

# APORTUL INGINERIEI REPUBLICII MOLDOVA ÎN DEZVOLTAREA TEHNICII ȘI TEHNOLOGIILOR MODERNE (II)

Academician Ion BOSTAN

Universitatea Tehnică a Moldovei

## CONTRIBUTION OF THE MOLDOVAN ENGINEERING TO THE DEVELOPMENT OF MODERN TECHNIQUES AND TECHNOLOGIES (PART II)

**Summary:** This article describes, by specific examples, the contribution of Moldovan engineering to the development of techniques and modern technologies. An accomplishment, recognized on a global scale, is the invention of the Planetary Precessional Transmission in 1981 based on which, over three decades, various mechanisms and actuation systems for general and special purpose, comprising areas from cosmic flight technique to the submersible equipment, have been developed and implemented in manufacturing.

Through the material presented in this paper, the author aims to annihilate somehow the informational vacuum imposed during the Soviet period on the accomplishments of engineering sciences, which topics were interconnected with the military industry, or were considered as very important ones for the industrial and technological development of the country.

For the first time, the author shows a picture of the Moldovan engineering performance, exemplified by top achievements, obtained thanks to the efficiency of cooperation between national scientific researchers with the international structures empowered with research-innovation. The article highlights the scientific achievements of great value of some research teams of reference in engineering, which had a positive impact on the development and consolidation of engineering sciences and engineering, as a whole, at national and international levels.

**Keywords:** engineering sciences, planetary precessional transmissions, satellite technologies, ferro-manganese concretions, renewable energy conversion systems, wind turbines.

**Rezumat.** Articolul reflectă, prin exemple concrete, aportul ingineriei Republicii Moldova în dezvoltarea tehnicii și tehnologiilor moderne. O realizare recunoscută la scară mondială este invenția, din anul 1981, a Transmisiei Planetare Precesionale în baza căreia, pe parcursul a trei decenii, au fost elaborate și implementate diverse mecanisme și sisteme de acționare cu destinație generală și specială cuprinzând domeniile de la tehnica cosmică de zbor până la cea submersibilă.

Autorul urmărește să suplinească vidul informațional impus în perioada sovietică asupra realizărilor științelor ingineresti în materie de tehnică și tehnologii militare, precum și a cercetărilor considerate foarte importante pentru dezvoltarea industrial-tehnologică a țării.

În premieră, autorul prezintă un tablou al performanțelor ingineriei moldovenești, exemplificat prin realizări de vârf, obținute grație eficienței cooperării cercetătorilor științifici autohtoni cu structuri internaționale abilitate cu cercetarea-inovarea. În articol sunt scoase în evidență realizările de mare valoare ale unor echipe științifice de referință în inginerie care au avut un impact pozitiv asupra dezvoltării și consolidării științelor ingineresti și a ingineriei în ansamblu în plan național și internațional.

**Cuvinte-cheie:** științe ingineresti, transmisii planetare precesionale, tehnologii satelitare, concrețiuni fero-manganice, sisteme de conversie a energiilor regenerabile, turbine eoliene.

## INTRODUCERE

Evoluția științelor ingineresti în Republica Moldova în perioada 1970–1990 este marcată de extinderea tematicii investigațiilor științifice. Numai în cadrul Universității Tehnice a Moldovei (UTM), peste 50 de catedre s-au dezvoltat ca piloni de bază ai cercetării ingineresti universitare și de pregătire a specialiștilor, inclusiv pe programe de doctorat și postdoctorat. Problematika cercetărilor efectuate în cadrul catedrelor corespundea, de regulă, profilului acestora, instituțiile

de învățământ superior fiind stimulate astfel să sporească calitatea formării specialiștilor prin conexiunea cu cercetarea.

Rolul UTM în dezvoltarea științelor ingineresti este important atât prin asigurarea diversității tematicii investigațiilor științifice, cât și prin cooperarea amplă cu instituțiile abilitate în domeniul cercetării, inclusiv ramurale (ISCR) și cu birourile specializate de proiectare constructiv-tehnologică (BSPCT).

Prin absolvenții săi, UTM a consolidat personalul de ingineri, cercetători, proiectanți și tehnologi ai ICSR și BSPCT – instituții care au contribuit enorm la ascensiunea tehnologică a ingineriei moldovenești.

### 1. CONTRIBUȚII LA DEZVOLTAREA TEHNICII ȘI TEHNOLOGIILOR SATELITARE

În articolul [1] sunt prezentate succint realizările principale obținute în cadrul a trei instituții de cercetare-proiectare – НИИЦЭВТ, КВАНТ și НИИРИФ –, care au avut o contribuție substanțială în dezvoltarea tehnologiilor spațiale din fosta URSS.

La începutul anilor 1970, cercetătorii, inginerii-proiectanți și studenții de la UTM au participat la elaborarea Microlaboratorului cosmic *Oazis-2* pentru cultivarea microorganismelor (albuminei) în condiții de imponderabilitate, proiect coordonat de Institutul de Microbiologie al AȘM. Laboratorul respectiv a fost lansat în spațiul cosmic la 18.XII.1973 la bordul navei *Soiuz-13* (foto 1).

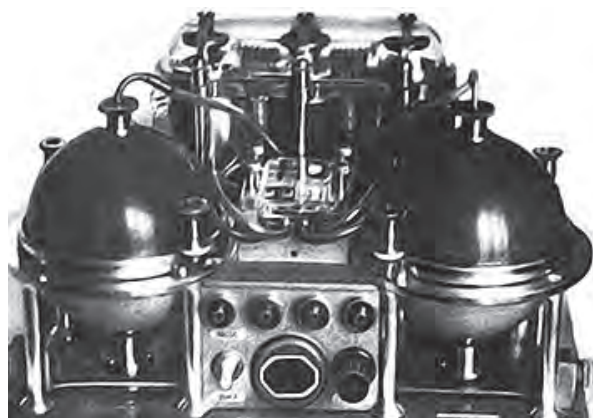


Foto 1. Microlaboratorul *Oazis-2*, lansat în spațiul cosmic cu nava *Soiuz-13* în anul 1973

În anii 1980, echipa de cercetători din cadrul UTM, condusă de subsemnatul, în cooperare cu Institutul de Cercetări Cosmice al URSS (or. Moscova), cu filiala acestuia (or. Frunze), cu Consorțiul *Cometa* (or. Moscova) și cu Uniunea Industrială *index 4805* (or. Krasnoiarsk, Federația Rusă), a contribuit la dezvoltarea tehnologiilor satelitare, elaborând în baza *Transmișilor Planetare Precesionale* sisteme de acționare și control al poziționării subsistemelor de bord ale tehnicii de zbor cosmic. Printre elaborări putem menționa modulul precesional pentru acționarea platformei scanare a stației de zbor cosmic interplanetar *VEGA-6* (figura 1 a), modulele electromecanice precesionale (figura 1 b, c) pentru acționarea subsistemelor de bord ale sateliților geostaționari [2] etc. Aceste module precesionale au fost fabricate la Uzinele *SCIOTMAȘ*, *MI-CROPROVOD* și *SEMNAL* din Chișinău.

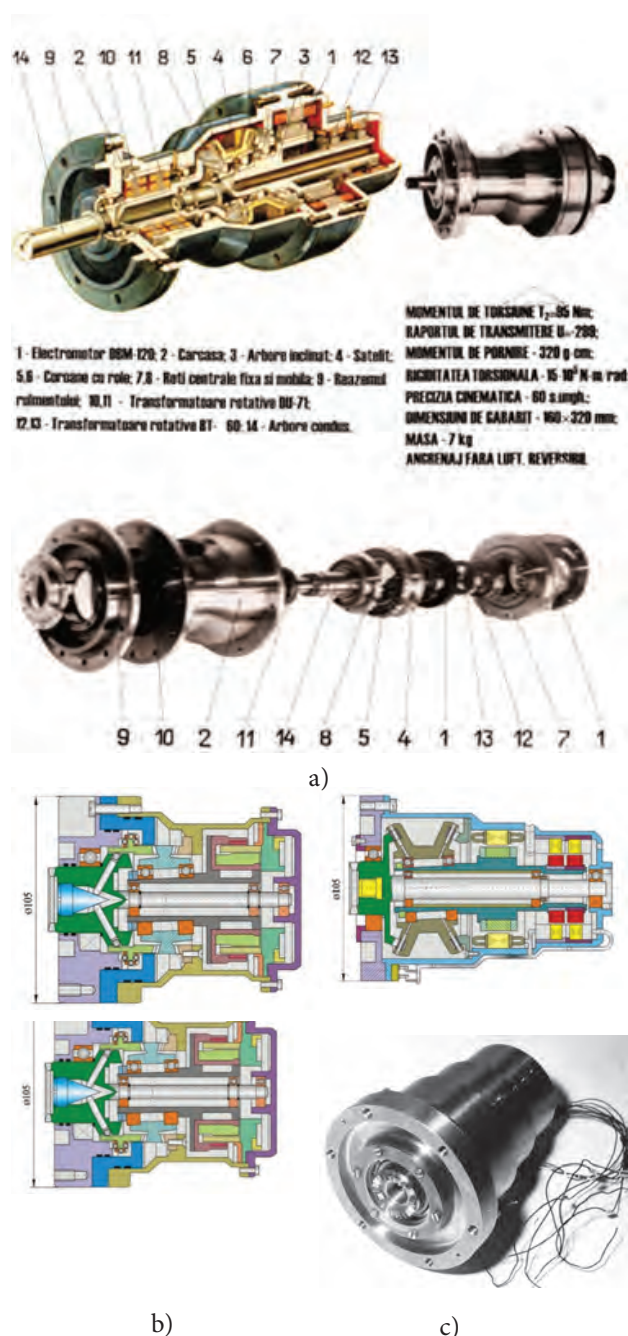


Figura 1. Modul precesional pentru acționarea platformei scanare a stației de zbor cosmic interplanetar *Vega-6* (a) și module precesionale (b, c) pentru acționări în sateliți cu orbita geostaționară

După o pauză de aproximativ 20 de ani, la UTM reîncep cercetările în domeniul tehnologiilor satelitare. În 2009, în cooperare cu AȘM, în cadrul unui program de stat (coordonator – subsemnatul) cu patru proiecte distincte au fost inițiate activități de cercetare-dezvoltare a *primului satelit moldovenesc*.

În primii doi ani (2010–2012) au fost stabilite misiunea și obiectivele satelitului, elaborate și fabricate în prima variantă subsistemele de bord ale satelitului (figura 2) [3]. Componentele constructive ale micro-

Tabelul 1

 Proiecte privind cercetarea-dezvoltarea *primului satelit moldovenesc*

Proiecte	Executori
1. Cercetarea și elaborarea sistemului de control, orientare și stabilizare a poziției microsatelitului (2009–2011). Conducător de proiect: <b>acad. Ion BOSTAN – coordonatorul Programului de stat</b>	<b>Profesori:</b> conf. univ. A. Sochirean; dr. șt. t. prof. V. Dulgheru; dr., conf. univ. V. Bostan; dr., conf. univ. M. Vaculenco; dr., lector superior I. Bodnariuc; <b>doctoranzi:</b> I. Dicusară, O. Ciobanu, R. Ciobanu, N. Trifan, Iu. Malcoci, R. Crudu, M. Guțu; <b>studenți:</b> V. Gladăș, . Zarea, A. Nicoară
2. Elaborarea metodelor de acționare asupra poziției microsatelitului în timpul scanării, procesării și transmiterii informației (2009–2011). Conducător de proiect: <b>dr., conf. univ. Nicolae SECRIERU</b>	<b>Profesori:</b> dr. șt. teh., prof. E. Guțuleac; <b>doctoranzi și studenți:</b> R. Nucu, S. Gangan, V. Popa, I. Zarea, A. Nicoară, O. Bârlădean, N. Cocoș, R. Crudu, L. Rotaru, O. Ghincul, E. Suman, C. Mârzac, A. Cârțica
3. Cercetarea și elaborarea subsistemelor electronice de scanare pentru exploatarea în spațiul cosmic (2009–2011). Conducător de proiect: <b>acad. Valeriu CANȚER</b>	<b>Profesori:</b> dr. șt. teh. E. Zasavițchi, dr. șt. teh. D. Dobrov, L. Roller, A. Penin, I. Beloțercovschii, Iu. Sainsus, A. Conev, Iu. Ruseev, P. Grosul, V. Hvalin, S. Zavrajnâi, V. Dumitru
4. Elaborarea sistemului de alimentare cu energie a microsatelitului (2009–2011). Conducător de proiect: <b>dr., conf. univ. Valeriu BLAJA</b>	<b>Profesori:</b> dr. șt. teh., conf. univ. V. Brânzari; dr. șt. teh., conf. univ. N. Secrieru; <b>doctoranzi și studenți:</b> S. Gherțescu, S. Gangan, S. Tincovan, O. Bârlădean

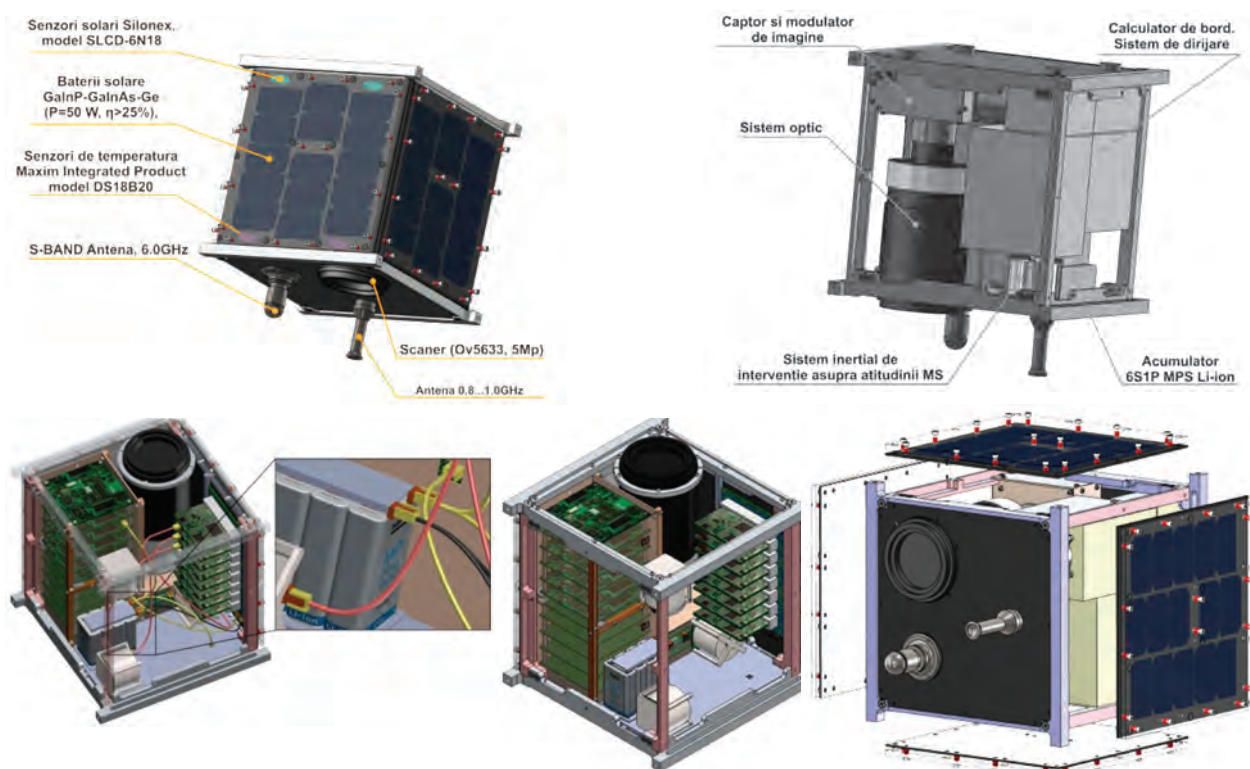


Figura 2. Subsistemele de bord ale microsatelitului elaborat la UTM

satelitului (MS) au fost fabricate la Uzina *TOPAZ* din Chișinău, iar asamblarea și testarea experimentală s-a efectuat la UTM, în cadrul Centrului de Tehnologii Spațiale.

Pentru cercetarea experimentală a cinematicii și dinamicii microsatelitului în condiții de vacuum (12 μmHg), la UTM a fost elaborat și proiectat un simulator cu 3 grade de mobilitate pentru improvizarea mișcării aleatorii a MS în zbor pe orbită (cu mișcare

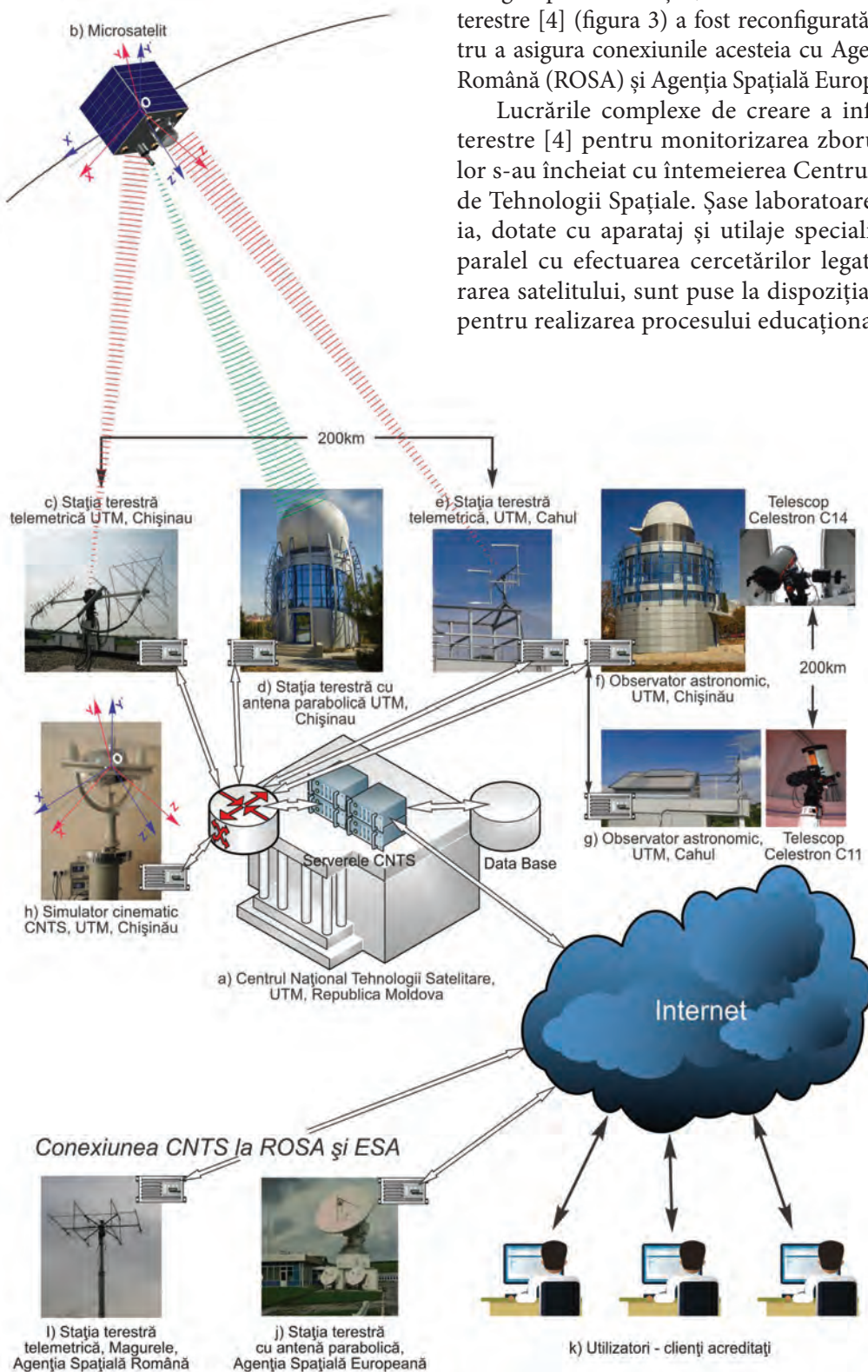
sfero-spațială cu un punct fix al suportului satelitului), fabricat ulterior la Uzina *TOPAZ* [4].

Prin câteva proiecte de cercetare-dezvoltare, în cadrul UTM a fost creată infrastructura terestră a Republicii Moldova de dirijare și control al zborului sateliților (figura 3) [4] care include o serie de laboratoare, stații telemetrice și de recepție a semnalelor de la satelit. Stația terestră pentru recepția semnalelor de imagine de la satelit a fost re-proiectată în cadrul Cen-

trului Național de Tehnologii Spațiale (CNTS), adaptându-se în acest scop un radar antigrindină, transferat cu titlu gratuit la bilanțul UTM (din lipsă de surse financiare – 2, 6 milioane de euro). Un alt obiectiv

realizat a vizat interconectarea tuturor componentelor infrastructurii terestre între ele cu fibră optică (până la punctul de sprijin al CNTS, amplasat în liceul din s. Brânza, r. Cahul). În baza unui proiect de transfer tehnologic aprobat de AȘM, infrastructura rețelei de stații terestre [4] (figura 3) a fost reconfigurată tehnic pentru a asigura conexiunile acestora cu Agenția Spațială Română (ROSA) și Agenția Spațială Europeană (ESA).

Lucrările complexe de creare a infrastructurii terestre [4] pentru monitorizarea zborului sateliților s-au încheiat cu întemeierea Centrului Național de Tehnologii Spațiale. Șase laboratoare ale acestuia, dotate cu aparatură și utilaje specializate [3], în paralel cu efectuarea cercetărilor legate de elaborarea sateliților, sunt puse la dispoziția studenților pentru realizarea procesului educațional.



**Figura 3.** Arhitectura rețelei de stații terestre elaborate la UTM (Chișinău), cu conexiuni la Agenția Spațială Română (ROSA) și Agenția Spațială Europeană (ESA)

## 2. APORTUL UTM LA DEZVOLTAREA TEHNICII ȘI TEHNOLOGIILOR MODERNE

Perioada 1970–1990 a fost marcată de extinderea cercetării, dezvoltării tehnologice și inovării în mai multe domenii și direcții ale științelor ingineresti, inclusiv la joncțiunea lor. În cadrul UTM, marea majoritate a catedrelor, circa 60, se dezvoltau și se consolidau ca piloni de bază ai cercetării științifice universitare în domenii/direcții corespunzătoare profilului catedrelor.

Anume în această perioadă s-au înregistrat cele mai performante rezultate în activitatea inovativă inginerescă în RSSM, atât din punctul de vedere al numărului de invenții, cât și al valorii lor.

### 2.1. Crearea unui nou tip de transmisie mecanică – *Transmisia Planetară Precesională (TPP)*

La începutul anilor 1980, în circuitul științific mondial a intrat un nou tip de transmisie mecanică – *Transmisia Planetară Precesională cu angrenaj multipar*. La 1.02.1983, subsemnatul înregistrează în Registrul de Stat al URSS primul brevet de invenție TPP, cu prioritatea din 11.02.1981.

Transmisia planetară precesională cu angrenaj multipar se deosebește de cele clasice prin principiul nou de transformare și transmitere a mișcării și a sarcinii. Multiplicitatea absolută (de 100%) a angrenării dinților în TPP se datorează mișcării sfero-spațiale cu un punct fix al satelitelui și al profilului convex-concav variabil al dinților roților centrale ale angrenajului. În acest sens, TPP nu are analoguri la scară mondială<sup>1</sup>.

În 1989, subsemnatul susține, la Universitatea Tehnică de Stat din Moscova „N. Bauman”, teza de doctor habilitat cu tema „Crearea transmisiilor planetare precesionale cu angrenaj multipar”, iar în 1990, grație principiului nou de transformare a mișcării și caracterului scientointensiv complex, tematica TPP, la recomandarea Ministerului Educației din fosta URSS, a fost inclusă în programele de studiu obligatoriu la disciplina „Organe de mașini” în toate instituțiile de învățământ superior tehnic (din URSS).<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Savanții din domeniul inovațiilor menționează că, în secolul al XX-lea, o dată la 20-25 de ani se inventa un nou tip de transmisii mecanice. Astfel, în 1923, inginerul german Peter Lorenz inventează transmisia *Ciclo* cu profil epi/hipocicloid al dinților; în 1944, inginerul rus A. Moskvitin creează transmisia armonică cu fricțiune; în 1959, inginerul american Masser – transmisia armonică cu angrenaj, iar în 1983 este înregistrată invenția *Transmisiei Planetare Precesionale*, care aparține ingineriei moldovenești.

<sup>2</sup> Учебная программа по дисциплине Детали Машин для технических ВУЗов СССР. Министерство Образования СССР, 1990 г.

TPP posedă avantaje deosebite, datorate principiului nou de transformare a sarcinii bazat pe utilizarea mișcării sfero-spațiale cu un punct fix al satelitelui și a angrenajului cu profil convex-concav variabil al dinților cu diferența lor de  $\pm 1$ . Particularitățile geometro-constructive ale angrenajului precesional plasează TPP printre cele mai performante transmisii cunoscute în lume după diapazonul extins al rapoartelor de transmitere într-o treaptă ( $12 \div 3600$ ) și după capacitatea lor portantă mare, determinată de multiplicitatea absolută a angrenării concomitente a dinților (100%) [2].

Pentru avantajele lor constructiv-cinematice unice, TPP au fost implementate în diverse domenii: mașini și mecanisme cu destinație generală și specială (figura 4 a, b), mecanisme de acționare în aparatele cosmice de zbor (figura 1 b, c, d); mecanismele de acționare a sistemelor de orientare cu mișcări extrem de lente (rapoarte de transmitere de până la 14 000 000) (figura 5); sisteme de reglare a presiunii în gazoductele magistrale (figura 6); tehnologii de extracție a petrolului de la adâncimi mari (figura 7); industria de automobile (figura 8 a); mecanisme pentru transmiterea mișcării prin perete (tehnică cosmică, industria chimică, atomică etc.) (figura 8 b); robotehnică (figura 8 c, d); mecanisme cu destinație generală și specială (figura 8 e) etc.

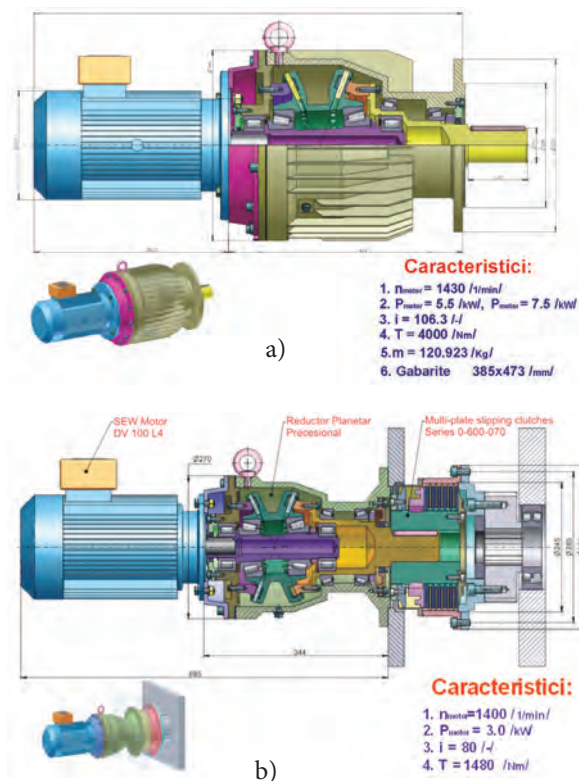
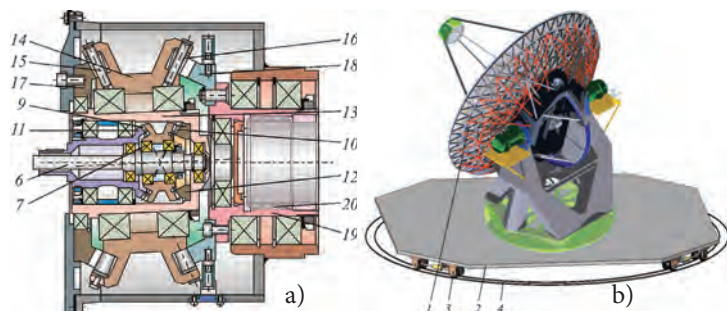
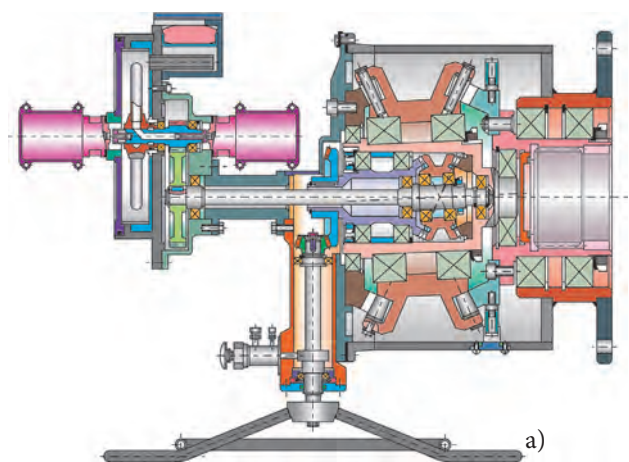


Figura 4. Reductoare precesionale 2K-H cu destinație generală (a) și specială (b), elaborate la solicitarea Firmei ARP, Stuttgart, Germania



**Figura 5.** Proiectul tehnic al TPP 2K-H (a) în mecanismul de acționare a Radarul din Krasnoyarsk (b)



**Caracteristica tehnică:**  
 Momentul de torsiune, Nm - 30000;  
 Raportul de transmitere - 20000;  
 Randamentul - 0,6.



**Figura 6.** Turbomotor precesional reactiv pentru armatura magistrelor de gaz: desen tehnic (a); vederea 3D (b); turbomotor precesional agregatizat cu conducta de magistrală (c)

Datorită avantajului cinematic exclusiv al TPP de a realiza reduceri foarte mari ale mișcării de rotație, la UTM a fost elaborat, în baza TPP, sistemul de orientare pentru Radarul din Krasnoyarsk (Federația Rusă) – parte componentă a Scutului Antirachetă al URSS. Sistemul de orientare elaborat în baza TPP cu doi sateliți precesionali asamblați pe principiul „matrioșka” (figura 5) realiza un raport de transmitere  $i=12960000$  ce asigura rotirea Rada-

rului în jurul axei sale cu o rotație într-un an (reper – Steaua Polară) la rotirea continuă a motorului electric cu  $n=1370 \text{ min}^{-1}$  [2].

În baza aceluiași avantaj cinematic al TPP, la UTM a fost elaborat proiectul turbomotorului precesional reactiv cu ejecție (cu reducerea  $i=20000$ ) pentru reglarea suprafeței secțiunii de curgere în conducte a gazului lichefiat în funcție de presiunea acestuia (figura 6). Seria „Zero” a turbomotorului precesional a fost fabricată la Uzina Kompresormăș din orașul Sumî, Ucraina, după proiectul elaborat la UTM.

O particularitate deosebit de importantă a TPP constă în posibilitatea de a transmite sarcini mari în gabarite mici, avantaj utilizat la elaborarea sistemului de acționare a pompei elicoidale (figura 7 a) pentru pomparea țițeiului de la adâncimi mari. Acest proiect a fost realizat în două tipodimensiuni la solicitarea Firmei americane Moino, filiala din Edmonton, Canada. În conceptul sistemului respectiv, pompa elicoidală, separatorul de gaze, reductorul precesional și motorul electric de tip Țigară sunt amplasate în țeava de foraj cu diametrul de 110 mm (figura 7 b) și de 135 mm (figura 7 c).

La începutul anilor 1980, a fost elaborată teoria fundamentală a angrenajului precesional multipar, teoria fundamentală a tehnologiei de generare a profilurilor convexe-concave variabile cu sculă precesională, iar în baza studiului complex al staticii și dinamicii au fost elaborate metodele de calcul ingineresc al TPP [2]. Rezultatele cercetărilor științifice au fost publicate în peste 1 200 de lucrări științifice, 12 monografii, inclusiv în *Antologia Invențiilor* în trei volume [7].

Aspectele constructiv-funcționale și tehnologice ale transmisiilor planetare precesionale, cuprinzând peste 25 de structuri cinematice, angrenaje noi, tehnologii noi de generare a profilurilor dinților convexe-concave variabile, cutii de viteze, hidrotransmisii, o gamă largă de construcții pentru diverse domenii de aplicare au fost protejate cu peste 170 de brevete de invenție (unor brevete de invenție li s-a aplicat „parafa regim nepublic”).

Secretomania informațională impusă în URSS unor realizări ale științelor ingineresti s-a răsfrânt din plin și asupra domeniului transmisiilor planetare precesionale. Astfel, „parafa regim nepublic” (ДСП) s-a aplicat pe teza de dr. hab. „Crearea transmisiilor planetare precesionale cu angrenaj multipar” „H. Байман” din Moscova, inclusiv pe 28 de brevete de invenție în domeniul TPP eliberate de Institutul de Expertiză de Stat a Patentelor din Moscova, fapt ce nu permitea autorilor să facă trimiteri la propriile lucrări în publicații, în reviste sau în rapoarte știin-

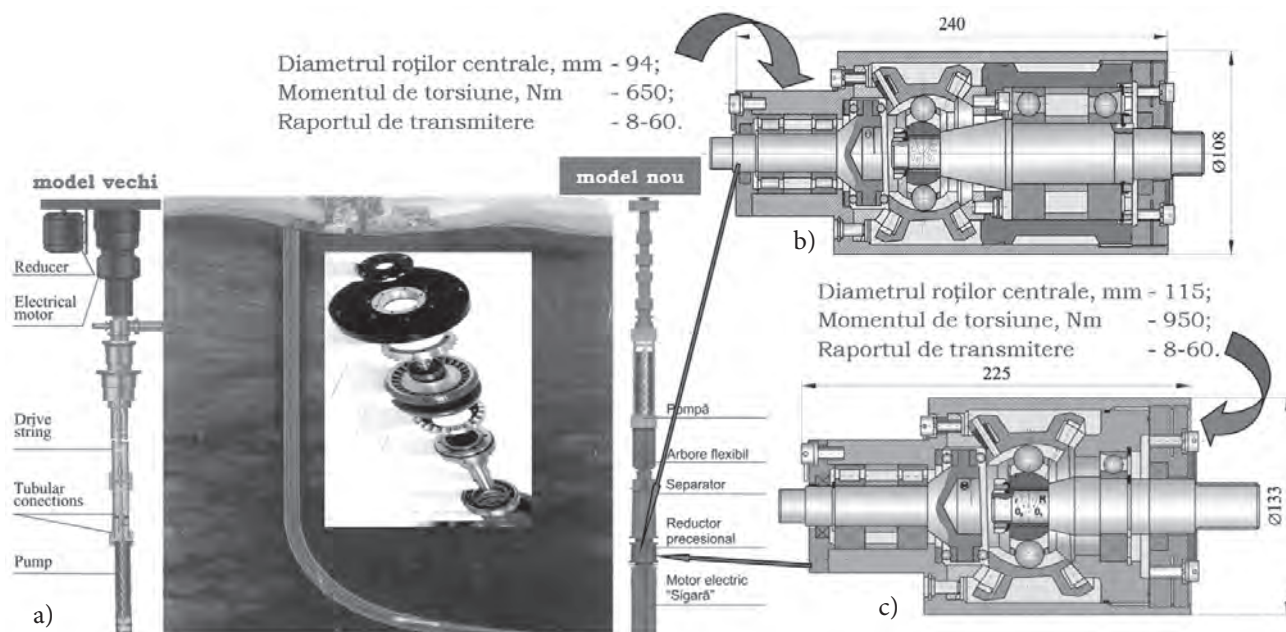


Figura 7. Sistem de pompare a petrolului de la adâncimi mari (a): mecanism precesional 2K-H pentru țevi cu  $D=110\text{mm}$  (b); pentru țevi cu  $D=135\text{mm}$  (c)

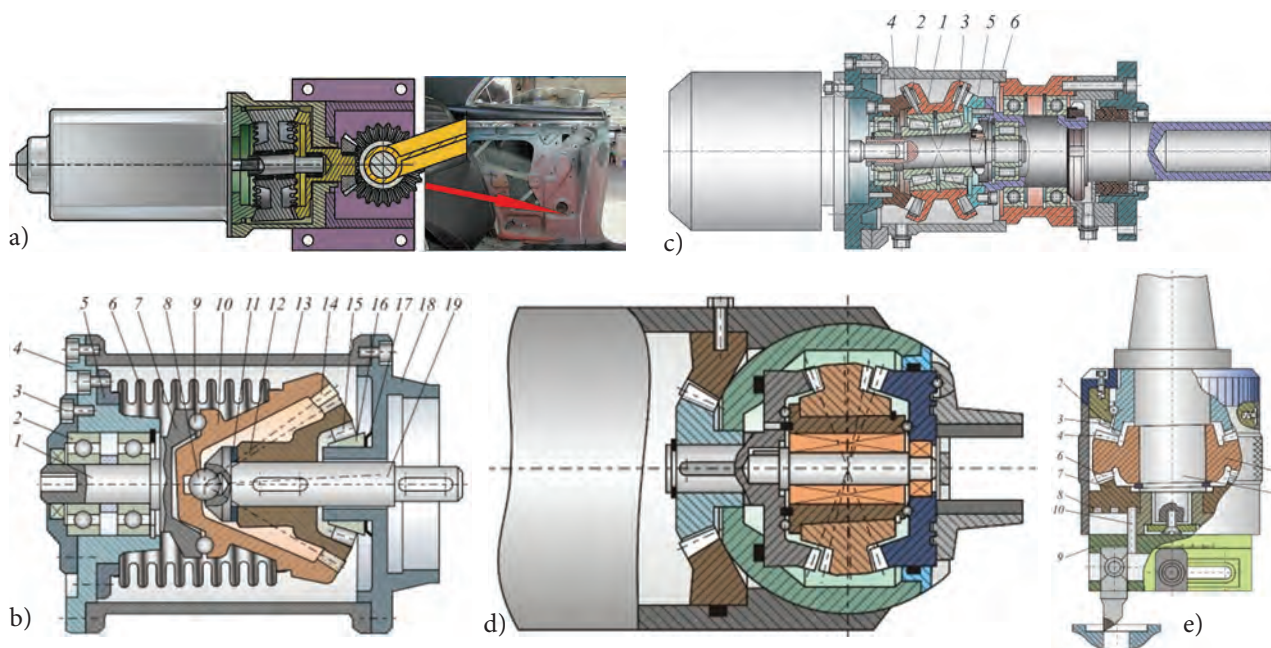


Figura 8. TPP cinematice în: automobile (a), mecanisme ermetice (b), mecanica fină (c), robotehnică (d), utilaje și mecanisme cu destinație generală și specială (e)

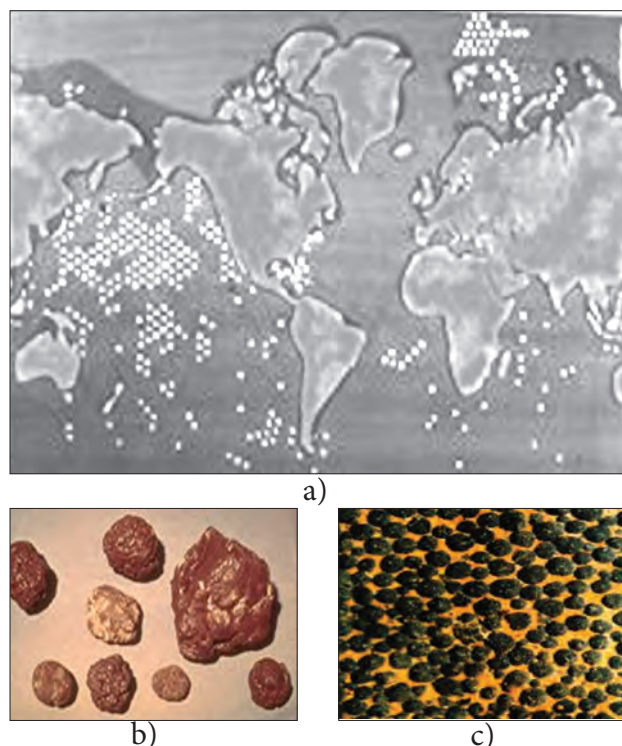
țifice<sup>3</sup>. Încălcarea „regimului nepublic” al lucrărilor era strict supravegheat în două nivele instituționale

<sup>3</sup> „Parafa regim nepublic” (ДЦП) a fost aplicată tezei de doctor habilitat a ing., d.ș.t. I. Bostan și brevetelor de Invenție URSS: nr. 1563319; nr. 1663857; nr. 1620294, nr. 1583285; nr. 1383657; nr. 1439900; nr.1758941; nr. 1773006; nr. 1781951; nr. 1800765; nr. 1439900; nr. 1601909; nr. 1598569; nr. 1657806; nr. 1693832; nr. 1714885; nr. 1760151; nr. 1711525; nr. 1704525; nr. 1834415; nr. 1795684; nr. 1781950; nr. 1727981; nr. 1800765; nr. 1353925; nr. 1272033; nr. 1357224; nr. 1324183.

(de către secțiile nr. 1 ale instituțiilor în care activau autorii și de serviciul Glavlit republican) și era penalizată pe cale administrativă.

## 2.2. Elaborarea sistemelor de acționare a Complexului Robotizat pentru extragerea Concrețiunilor Fero-Manganice de pe fundul Oceanului Planetar (conceptul URSS).

În perioada 1975–1990, cooperarea tehnico-științifică a cunoscut o extindere spectaculoasă prin dezvoltarea unor noi forme de organizare a științei în



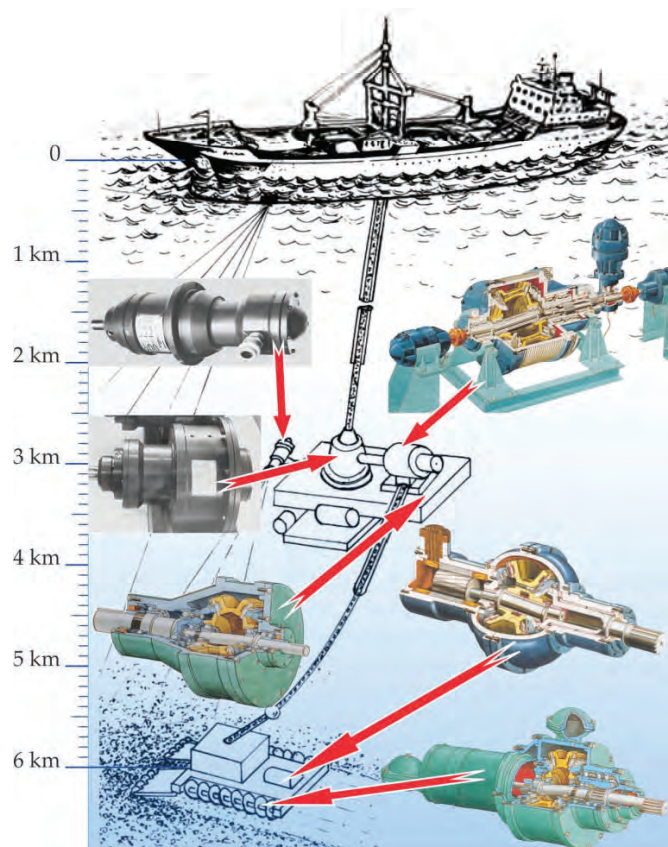
**Figura 9.** Localizarea Concrețiunilor Ferro-Manganice (CFM) în oceane și mări a); noduli polimetaliți b), c)

baza programelor unionale. Scopul și obiectivele acestor programe constau în rezolvarea unor probleme științifico-practice concrete de interes major statal sau multinațional.

Un exemplu elocvent este Programul Unional OCEAN, în care Universitatea Tehnică a Moldovei a fost antrenată pe parcursul a opt ani la elaborarea Proiectului „Complexului Robotizat pentru Extragerea Concrețiunilor Ferro-Manganice de pe fundul Oceanului Planetar” (CRECFMOP) [conceptul URSS]<sup>4</sup> [2]. Conform estimărilor specialiștilor (figura 9) [5], pe fundul oceanelor și mărilor, la adâncimi de 5 000-7 000 m sunt localizate zăcăminte de concrețiuni fero-manganice (CFM) care pot satisface necesitățile tuturor țărilor lumii în toate metalele din Tabelul periodic al elementelor pentru viitorii 200 de ani. Numai în Oceanul Pacific sunt localizate 1 700 de miliarde de tone de CFM (figura 9). În comparație cu zăcămintele terestre, cele oceanice conțin de 150 de ori mai mult Cu, de 1 500 de ori mai mult Ni, de 5000 de ori mai mult Co și de 4 000 de ori mai mult Mn.

Datorită avantajelor excepționale ale transmisiilor planetare precesionale, identificate la exploatarea lor în

<sup>4</sup> În cadrul cercetărilor (anul 1983) s-a constatat că în condițiile fundului oceanului, la presiuni hidrostatice de 50-70 MPa și temperaturii de 2-4°C, pierderile hidraulice în TPP sunt foarte mici, în comparație cu pierderile enorme din transmisiile clasice datorate creșterii viscozității cinematice de până la 3000 centistok a uleiurilor compensatoare a presiunii hidrostatice externe.



**Figura 10.** Mecanisme precesionale de acționare submersibilă pentru Complexul Robotizat de Extracție a Concrețiunilor Ferro-Manganice de pe fundul Oceanului Planetar (conceptul URSS)

condiții submersibile, echipa de cercetători de la UTM a elaborat în baza TPP (cu titlu de unic proiectant) toate cele 12 sisteme de acționare ale Complexului Robotizat, conceptul URSS (unele prezentate în figura 10).

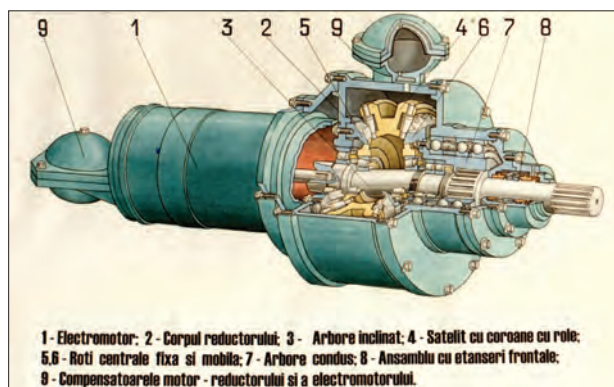
O componentă importantă a Complexului robotizat este sistemul de orientare al robotului spre zonele de localizare a concrețiunilor fero-manganice pe fundul Oceanului Planetar. Orientarea robotului spre zone cu CFM, conform schemei conceptuale a Complexului robotizat, este realizată prin intermediul unui hidrolocator cu mecanism de acționare elaborat în baza transmisiei precesionale. Reductorul precesional a fost proiectat într-o singură configurație constructivă, dar cu două variante cinematice cu rapoartele de transmitere  $i = -323$  și  $i = -728$ . Reductorul cu  $i = -728$  este destinat pentru mecanismul de reglare a secțiunii de curgere a pulpei din CFD prin aerliftul care unește platforma intermediară cu corabia (figura 10). Seria „zero” a modului electromecanic a fost executată la Uzina AZOVMAȘ, or. Mariupol, Ucraina (figura 11).

Electromotoreductorul troliului superior amplasat pe platforma intermediară (figura 12) posedă o serie de particularități de exploatare, le-





Figura 11. Motor-reductoare precesionale de acționare a hidrolocatorului și a clapetei aerliftului



a)

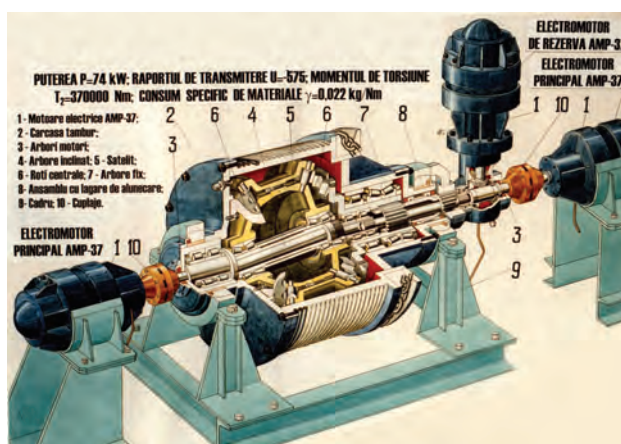
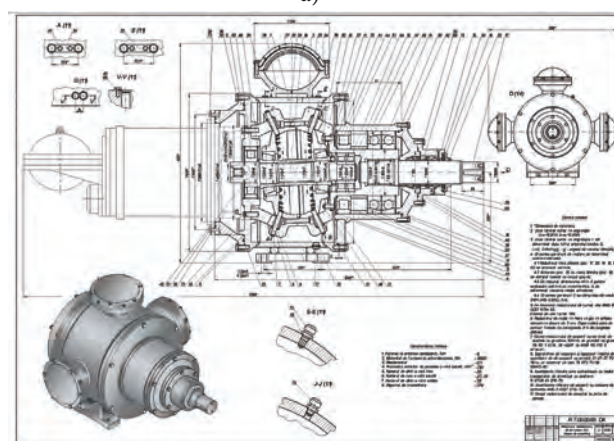


Figura 12. Mecanism de acționare a trolului Complexului Robotizat cu reductor precesional 2K-H



b)

Figura 13. Motoreductor precesional 2K-H pentru acționarea propulsoarelor-șnec de deplasare a robotului pe fundul oceanului: (a) model 3D; (b) proiect tehnic

gate de asigurarea flotației submersibile zero, și a securității funcționale în ansamblu. În cazuri accidentale, este prevăzută acționarea arborelui condus de un electromotor de rezervă prin intermediul unui reductor conic, fixat pe flanșa acestuia. Caracteristicile tehnice ale electro-motoreductorului sunt: raportul de transmitere  $i = -575$ , momentul de torsiune la arborele condus  $T = 370000 \text{ Nm}$ , puterea la arborele conducător  $P = 2 \times 37 = 74 \text{ KW}$ , masa electromotoreductorului  $m = 8225 \text{ kg}$  (fără ulei), consumul specific de material  $\gamma = 0,022 \text{ kg/Nm}$ .

Fundul mărilor și oceanelor la adâncimi de 5 000-7 000 m reprezintă un strat de nămol cu grosimea de aproximativ 40 m. Pentru a asigura mobilitatea Complexului robotizat, propulsoarele acestuia reprezintă două șnecuri tubulare cu cavități secționate, menite să asigure plutirea submersibilă zero pe stratul de nămol. Propulsoarele-șnec sunt animate de motoreductorul precesional prezentat în figura 13. Caracteristicile tehnice: raportul de transmitere  $i = -280$ ; momentul de torsiune la arborele condus  $T = 15 000 \text{ Nm}$ , masa  $m = 691 \text{ kg}$  (fără ulei), consumul specific de material  $\gamma = 0,049 \text{ kg/Nm}$ . Reductorul și

electromotorul sunt umplute cu ulei pentru compensarea presiunii hidrostatice oceanice de 50-70 MPa. Arborele de ieșire (la toate reductoarele) este dotat cu un sistem de garnituri axiale flotante având camere de degajare externă a presiunii hidrostatice. Cavitățile motoarelor electrice și ale reductoarelor precesionale submersibile sunt comutate la compensatoare speciale, pentru a echivala presiunea din interior cu presiunea hidrostatică din exterior.

În figura 14 este prezentat reductorul precesional de acționare a alimentatorului CECFM. Reductorul are următoarele caracteristici tehnice:  $i = -144$ ;  $T = 2 950 \text{ Nm}$ , masa  $m = 145 \text{ kg}$ , consumul specific de material  $\gamma = 0,049 \text{ kg/N}$ , multiplicitatea angrenajului - 100%. Reductorul are la bază schema 2K-H a transmisiei precesionale. Producerea industrială a acestui motoreductor precesional și-a asumat-o Uzina AZOVMAȘ din or. Mariupol, Ucraina.

Mecanismul precesional cu arborele de ieșire fixat în carcasa brațului trolului, prezentat în figura 15 (a), este utilizat în calitate de mecanism de ridicare a Complexului Robotizat (figura 15 b) Caracteristicile tehnice: raportul de transmitere  $i = -144$ , momentul de torsiune la arborele condus

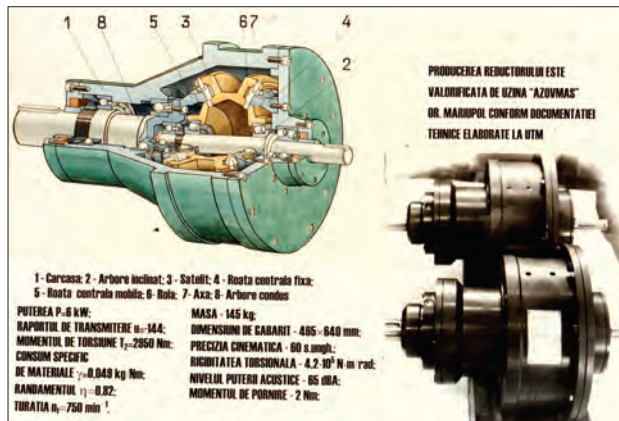


Figura 14. Reductor precesional 2K-H pentru acționarea alimentatorului CECFM

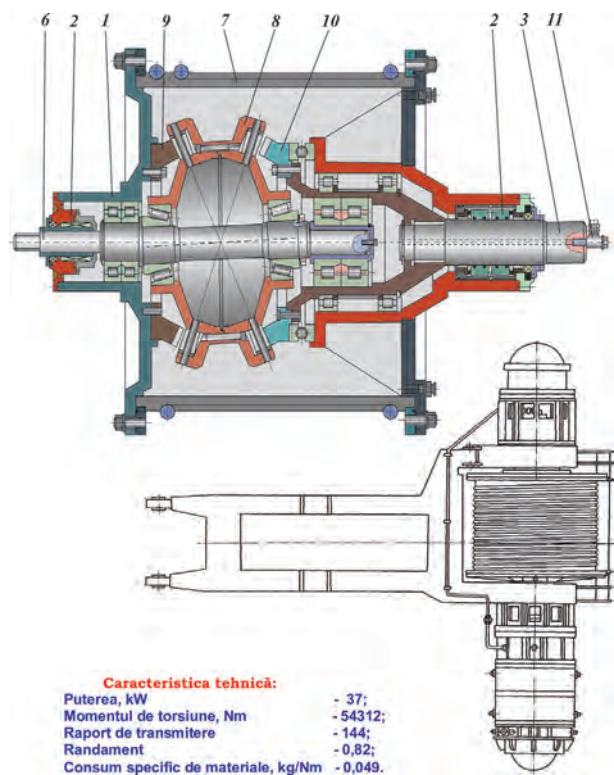


Figura 15. Mecanism precesional de acționare (a) și brațul troliului cu reductor precesional 2K-H, cuplat cu motorul electric (b)

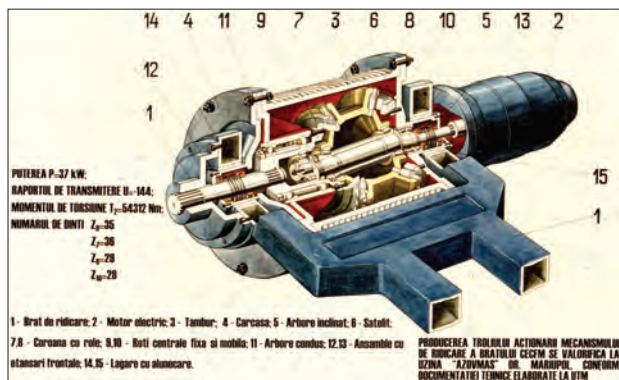


Figura 16. Mecanism de acționare a tamburului Complexului Robotizat cu reductor precesional 2K-H

$T = 54312 \text{ Nm}$ , puterea la arborele conducător  $P = 37 \text{ kW}$ , masa  $m = 2822 \text{ kg}$  (fără ulei), consumul specific de material  $\gamma = 0,049 \text{ kg/Nm}$ .

În figura 16 este prezentat modelul 3D al reductorului precesional de acționare a tamburului Complexului robotizat. Reductorul are caracteristicile tehnice:  $i = -109$ ;  $T = 50917 \text{ Nm}$ , masa  $m = 3885 \text{ kg}$ , consumul specific de material  $\gamma = 0,049 \text{ kg/Nm}$ . Multiplicitatea angrenajului - 100%. Reductorul are la bază schema structurală 2K-H a transmisiei precesionale și este instalat în interiorul tamburului cu lungimea de 2000 mm. Tehnologia de producere industrială a acestui reductor a fost elaborată la Uzina AZOVMAȘ din or. Mariupol, Ucraina.

Cerințele tot mai rigide privind protecția mediului ambiant impun necesitatea modificării concepției de proiectare a sistemelor maritime și oceanice submersibile. În anii 1990, Organizația Națiunilor Unite a recomandat atât țărilor semnatare ale Convenției Maritime, cât și țărilor preocupate de cercetarea-dezvoltarea tehnicii submersibile, câteva rezoluții privind protecția mediului prin utilizarea tehnologiilor nepoluante. În acest context, la solicitarea Institutului de Cercetări Științifice VNIPI Okeanmaș (or. Dnepr, Ucraina), la UTM a fost elaborat prototipul conceptual al motoreductorului precesional submersibil nepoluant (ecologic) (figura 17). La baza modelului conceptual elaborat se află ideea utilizării apei de mare în calitate de lubrifiant. În acest scop, unul dintre elementele angrenajului (rolele conice ale satelitului) sunt executate din materiale compozite speciale care posedă rezistență mecanică și proprietăți antifricțiune înalte. În cazul lubrifierii lor cu apă de mare, construcția propusă nu necesită utilizarea unor sisteme complicate de etanșare a mediilor sau a compensatoarelor de presiune. Uleiul compensator de presiune este înlocuit cu apa de mare care asigură lubrifierea cuplurilor cinematice ale angrenajului și a lagărelor de alunecare, fabricate din metaloceramică și siliciu grafitizat.



Figura 17. Modul electromecanic precesional 2K-H (nonpoluant) pentru Complexul Robotizat

### 3. SISTEME DE CONVERSIE A ENERGIILOR REGENERABILE

O direcție de interes major în mediul academic de la UTM, începând cu anul 2004, constituie formarea profesională pe programe de licență, masterat și doctorat, integrate cu cercetarea-inovarea noilor concepte de sisteme pentru conversia energiilor regenerabile.

Perioada 1993–2050 poate fi catalogată ca un boom mondial, cu ținte definite prin legi, declarații și acte normative, cel puțin în țările-membre ale UE, ca energia regenerabilă să substituie complet energiile neprietenoase mediului către anul 2050. În acest context, este oportună ideea descentralizării sistemelor de alimentare cu energie electrică a consumatorilor izolați. Această direcție de dezvoltare se conține în declarația și în deciziile Comitetului Regiunilor<sup>5</sup> și Parlamentului<sup>6</sup> Uniunii Europene.

Utilizarea energiei regenerabile este parte și în actele normative ce se referă la asigurarea securității energetice a Republicii Moldova până în anul 2030,

<sup>5</sup> Comunicarea Comisiei către Parlamentul European, Consiliu, Comitetul Economic și Social European și Comitetul Regiunilor. *Energia din surse regenerabile – o prezență majoră pe piața energetică europeană*. În: Jurnalul Oficial al UE, C62/52, 2.3.2013.

<sup>6</sup> Directiva nr. 2009/28/CE a Parlamentului European și a Consiliului din 23.04.2009 privind promovarea utilizării energiei regenerabile. În: JO al UE nr. L140/16 din 05.06.2009.

inclusiv în Legea privind promovarea utilizării energiei din surse regenerabile<sup>7</sup>. Republica Moldova și-a asumat angajamente de a atinge, în 2020, cota de 20 la sută de energie produsă din surse regenerabile din consumul brut de energie.

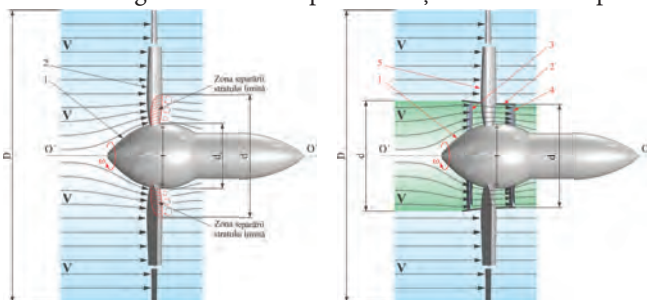
În această ordine de idei, în 2004, în cadrul UTM a fost fondată o nouă direcție științifică privind promovarea utilizării energiei din surse regenerabile prin cercetarea-dezvoltarea sistemelor de conversie a energiilor: eoliană, hidrolică, solară, geotermală și cea a valurilor mării.

Un domeniu aparte al cercetărilor științifice l-a constituit elaborarea și punerea în aplicare a modelelor matematice privind simularea efectelor aerodinamice [6] și elaborarea conceptelor noi de rotoare aero-hidrocinetice cu performanțe sporite ale conversiei (figura 18). În anul 2007, în cadrul Centrului de Implementare a Tehnologiilor Avansate ETALON al UTM a fost creată baza de asamblare cu un poligon de testare experimentală a sistemelor de conversie elaborate la UTM (figura 19).

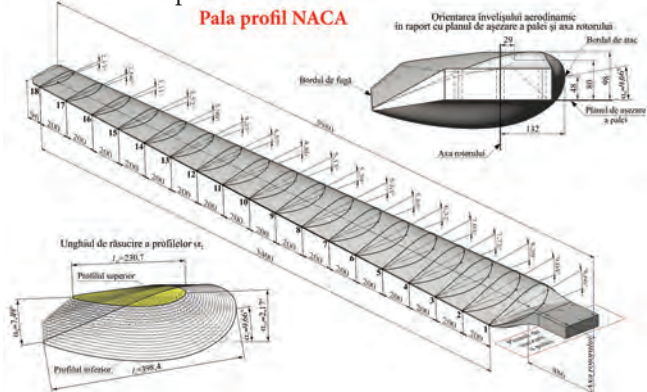
Începând cu 2008, s-au creat câteva poligoane de testări experimentale în condiții reale ale turbinelor eoliene (TE) amplasate în diverse zone ale Republicii Moldova (figura 20).

<sup>7</sup> Legea Republicii Moldova nr. 10 din 26.02.2016 privind promovarea utilizării energiei din surse regenerabile. În: Monitorul Oficial, nr. 69-77 din 25.03.2016.

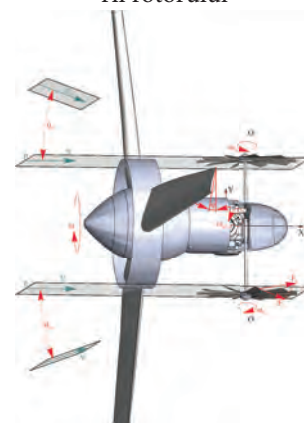
Analiza curgerii tranzitoriu prin rotor și în vecinătatea palelor



Generarea geometriei profilului învelișului palei rotorului supus simulărilor numerice CFD



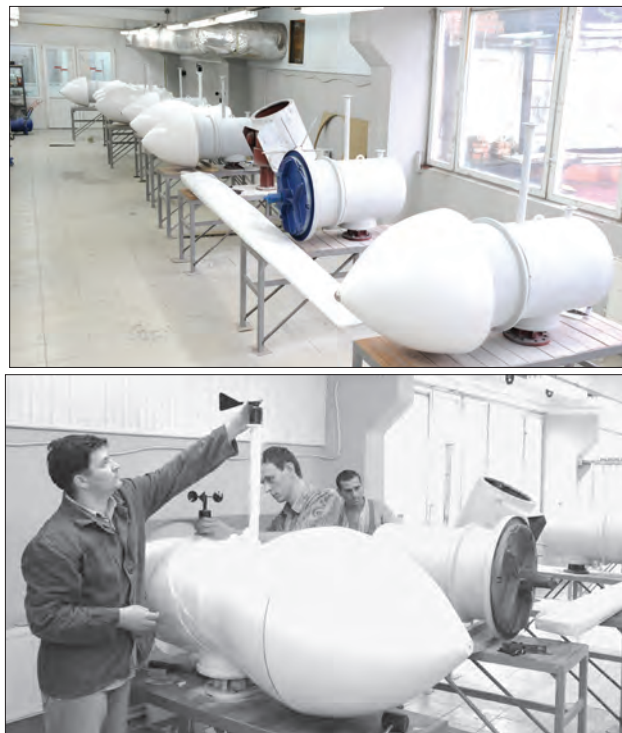
Calculul aerodinamicii orientării rotorului



Laborator de cercetări experimentale



Figura 18. Cercetarea aerodinamicii și elaborarea palelor turbinelor eoliene cu performanța aerodinamică controlată



**Figura 19.** Asamblarea seriei „0” din 10 turbine eoliene cu puterea de 10 kW, elaborate la UTM

În baza modelării matematice și simulării numerice a proceselor aero-hidrodinamice la interacțiunea pală-fluid au fost formulate constatări, concluzii și recomandări referitoare la elaborarea, proiectarea și fabricarea rotoarelor turbinelor eoliene și hidrocenralelor de flux de mică putere.

Cercetările științifice complexe efectuate au cuprins identificarea, argumentarea și aplicarea modelelor matematice, metodelor numerice și algoritmilor din cadrul CFD pentru simularea numerică a curgerii turbulente în zona rotorului eolian și a rotorului hidraulic, în special în vecinătatea palelor aero-hidrodinamice, printre care:

- metoda elementelor de frontieră cuplată cu modelul *Head*, implementate în produsul-program *MATLAB* pentru simularea curgerii bidimensionale în jurul palelor hidrodinamice, cu determinarea preliminară a parametrilor geometrici, constructivi și funcționali ai rotoarelor aerodinamice;
- modelele pentru rezolvarea numerică a ecuațiilor *Navier-Stokes*;
- modelele pentru modelarea turbulenței și tranziției stratului-limită laminar la stratul-limită turbulent și precizarea detașării stratului-limită;
- metoda elementului finit, bazată pe volume de control pentru discretizarea ecuațiilor.

Drept rezultat, au fost elaborate concepte constructiv-funcționale ale rotoarelor aero- și hidrodinamice bazate pe soluții tehnice inovative care asigură un randament sporit al conversiei energiei.



**Figura 20.** Testarea experimentală a turbinelor eoliene elaborate la UTM în diferite zone ale Republicii Moldova

În baza modelării matematice a curgerii fluidului în vecinătatea palelor și a simulărilor CFD, în premieră au fost propuse soluții tehnice noi, protejate cu 35 de brevete de invenție, menite să sporească eficiența conversiei energiei prin diminuarea impactului negativ al detașării stratului-limită:

- s-au propus concepte de construcții de pale aero-hidrodinamice cu utilizarea efectului de absorbție aero-hidrodinamică, dotate cu elemente constructive care conduc la diminuarea efectului de detașare a stratului-limită la curgerea fluidului;
- a fost elaborată baza de date pentru proiectarea și fabricarea palelor aero-hidrodinamice utilizate la elaborarea turbinelor eoliene și hidraulice, cu recomandări și soluții tehnice pentru sporirea eficienței conversiei;
- s-a creat o platformă integrală de cercetare-dez-

voltare, cu abordarea complexă a problemelor ciclului *cercetare – proiectare – implementare* bazată pe modele matematice moderne de descriere a fizicii curgerii turbulente a fluidului: metode de simulare CFD a efectelor și fenomenelor fizice în rotoare și în vecinătatea palelor; practici de proiectare, generare și control dimensional al profilurilor aerodinamice ale palelor; tehnici de testare experimentală în tunel aerodinamic, pentru validarea comparativă a simulărilor CFD.

În figura 21 sunt prezentate sisteme de conversie a energiei solare cu puterea de 0,8 kW elaborate, fabricate și asamblate la Centrul de Implementare a Tehnologiilor Avansate (CITA) *Etalon*, UTM. Sistemele sunt dotate cu mecanisme de orientare la soare a panourilor fotovoltaice (PV) cu două axe de mobilitate [8]. Orientarea pe orizontală (azimut) se realizează prin intermediul unui motor solar Sun Tracer cu extensiunea unghiulară de  $96^\circ$ , iar pe verticală (elevație) – prin intermediul unui servomotor cu extensiunea unghiulară de  $75^\circ$ . Orientarea sistemului discretizată cu pasul 1-15 min. se efectuează utilizând un program computerizat conform protocolului de operare TdAPS (Time derived Astronomical Positioning System) cu prescrierea latitudinii locului de amplasare cu precizia  $\pm 2^\circ$ , a longitudinii cu precizia  $\pm 5^\circ$ , data și ora instalării cu precizia de  $\pm 3$  minute.

Activitățile de cercetare-dezvoltare a transmisiilor planetare precesionale, efectuate în perioada 1980 – prezent, a sistemelor de conversie a energiilor regenerabile (începând cu anul 2004) și a Satelitului *Republica Moldova* (începând cu anul 2009) au fost efectuate în baza a peste 35 de proiecte internaționale și 12 proiecte naționale, printre care: programele *OCEAN*, *Kosmos*, *INTAS*, *SCOPIES*, *Moldova*; Fundațiile CRDF și MRDA; proiectele bilaterale cu România, Germania, Elveția, SUA și Canada; contracte economice în cadrul ex-URSS; cu finanțare de la Bugetul de Stat al



**Figura 21.** Asamblarea sistemelor de conversie a energiei solare, CITA Etalon, UTM

Republicii Moldova în cadrul programelor de stat, proiectelor instituționale, proiectelor pentru tineri și de transfer tehnologic etc.

În baza finanțării acestor programe și proiecte a fost creată baza tehnico-materială de cercetare, proiectare și simulare computerizată, s-au dezvoltat capacitățile de cercetare ale colectivului de cercetători.

Realizările obținute în domeniul de cercetare-inovare [2, 7], în tot spectrul tematic specific transmisiilor planetare precesionale, sistemelor de conversie a energiilor regenerabile și tehnologiilor satelitare la nivelul performanțelor menționate în acest articol, au fost posibile grație excelenței în cercetare-inovare a colegilor din colectiv, care îmbină strălucit experiența creativă cu cunoașterea metodelor moderne de cercetare-proiectare, cu măiestria aplicării softurilor moderne și modelelor matematice în simularea computerizată a fenomenelor și efectelor ce au tangență cu domeniul de cercetare, printre care: **dr. hab. V. Dulgheru, dr. hab., prof. univ. interimar V. Bostan, dr., conf. univ. A. Oprea, N. Secieru, S. Mazuru, M. Vuculenco, R. Ciupercă, A. Sochireanu, I. Bodnariuc, R. Ciobanu, O. Ciobanu, N. Trifan, I. Dicusară, Iu. Malcoci, M. Țopa, dr. ing. I. Babaian, A. Țopa, doctoranzii: S. Candraman, A. Margarint, I. Cozma, V. Gladîș, M. Guțu, V. Odainii, G. Porcescu, V. Melnic, I. Rabei, R. Crudu ș.a.**

## BIBLIOGRAFIE ȘI NOTE

1. Bostan I. Evoluția științelor ingineresti, infrastructura instituțională și cooperarea cu industria (perioada 1946–2016). În: *Akademios*. Chișinău: 2016, nr. 3 (42), p. 40-51.
2. Бостан И. А. Прецессионные передачи с многопарным зацеплением. Кишинэу: ШТИИИЦА, 1991, 365 стр.
3. Bostan I., Cantzer V., Secieru N., Bodean G., Candraman S. Research, Design and Manufacture of Functional Components of The Microsatellite „Republic of Moldova”. In: 2nd International Communication Colloquium, Aachen, 2014, p. 19-30.
4. Bostan I. Piso I.-M., Bostan V., Badea A., Secieru N., Trusculescu M., Candraman S., Margarint A., Melnic V. Arhitectura rețelei stațiilor terestre de comunicații cu sateliți. În: *Akademios*. 2016, nr. 2 (41), p. 69-75. Феликс Р. Патури. Зодчие XXI века. Смелые проекты учёных, изобретателей и инженеров. М.: Прогресс, 1983, 328 с.
5. Bostan Viorel. Modele matematice în inginerie. Probleme de contact. Modelări și simulări numerice în aero-hidrodinamică. Chișinău: Bons Offices, 2014, 470 p.
6. Bostan I., Dulgheru V. ș.a. Antologia invențiilor în 4 volume: volumul 1 – 593 p., volumul 2 – 542 p.; Volumul 3-458 p.; volumul 4 – 636 p. Chișinău: Bons Offices, 2011.
7. Bostan I., Gheorghe A., Dulgheru V., Sobor I., Bostan V., Sochirean A. Resilient Energy Systems. Renewable: Wind, Solar, Hydro. Topics in Safety, Risk, Reliability and Quality. Springer, 2012, 507 p.