

TRASAREA CURBELOR CARACTERISTICE ALE POMPELOR CENTRIFUGE

5.1 Considerații teoretice

Pompele sunt mașini hidraulice care transformă energia mecanică în energie hidraulică, făcând parte din categoria generatoarelor hidraulice.

Pompele pot fi clasificate după cum urmează:

- Pompe volumice (exemplu: pompele cu pistonase, cu paletе culisante sau cu roți dințate) - destinate în special sistemelor de acționare hidraulice, funcționând în cele mai multe cazuri cu ulei. În cazul acestor pompe transferul energetic de la pompă la lichid se realizează prin deplasarea periodică a unor volume de lichid variabile în timp, între racordul de aspirație și ce de refulare al pompei.
- Pompe centrifuge - utilizate în special în rețelele de alimentare cu apă dar și pentru vehicularea lichidelor în industria chimică, cea minieră sau metalurgică. Transferul energetic se realizează prin interacțiunea dintre un rotor prevăzut cu paletе profilate și lichidul în care acesta este complet imersat.

Figura 5.1 oferă o prezentare a construcției unei pompe centrifuge, notațiile au următoarele semnificații: A – Element de etanșare; B – Flanșă cuplare motor; C – Arbore antrenare; D – Manson; E – Paletă; G – Orificiul de admisie; H – Rotor; I – Bucșă lagăr; J – Rotor; K – Orificiu de refulare

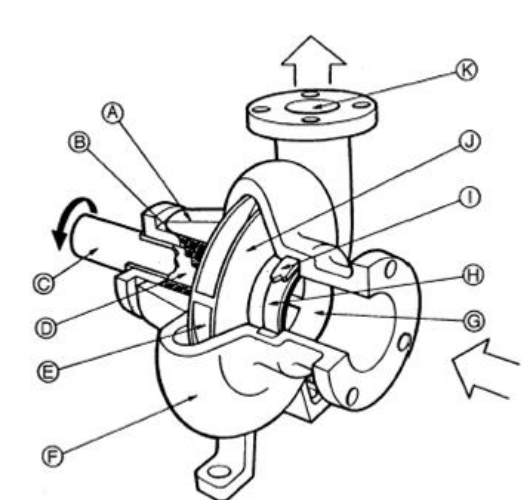


Figura 5.1. Reprezentare schematică a construcției unei pompe centrifuge

Așa cum se poate observa, lichidul intră în pompă prin racordul de aspirație și apoi, prin orificiul central de admisie, în rotorul constituit din două discuri profilate între care sunt dispuse paletеle. Discul cu orificiul central se numește inel iar cel prin care rotorul este fixat pe arborele

prin care primește mișcarea de la motor se numește coroană. Atunci când rotorul se învârtă, lichidul conținut în spațiile interpaletare este accelerat, sub acțiunea forțelor centrifuge și împins către periferie, fiind expulzat în camera colectoare. Rolul acestei camere nu este doar acela de a colecta lichidul și de a-l conduce către racordul de refulare ci și de a transforma o parte din energia cinetică de care lichidul dispune la ieșirea din rotor în energie potențială de presiune. În vederea realizării acestei transformări dintr-o formă de energie hidraulică în alta și pentru a putea colecta întreg debitul de lichid vehiculat, secțiunea transversală a acestei camere crește continuu până la ieșirea din pompă prin racordul de refulare.

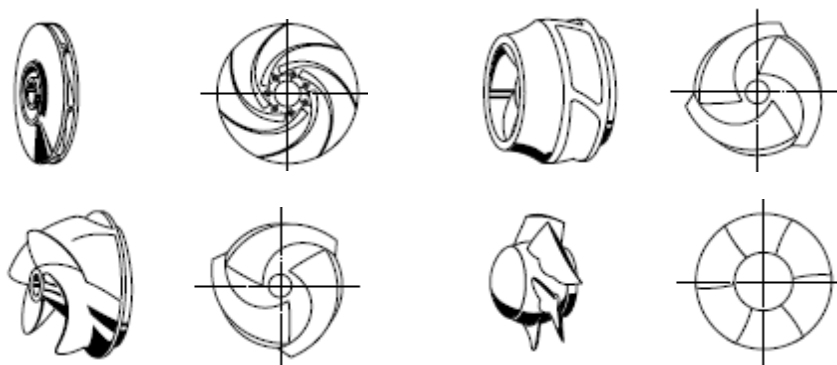


Figura 5.2. Tipuri de rotoare utilizabile la pompe centrifuge

În vederea caracterizării funcționării pompelor centrifuge este necesară introducerea unor mărimi care să cuantifice cantitatea de lichid care trece prin pompă, schimbul energetic care are loc în pompă precum și eficiența acestuia. În cazul tuturor mașinilor hidraulice care intră în categoria generatoare aceste mărimi, numite și parametri funcționali, sunt: debitul, înălțimea de pompare, puterea absorbită, puterea utilă, randamentul și turația. Ele se definesc după cum urmează:

Debitul Q – reprezintă cantitatea de lichid care trece prin secțiunea de ieșire (racordul de refulare) în unitatea de timp. În cazul pompelor centrifuge, în ipoteza incompresibilității lichidelor vehiculate, se utilizează debitul volumic, exprimat în unități SI în $[m^3/s]$:

$$Q = \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (5.1)$$

unde: ΔV reprezintă volumul de lichid care trece prin racordul de refulare în intervalul de timp Δt .

Înălțimea de pompare H – reprezintă energia specifică totală primită de lichid la trecerea prin pompă și, prin urmare, poate fi determinată ca diferența între energia specifică totală a lichidului de la intrarea și ieșirea în pompă. Energia specifică totală poate fi exprimată atât ca energia unității de greutate de lichid, notată cu H și exprimată în SI în unități de lungime $[m]$ sau ca energia ce revine unității de masă, exprimată în SI în $[J/Kg]$.

Pentru stabilirea expresiei înălțimii de pompare se pornește de la principiul I al termodinamicii, aplicat unității de masă de lichid care trece printr-un volum de control aproximat a coincide cu interiorul pompei:

$$W_s = d\left(\frac{v^2}{2}\right) + g \cdot dz + \int vol \cdot dp + F \quad (5.2)$$

unde: - W_s reprezintă lucrul mecanic aplicat la arborele motor

- $d\left(\frac{v^2}{2}\right)$ reprezintă variația energiei cinetice;

- $g \cdot dz$ reprezintă variația energiei potențiale de poziție;

- $\int vol \cdot dp$ reprezintă variația energiei potențiale de presiune (în condițiile în care vol = volumul specific sau volumul unității de masă). Dacă se notează cu p_1 și p_2 presiunile la intrare (racordul de aspirație) respectiv la ieșire (racordul de refulare) din pompă și se admite ipoteza incompresibilității lichidelor, se poate scrie:

$$\int vol \cdot dp = \int \frac{dp}{\rho} = \frac{p_2 - p_1}{\rho} \quad (5.3)$$

- F reprezintă energia disipată prin frecare și transformată ireversibil în căldură

Ținând cont de relația (5.3) și considerând că, în cele ce urmează, indicii 1 și 2 se referă la valorile mărimilor înregistrate la intrarea respectiv ieșirea din pompă, relația (5.2) se poate scrie:

$$W_s = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} + g(z_2 - z_1) + \frac{p_2 - p_1}{\rho} + F \quad (5.4)$$

Primii trei termeni din membrul drept al relației (5.4) reprezintă lucrul mecanic util, adică lucrul mecanic care servește creșterii energiei unității de masă a lichidului la trecerea acestuia prin pompă:

$$W_0 = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} + g(z_2 - z_1) + \frac{p_2 - p_1}{\rho} \quad (5.5)$$

Împărțind relația (5.5) cu accelerația gravitațională g se obține o relație de formă:

$$H = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + z_2 - z_1 + \frac{p_2 - p_1}{\rho g} \quad (5.6)$$

Termenii din membrul drept reprezintă diferența dintre energia specifică totală (suma a energiilor specifice potențiale de poziție, de presiune și a energiei specifice cinetice) a lichidului de la ieșirea din pompă și cea de la intrarea în pompă.

Prin urmare H este înălțimea de pompare sau lucrul mecanic transferat lichidului pentru creșterea energiei sale specifice exprimat în unități de lungime, în SI [J/Kg] adică în m.

Dacă diametrul la racordul de refulare este același cu cel de la racordul de aspirație, cum este cazul pompei testate în lucrarea de față, vitezele v_1 și v_2 sunt egale, înălțimea de pompare fiind:

$$H = z_2 - z_1 + \frac{p_2 - p_1}{\rho g} \quad (5.7)$$

Ținând cont că presiunile p_2 și p_1 indicate de manometrele amplasate la ieșirea respectiv intrarea din pompă pot fi exprimate prin înălțimile coloanelor de lichid h_2 și h_1 care creează prin greutatea lor, presiunile p_2 și p_1 în punctele situate la cotele z_2 respectiv z_1 față de planul de referință arbitrar ales, relația (5.7) devine:

$$H = Z_2 - Z_1 + h_2 - h_1 \quad (5.8)$$

Uzual, planul de referință se ia în planul orizontal care trece prin axa rotorului, în această situație poziția relativă, pe verticală, a racordurilor de refulare și aspirație exprimată în relația (5.8) prin termenul $z_2 - z_1$, va putea fi exprimată, cu notația din Figura 5.3, după cum urmează:

$$H_d = Z_2 - Z_1 = h_d(\text{ieșire}) - h_d(\text{intrare}) \quad (5.9)$$

Înlocuind relația (5.9) în relația (5.8) se obține pentru înălțimea de pompare expresia:

$$H = H_d + h_2 - h_1 \quad (5.10)$$

Puterea utilă P_u reprezintă puterea transferată lichidului la trecerea prin pompă:

$$P_u = \rho g Q H \quad (5.11)$$

Puterea absorbită P_0 reprezintă puterea aplicată la axul motor pentru a realiza pomparea lichidului:

$$P_0 = U \cdot I \quad (5.12)$$

Randamentul η :

$$\eta = \frac{P_u}{P_0} \quad (5.13)$$

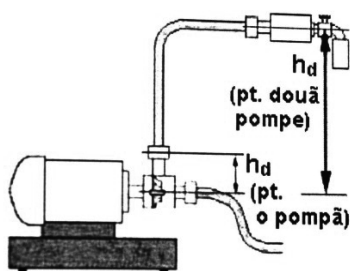


Figura 5.3 Stabilirea poziției h_d a secțiunilor de intrare/ieșire din pompă

Funcționarea pompei centrifuge în rețeaua de conducte pe care o deservește, depinde de relația existentă între parametrii funcționali prezentați mai sus și care poate fi materializată printr-o funcțională de formă: $f(Q, H, P_0, \eta, n) = 0$.

Datorită complexității acestei funcționale și a dificultății reprezentării grafice a suprafețelor caracterizate de o astfel de ecuație, se recurge la menținerea constantă a unui parametru și reprezentarea în plan a unei dependențe de două variabile, numită curbă caracteristică.

Din punct de vedere al exploatarei pompelor, curbele cele mai utile sunt:

- Familia de curbe $H=f(Q)$ pentru $n = \text{constant}$, numite curbe de sarcină sau curbe caracteristice ale înălțimii de pompare.
- Familia de curbe $P=f(Q)$ pentru $n = \text{constant}$ care exprimă variația puterii absorbite (puterea consumată) cu debitul la turație constantă.
- Familia de curbe $\eta=f(Q)$ pentru $n=\text{ct}$. Curbele $\eta=f(Q)$ sunt deosebit de importante pentru cunoașterea comportării pompei la diferite debite.

Din suprapunerea acestor curbe rezultă caracteristică universală a pompei (vezi Figura 5.4) care caracterizează complet funcționarea pompei la o anumită turație.

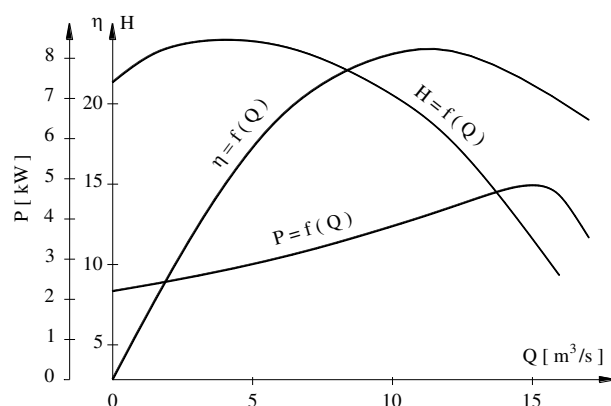


Figura 5.4 Caracteristică universală a pompei centrifuge

5.2 Obiectivul lucrării

Determinarea pe cale experimentală a curbelor caracteristice de funcționare ale unei pompe centrifuge cu turație variabilă.

5.3 Metoda utilizată

Măsurarea înălțimii de pompare, a debitului volumic și a puterii absorbite de motorul electric de acționare a pompei, pentru diferite turații.

5.4 Descrierea aparaturii

Echipamentul furnizat de către firmă Armfield, constă din: unitatea hidraulică de bază (UHB), care va fi utilizată împreună cu o pompă centrifugă cu turație variabilă care va fi testată și cu un subansamblu de refulare fixat printr-o placă de aluminiu în slotul din canalul prevăzut în partea superioară a UHB.

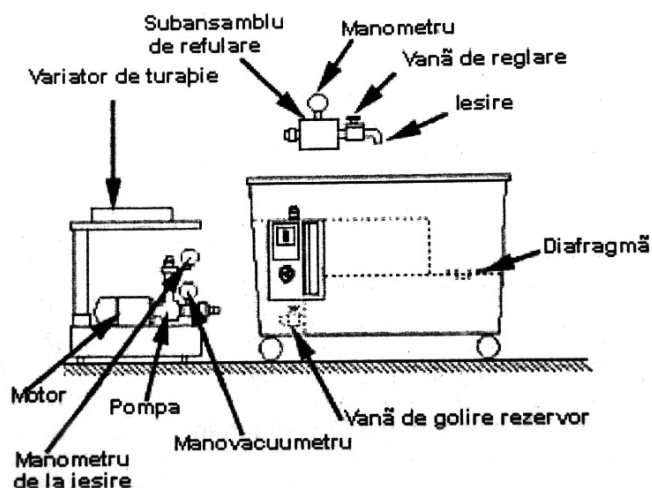


Figura 5.5 Standul ARMFIELD utilizat pentru determinarea experimentală a curbelor caracteristice

Pompa centrifugă suplimentară este montată împreună cu motorul electric de acționare pe un cadru suport cu picioare cu înălțime ajustabilă și este așezată pe sol, lângă UHB. Prin această poziționare și prin conectarea, prin intermediul unui tub transparent, a racordului de intrare (aspirație) al pompei la vana de golire a rezervorului UHB (aflată la partea inferioară a acestuia) se asigură condițiile pentru amorsarea pompei sub efectul greutatei lichidului din rezervor. Tot un tub transparent face legătura între racordul de ieșire (de refulare) al pompei și subansamblul de refulare constând dintr-un manometru, o vană de reglare a debitului și un tronson de conductă al cărui capăt liber se introduce în rezervorul etalonat al UHB.

La intrarea și la ieșirea din pompă sunt montate un manovacuumetru și respectiv un manometru pentru determinarea presiunilor de intrare și ieșire direct în metri coloană de apă.

Pompa este antrenată cu un motor electric de curent alternativ alimentat printr-un convertizor static de frecvență. Modificarea turației se face pe baza variației frecvenței tensiunii electrice de alimentare, variatorul putând asigura frecvențe între 5 și 60 Hz. Sistemul electronic care generează tensiunea de alimentare a motorului electric cu frecvență variabilă are încorporat și un voltmetru și un ampermetru. Astfel, pe displayul LCD al convertizorului pot fi afișate, pe rând, funcție de butoanele care sunt tastate nu doar turația pompei ci și intensitatea curentului și a tensiunii de alimentare, date care sunt necesare pentru determinarea puterii absorbite de pompă.

5.5 Modul de desfășurare a lucrării

După așezarea cadrului suport pe care este montată pompa centrifugă care urmează a fi testată lângă UHB și eventuala ajustare a înălțimii acestuia se efectuează următorii pași:

1. Se face legătura, prin intermediul a două tuburi flexibile, între racordul de aspirație al pompei și vana de golire a UHB pe de o parte precum și între racordul de refulare al pompei și subansamblul de refulare.
2. Se deschide vana de golire a UHB, asigurând astfel amorsarea pompei și se închide vana de reglare a debitului din subansamblul de refulare.
3. Se activează variatorul de turație apăsând butonul START situat în partea laterală a blocului de comandă.
4. Se apasă butonul RUN pentru pornirea pompei.
5. Se utilizează butoanele Λ și V pentru a regla o frecvență de alimentare la 50Hz, citibilă pe displayul blocului electronic.
6. Se deschide complet vana de reglare a debitului din subansamblul de refulare.
7. Se închide valva cu bilă a rezervorului etalonat al UHB și se cronometrează timpul Δt în care se acumulează un anumit volum de apă.
8. Se citesc valorile presiunilor de la intrarea și ieșirea din pompă indicate de manovacuumetru și manometru, care exprimate în mH_2O reprezintă înălțimile h_2 și h_1 .
9. Se citesc următoarele mărimi afișabile pe displayul blocului electronic: turația n în rot/min, intensitatea curentului I în Amperi și tensiunea U în Volți. Butonul FUNC/DATA se utilizează pentru comutarea între diferitele mărimi pe care dorim să le afișăm:
 - a. Se apasă FUNC/DATĂ o dată pentru a afișa frecvența

- b. Se apasă FUNC/DATA încă o dată pentru a afișa intensitate curentului de ieșire i
 - c. Se apasă FUNC/DATA încă o dată pentru a afișa tensiunea la ieșire .
10. Se reglează 10-15 regimuri de lucru, dând diferite deschideri vanei de reglare a debitului și pentru fiecare se repetă pașii 7-9
11. Se repetă pașii 5-10 după reglarea unor frecvențe de 40Hz și 30Hz.

5.6 Prelucrarea rezultatelor

Pentru fiecare regim de lucru, se calculează următoarele mărimi:

- Debitul Q cu ajutorul relației (5.1).
- Înălțimea de pompare H , cu ajutorul relațiilor (5.9) și (5.10), în care h_1 și h_2 reprezintă indicațiile manovacuumetrului și manometrului de la intrarea respectiv ieșirea din pompă iar $h_d(ieșire) = 0.170$ m și $h_d(intrare) = 0.020$ m.
- Puterea utilă P_u se calculează cu relația (5.11).
- Puterea absorbită se calculează cu relația: (5.12).
- Randamentul η se calculează cu relația (5.13).

Se reprezintă grafic: $H=f(Q)$, $P_o=f(Q)$ și $\eta=f(Q)$