

Cuvânt înainte

Acest curs este destinat studenților care se specializează în profilul de „Inginerie economică industrială” al Facultății de Inginerie Managerială și a Mediului, care funcționează în cadrul Universității Ecologice din București, fiind util și studenților în specializarea „Ingineria mediului”. Prin predarea acestui curs, se dorește înțelegerea minimală a domeniului de inginerie legată de manipularea fluidelor, pe baza noțiunilor de mecanică și analiză matematică predate în cursuri anterioare. Cursul conține aplicații care aplică noțiunile introduse.

Introducere

Mecanica este ramura fizicii care studiază deplasarea particulelor sub acțiunea lor reciprocă sau a forțelor care produc și modifică această deplasare pe parcursul desfășurării ei. Particulele reprezintă un ansamblu de molecule asociate care într-un interval definit de timp se comportă ca un tot unitar.

Fluidul este format dintr-un ansamblu de particule caracterizate printr-o mobilitate relativ ridicată a moleculelor, proprietate care determină deformabilitate și rezistență la rupere practic nulă. Starea de agregare a fluidelor poate fi lichidă sau gazoasă. În cazul lichidelor forța de coeziune dintre molecule menține volumul acestora constant, delimitat de forma vasului în care se află. Volumul lichidului este totdeauna mai mic sau egal cu volumul vasului, prezentând o suprafață liberă de interfață orientată în direcția perpendiculară pe rezultanta forțelor exterioare aplicate și de câmp.

Fiind format din particule materiale, fluidul se supune legilor mecanicii clasice și poate fi analizat prin mărimi mecanice: lucru mecanic, energie, putere. Mișcarea fluidelor fiind de natură mecanică, va fi analizată prin legea de conservare a masei, prin teorema impulsului și prin bilanțul de energie.

Pentru temperaturi și presiuni moderate (majoritatea cazurilor), lichidele pot fi considerate incompresibile, adică nu își modifică volumul. Gazele sunt fluide compresibile și a căror variație de volum este importantă atunci când variază presiunea sau temperatura. Din punct de vedere a compoziției, fluidele pot fi omogene, formate dintr-o singură substanță, sau eterogene, ca amestecuri din mai multe substanțe. Din punct de vedere a numărului de faze (gazoasă, lichidă sau solidă), fluidele pot fi într-o singură fază, când sunt denumite „fluide”, sau să conțină mai multe faze, când sunt denumite „fluide multifazice”. Gazele sunt perfect miscibile, de aceea nu există mai mult de o fază gazoasă în fluid. Lichidele pot fi nemiscibile formând mai multe faze. Solidele prezente într-un fluid pot fi suspendate în acesta dacă faza principală din fluid este lichidul sau gazul. Fluidele în care faza principală este solidul sunt formate din particule solide deformabile care înglobează lichid sau gaz (exemplu: pasta de dinți, gelul).

Proprietățile fizice ale fluidelor se bazează pe una din ipotezele de bază admise în mecanica fluidelor, aceea potrivit căreia fluidele sunt medii perfect continui în structura lor. Ipoteza de continuitate a fluidului permite definirea proprietăților acestuia ca funcții continue atât în spațiu, prin coordonatele carteziane (x,y,z) , cât și în timp, prin coordonata temporală (t) .

De aceea, atât proprietățile fluidului cât și mărimile fizice care caracterizează proprietățile mediului în care se află fluidul se exprimă ca funcții continue de coordonate spațiale și de timp. Coordonatele spațiale pot fi carteziane, polare sau cilindrice. În cazul coordonatelor spațiale carteziane, se exprimă sub forma

$$P = P(x, y, z, t)$$

unde P este proprietatea fluidului sau una din mărimile fizice care caracterizează mediul în care se află fluidul.

Proprietățile fluidului

Proprietățile fizice cele mai utilizate ale fluidului sunt calculabile și măsurabile: compoziția, densitatea, viscozitatea, tensiunea superficială, căldura specifică, conductivitatea termică, conductibilitatea electrică, indicii de refracție și proprietăți magnetice. Alte proprietăți utilizate pentru fluide sunt calitative, precum: culoarea, gustul, mirosul, biodegradabilitatea. Cele mai utilizate și mai importante în studiul mecanicii fluidelor sunt densitatea și viscozitatea.

Pentru a putea compara mai multe fluide din punct de vedere a mărimii unei proprietăți fizice este necesar ca valoarea proprietății să fie exprimată **în aceeași unitate de măsură** pentru toate fluidele. Mărimile fizice fundamentale folosite în mecanică sunt lungimea (L), masa (M) și timpul (T). Unitățile de măsură corespunzătoare mărimilor fizice fundamentale sunt metrul, kilogramul și secunda, care stau la baza **sistemului internațional de unități, SI**. Mărimile fizice derivate sunt combinații între mărimile fundamentale, iar unitățile de măsură ale acestora sunt corespunzător combinații ale unităților fundamentale. În afara sistemului internațional se utilizează sisteme de unități tolerate, care au avantajul exprimării mărimilor fizice în valori mai ușor de perceput și reținut.

Mărimile fizice fundamentale au caracter extensiv și ca atare pot varia fără limită superioară, în timp ce mărimile fizice derivate au caracter intensiv fiind concepute pentru caracterizarea proprietăților substanțelor, în speță ale fluidelor.

Densitatea, ρ , reprezintă raportul dintre masă, M , și volum, V , reprezentând masă specifică. Relația de definiție a densității este:

$$\rho = \frac{M}{V}$$

M este mărime fizică fundamentală (reprezintă masa)

Unitatea de măsură în sistemul internațional de unități pentru masă este: $\langle M \rangle_{SI} = kg$

$V = L^3$, volumul este mărime fizică derivată, extensivă.

Unitatea de măsură în sistemul internațional de unități pentru volum este:

$$\langle V \rangle_{SI} = (\langle L \rangle_{SI})^3 = m^3$$

Unitatea de măsură în sistemul internațional pentru densitate rezultă din relația de definiție a acesteia:

$$\langle \rho \rangle_{SI} = \frac{\langle M \rangle_{SI}}{\langle V \rangle_{SI}} = \frac{kg}{m^3}$$

Viscozitatea, η , reprezintă raportul dintre efortul de forfecare τ și gradientul de viteză dv/dx în mișcarea relativă a particulelor din interiorul fluidului. Acest raport este efortul de forfecare specific și reprezintă măsura frecărilor din interiorul fluidului, care acționează ca frână în mișcarea acestuia. Relația de definiție a viscozității:

$$\eta = \frac{\tau}{\frac{dv}{dx}}$$

Această proprietate a fluidului se manifestă numai în mișcarea fluidului, de aceea studiul viscozității se va face în detaliu în capitolul de „Dinamica fluidelor”.

Efortul de forfecare se exprimă, la rândul lui, ca raport între forța F și aria de forfecare A , care este suprafața dintre două straturi de fluid care alunecă în raport unul cu altul sub efectul respectivei forțe. Relația de definiție a efortului de forfecare este:

$$\tau = \frac{F}{A}$$

Relația de definiție a forței este dată de legea a doua a lui Newton, care arată că forța de accelerare a unui corp este proporțională cu accelerația acestuia a , considerând masa constantă atât timp cât se păstrează integritatea corpului:

$$F = M \cdot a$$

Accelerația reprezintă derivata vitezei v în raport cu timpul, iar viteza reprezintă derivata spațiului în raport cu timpul, ca atare:

$$a = \frac{dv}{dt}$$

$$v = \frac{dx}{dt}$$

Prin exprimare în funcție de mărimile fizice fundamentale:

$$v = \frac{L}{T}$$

$$a = \frac{v}{T} = \frac{L}{T^2}$$

$$F = M \cdot \frac{L}{T^2}$$

$$A = L^2$$

$$\tau = \frac{M}{L \cdot T^2}$$

$$\frac{dv}{dx} = \frac{v}{L} = \frac{1}{T}$$

$$\eta = \frac{M}{L \cdot T}$$

Unitatea de măsură pentru viscozitate în sistemul internațional:

$$\langle \eta \rangle_{SI} = \frac{\langle M \rangle_{SI}}{\langle L \rangle_{SI} \cdot \langle T \rangle_{SI}} = \frac{kg}{m \cdot s}$$

O altă modalitate este de a exprima viscozitatea funcție de forță, ca mărime derivată și alte mărimi fundamentale.

$$\eta = \frac{\frac{F}{L^2}}{\frac{1}{T}} = \frac{F \cdot T}{L^2}$$

$$\langle \eta \rangle_{SI} = \frac{\langle F \rangle_{SI} \cdot \langle T \rangle_{SI}}{(\langle L \rangle_{SI})^2} = \frac{N \cdot s}{m^2} = Pa \cdot s$$

Pa este unitatea de măsură pentru presiune.

Tensiunea superficială, σ , este proprietatea generală a lichidelor de a lua formă geometrică de arie minimă în lipsa forțelor externe. Această proprietate de păstrare a formei compacte pentru lichide determină proprietatea de incompresibilitate a lichidelor, adică aceea de a prezenta volum constant. Forma geometrică a suprafeței de separare dintre lichidul considerat și altă fază adiacentă (lichid sau gaz) se datorează diferenței dintre forțele de coeziune între cele două faze.

Suprafața de separare a lichidului este întinsă de forțele de tensiune superficială care acționează la limita suprafeței astfel încât aceasta să aibă arie minimă. Valoarea acestor forțe, F , este direct proporțională cu perimetrul suprafeței de separare a lichidului (perimetrul reprezentând limita suprafeței), l , de unde și relația de definiție a tensiunii superficiale:

$$\sigma = \frac{F}{l}$$

Unitatea de măsură în sistemul internațional

$$\langle \sigma \rangle_{SI} = \frac{\langle F \rangle_{SI}}{\langle l \rangle_{SI}} = \frac{N}{m}$$

Un efect interesant se produce la limita suprafeței libere de separare a lichidului cu suportul solid (perete). Datorită interacțiunii cu peretele, suprafața liberă a lichidului se curbează fie în sus fie în jos în imediata vecinătate cu acesta corespunzător unei atracții mai puternice respectiv mai slabe din partea moleculelor peretelui asupra moleculelor de lichid.

În Figura 1 molecula de lichid din margine este atrasă de perete cu o forță mai mare decât cea a moleculelor de lichid adiacente. Atracția mai mare din partea moleculelor peretelui solid determină o tendință de aglomerare de molecule de lichid în zona peretelui rezultând o forță de respingere între acestea cu efectul ridicării lichidului la perete. Efectul nu este observabil pentru suprafețe mari, dar este vizibil în tuburi de diametre foarte mici, comparabile cu dimensiunea moleculelor, numite *tuburi capilare*.

În Figura 2 situația este inversată, peretele exercitând o atracție relativ slabă în raport cu forța de coeziune în lichid. Datorită inegalității de forțe, moleculele de lichid tind să se depărteze de perete. Rarefierea moleculelor de lichid din zona peretelui implică forțe de atracție între acestea cu efectul coborârii lichidului la perete. Efectul de curbare a suprafeței lichidului în sensul depărtării de perete este vizibil în tuburile capilare.

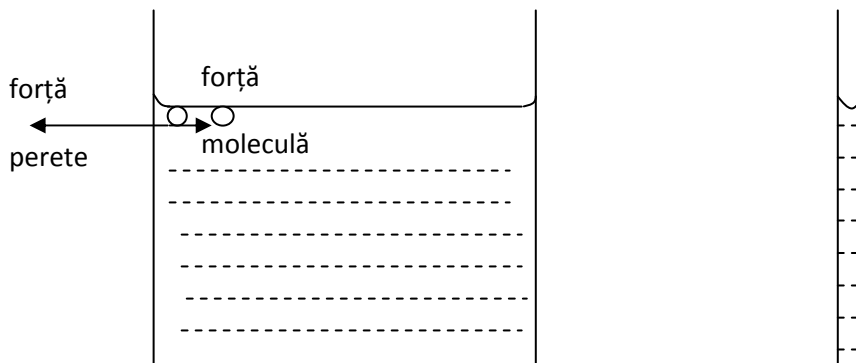


Figura 1 Interacțiunea lichidului cu peretele în sensul udării peretelui.

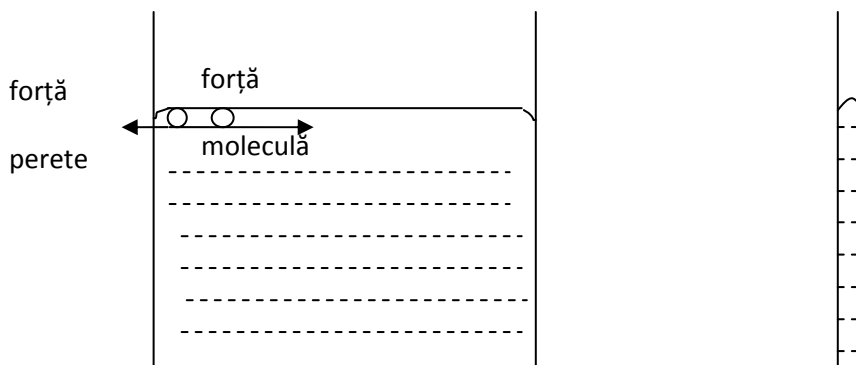


Figura 2. Interacțiunea lichidului cu peretele în sensul uscării peretelui.

Mărimi fizice fundamentale și sisteme de unități de măsură

Sunt de interes mărimile fizice din domeniul mecanicii, care sunt folosite și în toate celelalte domenii ale fizicii și tehnicii împreună cu mărimi fizice specifice domeniului respectiv. Pentru disciplina de „Mecanica fluidelor și mașini hidraulice” se vor prezenta numai mărimile de natură mecanică.

Mărimile fizice fundamentale sunt:

- Lungimea, L
- Masa, M
- Timpul, T

Unitățile de măsură fundamentale corespunzătoare acestor mărimi fizice sunt definite:

- Metrul a fost ales ca lungimea care reprezintă a 40 000 –a parte din lungimea meridianului care trece prin Greenwich