

ORGAN DE LUCRU EOLIAN ÎN FORMĂ DE TURBINĂ ELICOIDALĂ

Ion Bostan, Valeriu Dulgheru, Rodion Ciupercă

Universitatea Tehnică a Moldovei

Abstract – Prezenta lucrare este dedicată cercetării unui tip nou de rotor eolian de putere mică – turbina elicoidală. Lucrarea include elemente ale teoriei turbinei elicoidale, modele ale turbinei elicoidale cu diferiți parametri geometrice simulate pe calculator. Un loc aparte în lucrare este rezervat cercetării interacțiunii palelor rotorului elicoidal cu masele de aer prin modelarea computerizată a interacțiunii sistemului solid cu mediul fluid în softul de simulare ANSYS CFX-5.7, instalat pe o stație grafică performantă. În rezultatul simulării au fost stabilite distribuția presiunii pe paletele rotorului, momentul de torsiune generat de rotor, coeficientul de utilizare a energiei eoliene și alți parametri calitativi și cantitativi.

Cuvinte cheie – turbină elicoidală, modelare computerizată, simulare CFD

1. NOȚIUNI GENERALE

Sistemele energetice mondiale au fost elaborate, și se dezvoltă, în conformitate cu necesitățile țărilor în resurse termoenergetice. Perspectiva prezentată în „International Outlook 2003” (IEO2003) arată o creștere continuă, accentuată a necesarului mondial de energie în următorii 24 ani [1]. La momentul actual cheltuielile de energie electrică pot fi acoperite numai pe contul

utilizării combustibililor organici (cărbune, petrol, gaz), energiei hidraulice și celei atomice. Însă după cum este menționat într-un șir de lucrări [1-5], de asemenea și în rezultatul expertizei МИРЭК-X, către anul 2020 necesitățile energeticii mondiale vor fi satisfăcute de combustibilii organici numai parțial. Restul necesităților de energie poate fi acoperită din contul altor surse, inclusiv și celor netradiționale.

Conform [2] combustibilii fosili (organici) asigură cel puțin 90% din energie în cele mai multe țări industrializate și 75% din energia mondială (tabelul 1). În fruntea clasamentului se află petrolul – cel mai convenabil și mai omniprezent dintre ei, o sursă de energie care a modelat secolul XX-lea și care acum pare de neînlocuit. Utilizarea în perspectivă pe scară largă a energiei atomice este, de asemenea, limitată, fiindcă rezervele de uraniu sunt spre epuizare [1, 6]. Totodată poluarea bazinelor răcitoare este de două – trei ori mai mare ca la stațiile termice, iar pericolul poluării radioactive creează probleme grave nu numai pentru o generație. O examinare atentă a tendințelor tehnologice, economice, sociale și ambientale sugerează ideea că neam putea găsi deja în zorii unei tranziții energetice globale majore – care, este de presupus, se va accelera în acest secol.

Tabelul 1 - Consumul mondial de energie, în 1900 și în 2000

Surse de energie	1900		2000	
	Total	Pondere	Total	Pondere
	[mln. t. echiv. petrol]	[%]	[mln. t. echiv. petrol]	[%]
Cărbune	501	55	2122	22
Petrol	18	2	2940	30
Gaze naturale	9	1	2173	23
Surse nucleare	0	0	579	6
Surse regenerab. ¹	383	42	1833	19
Total	911	100	9647	100

¹ Includ biomasa și sursele hidraulice, eoliană, geotermică și solară

Trebuie menționat faptul că energia termică, atomică și termonucleară sunt surse de energie suplimentară la cea solară, care provoacă supraîncălzirea mediului ambiant cu consecințe ecologice globale, de aceea limitarea producerii unor energii similare este inevitabilă în viitorul apropiat. Sistematizând datele

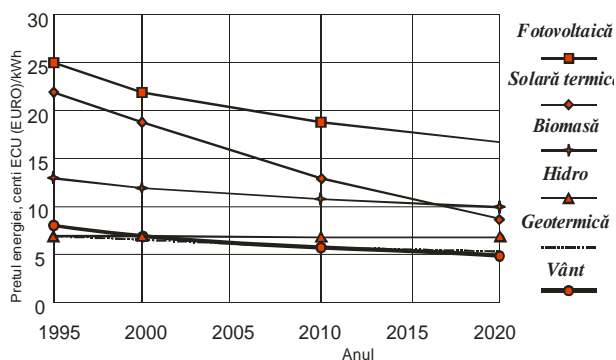


Fig. 1. Evoluția prețului energiei obținute din surse neconvenționale de energie.

publicate în mai multe țări, Sven Udell a determinat termenii probabili ai epuizării surselor tradiționale de energie pe globul pământesc:

- cărbune – anii 2083...2500;
- petrol – anul 2070;
- gazul natural – anul 2100.

În legătură cu aceasta este clară tendința utilizării în toate țările lumii a energiei, care nu va contribui la încălzirea suplimentară a planetei: geotermală, solară, hidraulică etc. Aceste surse pot satisface necesitățile crescânde ale omenirii pe un timp îndelungat. Un neajuns al lor este densitatea lor mică pe o unitate de suprafață.

În baza pronosticului Conferinței energetice Mondiale contul potențial al tuturor surselor netradiționale în balanța energetică mondială va-

constitui 36 mln. t.c.c. (tone de combustibil convențional) și a celei eoliene – 7 mln. t.c.c. Energia vântului constituie o sursă regenerabilă de energie și nonpoluantă și, în plus, prezintă avantajul că este o sursă națională, deci nu este supusă efectelor conjuncturale ale relațiilor internaționale, ca în cazul importului de combustibili clasici. Calculele demonstrează că ceva mai puțin de ¼ din energia solară de care beneficiază Terra se transformă în energie eoliană. Aceasta constituie o uriașă sursă de energie. Se apreciază că pe glob energia eoliană disponibilă, care poate fi real convertită, depășește de 30 de ori cererea energetică actuală a omenirii [6]. Acest important potențial poate fi valorificat atât local, pentru producerea de lucru mecanic direct, cât și pentru producerea de energie electrică.

Obstacolul principal în calea utilizării resurselor eoliene de energie este contradicția distribuirii lor în natură și ritmurile de majorare a unităților de producere și utilizare a energiei. Avantajele principale ale energiei eoliene sunt: sinecostul redus (fig.1); posibilitatea utilizării stațiilor în raioanele greu accesibile; comoditatea în deservire și funcționare în regim fără amestecul omului. Nu în ultimul rând trebuie de menționat și faptul că energetica bazată pe sursele regenerabile reprezintă calea cea mai ieftină și sigură de reducere a emisiilor de gaze poluante la generarea energiei electrice și termice.

2. ARGUMENTAREA OPORTUNITĂȚII UTILIZĂRII ENERGIEI EOLIENE ÎN REPUBLICA MOLDOVA

În fața crizei actuale de energie, vântul ar putea avea o pondere importantă în consumul de energie electrică, termică, mecanică în Republica Moldova, în special, al consumatorilor individuali prin utilizarea stațiilor eoliene de putere mică (3÷5 kW). Republica Moldova este situată geografic astfel încât teritoriul ei nu poate fi apreciat ca zonă cu vânturi foarte favorabile pentru dezvoltarea energeticii eoliene. Se cere o analiză mult mai profundă pentru a formula un răspuns bine argumentat la această întrebare. Harta potențialului

energetic al Republicii Moldova (fig.2) demonstrează necesitatea elaborării unor Sisteme de Conversiune a Energiei Eoliene (SCEE), funcționabile eficient la viteze relativ reduse ale vântului. Problema de bază constă nu în deficitul potențialului energetic a Surselor Regenerabile de Energie de pe teritoriul Republicii Moldova, dar în posibilitatea și aptitudinea de explorare a acestui potențial [5].

Datele statistice ne mărturisesc că, până la utilizarea masivă a motoarelor cu aburi și a celor cu ardere internă, morile de vânt au avut o răspândire deosebită în fosta gubernie Basarabia, care cuprindea întregul teritoriu al actualei Republici Moldova. În anul 1901 erau înregistrate 6208 mori de vânt. Pe parcursul anilor `50 ai secolului trecut în Republică au fost montate peste 350 de instalații eoliene mecanice, destinate exclusiv pentru pompaj în sistemele cu aprovizionare cu apă. Acestea erau aeromotoare cu multe pale cu puterea nominală de 6.2 cai-putere la viteza nominală a vântului de 8 m/s. Ele au funcționat cu destulă eficiență pe parcursul a 7-10 ani, fiind înlocuite treptat cu sisteme electrice mai comode și ieftine în exploatare. Electrificarea totală, care a avut loc în acea perioadă, precum și prețurile foarte mici la energia electrică au scos din concurență energia eoliană [6]. Conform aceleiași surse condițiile climaterice ale Moldovei permit utilizarea largă a energiei eoliene. Rezervele resurselor eoliene pe teritoriul Republicii constituie aproximativ 5mln 450mii kW.

În Republica Moldova datorită densității înalte a populației și vitezelor mici ale vântului, mai indicate sunt stațiile eoliene (SCEE) mici. Ținând cont de particularitățile reliefului SCEE locale pot fi instalate practic în toate regiunile Republicii Moldova. SCEE de putere mică și medie sunt cele mai răspândite. În multe țări avansate în domeniul explorării energiei eoliene SCEE cu putere mică și medie (4–500kW) sunt produse în serie. De asemenea, energia eoliană la scară mică nu necesită suprafețe mari și poate fi dezvoltată oriunde sunt condiții prielnice ale vântului.

Actualmente sunt posibile următoarele căi de dezvoltare a energeticii eoliene în Republica Moldova:

- procurarea și montarea turbinelor eoliene de peste hotarele țării;
- transferuri de tehnologii și organizarea producerii în Moldova;

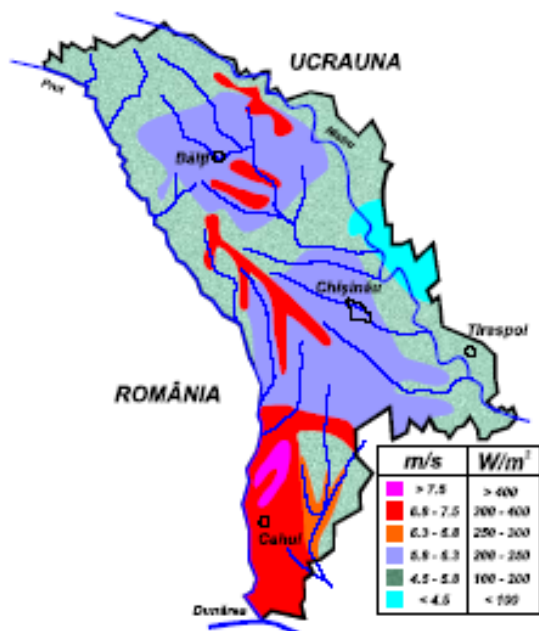


Fig. 2. Potențialul energetic eolian al Republicii Moldova la înălțimea de cca. 50m.

- organizarea producerii turbinelor eoliene proprii, know-how-ul cărora să fie protejat în conformitate cu legislația internațională.

Pentru Republica Moldova ultima variantă este mai favorabilă, dar este nevoie de un șir de înlesniri din partea statului și atragerea investițiilor străine în acest domeniu. Sursele netradiționale de energie, care sunt practic inepuizabile, trebuie să-și ocupe locul binemeritat în sistemul energetic național, inclusiv și din aspectul ecologic.

3. ELABORAREA CONCEPTULUI DE ORGAN DE LUCRU EOLIAN ÎN FORMĂ DE ROTOR ELICOIDAL

Realizarea unei mașini noi ridică probleme care au soluții corecte, multiple dar nu toate accesibile, lucru perfect valabil și în domeniul nostru. Funcționarea mașinilor, deci și a turbinelor eoliene, este legată de mișcare și de forțele care apar în timpul mișcării sau care determină această mișcare. Pentru a aprecia turbinele de vânt și echipamentele de conversie din punct de vedere tehnico-economic este nevoie a se ține seama de două aspecte:

- procesul de producție – care este un fenomen extrem de complex ce cuprinde mai multe faze și care duce, implicit, la necesitatea de a privi utilajul prin prisma economiei naționale;
- analiza obiectivă pentru stabilirea unor criterii unitare de apreciere.

Pala turbinelor eoliene este unul din organele active principale, care determină cantitatea de energie convertită. În construcția palelor turbinelor eoliene s-a avut în vedere faptul că procesul tehnologic de realizare va trebui să asigure condițiile calitative impuse și la prețuri minime. Procesele tehnologice de realizare trebuie nu numai să satisfacă realizarea criteriului calitativ, dar să dea și o deplină siguranță acestei realizări, care să nu depindă atât de calificarea muncitorului, cât și de perfecțiunea utilajului (mașină unealtă, dispozitiv, sculă, piesă). Analiza literaturii și a brevelor în domeniu a arătat că în țările industrial dezvoltate se atribuie o atenție deosebită perfecționării organului de lucru de bază al SCEE cu scopul ridicării eficienței utilizării energiei cinetice a vântului.

Soluționarea unei noi geometrii a construcției organului de lucru al SCEE pentru exploatare în condițiile Republicii Moldova trebuie efectuată ținând cont de următorii factori: viteze anuale scăzute ale vântului; consum specific redus de materiale și construcție compactă; nivel scăzut al zgomotului și vibrațiilor; posibilitatea reglării SCEE în componență cu generator de curent, cu stație de pompare a apei, cu acumulator de energie termică sau electrică; piața de desfacere va fi determinată de gospodăriile medii și mici, ce va condiționa cerințe în SCEE cu putere de $(2 \div 5)$ kW; tehnologia de fabricație accesibilă.

În baza analizei soluțiilor tehnice existente în practica mondială s-a propus construcția SCEE (fig. 3) care este compusă din turbina elicoidală 1 [7], multiplicatorul precesional 2, electrogeneratorul 3,

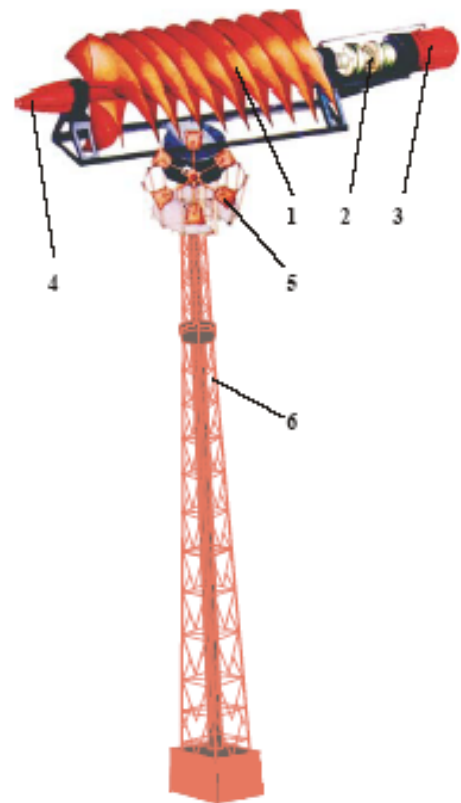


Fig. 3. Sistem de conversie a energiei eoliene cu organ de lucru în formă de rotor elicoidal.

mecanismul de reglare a turației turbinei 4, mecanismul de orientare la vânt 5 și coloana 6.

La baza elaborării geometriei și construcției turbinei elicoidale sunt puse următoarele cerințe și principii:

- suprafețele de lucru ale turbinei, asupra cărora acționează curenții de aer, se execută elicoidale, pentru care unghiul de ridicare pe diametrul mediu v-a asigura eficiența maximă a utilizării energiei cinetice a vântului;
- diferența unghiurilor de ridicare a suprafețelor elicoidale pe partea extravers și intravers trebuie să asigure în interiorul turbinei o presiune mai joasă pe contul diferitor rezistențe de curgere a curențului de aer pe suprafețele elicoidale;
- de utilizat energia cinetică a curențului injectat de la periferia turbinei pe contul diferenței de presiune și de obținut majorarea momentului de torsiune util;
- pentru utilizarea energiei cinetice a curențului de aer injectat, secțiunea transversală a elicei turbinei v-a avea forma profilului-aripă;
- sinteza profilului-aripă și a suprafețelor elicoidale trebuie să asigure efecte independente de majorare a eficienței utilizării energiei vântului pe contul forțelor de ascensiune și reactivă.

4. MODELAREA MATEMATICĂ A ROTORULUI EOLIAN ELICOIDAL

4.1. Parametrii geometrici principali

Turbina elicoidală (fig.4) include axul l pe care sunt fixate rigid pe linie elicoidală cu pas constant paletetele 2. Profilul-aripe (fig.5) se caracterizează prin partea din față tocită și cea din urmă ascuțită. Linia lui medie este locul geometric al centrelor cercurilor înscrise în profil.

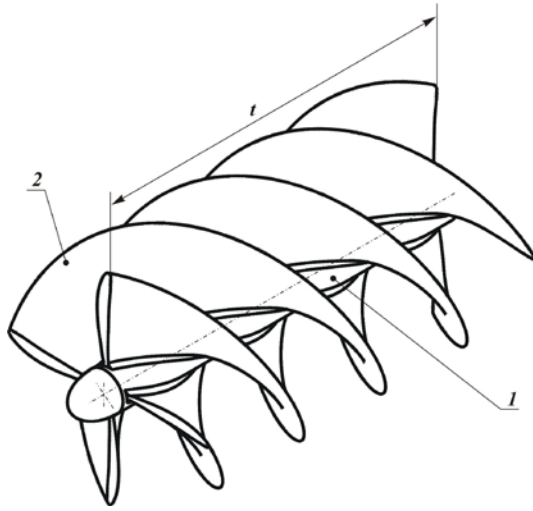


Fig. 4. Turbina elicoidală.

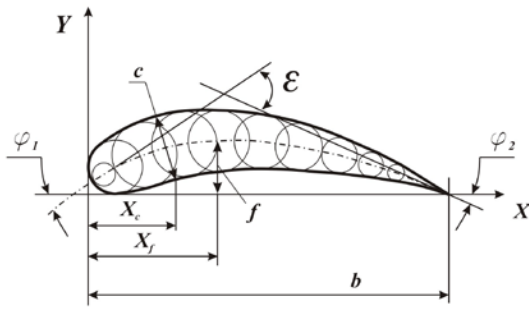


Fig. 5. Profilul-aripe.

Parametrii geometrici principali ai profilului sunt:

- grosimea relativă a profilului \bar{c} este raportul grosimii maxime a profilului c către lungimea coardei b , $\bar{c} = c/b$;
- concavitatea relativă \bar{f} este raportul săgeții maxime de încovoiere a curbei axiale f către lungimea coardei b , $\bar{f} = f/b$;
- curbura profilului se caracterizează prin unghiul de încovoiere a liniei medii ϵ , adică unghiul dintre tangentele la linia medie a profilului în părțile lui din față și din urmă.

Pozițiile \bar{c} și \bar{f} sunt determinate prin abscisele relative:

$$\bar{x}_c = x_c/b \text{ și } \bar{x}_f = x_f/b. \quad (1)$$

Cunoscând forța de ascensiune, care acționează asupra rețelei de profile, se determină momentul forței aplicat asupra turbinei. Carenarea tuturor profilelor rețelei va fi la fel în cazul când numărul de profile va fi destul de mare. Poziția reciprocă a profilelor în rețea se caracterizează prin pasul t , unghiul de poziție θ (unghiul

dintre coarda profilului și flancul rețelei), și unghiurile ϕ_1 și ϕ_2 între tangentele la linia medie a profilului în punctele lui și flancul rețelei. Pasul relativ al rețelei este raportul pasului t către lungimea coardei b , $\bar{t} = t/b$. Valoarea inversă pasului relativ se numește densitatea rețelei $\tau = 1/\bar{t} = b/t$.

Poziția profilului rețelei față de curentul de aer se caracterizează prin unghiul de atac i , adică prin unghiul dintre vectorul vitezei w_1 și tangenta la linia medie a profilului. Unghiul dintre vectorul vitezei w_2 la ieșire din rețea și tangenta la curba profilului în partea din față se numește unghiul de întârziere a curentului $\delta = \theta - \beta_2$. Unghiul de acces β_1 v-om numi unghiul dintre direcția vitezei la intrare în rețea și flancul ei, unghiul de ieșire β_2 este unghiul dintre vectorul vitezei w_2 și flancul rețelei. Diferența acestor unghiuri determină schimbarea direcției curentului de aer.

4.2. Studiul cinetostatic al rotorului elicoidal și argumentarea parametrilor geometrice de bază

La carenarea unei rețele infinite de profile de un curent plan paralel permanent de aer, determinăm forța de acțiune acurentului, asupra unui profil unitar în direcție perpendiculară planului desenului. Menționăm în curent secțiunile 1 și 2 (fig.6) paralele flancului desenului și distanțate de rețea la o așa distanță, ce

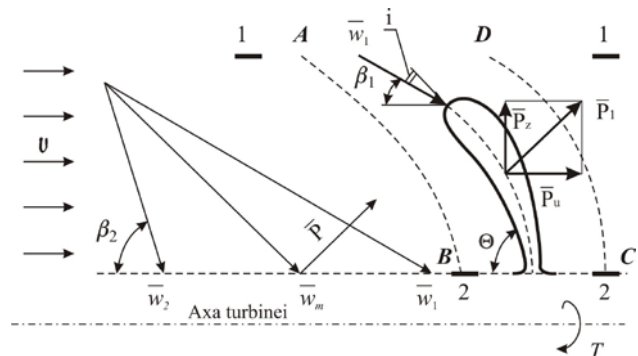


Fig. 6. Diagrama forțelor generate de curenții de aer.

permite acceptarea vitezei și presiunii constante în fiecare secțiune, adică acolo unde curentul nu va fi perturbat. Ducem la distanța pasului rețelei t liniile curentului AB și CD .

Aplicând către volumul menționat $ABCD$ ecuația cantității de mișcare:

$$F \Delta T = m \bar{w}_2 - m \bar{w}_1. \quad (2)$$

atunci, proiecțiile rezultantei tuturor forțelor care acționează în acest volum pe axa Z și flancul rețelei U :

$$P'_U = M(-w_2 \cos \beta_2 + w_1 \cos \beta_2) = M[-w_2 U + w_1 U], \quad (3)$$

unde P'_U este proiecția forței rezultante pe axa U ;

$M = m/\Delta T$ - masa de aer care trece într-o secundă prin rețeaua cu pasul t și lungime unitară (în direcție perpendiculară planului desenului).

Din ecuația continuității avem:

$$M = \rho_1 w_{1Z} \cdot t \cdot 1 = \rho_2 w_{2Z} \cdot t \cdot 1. \quad (4)$$

Pentru un gaz incompresibil:

$$\rho_1 = \rho_2 = \rho \text{ și } w_{1Z} = w_{2Z} = w_Z, \quad (5)$$

și proiecția forței rezultante pe axa Z a rețelei se determină cu relația:

$$P'_Z + (\rho_1 - \rho_2) \cdot t \cdot 1 = M(w_{2Z} - w_{1Z}) = 0. \quad (6)$$

Proiecția forței \vec{P} , care acționează asupra profilului – aripă de lungime unitară:

$$\begin{aligned} P_U &= -P'_U = -M(w_{1U} - w_{2U}) = \\ &= -\rho w_Z t (w_{1U} - w_{2U}); \\ P_Z &= -P'_Z = (\rho_1 - \rho_2)t. \end{aligned} \quad (7)$$

Astfel, \vec{P} este forța rezultantă aplicată la profil, iar \vec{P}' – forța aplicată la volumul de calcul.

Conform ecuației Bernoulli:

$$p_1 + \rho w_1^2 / 2 = p_2 + \rho w_2^2 / 2, \quad (8)$$

unde p_1 și p_2 sunt presiunile statice în secțiunile 1 și 2;

$\rho w_1^2 / 2$ și $\rho w_2^2 / 2$ – presiunile dinamice în secțiunile 1 și 2 corespunzător.

Astfel, rezultă:

$$\begin{aligned} p_1 - p_2 &= \rho / 2 (w_2^2 - w_1^2) = \\ &= \rho / 2 (w_{2U}^2 + w_{2Z}^2) - \rho / 2 (w_{1U}^2 + w_{1Z}^2) = \\ &= \rho / 2 (w_{2U}^2 - w_{1U}^2) \end{aligned} \quad (9)$$

Circulația vitezei pe conturul $ABCD$, acceptând drept pozitivă direcția contra acelor de ceasornic, se determină:

$$G_{ABCD} = G_{AB} + G_{BC} + G_{CD} + G_{DA} \quad (10)$$

Așa cum liniile curenților AB și CD sunt congruente, iar distribuția vitezelor pe ele este asemeni, atunci $G_{AB} = -G_{CD}$

$$\begin{aligned} G &= G_{ABCD} = \oint_{ABCD} c \cdot \cos(\vec{c}, \vec{s}) ds = \\ &= -w_{2U} \cdot t + w_{1U} \cdot t = t(w_{1U} - w_{2U}). \end{aligned} \quad (11)$$

Ținând cont de circulația vitezei în jurul profilului, proiecțiile forței rezultante vor fi:

$$\begin{aligned} P_U &= -\rho w_Z G, \\ P_Z &= \frac{\rho}{2} (w_{2U}^2 - w_{1U}^2) \cdot \frac{G}{(w_{1U} - w_{2U})} = \\ &= -\frac{\rho G}{2} (w_{1U} + w_{2U}). \end{aligned} \quad (12)$$

Curentul de gaz ideal acționează asupra profilului cu forța:

$$\begin{aligned} P &= \sqrt{P_U^2 + P_Z^2} = \\ &= \rho G \sqrt{w_Z^2 + [(w_{1U} + \alpha w_{2U}) / 2]^2}. \end{aligned} \quad (13)$$

Aceasta este ecuația lui Jukovski referitor la forța de ascensiune.

Vectorul geometric mediu al vitezei \vec{w}_m se determină din relația:

$$\vec{w}_m = (\vec{w}_1 + \vec{w}_2) / 2. \quad (14)$$

Proiecția acestui vector pe axa U este egală $(w_{1U} + w_{2U}) / 2$, iar pe axa Z respectiv $(w_{1Z} + w_{2Z}) / 2 = w_Z$.

Direcția vitezei geometrice medii se determină:

$$\begin{aligned} \operatorname{ctg} \beta_m &= \frac{w_{mU}}{w_{mZ}} = \frac{w_{1U} + w_{2U}}{2w_Z} = \\ &= \frac{1}{2} \left(\frac{w_{1U}}{w_Z} + \frac{w_{2U}}{w_Z} \right) = \frac{1}{2} (\operatorname{ctg} \beta_1 + \operatorname{ctg} \beta_2). \end{aligned} \quad (15)$$

Astfel rezultanta tuturor forțelor, care acționează asupra rețelei din partea curentului de gaz incompresibil, este egală cu produsul dintre densitate, viteza geometrică medie și circulația vitezei în jurul profilului. Direcția ei de acțiune este perpendiculară vectorului vitezei geometrice medii. Pentru a determina direcția forței P rotim vectorul w_m cu unghiul de 90° contra direcției acelor de ceasornic.

La carenarea rețelei cu un gaz real valoarea reală a forței de ascensiune v-a fi mai mică decât cea teoretică din cauza forțelor de viscozitate.

4.3. Elaborarea ecuațiilor energetice de bază ale turbinei elicoidale

După cum a fost menționat mai sus, asupra unui profil unitar, care se mișcă cu viteza periferică U , acționează forța de ascensiune \vec{P} , proiecțiile căreia pe axa rețelei și pe linia frontală sunt egale respectiv cu P_Z și P_U . Aplicând ecuația cantității de mișcare către o secțiune inelară elementară cu grosimea unitară se va obține:

$$P_Z = -\frac{\rho G}{2} (w_{1U} + w_{2U}), \quad (16)$$

$$\begin{aligned} P_U &= -\rho G w_Z \\ P &= \sqrt{P_Z^2 + P_U^2} = \rho G \sqrt{\frac{(w_{1U} + w_{2U})^2}{r^2} + w_Z^2} = \rho G w_m. \end{aligned} \quad (17)$$

Să analizăm cum acționează viscozitatea unui gaz incompresibil asupra rezultatelor tuturor forțelor care acționează asupra profilului în rețea.

Din ecuația cantității de mișcare v-om obține relațiile pentru componentele axială și frontală ale reacției curentului pe un profil unitar al rețelei (fig.9):

$$P_Z = (P_1 - P_2)t \quad (18)$$

$$P_U = -\rho w_Z t (w_{1U} - w_{2U}).$$

Ținând cont de viscozitate ecuația Bernoulli pentru secțiunile 1 și 2 va fi:

$$p_1 - p_2 = \frac{\rho}{2} (w_{2U}^2 - w_{1U}^2) + \Delta p, \quad (19)$$

unde Δp sunt pierderile sumare ale presiunii totale care apar din cauza viscozității.

Deci,

$$\Delta p = p_1 + p_2 - \frac{\rho}{2} (\omega_{1U}^2 - \omega_{2U}^2), \quad (20)$$

$$R_Z = (p_1 - p_2)t = -\frac{\rho t}{2} (\omega_{1U}^2 - \omega_{2U}^2) + \Delta p \cdot t.$$

Comparăm relațiile pentru proiecțiile forței de

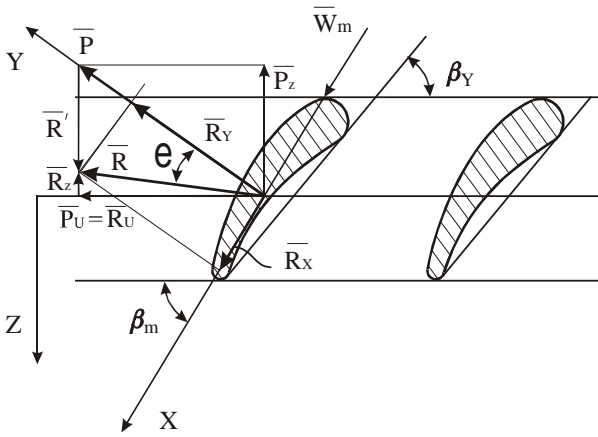


Fig. 7. Schema de calcul a componentelor radială și frontală a forței generate de curentul de gaz.

ascensiune la mișcarea unui gaz ideal cu relațiile asemănătoare la mișcarea gazului vâscos.

Pentru un gaz ideal avem:

$$P_U = -\rho G w_Z, \quad (21)$$

$$P_Z = -\rho G \cdot \frac{w_{1U} + w_{2U}}{2}.$$

Pentru un gaz ideal vâscos:

$$P_U = -\rho G w_Z, \quad (22)$$

$$P_Z = -\rho G \frac{w_{1U} + w_{2U}}{2} + t \cdot \Delta P.$$

Membrul suplimentar $t \cdot \Delta P$ exprimă proiecția pe axa rețelei a forței de rezistență \vec{R}' . Proiecția acestei forțe pe axă este egală cu zero, adică este paralelă cu axa

rețelei. Introducem viteza geometrică medie $\vec{w}_m = (\vec{w}_1 + \vec{w}_2)/2$ și obținem relația:

$$R = \rho \cdot G w_m, \quad (23)$$

care formal nu se deosebește de cea pentru gaz ideal. Însă aici și w_m și G se determină conform vitezelor reale w_1 și w_2 .

Forța rezultantă \vec{R} de interacțiune a curentului de gaz vâscos cu profilul rețelei este egală:

$$\vec{R} = \vec{P} + \vec{R}'. \quad (24)$$

Așa cum $P_U = R_U$, forța de rezistență nu influențează asupra momentului de torsiune al rețelei de profile.

Descompunem forța \vec{R} în componente:

$$\vec{R} = \vec{R}_X + \vec{R}_Y, \quad (25)$$

unde R_X este forța de rezistență frontală;

R_Y – forța de ascensiune.

Componenta frontală a forței rezultante R_X caracterizează acțiunea energetică a curentului de aer asupra roții de lucru, iar componenta axială R_Y determină forța de încărcare a rulmenților turbinei.

Vom numi calitatea profilului:

$$K = R_Y / R_X = \text{ctg} \varepsilon, \quad (26)$$

raportul forței de ascensiune a profilului către forța de rezistență frontală.

Acești coeficienți adimensionali ai forțelor profilului unitar sau a rețelei depind de geometria profilului și a rețelei, de unghiul de atac i , presiunea dinamică $\rho \cdot W_m^1 / 2$ și alți factori auxiliari.

Forța rezultantă pentru rețeaua compusă din n profile cu înălțime unitară se determină:

$$R = C_R n b \rho \cdot w_m^2 / 2, \quad (27)$$

iar componentele pentru profilul unitar:

$$R_Y = C_Y b \rho \cdot w_m^2 / 2, \quad (28)$$

$$R_X = C_X b \rho \cdot w_m^2 / 2.$$

Aici C_R , C_Y , C_X sunt coeficienții forțelor aerodinamice, de ascensiune și de rezistență frontală.

Coeficientul $C_Y = \frac{2t}{b} (\text{ctg} \beta_1 - \text{ctg} \beta_2) \cdot \sin \beta_m$

permite determinarea forței de ascensiune conform caracteristicilor cunoscute ale rețelei de profile.

6. CALCULUL NUMERIC CFD ÎN MEDIUL ANSYS CFX-5.7 AL ROTORULUI EOLIAN ELICOIDAL

6.1. Generalități

Utilizarea modelării computerizate a interacțiunii sistemului solid cu mediul fluid a început în anii 80 ai secolului trecut odată cu dezvoltarea performanțelor calculatoarelor personale. Acest tip de modelare/simulare a primit pe bună dreptate denumirea de Computational Fluid Dynamics (CFD).

CFD-ul este un instrument în baza unui cod (software) computerizat, care folosește potențialul de calcul al calculatoarelor moderne pentru simularea comportării unui sistem aflat într-un mediu fluid și descrierea proceselor fizice ce au loc în rezultatul acestei interacțiuni.

La baza elaborării codurilor CFD se află aparatul de ecuații matematice, care descriu procesele de transfer al căldurii, maselor de fluid și momentelor – ecuațiile Navier-Stokes pentru mediul fluid [10...13]. În anii 70 ai secolului trecut au fost propuse algoritme pentru generalizarea acestor ecuații complexe, iar odată cu apariția calculatoarelor s-a început dezvoltarea codurilor CFD care rezolvă ecuațiile date, folosind performanțele tehnicii de calcul.

6.2. Elaborarea geometriei CAD (3-D) a modelelor rotorului eolian elicoidal

Modelul matematic al rotorului eolian elicoidal elaborat anterior [14, 15], permite determinarea parametrilor cinetostatici și energetici de bază. Pentru aceasta a fost utilizat sistemul ecuațiilor de mișcare a fluidului ideal incompresibil și izoentropic, care descriu mișcarea fluidului în jurul rotorului elicoidal cu exactitate acceptabilă: *ecuația continuității, impulsului și energiei*.

În baza rezultatelor obținute a fost elaborat modelul CAD (3-D) computerizat al rotorului eolian elicoidal cu 4 începuturi și profil aerodinamic al paletelor în secțiune normală [7], care, ulterior, a fost simulat și cercetat în mediu CFD, la varierea diferitor parametri funcționali. Preliminar, pentru o analiză mai evidentă, în corespundere cu fig. 8, au fost elaborate două modele computerizate ale rotorului eolian elicoidal: a) cu profil constant și miez constant pe direcția axială a rotorului (modelul de bază); b) cu profil variabil și miez constant pe direcția axială.

6.3. Calculul numeric preliminar CFD al rotorului eolian elicoidal

Pentru pregătirea și realizarea experimentului numeric CFD a fost utilizată stația grafică Intel SE7505VB2 (2 procesoare Xeon 3,16 GHz, memoria operativă – 2GB, 2 HDD cu capacitatea de 70 GB, cartela video – NVIDIA Quadro4 980 XGL, sistemul de operare - Windows 2000 Server). și mediul de analiză CFD ANSYS CFX-5.7.1. Rețeaua de elementele finite a fost creată în mediul specializat Mech – ANSYS Workbench CFX-Mesh.

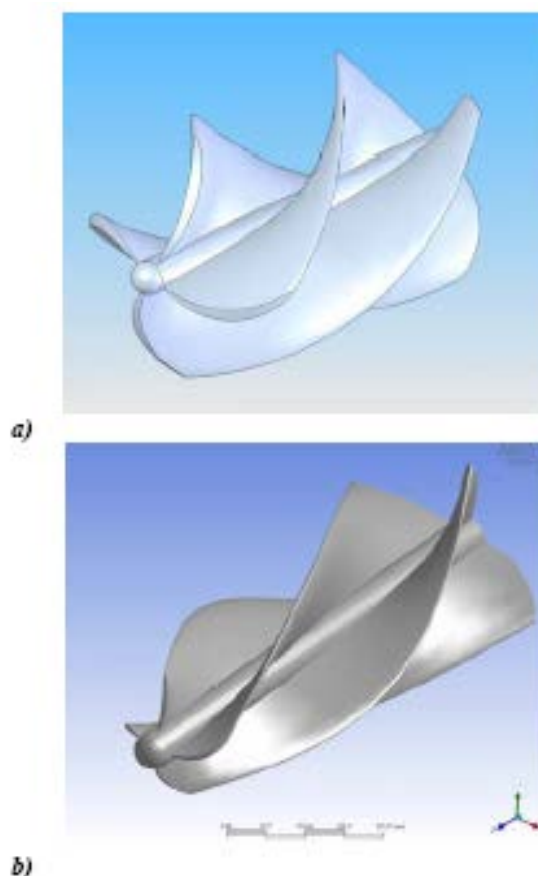


Fig. 8. Modelul computerizat 3-D al rotorului eolian elicoidal: a) – cu profil constant și miez constant pe direcția axială a rotorului; b) cu profil variabil și miez constant pe direcția axială.

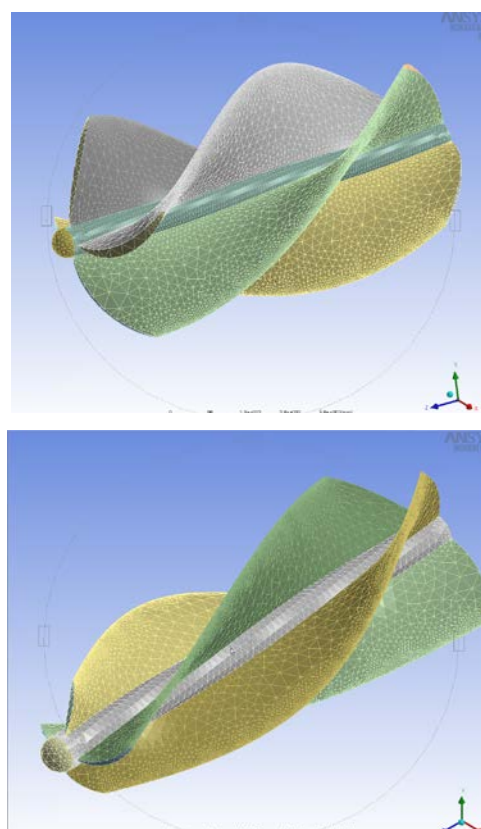
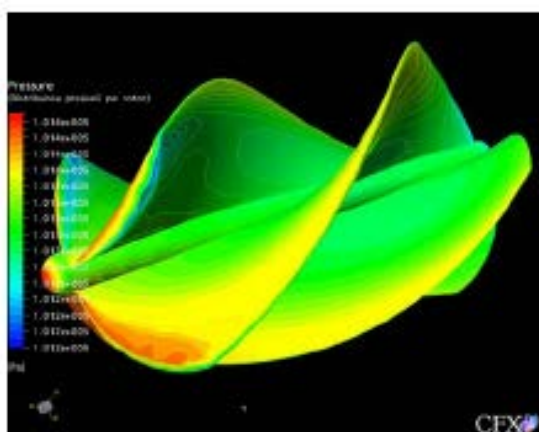


Fig. 9. Crearea Tetra- elementelor în softul ANSYS Workbench CFX-Mesh.

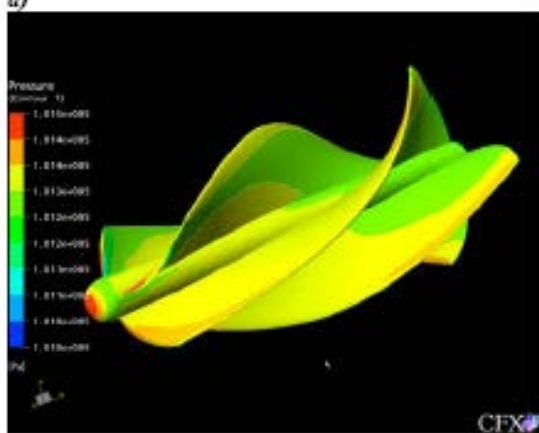
Pentru optimizarea parametrilor de lucru ai organelor de conversie au fost efectuate o serie de cercetări CFD în mediul CFX-5.7. Soluțiile acestor ecuații satisfac condițiile de limită pe elicele rotorului turbinei și la distanțe mari în domenii neperturbate ale fluidului (modelul de turbulență – *SST k- ω*). Stabilirea acestor condiții în caz general prezintă anumite dificultăți legate de forma constructivă și regimurile de funcționare a turbinei elicoidale. De aceea, s-a recurs la definirea lor pentru anumite condiții optime de funcționare, pentru care erau cunoscute valorile vitezelor în flux ale rotorului și ale vitezei induse în pala elicei.

Pentru cercetarea interacțiunii rotorului elicoidal cu mediul fluid, la început, au fost discretizate profilele palelor într-o rețea de elemente finite (fig.9): tetra Mesh, 1574417 elemente și 282509 noduri. În zonele de frontieră în apropierea suprafețelor obiectului studiat, care pot provoca desprinderea stratului de frontieră, au fost îngustate intenționat nodurile rețelei de elemente finite ($y^+ \leq 1$).

Calculul numeric CFD al particularităților interacțiunii fluidului cu rotorul eolian elicoidal, la varierea parametrilor funcționali de bază, a fost efectuat pentru poziționarea orizontală a rotorului față de direcția de curgere a fluidului în intervalul numerelor Re joase ($Re = 40\ 000 \dots 200\ 000$), fapt ce a permis determinarea presiunii exercitate de fluid asupra palelor (fig.10,a,b).



a)



b)

Fig. 10. Distribuția presiunii totale pe suprafața rotorului elicoidal, CFX Post:
a) Profil constant pe direcția de rotație; b) Profil variabil pe direcția de rotație.

De asemenea, au fost stabiliți vectorii vitezelor pe o suprafață plană și circulară orientată pe lungimea axei de rotație a rotorului (fig.11 și 12) și liniile de curgere a lichidului pe suprafețele rotorului (fig.13).

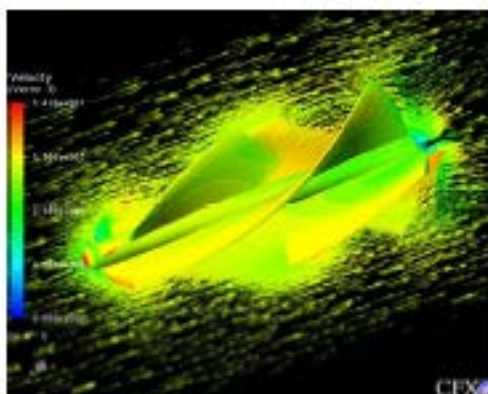
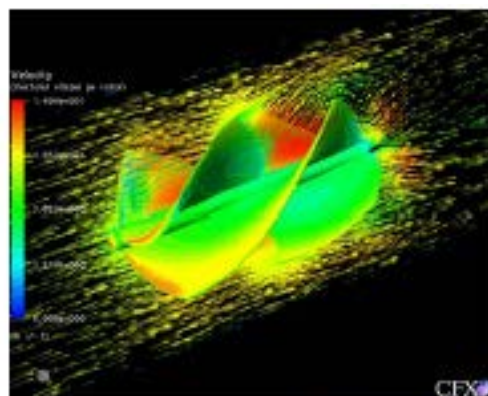


Fig. 11. Vectorii vitezelor pe o suprafață plană orientată pe lungimea axei de rotație, CFX

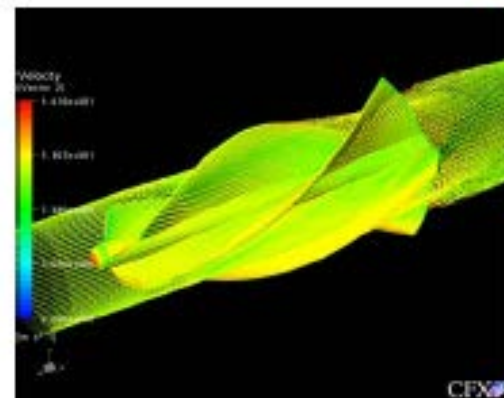
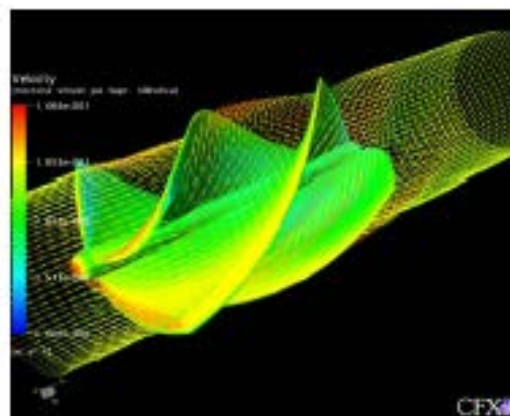


Fig. 12. Vectorii vitezelor pe o suprafață circulară orientată pe lungimea axei de rotație, CFX Post

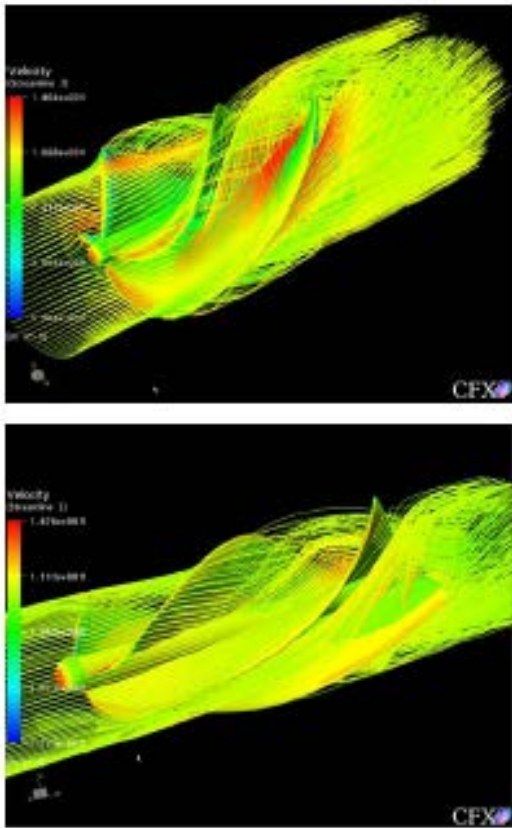


Fig. 13. Liniile de curenți ai fluidului pe

7. CONCLUZII

Utilizarea mediilor de analiză CFD, în cazul dat ANSYS CFX-5.7, în cadrul cercetării rotorului eolian elicoidal, permite determinarea parametrilor importanți cum ar fi: distribuția presiunii pe paletel rotorului; determinarea momentului de torsiune generat de rotor; aprecierea performanței lui; determinarea coeficientului de utilizare a energiei eoliene și mulți alți parametri calitativi și cantitativi. Acest fapt permite aprecierea obiectivă a performanței obiectului studiat fără cheltuieli considerabile cu efort minim într-o perioadă relativ scurtă.

În rezultatul analizei preliminare și prelucrării datelor simulărilor interacțiunii a două modele de rotor elicoidal se observă ușor performanța rotorului elicoidal cu profil variabil pe direcția de rotație. Aceasta permite dezvoltarea de mai departe a modelului dat și ulterior execuția modelului funcțional al acestuia.

8. REFERENCES

- [1] A. Hazi, *Tehnologii moderne de producere a energiei electrice și termice*. Ed. „Tehnica Info”, Chișinău 2005. – 208 p.
- [2] *Probleme globale ale omenirii. Starea lumii 1999* / Coord. Lester R. Brown / Worldwatch Institute (S.U.A.), Ed. Tehnică, București, 1999.
- [3] *Schimbarea Climei: strategii, tehnologii, perspective* / coord. B. Valentin, Min. Mediului și Amenajării Teritoriului; Programul Națiunilor Unite pentru Dezvoltare. – Ch.: Bons Offices, 2001. – 128 p.
- [4] *Strategia energetică a Republicii Moldova până în anul 2010*. Monitorul Oficial al Republicii Moldova, nr. 42-44/443 din 20.04.2000.

- [5] *Prima Comunicare Națională a Republicii Moldova elaborată în cadrul Convenției Națiunilor Unite privind schimbarea climei*, Chișinău, 2000.
- [6] T.Ambros ș. a., *Surse regenerabile de energie*. Manual, Chișinău: Ed. „Tehnica Info”, 1999 – 434p.
- [7] I.Bostan, M.Țopa, V.Dulgheru, R.Ciupercă, *Turbină elicoidală eoliană*. Brevet nr. 2106MD; I.CI.:F03D1/06. Publ. 28.02.2003, BOPI nr.2/2003.
- [8] I.Bostan, V.Dulgheru, R.Ciupercă, *Helical Turbine System for Wind and Hydraulic Energy Recovery*// The 28th Annual ARA Congress Program, 2003, Târgu-Jiu, România, p.145-149.
- [9] I.Paraschivoiu, *Wind Turbine Design: With Emphasis on Darrieus Concept*. Polytechnic International Press, Quebec, 2002.
- [10] G.Batcelor, *An Irtroduction to Fluid Dynamics*, Cambridge at the University Press, 1970.
- [11] H.Malalasekera, W.Malalasekera, *An Introduction to Computational Fluid Dynamics, The Finite Volume Method*, Longman, 1995.
- [12] I.Belov, S.Isaev, *Modelirovanie turbulentnyh tecenii*. Ucebnoe posobie, Baltiiskii gosudarstvennyi tehniceskii univrsitet, Sanct-Petersburg, 2001.
- [13] J.Bardina, P.Huang and T.Coakley, *AEA Technology, 2001, CFX-TASCflow and CFX-5 Documentation*. 1997, “*Turbulence modeling validation*”, AIAA Paper 97-2121.
- [14] I.Bostan, V.Dulgheru, R.Ciupercă, *Helical Turbine for Aeolian Systems and Micro-Hidrostation*. Product Engineering (Eco-Design, Technologies and Green Energy). Published by Springer, 2004, pag. 519 – 527.
- [15] I.Bostan, V.Dulgheru, R.Ciupercă, *Turbina elicoidală pentru agregate eoliene și minihidrocentrale*. Buletinul AGIR, nr. 4/2004, România, pag. 80

Ion Bostan. Născut la 31.07.1949 în com. Brânza, județul Cahul, Republica Moldova. Absolvește Institutul Politehnic din Chișinău (1971). Susține teza de doctor în științe tehnice (or.Saratov, Rusia,1977) și teza de doctor habilitat în tehnică (1989, MVTU „N.Bauman”, Rusia). Domenii de cercetare: Mașinologie; Elaborarea sistemelor de conversiune a energiilor regenerabile. Prof.univ. (1990), membru corespondent al AȘM (1992), academician al AȘM (1995). Laureat al Premiului de Stat în domeniul Științei și Tehnicii (1977,1998). Inventator Emerit al Republicii Moldova (1989), Inventator de Elită al României (1994). Medalia de Aur a Organizației Mondiale de Proprietate Intelectuală (OMPI) (1998, Geneva). Lucrări publicate - cca 500, inclusiv 9 monografii și manuale și 145 invenții.



Valeriu Dulgheru. Născut la 09.03.1956 în com. Cârpești, județul Cahul, Republica Moldova. Absolvește Institutul Politehnic din Chișinău (1978). Susține teza de doctor în științe tehnice (or.SVladimir, Rusia,1987) și teza de doctor habilitat în tehnică (1995, UTM, Chișinău, Republica Moldova). Domenii de cercetare: Mașinologie; Elaborarea sistemelor de conversiune a energiilor regenerabile. Conf.univ. (1991). Laureat al Premiului de Stat în domeniul Științei și Tehnicii (1998). Inventator Emerit al Republicii Moldova (1995), Inventator de Elită al României (1994). Medalia de Aur a Organizației Mondiale de Proprietate Intelectuală (OMPI) (2004, Geneva). Laureat al Premiului Academiei în anul 2004 pentru cea mai valoroasă lucrare științifică. Lucrări publicate - cca 350, inclusiv 14 monografii și manuale și 114 invenții.



Radu Ciupercă. Născut la 25.07.1974 în or. Ungheni, Republica Moldova. Absolvește Institutul Politehnic din Chișinău (1999). Domenii de cercetare: Elaborarea sistemelor de conversiune a energiilor regenerabile; Mașinologie. Lector universitar (2003). Laureat al Premiului Academiei în anul 2004 pentru cea mai valoroasă lucrare științifică. Laureat al premiului „Cel mai tânăr inventator” (2004). Lucrări publicate - 15, inclusiv 7 invenții.

