

Invenția se referă la energetica eoliană, și anume la turbine eoliene destinate pentru consumatorii individuali. În domeniul generării energiei electrice din surse eoliene regenerabile s-au configurat trei direcții de dezvoltare în vederea îmbunătățirii randamentului conversiei și capacității specifice masă-energie generată.

Prima direcție se referă la perfecționarea formei palelor rotoarelor, care deja a condus la o eficiență a conversiei apropiată de limitele teoretice descrise în teoria lui Betz.

A doua direcție se referă la soluțiile tehnice inovative dezvoltate în cazul aerogeneratoarelor foarte mari cu diametrul rotoarelor mai mare de 80 m, la care suprafața măturată de pale este direct proporțională cu puterea generată.

A treia direcție se referă la dezvoltarea metodelor de conversie și soluțiilor tehnice de realizare a acestora, inclusiv a soluțiilor tehnice referitoare la extinderea diapazonului de viteze ale curenților de aer supuși convertirii în energie utilă, în special a curenților de aer cu viteze reduse (extinderea limitei minimale a vitezei curenților de aer supuși convertirii).

Această direcție este importantă pentru dezvoltarea turbinelor eoliene cu puterea de până la 20 kW destinate pentru consumatori individuali dispersați.

Pentru utilizarea energiei cinetice a curenților de aer cu turbine eoliene relativ mici sunt cunoscute soluții tehnice bazate pe diferite modalități de conversie a energiei eoliene în energie electrică sau mecanică.

Este cunoscută o turbină eoliană, care include un turn, pe care este instalat un rotor cu pale, amplasat pe un butuc cu posibilitatea rotirii în jurul axelor lor longitudinale și legat cu un mecanism centrifugal de reglare a turațiilor rotorului într-o gondolă, instalată cu posibilitatea rotirii în jurul axei turnului, în care este amplasat un generator electric, arborele căruia este legat direct cu arborele rotorului cu pale. La depășirea valorii nominale a vitezei vântului are loc schimbarea automată a unghiului de atac al palelor, micșorându-se turațiile rotorului [1].

Dezavantajele soluției cunoscute constau în aceea că construcția turbinei este complicată și posedă fiabilitate redusă, iar pentru construcții cu puterea mai mare de 8...10 kW orientarea la direcția curenților de aer devine problematică. În turbina eoliană cunoscută energia cinetică a curenților de aer, care curg prin zona centrală a rotorului aerodinamic, nu se convertește în energie utilă. Totodată, în rotoarele aerodinamice se atestă fenomenul curgerii fluidului în direcția lungimii palelor (longitudinală) de la capătul de încastrare spre vârful acestora. Acest fenomen influențează negativ asupra eficienței conversiei din cauza separării stratului limită al fluidului și, în consecință, aceasta conduce la diminuarea randamentului conversiei în general.

Problema pe care o rezolvă invenția constă în sporirea randamentului mecanic al conversiei și diminuarea pragului de viteze mici ale curenților de aer la care începe conversia energiei cinetice a acestora în energie utilă.

Problema se rezolvă prin aceea că turbina eoliană 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. În zona centrală a rotorului este amplasată coaxial o turbină multipală centrală cu un diametru  $d=(0,1...0,15)$  din diametrul rotorului  $D$ , constituită dintr-un difuzor interior divergent, un difuzor exterior convergent și o coroană cu pale, amplasată în zona amonte între aceștia, 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 o a doua coroană cu pale amplasată în zona aval a rotorului în spațiul dintre niște difuzoare divergent și convergent.

Palele cu profil aerodinamic amplasate între difuzoarele divergent și convergent și palele rotorului pot fi amplasate formând o singură coroană.

Rotorul poate fi dotat cu un ecran cilindric cu diametrul  $d'=(0,08...0,1)D$  și lățimea axială  $l=c+(0,13...0,15)d'$ , care înfășoară palele rotorului, unde  $c$  este cota maximală a secțiunii palei în direcția axei de rotație a rotorului amplasată la o distanță egală cu raza ecranului cilindric.

Turbina eoliană, conform invenției, asigură următoarele avantaje.

Turbina eoliană cu pale cu profil aerodinamic dotată cu o turbină multipală centrală asigură conversia în energie utilă suplimentară a energiei cinetice a curenților de aer, care curg prin zona centrală a suprafeței baleiate de către palele rotorului, fapt ce conduce la sporirea randamentului conversiei. Totodată, amplasarea coaxială a turbinei multipale centrale în zona centrală a rotorului aerodinamic, difuzorul convergent al căreia stopează curgerea fluidului în direcția longitudinală a palelor, 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. Același efect se obține și în cazul amplasării coaxiale cu rotorul aerodinamic a unui ecran cilindric cu diametrul  $d'=(0,08...0,1)D$  și lățimea axială  $l=c+(0,13...0,15)d'$ , în urma căreia randamentul conversiei crește datorită diminuirii fenomenului de desprindere a fluidului în stratul limită.

Invenția se explică prin desenele din fig. 1-10, care reprezintă:

- fig. 1, vederea generală a turbinei eoliene cu două roți-vindroză dotată cu o turbină multipală centrală cu o coroană cu pale amplasată în zona amonte a rotorului;

- fig. 2, vederea constructiv-principială a turbinei eoliene cu roți-vindroză dotată cu o turbină multipală centrală cu o coroană cu pale amplasată în zona amonte a rotorului;

- fig. 3, vederea constructiv-principială a turbinei eoliene cu roți-vindroză dotată cu o turbină multipală centrală cu două coroane cu pale amplasate în zonele amonte și aval ale rotorului;
- fig. 4, construcția turbinei multipale centrale, a - nodul amplasat în zona amonte a rotorului aerodinamic, b - nodul amplasat în zona aval a rotorului aerodinamic;
- fig. 5, a - turbina multipală centrală cu două coroane cu pale în ansamblu cu palele rotorului, b - turbina multipală centrală cu pale amplasate într-o singură coroană cu palele rotorului aerodinamic în spațiul dintre acestea, c - rotorul aerodinamic cu ecran cilindric coaxial pentru orientarea curgerii fluidului și diminuarea impactului separării stratului limită asupra eficienței conversiei;
- fig. 6, vederea generală a turbinei eoliene cu orientare electronică la direcția curentului de aer, dotată cu turbină multipală centrală cu o coroană cu pale amplasate în zona amonte a rotorului aerodinamic;
- fig. 7, vederea constructiv-principială a turbinei eoliene cu orientare electronică, dotată cu turbină multipală centrală amplasată în zona amonte a rotorului aerodinamic;
- fig. 8, vederea constructiv-principială a turbinei eoliene cu orientare electronică, dotată cu turbină multipală centrală cu două coroane cu pale amplasate în zonele amonte și aval ale rotorului aerodinamic;
- fig. 9, schema principială a mecanismului de curgere a fluidului în zona centrală a rotorului aerodinamic;
- fig. 10, schema principială a mecanismului de curgere a fluidului în zona centrală a rotorului aerodinamic dotat cu turbină multipală centrală.

Turbina eoliană (fig. 1) conține un turn 1, o gondolă 2, un rotor 3 cu pale cu profil aerodinamic, arborele căruia este legat cu arborele unui generator electric 4 cu magneți permanenți. Gondola 2 este instalată în rulmenți într-o carcasă 5 cu posibilitatea de a se înclina sub un anumit unghi față de planul orizontal, totodată carcasa 5 este instalată în rulmenți pe arborele 6 fixat de turnul 1 cu posibilitatea de a se roti în jurul acestuia.

Turbina eoliană este dotată cu două roți-vindroză 11 cu pale cu profil aerodinamic amplasate simetric pe un arbore comun 12 de parte și de alta a gondolei 2. Roțile-vindroză 11 sunt amplasate astfel încât profilurile aerodinamice ale palelor reprezintă o simetrie în oglindă. În interiorul gondolei 2 pe o platformă fixată de carcasa 5 este instalat un sistem hidraulic, care acționează un hidrocilindru fixat la un capăt cu gondola 2, iar la altul, cu carcasa 5.

Pentru sporirea eficienței conversiei energiei fluxului de aer cuprins de toată suprafața baleiată de către palele rotorului 3 (fig. 2), inclusiv din zona centrală adiacentă butucului, în această zona centrală a rotorului 3 cu pale este amplasată o turbină multipală centrală 7 constituită dintr-un difuzor interior divergent 8, un difuzor exterior convergent 9 și o coroană cu pale 10 cu profil aerodinamic, amplasată în zona amonte între difuzoare.

Turbina multipală centrală 7 poate fi dotată cu două coroane de pale (fig. 3), a doua coroană de pale 15 fiind amplasată în zona aval a rotorului 3 în spațiul dintre difuzoarele 13 și 14.

Turbina centrală 7, constituită din difuzoarele 8 și 9 și o coroană cu pale 10 amplasată în zona amonte a rotorului 3 (fig. 2), iar în fig. 3, turbina centrală cu două coroane cu pale 10 și 15 amplasate în spațiul dintre difuzoarele 8 și 9 și, respectiv, difuzoarele 13 și 14 reprezintă noduri constructive separate (vezi fig. 4 a, b), care se fixează demontabil în zonele amonte și, respectiv, aval ale rotorului 3 (vezi fig. 5a).

Palele 10 cu profil aerodinamic (fig. 5 b) amplasate între difuzoarele divergent 8 și convergent 9 și palele rotorului 3 sunt amplasate formând o singură coroană.

De asemenea, rotorul eolian poate fi dotat cu un ecran cilindric cu diametrul  $d'=(0,08...0,1)D$  și lățimea axială  $l=c+(0,13...0,15)d'$ , care înfășoară palele rotorului 3, unde  $c$  este cota maximă a secțiunii palei aerodinamice în direcția axei de rotație a rotorului, amplasată la o distanță egală cu raza ecranului cilindric.

Difuzoarele și palele cu profil aerodinamic ale turbinei multipale centrale pot fi confecționate din materiale compozite.

Turbina multipală centrală, inclusiv ecranul cilindric, de asemenea pot fi montate pe rotoarele aerodinamice ale turbinelor eoliene cu orientare electronică la direcția curentilor de aer (fig. 6).

În turbinele eoliene cu orientare electronică, ca și în cele cu orientarea rotorului aerodinamic la direcția fluxului de aer prin intermediul roților-vindroză, turbina multipală de asemenea poate fi cu o coroană cu pale 10 amplasate în zona amonte a rotorului 3 (fig. 7) sau cu două coroane cu pale (fig. 8), a doua coroană de pale 15 fiind amplasată în zona aval a rotorului 3.

Turbina eoliană funcționează în modul următor (fig. 2).

La o viteză a vântului  $v > 2,5$  m/s fluidul, interacționând cu palele cu profil aerodinamic, antrenează rotorul 3 și implicit arborele generatorului electric 4 într-o mișcare de rotație cu viteza unghiulară de rotație  $\omega$ .

În cazul în care direcția curentului de aer  $v$  este perpendiculară pe suprafața baleiată a rotorului 3 cu pale, roțile-vindroză 11 având profiluri asimetrice (oglină) nu se rotesc sub acțiunea fluxului de aer. Ele încep să se rotească într-o direcție sau alta doar în cazul în care direcția vântului se schimbă și formează un unghi oarecare cu axa de rotație O'-O' a rotorului 3 (și, respectiv, cu planul de rotație al roților-vindroză 11).

Palele roților-vindroză 11 cu profil aerodinamic sunt amplasate astfel încât la schimbarea direcției vântului sub un anumit unghi forțele aerodinamice dezvoltate de pale impun roților-vindroză 11 o mișcare de rotație cu viteza unghiulară  $\omega v$  în sensul sau în sens opus mișcării acelor de ceasornic. Mișcarea de rotație de la roțile-vindroză 11, prin intermediul lanțului cinematic de rotire a gondolei 2, se transmite carcasei 5, care împreună cu gondola 2 se vor roti în jurul axei turnului O-O' cu viteza unghiulară  $\omega g = \omega v 1 \cdot i 2$  în sensul sau în sens opus mișcării acelor de ceasornic (în funcție de direcția schimbată a vântului). Rotirea gondolei 2 împreună cu rotorul 3 în jurul axei

turnului O-O va dura până când planul de rotație a roților-vindroză 11 va coincide cu direcția schimbată a vântului, iar planul de rotație a rotorului 3 se va poziționa perpendicular pe direcția acestuia.

Protejarea generatorului electric 4 de suprasarcini în intervalul vitezelor 14...22,5 m/s se realizează prin micșorarea suprafeței baleiate de către palele rotorului 3, proiectată pe planul perpendicular direcției fluxului de aer.

Micșorarea acestei suprafețe se realizează prin înclinarea sub un anumit unghi față de axa de rotație O'-O' a rotorului 3 cu pale față de planul orizontal prin intermediul, spre exemplu, a unui sistem hidraulic.

În cazul în care vitezele curentului de aer nu depășesc 14 m/s, axa O'-O' a gondolei 2 și rotorului 3 se află în plan orizontal, iar când viteza fluxului de aer depășește 14 m/s, prin intermediul unui traductor de tensiune a curentului electric, motorul electric al stației hidraulice se conectează la un acumulator electric (individual) și, acționând un hidrocilindru, axa O'-O' a gondolei 2 și rotorului 3 cu pale aerodinamice se înclină sub un anumit unghi față de planul orizontal. În acest caz suprafața baleiată de către palele rotorului 3, proiectată pe planul perpendicular pe direcția fluxului de aer v se micșorează și, respectiv, se micșorează frecvența rotațiilor generatorului electric 4 și puterea generată de acesta.

În turbinele eoliene cu orientare electronică prezentate în fig. 6-8, rotorul 3 aerodinamic se orientează la direcția curenților de aer urmărită de o giruetă prin intermediul unui bloc electronic de comandă a electromotorului mecanismului de acționare a gondolei 2, rotind-o spre direcția vântului. Când viteza curenților de aer depășește o anumită valoare, controlată în timp prin intermediul unui anemometru conectat la un bloc electronic, se conectează electromotorul mecanismului de acționare a gondolei 2, rotind-o în jurul axei turnului 1 la un anumit unghi față de direcția curenților de aer. Astfel, se micșorează aria suprafeței baleiată de palele rotorului 3 aerodinamic (proiectată pe planul perpendicular pe direcția curenților de aer) și, respectiv, se micșorează frecvența de rotație a acestuia și corespunzător puterea generată la bornele generatorului. La o viteză a curenților de aer mai mare decât viteza admisibilă ( $v > 22,5$  m/s) rotorul aerodinamic se rotește în jurul turnului 1 astfel încât planul lui de rotație se suprapune (coincide) cu direcția curenților de aer.

Eficiența conversiei energiei cinetice a curenților de aer în energie utilă depinde de mai mulți factori, printre care prioritar putem menționa forma profilului palei rotorului aerodinamic.

Cercetările efectuate în domeniul perfecționării formei aerodinamice a palelor deja au condus la obținerea unei eficiențe a conversiei apropiată de limitele descrise în teoria lui Betz.

Anumite rezerve în asigurarea randamentului maximal al conversiei se pot datora soluțiilor tehnice adoptate la stadiul de proiectare a rotoarelor aerodinamice în ansamblu.

Spre exemplu, pentru a micșora rezistența aerodinamică la interacțiunea frontală a curenților de aer cu butucul rotorului, în zona centrală a acestuia, de regulă, se amplasează un difuzor divergent 8 (fig. 9).

Prin această soluție tehnică inevitabilă rezistența aerodinamică frontală la butucul rotorului aerodinamic se diminuează. În același timp, amplasarea difuzorului divergent 8 conduce la modificarea direcției de curgere a curenților de aer în zona centrală a rotorului aerodinamic.

În acest caz, se atestă apariția în zona adiacentă a butucului a fenomenului curgerii parțiale a fluidului în direcția longitudinală a palelor, fapt care conduce la separarea fluidului în stratul limită pe o anumită lungime a palelor.

Conform cercetărilor, zona separării fluidului în stratul limită se plasează pe suprafața dorsală a palelor (fig. 9) și se extinde până la un anumit diametru  $d$  dependent de viteza fluidului, forma difuzorului divergent 8 și forma palei la piciorul ei de fixare în butuc. Curgerea fluidului în această zonă se caracterizează prin turbulențe și apariția vârtejurilor, factori care influențează negativ asupra eficienței conversiei energiei cinetice a fluidului cuprins în suprafața baleiată cu diametrul  $d$ .

Pentru sporirea eficienței conversiei energiei cinetice a curenților de aer cuprinși în toată suprafața baleiată de către palele rotorului 3 aerodinamic conform invenției în zona centrală a rotorului se montează o turbină multipală centrală constituită dintr-un difuzor interior divergent 8, un difuzor convergent 9 și două coroane cu pale 10 și 15 cu profil aerodinamic (fig. 10), amplasate sub un anumit unghi de atac. Coroana cu pale 10 este amplasată în zona amonte a rotorului, iar coroana cu pale 15 în zona aval a acestuia. Curenții de aer, curgând prin zona inelară cuprinsă între diametrul exterior  $D$  al rotorului și diametrul  $d$  al gurii difuzorului convergent 9, interacționează cu palele rotorului 3, posedând o energie cinetică determinată de viteza  $v$  a vântului.

În același timp, în spațiul inelar format între suprafețele profilate ale difuzoarelor convergent și divergent viteza de curgere a fluidului crește. Astfel, palele cu profil aerodinamic ale coroanelor, interacționând cu curenții de aer cu o viteză majorată, dezvoltă forțe aerodinamice portante caracteristice vitezelor mai mari ale vântului decât cele care acționează asupra palelor rotorului 3. Aceasta conduce la sporirea eficienței conversiei prin contribuția turbinei multipale centrale.

Totodată, difuzorul exterior convergent 9 al turbinei multipale centrale 7 stopează curgerea fluidului în direcția longitudinală a palelor rotorului 3 aerodinamic, fapt care conduce la diminuarea impactului separării fluidului în stratul limită și, respectiv, sporește eficiența conversiei energiei cinetice a curenților de aer în ansamblu. Unghiurile de înclinare (de atac) ale palelor celor două coroane și ale turbinei multipale centrale 7 se aleg diferențiat pentru fiecare coroană, astfel încât acestea să dezvolte forțe aerodinamice portante maxime la frecvența nominală de rotație a rotorului 3.