termic cu curenți turbionari  
40 și a turbinei cu generator electric.

Turbina eoliană (fig. 1) conține un turn 8, pe care este instalat un rotor 1 cu pale 2 cu profil aerodinamic, o gondolă constituită din corpurile 3 și 4 asamblate demontabil, două roți-vindroză 5 montate pe un ax 6, amplasate simetric pe de o parte și alta a gondolei. De palele 2 coaxial cu rotorul 1 este fixat un difuzor inelar convergent 7. Între secțiunile turnului 8 este  
45 montat un generator termic 9 cu curenți turbionari.

Arborele principal 10 (fig. 2) al rotorului 1 este instalat în rulmenți în corpul gondolei și este dotat la extremitatea opusă rotorului 1 cu un angrenaj conic 11. Corpul 4 al gondolei reprezintă o construcție spațială, care include o bucsă 12 cu axă ce se intersectează perpendicular cu axa comună a corpurilor 3 și 4 ale gondolei și o bucsă 13 cu axă amplasată perpendicular pe axa bucsii 12. În interiorul bucsii 12 a corpului 4 în rulmenți este amplasat un arbore tubular 14, fixat imobil de turnul 8. Pe arborele tubular 14 este amplasată o roată cu melc 15, angrenată cu melcul arborelui 16, pe capătul căruia este montată o roată cu melc 17, angrenată cu melcul 18 al arborelui comun 19 al roților-vindroză 5.

În cavitatea interioară a arborelui tubular 14 în rulmenți este montat un arbore 20, pe un capăt al căruia este montat un angrenaj conic 21, iar pe capătul opus este montat un cuplaj dințat cu angrenaj cilindric intern 22 (fig. 3). Arborele conducător al generatorului termic 9, prin intermediul altui cuplaj dințat, cu angrenaj cilindric intern 23, al unui arbore de torsiune

24 cu cuplajul 22, este legat cinematic cu arborele 20 (fig. 2), iar prin intermediul angrenajelor conice 11 și 21 și al arborelui principal 10 – cu rotorul 1 al turbinei eoliene.

Turbina eoliană funcționează în modul următor.

5 La o viteză a vântului mai mare de 2,5...3 m/s curenții de aer, interacționând cu palele 2 cu profil aerodinamic (fig. 3), antrenează rotorul 1 și arborele principal 10 (fig. 2) într-o mișcare de rotație cu viteza unghiulară  $\omega_r$ , iar prin intermediul angrenajelor conice 11 și 21, al arborelui 20, arborelui de torsiune 24 cu cuplajele dințate cu angrenaj intern 22 și 23, mișcarea de rotație și momentul de torsiune se transmit arborelui conducător al generatorului termic 9 cu curenți turbionari.

10 Turbina eoliană cu pale cu profil aerodinamic, dotată cu un difuzor convergent 7, fixat de palele 2, stopează curgerea fluidului în direcția longitudinală a palelor, fapt ce conduce la diminuarea esențială a separării stratului limită la interacțiunea pală-fluid și, respectiv, la eficientizarea conversiei energiei cinetice a curenților de aer în energie utilă la viteze mari ale vântului.

15 Orientarea rotorului 1 cu pale 2 la direcția curenților de aer se efectuează prin intermediul roților-vindroză 5, legate cu rotorul printr-un lanț cinematic.

În cazul în care direcția vântului este perpendiculară pe suprafața baleiată a rotorului 1 cu palele 2, roțile-vindroză 5 (fig. 4) având profile asimetrice (oglină) nu se rotesc sub acțiunea fluxului de aer. Roțile-vindroză 5 încep să se rotească într-o direcție sau alta doar în 20 cazul în care direcția vântului ( $V_1, V_2$ ) se schimbă și formează un oarecare unghi  $\theta(t)$  cu axa de rotație a rotorului 1.

Palele roților-vindroză 5 cu profil aerodinamic sunt amplasate astfel încât la schimbarea direcției vântului (spre exemplu  $V_1$ ) sub un anumit unghi  $\theta(t)$  forțele aerodinamice dezvoltate de pale impun roților-vindroză 5 o mișcare de rotație cu viteza unghiulară  $\omega_{V1}$  în sensul mișcării acelor de ceasornic. Mișcarea de rotație de la roțile-vindroză 5, prin intermediul angrenajelor cu melc (fig. 2) cu ambii melci de stanga, sau ambii de dreapta, se transmite corpului 4 al gondolei, care împreună cu rotorul 1 (fig. 4) se vor roti în jurul axei turnului cu viteza unghiulară  $\omega_g = \omega_{V1} \cdot i_1 \cdot i_2$  în sens opus mișcării acelor de ceasornic. Rotirea rotorului 1 (în sens opus mișcării acelor de ceasornic) în jurul axei turnului va dura până când planul de rotație a roților-vindroză 5 va coincide cu direcția vântului  $V_1$ , iar planul de rotație a rotorului 1 se va poziționa perpendicular pe direcția vântului.

Palele roților-vindroză 5 sunt amplasate astfel încât la schimbarea direcției fluxului de aer  $V_2$  (fig. 4) forțele aerodinamice impun roților-vindroză 5 o mișcare de rotație în sens opus mișcării acelor de ceasornic, iar rotorului 1 – o mișcare de rotație în jurul axei turnului în 35 sensul mișcării acelor de ceasornic, orientându-l astfel 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  $0^\circ$  până la  $28^\circ$  (pentru viteza la axul rotorului  $V = 25$  m/s).

40 Pentru ca roțile-vindroză 5 să se poziționeze în zona aval 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 cu melc-turn” să satisfacă următoarele cerințe cinematice:

45 1. Roțile-vindroză 5 să dezvolte o frecvență a rotațiilor  $n_v$ , necesară pentru a orienta rotorul 1 cu palele 2 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:

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

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

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

$i_1, i_2$  – rapoartele de transmisie a angrenajelor cu melc;

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

$t$  – durata de schimbare a direcției rafalei de vânt, s.

55 2. Roțile-vindroză 5 să dezvolte un moment de torsiune  $T_v$ , necesar pentru a învinge momentul reactiv  $T_r$  (la arborele tubular 14, fig. 2, în jurul căruia se rotește gondola), dezvoltat la interacțiunea rafalelor de vânt cu rotorul în rotație, determinat din relația:

$$T_v = \frac{T_r}{i_1 \cdot i_2 \eta_\Sigma}, \quad (2)$$

unde:  $T_r$  – momentul reactiv (la arborele tubular 14, fig. 2, în jurul căruia se rotește gondola), dezvoltat la interacțiunea rafalelor de vânt cu rotorul în rotație;

$i_1, i_2$  – rapoartele de transmisie ale angrenajelor cu melc;

5  $\eta_\Sigma$  - randamentul mecanic sumar al lanțului cinematic (angrenaje cu melc, perechi de rulmenți).

Conform cercetărilor, la interacțiunea fluidului cu pala cu profil aerodinamic fluidul, interacționând cu butucul rotorului 1, curge în direcția longitudinală a palelor 2 în funcție de viteza fluidului. Curgerea în această zonă se caracterizează prin turbulențe și apariția vartejurilor favorizând separarea stratului limită, fenomene care influențează negativ asupra eficienței conversiei energiei cinetice a acestuia. Influența negativă a acestor fenomene se amplifică odată cu creșterea vitezei fluidului. Pentru diminuarea influenței negative a acestor efecte asupra eficienței conversiei, rotorul 1 (fig. 5) este dotat cu difuzorul inelar convergent 7.

15 Scopul invenției este sporirea eficienței de conversie a energiei prin majorarea cantității de energie utilă obținută din potențialul eolian disponibil, determinat de formula:

$$P_w = 0,5\rho AV^3, \quad (3)$$

unde:  $\rho$  este densitatea aerului,  $\text{kg/m}^3$ ;

$A$  – suprafața baleiată de palele rotorului,  $\text{m}^2$ ;

$V$  – viteza vantului,  $\text{m/s}$ .

20 Puterea obținută din potențialul eolian disponibil de o turbină eoliană ideală este limitată de limita Betz și depinde de coeficientul de performanță  $C_p$  al rotorului cu pale cu profil aerodinamic. În fig. 6 este prezentată puterea obținută de o turbină eoliană ideală, apreciată conform formulei  $P = 0,5C_p \rho AV^3$ , din potențialul eolian disponibil calculat la diferite viteze ale vantului conform formulei (3).

25 Pentru argumentarea realizării scopului invenției prin soluțiile tehnice propuse analizăm caracteristicile de putere  $P(V)$  a unui rotor aerodinamic cu diametrul de 8 m.

În acest scop:

1. Efectuăm analiza comparativă pentru două complete de pale cu două profiluri aerodinamice cu diferiți coeficienți de performanță  $C_p(\lambda)$ , unde  $\lambda$  este viteza specifică determinată prin formula

$$\lambda = \frac{\omega R}{V}, \quad (4)$$

unde:  $\omega$  este viteza unghiulară de rotație a rotorului,  $\text{s}^{-1}$ ;

$R$  – raza rotorului,  $\text{m}$ ;

$V$  – viteza vantului,  $\text{m/s}$ .

35 Valorile numerice  $C_p(\lambda)$  ale profilurilor aerodinamice comparate sunt prezentate în tab.1, iar interpretarea grafică – în fig. 7.

Tabelul 1

$\lambda$		2	4	6	8	10	12	14	16	18
$C_p$	Profilul 1	0,050	0,180	0,340	0,350	0,345	0,32	0,275	0,212	0,125
	Profilul 2	0,050	0,180	0,340	0,350	0,325	0,28	0,215	0,140	0,050

40 2. Conform definiției din literatura de specialitate, caracteristica  $C_p(\lambda)$  se descrie ca varierea puterii mecanice dezvoltate de turbină în funcție de viteza de rotație a rotorului aerodinamic cu condiția că viteza vântului este constantă. Luând în considerație că  $\omega = \pi n/30$ , din (4) obținem viteza de rotație  $n$ :

$$n = \frac{30}{\pi R} \lambda V. \quad (5)$$

45 3. Din formula (5) calculăm familia de caracteristici  $n = F(\lambda, V)$  (pentru profilul aerodinamic 1), în care viteza vântului este considerată ca parametru, cu prezentarea rezultatelor în fig. 8.

4. Pentru aceleași valori ale vitezei specifice  $\lambda$  din fig. 7 și cu formula  $P = 0,5C_p(\lambda)\rho\pi R^2V^3$  calculăm puterea mecanică în funcție de viteza vântului, viteza specifică  $\lambda$  și coeficientul de performanță  $C_p$ , care se consideră parametru. Rezultatele sunt prezentate în fig. 9.

5. Pentru diferite viteze constante ale vântului  $V$  și gama de variație a vitezei specifice  $\lambda$  din fig. 8 determinăm valorile corespunzătoare ale vitezei de rotație  $n$ , iar din fig. 9 – puterea mecanică  $P$ , astfel obținem familia de caracteristici  $P(n, V)$ , prezentate în fig. 10.

6. În baza datelor obținute din funcțiile prezentate în fig. 10 și fig. 8 construim caracteristica de putere  $P(V)$  pentru profilul 1, prezentat în fig. 11. De exemplu: pentru  $V = 4$  m/s și  $\lambda = 4$  din fig. 8 obținem  $n = 38,2$  tur/min. Din fig. 10, pentru  $V = 4$  m/s și  $n = 38,2$  tur/min obținem  $P = 0,35$  kW. Analogic: pentru  $V = 8$  m/s și  $\lambda = 8$  din fig. 8 obținem  $n = 153$  tur/min. Din fig. 10, pentru  $V = 8$  m/s și  $n = 153$  tur/min obținem  $P = 5,53$  kW ș.a.m.d. Analogic se determină caracteristica de putere  $P(V)$  pentru profilul 2, prezentată în fig. 11 cu linie întreruptă.

În fig. 11 suprafața cuprinsă între cele două curbe reprezintă puterea mecanică suplimentară obținută din potențialul eolian cu pale cu profil aerodinamic 1 cu coeficient de performanță majorat, prezentat în fig. 7.

Majorarea energiei obținute și, respectiv, a eficienței conversiei se realizează prin micșorarea unghiului de răsucire a profilurilor aerodinamice în limitele  $\varphi = (1...3)^\circ$  (fig. 4) în raport cu planul de rotație a palelor rotorului. Energia mecanică obținută se convertește în energie utilă, de exemplu termică, cu ajutorul generatorului termic cu curenți turbionari, care are un coeficient de suprasarcină cuprins între 2 și 3. Efectul tehnico-economic al implementării invenției se prezintă prin calculul energiei termice, care poate fi produsă pe parcursul unui an:

1. În aceleași condiții de vânt, folosind turbina eoliană cu profilul aerodinamic 1 și un generator termic cu curenți turbionari în comparație cu turbina eoliană cu profilul aerodinamic 2.

2. În aceleași condiții de vânt, folosind turbina eoliană cu profilul aerodinamic 1 și un generator termic cu curenți turbionari în comparație cu energia produsă folosind turbina eoliană cu profilul aerodinamic 2 și un generator electric.

Pentru calculul producerii anuale de energie termică sunt necesare următoarele date inițiale: caracteristicile de putere a turbinei eoliene  $P(V)$  cu profiluri diferite, fig. 11 și distribuția Weibull a vitezei vântului, măsurată în localitatea respectivă pe o perioadă de 12 luni, fig. 12.

Diferența dintre caracteristicile  $P(V)$  intervine pentru viteze ale vântului mai mari decât viteza nominală, în cazul dat, mai mari de 10 m/s. Distribuția Weibull a vitezei vântului a fost obținută ca rezultat al procesării datelor, obținute pe o perioadă de 12 luni și prezintă funcția densitate de probabilitate a vitezei vântului pe întreaga perioadă de măsurări. Din fig. 11 și 12 rezultă că gama de viteze lucrative ale vântului este cuprinsă între 3 și 18 m/s. Această gamă de viteze se împarte în intervale, de exemplu egale cu 1 m/s, și pentru fiecare interval se determină ponderea (funcția densitate de probabilitate) vitezei respective pentru întreaga perioadă de măsurări, în cazul nostru – 8760 ore. De exemplu, ponderea vitezei de 8 m/s este egală cu 0,118 sau  $0,118 \times 8760 = 1033,7$  h/an.

45

Tabelul 2

Valorile numerice ale funcției densitate de probabilitate a vitezei vântului,  $F(V)$ , pentru 12 luni

Viteza vântului, m/s	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Funcția, $F(V)$	0,065	0,098	0,117	0,128	0,128	0,118	0,095	0,070	0,045	0,028	0,016	0,012	0,007	0,005	0,003	0,00

50

Pentru ambele profiluri s-a calculat cantitatea de energie termică care ar putea fi produsă pe o perioadă de un an în condiții identice de vânt. Formulele de calcul al producerii energiei termice



$$ET_{P1} = 8760 \sum_{i=3}^{18} P1(V_i)F(V_i) = 45753,5 \text{ kWh sau } 164,7 \text{ GJ} \text{ pentru profilul 1 și}$$

$$ET_{P1} = 8760 \sum_{i=3}^{18} P2(V_i)F(V_i) = 41890,3 \text{ kWh sau } 150,8 \text{ GJ} \text{ pentru profilul 2,}$$

unde valorile  $P1(V)$  corespund caracteristicii profilului 1, iar  $P2(V)$  – profilului 2 din fig. 11. Astfel, turbina eoliană cu profilul aerodinamic 1 va produce cu 9,4% mai multă energie.

5 În cazul producerii energiei electrice caracteristica  $P2(V)$  diferă de cea prezentată în fig. 11. Coeficientul de suprasarcină a generatorului electric este de 1,2...1,3. Pentru viteze ale vântului mai mari decât cea nominală trebuie luate măsuri cu scopul limitării puterii dezvoltate de turbină. Rotorul turbinei este scos din direcția vântului sau se modifică unghiul de atac al palei. Ca exemplu, în fig. 13 se prezintă coeficientul de putere al turbinei cu profil aerodinamic 2 cu puterea de 10 kW și dotată cu generator electric (caracteristica este furnizată de producător).

10 Pentru comparație se prezintă caracteristica de putere a turbinei cu profil aerodinamic 1 și dotată cu generator termic cu curenți turbionari, care are coeficientul de suprasarcină mai mare decât 2. Constatăm că pentru viteze ale vântului mai mari de 10 m/s (viteza nominală) trebuie să limităm puterea întorcând rotorul din direcția vântului. Puterea se limitează până la 12,5 kW (coeficientul de suprasarcină este egal cu 25%). Dacă viteza vântului continuă să crească și depășește 16 m/s, planul rotorului va fi paralel cu vectorul vitezei vântului și puterea dezvoltată va fi egală cu zero. Astfel se exclud suprasarcinile electrice și mecanice ale generatorului electric.

15 În cazul utilizării profilului 1 și a generatorului termic cu curenți turbionari nu este necesară limitarea puterii, deoarece ultimul posedă un coeficient de suprasarcină cuprins între 2 și 3. Planul rotorului se menține perpendicular pe vectorul vitezei vântului. Cu creșterea vitezei vântului va crește și puterea dezvoltată de turbină și, pentru profilul în cauză, puterea va atinge valoarea maximală egală cu 26 kW, apoi va scădea din cauza frânării aerodinamice.

20 Cu ajutorul caracteristicilor din fig. 13 și al formulelor de mai sus s-au calculat cantitățile de energie termică și electrică, care ar putea fi produse pe perioada de un an:

Energie termică  $ET_{P1} = 45814,8 \text{ kWh sau } 164,9 \text{ GJ}$ ,

Energie electrică  $EE_{P2} = 38351,3 \text{ kWh sau } 138,1 \text{ GJ}$ .

25 În cazul utilizării turbinei cu profil aerodinamic 1 și a generatorului termic cu curenți turbionari cantitatea de energie este cu 19,4% mai mare decât în cazul utilizării turbinei cu profil aerodinamic 2 și a generatorului electric.

30 Deci, o turbină eoliană cu profil aerodinamic cu coeficient înalt de performanță aerodinamică  $C_p(\lambda)$  (realizată prin soluțiile tehnice propuse în invenție), destinată transformării energiei disponibile a potențialului eolian în energie termică produsă de un generator termic cu curenți turbionari, în comparație cu o turbină eoliană cu generator electric și profil aerodinamic compatibil cu acesta din considerente de limitare a puterii dezvoltate, generează energie utilă pe perioada de un an cu 7463 kWh și, respectiv, cu 26,8 GJ mai mult.

35 Totodată în turbina eoliană, conform invenției, sistemul electronic de orientare a rotorului triplu la direcția variabilă a fluxului de aer este înlocuit cu un sistem mecanic dotat cu roți-vindroză aerodinamice. Această soluție conduce la diminuarea costului de producere cu (25...30)% și asigură creșterea fiabilității în exploatare. De asemenea, este de menționat că generatorul termic cu curenți turbionari, în comparație cu generatorul electric, constructiv este mai simplu, costul de producere este mai redus, iar fiabilitatea crește datorită coeficientului de suprasarcină egal cu 2...3 (1,2...1,3 – pentru generatorul electric).

45

**(56) Referințe bibliografice citate în descriere:**

1. US 4366779 A 1983.01.04
2. MD 4213 B1 2013.03.31

**(57) Revendicări:**

Turbină eoliană, care conține un turn (8), pe care este instalat un rotor (1) cu pale (2) cu profil aerodinamic, amplasat într-o gondolă, montată cu posibilitatea rotirii ei în jurul turnului (8) prin intermediul unor roți-vindroză (5), cuplate la un mecanism de acționare, format din două angrenaje cu melc, un difuzor (7) inelar convergent, fixat de pale (2) coaxial cu rotorul (1), și un dispozitiv de transformare a energiei, **caracterizată prin aceea că** în calitate de dispozitiv de transformare a energiei este utilizat un generator termic (9), montat între secțiunile turnului (8) și legat cinematic cu rotorul (1) printr-un angrenaj conic (11) și (21); palele (2) cu profil aerodinamic posedă un coeficient minim de performanță aerodinamică mai mare de 0,1 la vitezele fluxului de aer mai mari de 10...12 m/s, totodată forma profilului aerodinamic al palelor (2) este executată astfel încât caracteristica lui de putere corelează cu caracteristica de putere a generatorului termic (9), iar unghiul de răsucire a profilului aerodinamic în secțiuni pe întreaga lungime a palelor (2) constituie  $1...3^\circ$ ; diametrul gurii de aspirație a difuzorului (7) constituie  $d_f=(0,1...0,12)D$ , unde  $D$  este diametrul exterior al rotorului (1), iar lățimea axială a difuzorului (7) este egală cu  $l=a_1+c+a_2$ , unde:

$$a_1=(0,05...0,1)d_f;$$

$c$  este cota maximă a secțiunii palei în direcția axei de rotație a rotorului (1), amplasată la o distanță egală cu raza gurii de aspirație a difuzorului (7);

$$a_2=(0,1...0,15)d_f.$$

**Șef Secție:**

SĂU Tatiana

**Examinator:**

ANDREEVA Svetlana

**Redactor:**

CANȚER Svetlana

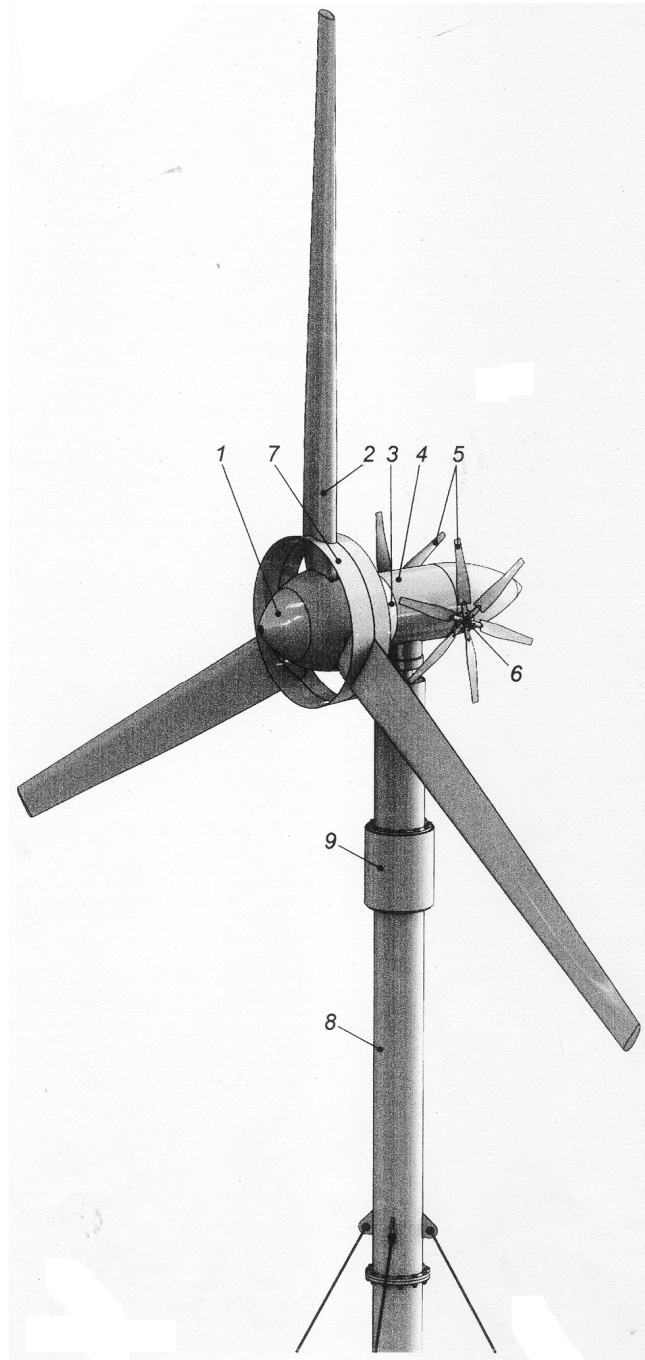


Fig. 1

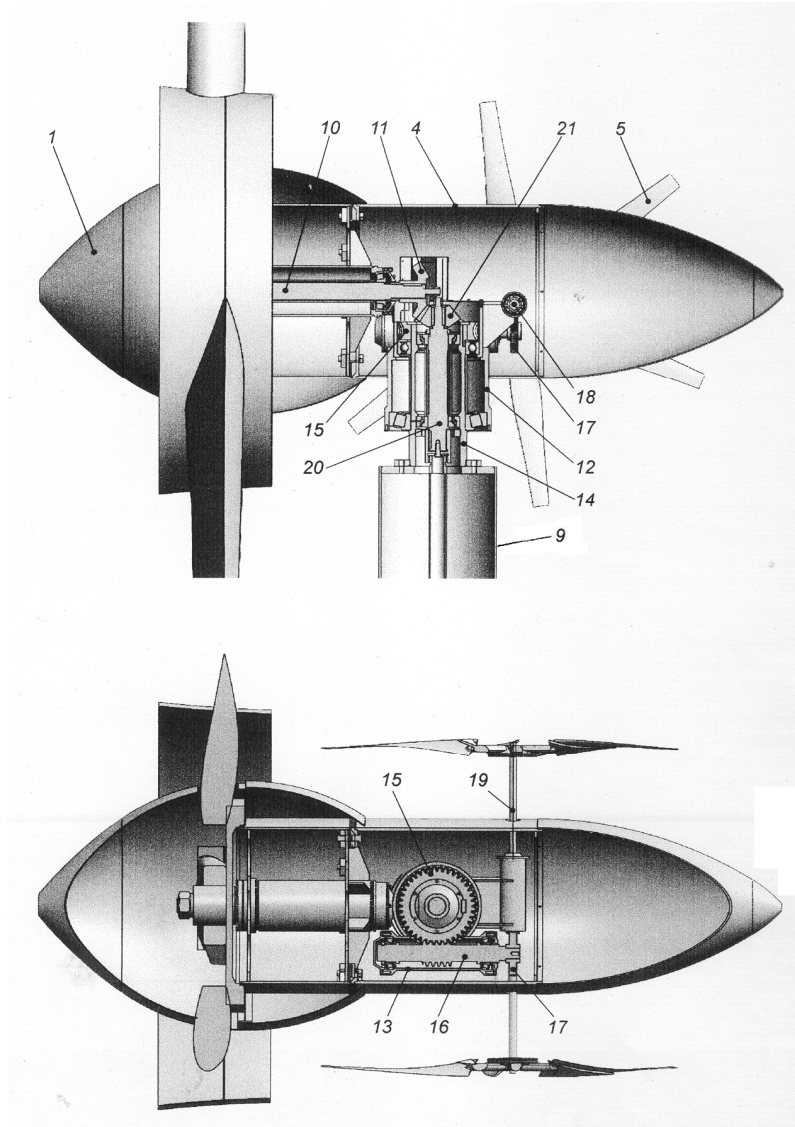


Fig. 2

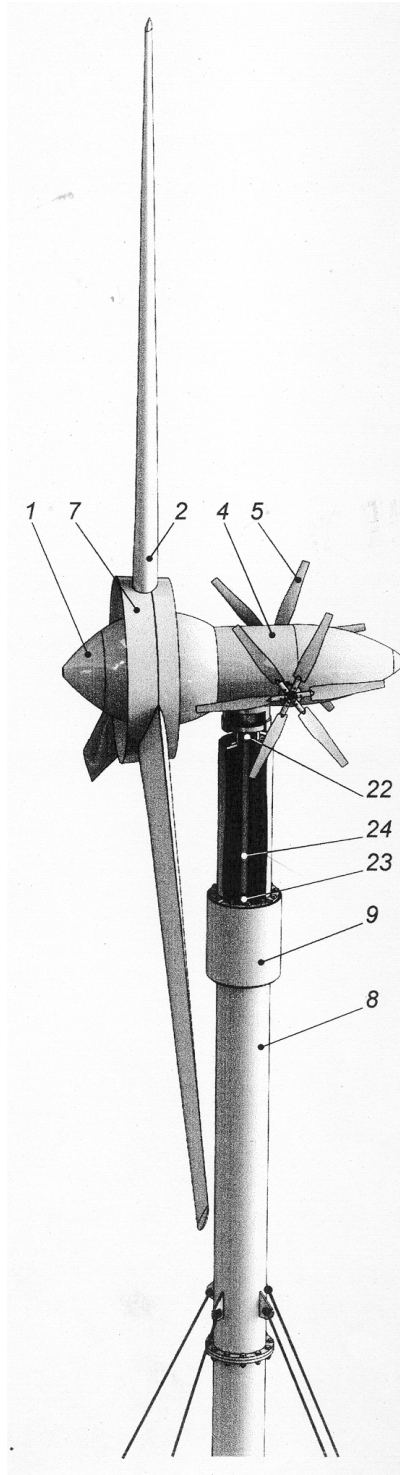


Fig. 3



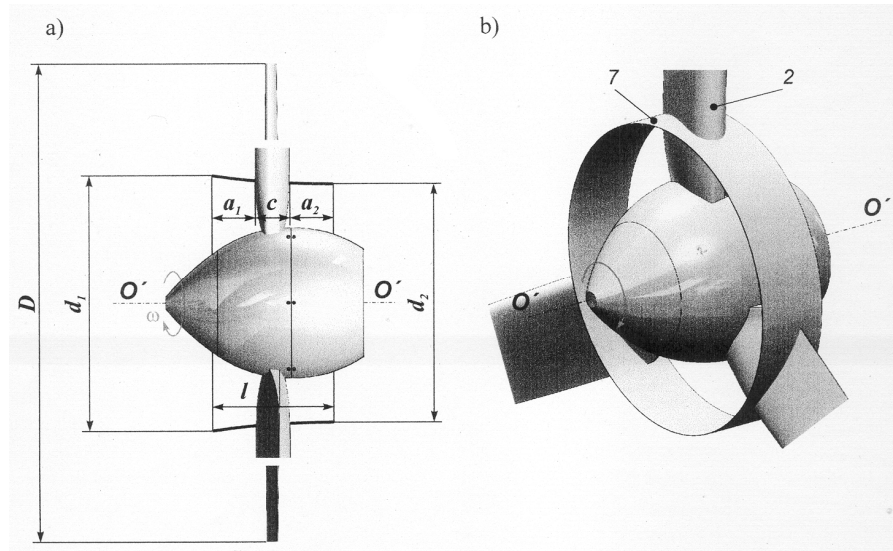


Fig. 5

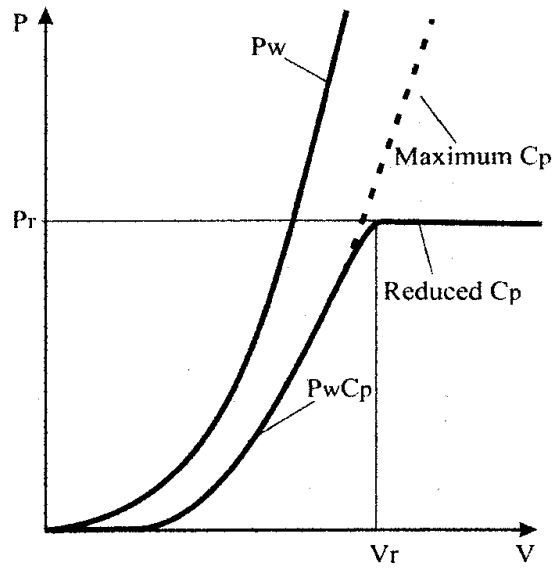


Fig. 6

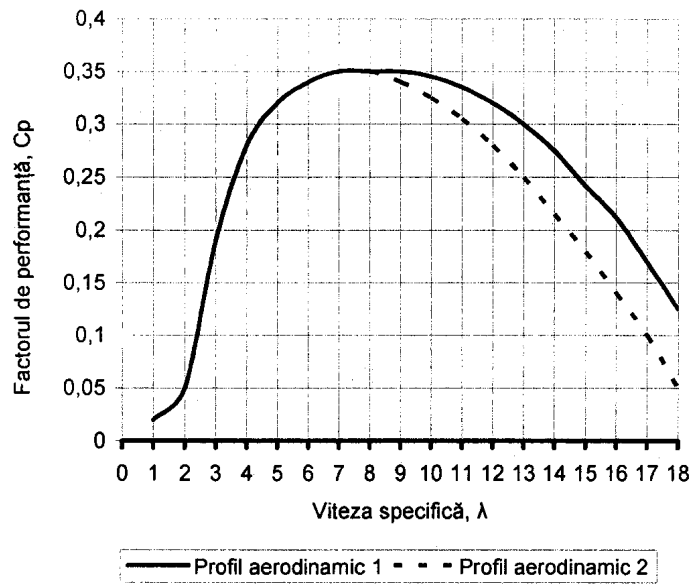


Fig. 7

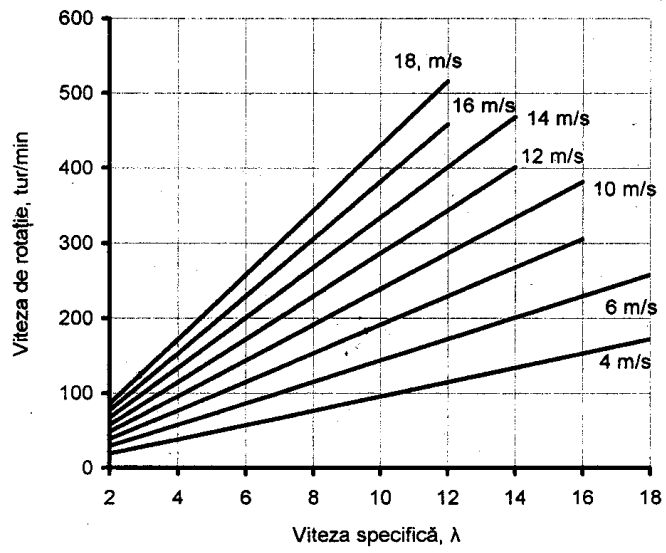


Fig. 8



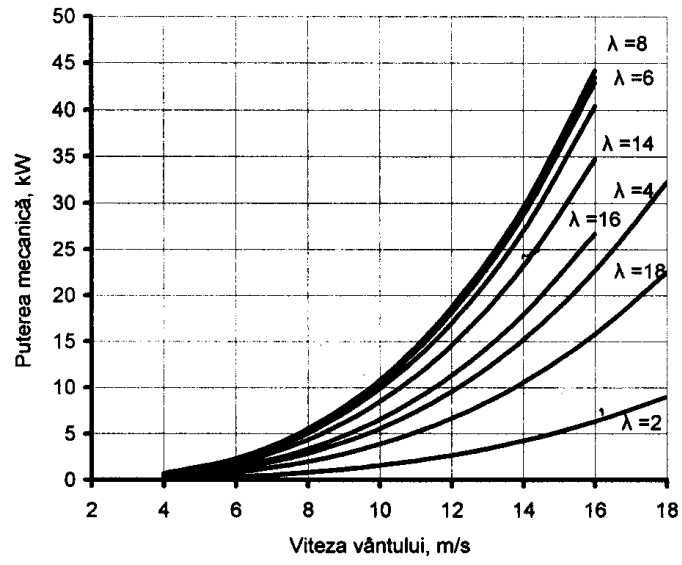


Fig. 9

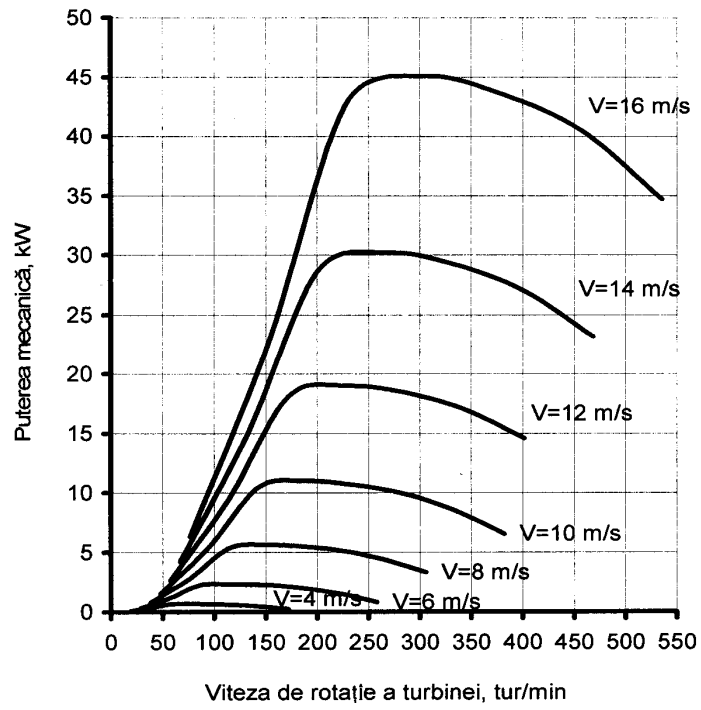


Fig. 10

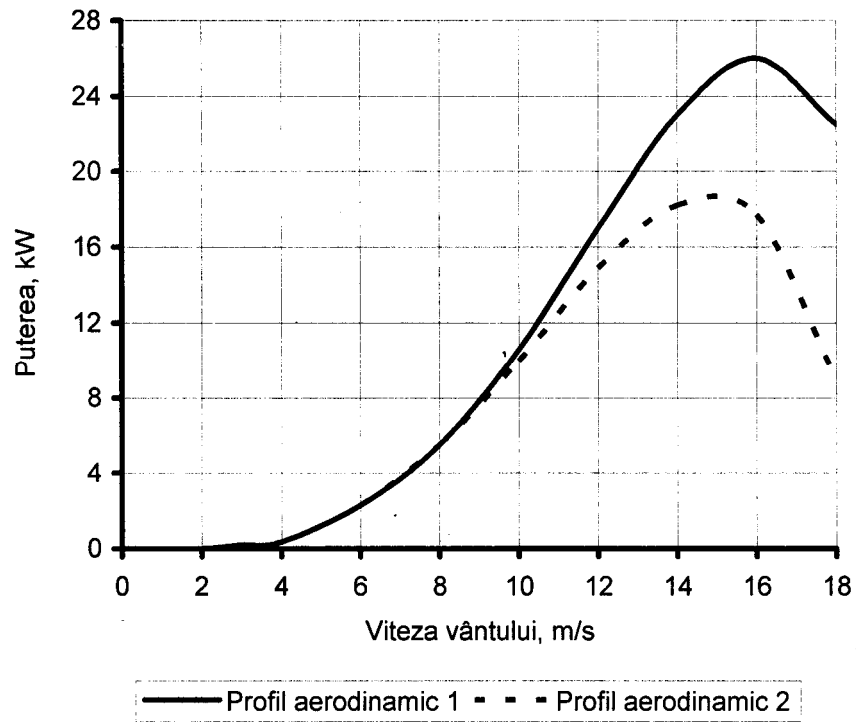


Fig. 11

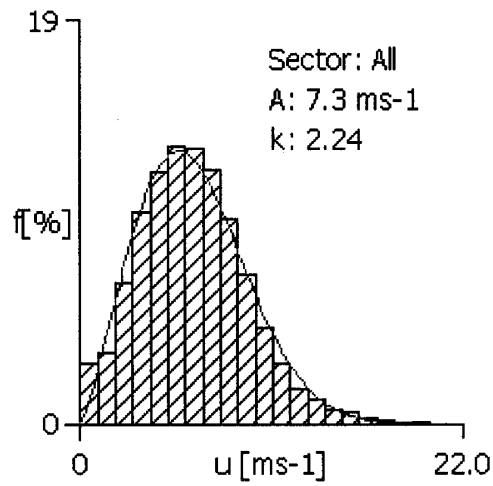


Fig. 12

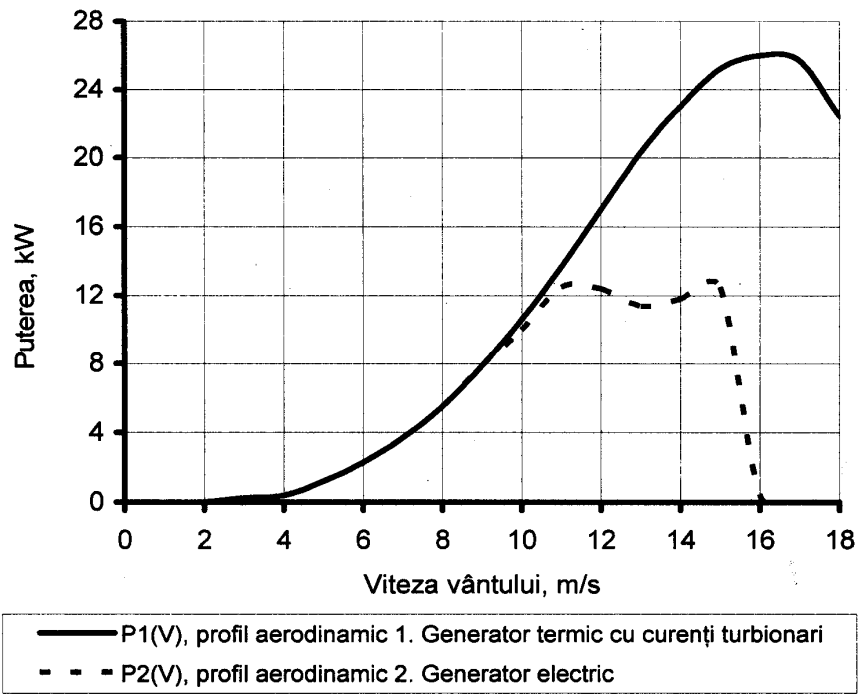


Fig. 13