DEZVOLTAREA TIMPURIE A DINAMICII FLUIDELOR: PARTEA I

EARLY DEVELOPMENT OF FLUID DYNAMICS: PART I

CZU: 532.5 **https://doi.org/10.59295/spd2024n.110**

Ion M. CERNICA,
ORCID: 0009-0006-4776-8211
e-mail: ion.cernica@ifa.usm.md
Universitatea de Stat din Moldova

Summary. *The evolution of fluid dynamics from ancient times to the end of the 18th century is presented. It is shown that fluid dynamics appeared with the creation of the first means of production and evolved together with the economic development of society and human civilization. The hydrotechnical achievements associated with those in the fields of navigation and pneumatics gave fluid dynamics, at the initial stage of development, a predominant applicative character and this orientation was preserved for many centuries in a row. In the sense we assign today, fluid dynamics was initiated in the 17th century, when the resistance to the advance of solid bodies in fluid media had become an important problem for the science and technology of that time. Knowledge of water and air resistance was needed in the design of ships, cannons, water mills and windmills. The scientific achievements that marked the early development of fluid dynamics are described, and the role of prominent researchers in this field is shown.*

Keywords*: drag, early development, fluid dynamics, free fall, speed.*

INTRODUCERE

În momentul când meditǎm asupra dezvoltării dinamicii fluidelor, sute de avioane brăzdează cerul albastru, mii de nave maritime plutesc pe mări și oceane, milioane de automobile circulă pe străzi și șosele, și nu în ultimul rând milioane de oameni sunt conectați la diverse aparate biomedicale mecanice. Dar puțini dintre noi cunosc că aceste sisteme și echipamente inginerești moderne, ca și multe altele de altfel, au principiul de funcționare bazat parțial sau integral pe legile dinamicii fluidelor. În lumea modernă de astăzi, ele sunt examinate mai degrabă ca ceva firesc sau chiar natural, și nu un miracol al ingineriei moderne, unde legile fundamentale ale naturii sunt valorificate şi combinate într-un mod util, pentru a forma un sistem fiabil și eficient.

La vederea unui avion în zbor, te uimește faptul cum legile naturii, care acum două secole erau încă necunoscute sau interpretate greșit, au făcut posibil zborul cu un aparat mai greu decât aerul. Chiar marele fizician britanic William Thomson nu credea în posibilitatea unui zbor cu un asemenea aparat. Și totuși omenirea a găsit modalitatea de a rezolva această problemă și multe alte probleme asemănătoare. Astăzi, la trecerea anilor, ne întrebăm: *Cum au devenit posibile aceste realizări inginerești remarcabile*? Pentru a găsi răspunsul la întrebarea formulată, trebuie să ne întoarcem înapoi la știința antică și

să analizăm acele fapte şi momente, care au marcat apariţia şi evoluţia dinamicii fluidelor, ca știință.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Încă în antichitate, când oamenii au început să construiască corăbii, tunuri, mori de apă și de vânt, apeducte și baraje s-a simțit nevoia de a deține cunoștințe de dinamica fluidelor, astfel încât să se poată stăpâni regulile pentru dimensionarea acestora. Egiptenii ar fi fost fără îndoială depozitarii unor reguli empirice, fără de care n-ar fi putut construi faimoasele lor monumente. Dar, cu regret, istoria ne-a lăsat prea puține mărturii pentru a face o amplă imagine asupra evoluției dinamicii fluidelor în Egiptul antic.

Pe vremea aceea cunoştinţele erau dobândite prin observarea, înţelegerea şi interpretarea fenomenelor naturale, care erau apoi folosite direct în practică. Prima sistematizare ştiinţifică a unor asemenea cunoştinţe de dinamica fluidelor în antichitate a fost făcută de către marele filozof grec Aristotel (384-322 î. Hr.) în „*Fizica*” sa, care prin dezvoltările sale a influențat civilizația europeană până la sfârșitul secolului al XVII-lea. El a înaintat prima dată conceptul de „*mediu continuu*” și a sugerat ideea că un corp în mișcare prin aer sau printr-un alt fluid întâmpină o rezistență aerodinamică proporțională cu viteza de mișcare [1]. Legile hidrostaticii şi plutirii corpurilor au fost descoperite de către Arhimede (287-212 î. Hr.), una dintre cele mai mari figuri ale matematicii şi mecanicii greceşti. Ultima lucrare a lui Arhimede, „*Despre plutirea corpurilor*”, este dedicată studierii echilibrului corpurilor plutitoare, în special, echilibrului stabil. În ea Arhimede a demonstrat principiul care-i poartă numele [2]: *un corp imersat într-un lichid este acţionat de acesta cu o forţă verticală ascendentă şi egală cu greutatea volumului de lichid dezlocuit de corp, iar suportul ei trece prin centrul de masă al acestui volum.* Bazându-se pe principiul descoperit, el a determinat poziţiile de echilibru şi de stabilitate ale plutitorilor de forma unui segment sferic şi unui paraboloid de rotaţie. Multe din realizările ştiinţifice şi tehnice ale lui Arhimede şi-au păstrat valabilitatea şi în zilele noastre.

O mare parte din cunoștințele grecilor antici au fost preluate și valorificate de către romani. Epoca de înflorire a Imperiului Roman a rămas în istorie şi prin importante lucrări de alimentare cu apă [2]. De notat că în secolele I-II Roma avea o populaţie deja de 1 milion de oameni şi alimentarea caselor particulare ale romanilor cu apă potabilă devenise o problemă importantă de stat. În această perioadă, în capitala Imperiului Roman se proiectează şi se construiesc zeci de apeducte, cu o lungime totală de circa 70...100 km. Oraşul era alimentat cu apă potabilă dintr-un apeduct, confecţionat din uluce şi conducte de plumb, care servea la transportarea apei de la locul de captare (munţii nordici ai Italiei de astăzi) până la locul de colectare. De aici apa era transportată prin zeci de apeducte urbane până la rezervoarele de folosire, de unde cu ajutorul unor ajutaje de reglare a debitului era distribuită populaţiei, îndeosebi celei avute.

Romanii au construit numeroase apeducte în întregul imperiu. În mod miraculos, circa 200 dintre ele au supravieţuit până în prezent. La Segovia, în Spania, se află un foarte frumos apeduct pe două niveluri, construit din 200400 de blocuri de granit şi de beton, fără vreun liant. Este absolut intact, într-o stare uimitor bună şi încă funcţional, aducând şi astăzi

apă din râul Frío la o distanţă de 16 km. În anul 1985 această realizare uimitoare a strămoşului nostru, împăratul roman Traian, a fost inclusă în patrimoniul cultural al umanităţii.

Din câte se ştie, romanii nu au studiat teoretic mişcarea fluidelor. În schimb, se poate presupune că ei au atras atenţia asupra legăturii dintre aria secţiunii vii şi unghiul de înclinaţie al canalului sau apeductului, rezistenţei la mişcarea apei şi continuităţii mişcării fluidelor. Problemele tehnice legate de proiectarea, construirea şi întreţinerea canalelor şi apeductelor au constituit acel cerc de probleme, care au dus ulterior la naşterea dinamicii fluidelor aplicate, iar mai târziu şi a dinamicii fluidelor teoretice.

Din epoca de înflorire a Imperiului Roman se cunoaşte tratatul în două volume al guvernatorului apeductelor romane Sextus Iulius Frontinus (40-103 d. Hr.) „*De Aqueductibus Urbis Romae Commentarius*”, adică „*Comentarii asupra apeductelor din urbele romane”*, care conţinea în formă embrionară elemente de hidraulică [2]. Această carte s-a bucurat de mare popularitate în rândul oamenilor de ştiinţă şi inginerilor, fiind retipărită timp de patru secole în diverse oraşe din Europa. Fiind un excelent cunoscător al sistemelor de alimentare, transport şi distribuţie a apei, Frontinus a analizat practic toate metodele utilizate la acea vreme pentru determinarea cantităţii de apă evacuată din ajutaje şi modul de distribuire a apelor unui apeduct sau a unei fântâni. El mărturisea [2]: „*cantitatea de apă intrată într-o conductă trebuie să fie egală cu cantitatea de apă ieşită din ea*”, „*fluxul de apă evacuat printr-un orificiu depinde nu numai de dimensiunile acestuia, ci şi de înălţimea apei din rezervor*”, „*o conductă folosită pentru transportul apei dintr-un apeduct ar trebui, după cum se impune, să aibă o poziţie mai mult sau mai puţin înclinată spre direcţia iniţială a curentului*”. Din citatele prezentate se poate trage concluzia că Frontinus cunoștea legea conservării masei și legea de variație a vitezei apei evacuate cu adâncimea orificiului cu mult mai înainte (aproximativ 1600 de ani) decât Leonardo da Vinci, Benedetto Castelli și Evangelista Torricelli. Astăzi, această lucrare poate fi apreciată ca o primă încercare de formulare a problemei curgerii fluidului greu incompresibil în conducte şi canale şi problemei curgerii prin orificii şi ajutaje. Lucrarea lui Frontinus este preţioasă şi prin faptul că din ea s-au inspirat fondatorii hidrodinamicii, inclusiv Daniel Bernoulli [3].

Însă, din cauza nivelului jos de dezvoltare a matematicilor, problemele puse la începutul erei noi nu au putut fi soluţionate nici în epoca de înflorire a Imperiului Roman și nici după prăbușirea lui, când centrul cultural şi ştiinţific s-a mutat temporar în Orientul Apropiat şi Mijlociu. Dar nici progresele matematicii musulmane în domeniul algebrei și trigonometriei nu au fost suficiente pentru a impulsiona dezvoltarea hidrodinamicii. Se simțea tot mai stringent nevoia elaborării calculului diferenţial şi integral, precum și a principiilor generale ale mecanicii clasice.

De la lucrările lui Arhimede „*Asupra corpurilor plutitoare*” şi „*Despre plutirea corpurilor*” şi până la tratatul „*Del moto e misura dell´acqua*” („*Despre mişcarea şi măsura apei*”), elaborat de Leonardo da Vinci (1452-1519) şi publicat la Bologna abia în anul 1923, exceptând lucrarea lui Sextus Iulius Frontinus, nu se cunoaşte apariţia unei alte lucrări de dinamica fluidelor, care să ateste importante preocupări ştiinţifice în acest domeniu [2]. Fiind puternic influenţat de dezvoltarea construcţiilor hidrotehnice din Italia în epoca

Renaşterii şi un mare admirator al lui Aristotel şi Arhimede, Leonardo da Vinci a făcut primele încercări de laborator, punând astfel bazele metodei experimentale de cercetare a fenomenelor hidromecanice. „*Acele ştiinţe, care nu sunt născute din experienţe, mama oricărei siguranţe, şi care nu se termină printr-o experienţă concludentă, sunt deşarte şi pline de erori*", spunea Leonardo da Vinci [2]. El ne învăţa că atunci când ai treabă cu apa este necesar să te adresezi în primul rând la experienţă şi nu mai după aceasta să treci la discuţii. „*Cel care se bazează pe practică, fără să lumineze încercările şi activitatea cu luminile ştiinţei, este ca un marinar fără busolă*" [2]. Aşa gândea Leonardo da Vinci. Tot el a indicat asupra importanţei aplicării matematicilor în ştiinţă, afirmând că „*nu există adevăr în ştiinţe acolo unde nu pot fi aplicate ştiinţele matematice şi nu are legătură cu matematicile*" [5]. Leonardo da Vinci a fost atât de bine versat în legile naturii, încât a declarat [5]: „*un corp încearcă să coboare pe pământ prin cele mai scurte căi" şi „un corp dă aerului aceeaşi forţă de rezistenţă, ca şi aerul corpului*". Aceste declaraţii uimitoare de simple şi clare au precedat legea universală a gravitaţiei şi principiul acţiunii şi reacţiunii ale lui Newton cu mai bine două sute de ani. Leonardo da Vinci a lăsat în urma sa o serie de schiţe privind mişcarea turbulentă a apei, a proiectat lucrări hidrotehnice şi aparate de zbor, a studiat experimental forma jeturilor de lichid în câmpul gravitaţional, propagarea valurilor, saltul hidraulic şi multe alte fenomene hidraulice. În mecanica fluidelor s-a făcut remarcabil atât prin ideea emisă cu privire la continuitatea lichidelor, cât şi prin descoperirea principiului vaselor comunicante (lichidele de densităţi diferite se ridică în vase comunicante la înălţimi invers proporţionale cu densităţile lor). Dar studiile lui Leonardo da Vinci au avut un impact redus asupra dezvoltării dinamicii fluidelor.

Dinamica fluidelor a fost inițiată în secolul al XVII-lea, când rezistența la înaintare a corpurilor solide în mediile fluide devenise o problemă importantă pentru știință și tehnică [6]. Cunoașterea rezistenței fluidelor era necesară la proiectarea corăbiilor, tunurilor, morilor de apă și de vânt.

Primele rezultate notorii ale noii teorii a rezistenței sunt legate de studierea legilor căderii libere a corpurilor solide și de soluționarea problemei pendulului [4], care la vremea ceea era principalul instrument de măsurare a timpului. Studierea acestor probleme mai era necesară pentru confirmarea învățăturii lui Copernic cu privire la mișcarea planetei Pământ [4], considerată de biserica catolică ca fiind o învățătură eretică.

Până la mijlocul secolului al XVII-lea, în știință, exista punctul de vedere al lui Aristotel, potrivit căruia timpul de cădere a corpurilor este invers proporțional cu greutatea lor, adică corpurile grele cad mai repede decât cele ușoare [4]. El afirma în mod ironic că „*mișcarea în jos a oricărui corp înzestrat cu greutate are o iuțeală proporțională cu dimensiunile sale*". Teoria lui Aristotel a fost infirmată de Domino Galileo Galilei (1564-1642), care a studiat căderea liberă a corpurilor de pe turnul Pisa între anii 1589-1592 [5]. Pe baza acestor experiențe Galilei a scris, în anul 1590, tratatul „*De Motu Gravium*", adică „*Despre mișcarea corpurilor căzătoare*", care a reprezentat la vremea ceea o primă expunere a principiilor dinamicii moderne. Dorind să demonstreze absurditatea sistemului cosmologic al lui Copernic [4], preotul catolic iezuit Giovanni Battista Riccioli

(1598-1671) a repetat între anii 1640-1650 experiențele lui Galilei pe turnul Asinelli din Bologna și spre marea lui surpriză a obținut practic aceleași rezultate.

Galilei a arătat că rezistența opusă de aer unui corp în cădere liberă crește cu densitatea mediului și cu viteza de cădere [4]. El nu a stabilit, însă, relația de calcul a rezistenței la înaintarea corpurilor solide în mediile fluide. Primul care a apreciat cantitativ această forță a fost abatele francez Edme Mariotte (1620-1684), care între anii 1673-1684 a determinat rezistența unei plăci dreptunghiulare imersată normal pe direcția de curgere a unui curs de ape [7]. El a găsit că rezistența la înaintare a plăcii este direct proporțională cu pătratul vitezei de curgere și nu pur și simplu cu viteza, cum considerau Aristotel și Galilei. Rezultatul obținut de Mariotte a fost confirmat experimental tot atunci de Christian Huygens (1629-1695) și de studiile teoretice ale lui Issac Newton (1642-1727) [1].

Cel mai important pas în acest domeniu l-a făcut Isaac Newton (1687), care a studiat legea frecării la mişcarea fluidelor vâscoase şi rezistenţa fluidelor în mişcare lentă (laminară) [8]. Efectuând experienţe cu corpuri de diferite forme geometrice şi cu medii fluide gazoase (aerul) şi lichide (apa, uleiul şi plumbul), el a stabilit factorii principali care influenţează rezistenţa la înaintare a corpurilor. Pentru căderea unei sfere de diametru d în medii lichide de densitate ρ, Newton a stabilit că rezistența la înaintare $\vec{F}$ este direct proporțională cu $\rho V^2 d^2$, unde V este viteza sferei [8]. În felul acesta, a fost descoperită legea fundamentală a frecării

$$F = C\rho A V^2, \tag{1}$$

în care constanta de proporționalitate are valoarea C=0,50.

Tot el a stabilit legea frecării la mişcarea fluidelor vâscoase, potrivit căreia tensiunea tangenţială de frecare este proporţională cu viteza relativă de alunecare a straturilor de fluid în contact, adică $\tau \sim \Delta V$ [8]. În general, teoria lui Newton descria destul de exact rezistenţa corpurilor de formă geometrică clasică, ca sfera, elipsoidul şi cilindrul, dar nu şi a corpurilor de formă mai complexă, ca paralelipipedul şi prisma, unde pe fiecare faţă rezistenţa este diferită.

Newton a mai studiat mișcarea lichidului rarefiat format din corpuscule și lipsit de viscozitate, creând teoria rezistenței prin lovire a unei plăci care se mișcă sub un unghi [8]. Plecând de la ideea că fluidul este alcătuit dintr-un număr mare de particule solide neelastice, care-și pierd viteza în urma impactului cu o placă, și aplicând teorema cantității de mișcare, el stabilește pentru forța de rezistență orientată normal la suprafața plăcii relația

$$R = \rho A V^2 \sin^2\alpha, \tag{2}$$

în care α este unghiul de înclinaţie a curentului faţă de planul de mişcare. Acest rezultat se numește legea sinusului la pătrat.

După decesul lui Newton, mulți oameni de știință s-au grăbit să aplice legea sinusului la pătrat la studierea mișcării corpurilor în aer [1]. Valoarea forței de ridicare a aripii calculată cu această lege s-a dovedit, însă, a fi atât de mică, încât acest rezultat a servit timp îndelungat mai degrabă drept dovadă a imposibilității zborului cu un aparat mai

greu decât aerul. Cu toate acestea, legea sinusului la pătrat a lui Newton a fost utilizată de mulți cercetători și în secolele următoare. Astfel, John D. Anderson Jr., profesor emerit al Universității din Maryland, S.U.A., arată că dacă fraţii Wright ar fi dimensionat, în 1903, aripa aparatului lor de zbor în conformitate cu această lege, atunci ei ar fi obținut o suprafață cu aria de 2178,39 m^2, în loc de 47,38 m^2, adică de 46 ori mai mare decât în realitate [1]. Dar din fericire, ei și-au fundamentat proiectul bazându-se nu pe teoria lui Newton sau a lui Lilienthal, ci pe calcule obținute pe un tunel aerodinamic. Din acest motiv evoluția teoriei rezistenței fluidelor în secolele XVIII și XIX s-a produs sub semnul dezvoltării balisticii, navigației, morilor de apă și de vânt [6].

La soluționarea unor probleme inginerești din domeniul balisticii era necesară cunoașterea rezistenței aerodinamice la mișcarea proiectilelor [4]. În 1746 matematicianul și inginerul militar englez Benjamin Robins (1707-1751) determină pe cale experimentală rezistența la înaintare a unei sfere care suplimentar se și mai rotea. Metoda de cercetare aplicată de inginerul englez a constat în următoarele. El a ales greutatea *P* a sarcinii astfel, încât mișcarea de rotație a sferei să fie uniformă. În acest caz, are loc egalitatea momentelor $FR = Pr$, unde *R* și *r* sunt brațele forțelor $\vec{F}$ și $\vec{P}$. Apoi sfera se înlătura și se alegea cea mai mică greutate $\vec{p}$, care producea tot același efect, ca și forța $\vec{P}$. În consecință, pentru forța de rezistență a sferei el a stabilit relația

$$F = (P - p)r/R. \tag{3}$$

Robins a găsit pentru coeficientul *C* valoarea *C*=0,55. Metoda propusă de Robins a fost mulți ani unica metodă de determinare a rezistenței mediilor fluide.

Pentru studiile efectuate, Robins este deseori creditat părintele balisticii moderne. Lucrarea lui „*New Principles of Gunnery*" („*Noile principii ale tragerii cu tunul*") (London, 1742) a fost tradusă în germană de Euler [9], care nu a crezut în mișcarea laterală a proiectilelor rotative descoperite de Robins și demonstrate prin experimentele sale. În lucrare, Robins prezintă rezistența aerului, ca element determinant în balistică, și face primele măsurători folosind un turnichet aerodinamic. Cu acest aparat el obține rezistența aerodinamică a corpului direct proporțională cu pătratul vitezei sale.

În 1763, căpitanul flotei franceze, cunoscutul om de știință Jean-Charles de Borda (1733-1799), aplică metoda lui Robins și determină rezistența la înaintare a diferitor corpuri (sferă, placă și cilindru) în aer și apă [10, 11]. Borda confirmă proporționalitatea rezistenței fluidelor cu pătratul vitezei, dar respinge teoria rezistenței prin lovire a lui Newton, ca fiind în contrazicere cu experiențele sale.

Dezvoltarea cu pași rapizi a navigației i-a determinat pe mulți oameni de știință să studieze rezistența pe care o opune apa la mișcarea corăbiei. În anii 70 ai secolului al XVIII-lea Academia de Științe din Paris a înaintat un proiect de cercetare, în care se punea problema în ce măsură rezistența corăbiei depinde de raportul ariilor secțiunilor transversale ale râului și corăbiei [12]. Această problemă științifică se formulase în legătură cu lucrările de săpare a unui număr mare de canale înguste. Pentru a înlesni cercetările, a fost creată o comisie guvernamentală în frunte cu renumitul mecanician Jean

le Rond d'Alembert (1717-1783). Din comisie mai făceau parte hidraulicianul Charles Bossut (1730-1814) și matematicianul Nicolas de Condorcet (1743-1794).

Între anii 1775-1777 cei trei oameni de știință francezi au efectuat în bazinele școlii de inginerie militară de la Méziéres importante experimente, în care au determinat rezistența corăbiei și au stabilit factorii care frânează mișcarea corăbiilor în dependență de forma lor. Rezultatele acestor cercetări au fost prezentate Academiei de Ştiinţe din Paris şi publicate în lucrarea [12]. Experimental s-a demonstrat că îngustarea canalului de navigație provoacă o majorare semnificativă a rezistenței la înaintare a corăbiei, fapt care a dus în cele din urmă la abandonarea proiectului. În 1778, Condorcet și Bossut au verificat legea sinusului la pătrat a lui Newton și în 69 de experimente au găsit legea greșită, dându-i astfel dreptate lui Borda [4].

În Anglia, țară în care construcția navală în secolul al XVIII-lea luase amploare, în mare vogă era studierea rezistenței corăbiei. Între anii 1793-1798 colonelul armatei engleze Mark Gregor Beufoua (1764-1827) a efectuat un număr mare de experimente costisitoare, în care a determinat atât rezistența corpurilor de diferite forme geometrice, cât și rezistența corăbiilor [4]. Un interes aparte a prezentat studierea rezistenței la înaintarea sferei, pentru coeficientul de rezistență al căreia el a găsit valoarea C=0,36. Valoarea coeficientului de rezistență găsită de Beufoua se deosebea esențial de valorile stabilite anterior de Newton (C=0,50), Robins (C=0,55), Borda (C=0,56) și Hutton (C=0,60). Mult timp nu s-a știut din ce cauză rezultatele obținute de diverși cercetători diferă atât de mult și numai peste un secol discrepanța avea să fie pusă corect pe seama structurii hidrodinamice a curgerii în jurul sferei: Beufoua efectuase experimentele în regim turbulent, pe când predecesorii săi – în regim laminar.

Contribuții importante la dezvoltarea teoriei rezistenței fluidelor a adus fizicianul francez Charles Augustin Coulomb (1736-1806), care primul a formulat corect problema cu privire la rezistența cauzată de fricțiune [13]. Dacă Newton considera această forță mică de valoare, iar d'Alembert, Condorcet și Bossut se străduiau să o neglijeze în experimentele lor, atunci Coulomb considera rezistența la înaintare în fluide compusă dintr-o componentă inerțială și alta de fricțiune, permițându-i să scrie pentru rezistența la înaintare relația

$$F = av^2 + bv, \tag{4}$$

unde a și b sunt două constante. El presupunea că la viteze mici al doilea termen este determinant, în timp ce la viteze mari acest termen poate fi neglijat.

O altă realizare remarcabilă a lui Coulomb a fost stabilirea deosebirii dintre frecarea lichidă și frecarea uscată. El a arătat metoda de determinare a frecării interne în fluide, realizare care avea să ducă la formularea, în secolul al XIX-lea, a ecuațiilor de mișcare a fluidelor vâscoase.

CONCLUZII

Originile dinamicii fluidelor se regăsesc în știința greacă, în special, în „*Fizica*” lui Aristotel. În istoria dezvoltării dinamicii fluidelor, el a rămas cunoscut prin introducerea conceptului de „*mediu continuu*” și ideea emisă că un corp în mișcare prin aer întâmpină o

rezistență aerodinamică proporţională cu viteza de mișcare. La început dinamica fluidelor a fost o știință preocupată în exclusivitate de problemele practice ale vieții antice și această orientare s-a păstrat până în secolul al XVII-lea. În sensul atribuit de noi astăzi, dinamica fluidelor a fost iniţiată în secolul al XVII-lea, când rezistenţa la înaintare a corpurilor solide în mediile fluide devenise o problemă importantă pentru ştiinţă şi tehnică. Din acest moment și până la sfârșitul scolului al XVIII-lea dinamica fluidelor a evoluat pe bază de cunoştinţe experimentale, rezultate din observaţiile şi măsurătorile acumulate de o pleiadă de ingineri hidraulicieni talentaţi, ca Borda, Bossut, Coulomb, Robins și Beufoua.

REFERINȚE

1. Anderson, J.D., Jr. Brief History of the Early Development of Theoretical and Experimental Fluid Dynamics. In: Encyclopedia of Aerospace Engineering (Editet by R. Blockley and W. Shyy). John Wiley and Sons, Ltd., 2010. 22 p. ISBN 9780-470-68665-2.
2. Cernica, I.M. *Bazele mecanicii fluidelor*. Chișinău: Bones Offices, 2021. 948 p. ISBN 978-9975-87-886-9.
3. Bernoulli, D. *Hydrodynamica, sive de viribus et motibus fluidorum commentarii.* Strasbourg: J.R. Dulsecker, 1738. VI+304 p. Google Scholar.
4. *Arjanikov*, N.S., Malţev, V.N. *Aerodinamica*. Moscova, 1956. 485 p. ISBN – nu este indicat.
5. Timoshenko, S.P. *Istoria rezistenţei materialelor.* București: AGIR, 2006. 424 p. ISBN – nu este indicat.
6. Mihailov, G.K. *Stanovlenie ghidravliki i ghidrodinamiki v trudah peterburgskih academikov* (XVIII vec.), Izvestia A.N. S.S.S.R., seria Mehanica Jidcosti i Gaza, 1999, nr.6, p.7-25. Google Scholar.
7. Mariotte, E. *Traité du mouvement des eaux et des autres corps fluides*, nouvelle édition corrigée. Paris: Chez Jean Jombert, prés des Augustins, à l'Image Notre-Dame, 1700. 390 p. Google Scholar.
8. Newton, I. *Philosophiae naturalis principia mathematica*. Londini: Jussu Societatis Regiae ac Typis Joseph Streater …, 1687. 510 p. Google Scholar.
9. Euler, L. *Neue Grundsätze der Artillerie, aus dem englischen des Hernn Benjamin Robins übersetzt und mit vielen Anmerkungen versehen*. Berlin, 1745. Google Scholar.
10. Borda, J.-Ch., De. Expériences sur la résistance des fluides. In: *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences*. Paris, 1763, p.356-376. Google Scholar.
11. Borda, J.-Ch., De. Expériences sur la résistance des fluides. In: *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences*. Paris, 1767, p.495-503. Google Scholar.
12. D'Alembert, Le Marquis de Condorcet, L'abbe Bossut. Nouvelles expériences sur la résistance des fluides. In: *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences*. Paris: C.-A. Jombert, 1777. 232 p. Google Scholar.
13. Coulomb, C.A. Expériences destinées à déterminer la cohérence des fluides et les lois de leur résistance dans les mouvements à très-lents. In: *Mémoires des sciences mathématiques et physiques*, 1800, vol.3, p.246-305. Google Scholar