

ANALIZA FACTORULUI DE FRECARA LA CURGEREA FLUIDELOR

Dr.Ing.Timur Chis,
CONPET S.A. PLOIESTI

ABSTRACT

Flow in pipe is always accompanied by friction of fluid particles rubbing against one another, and consequently, by loss of energy available for work ; in other words, there must be a pressure drop in the direction of flow. The general equation for pressure drop, know as Darcy's formula and expressed in feet of fluid, is function by, length of pipe, velocity of fluid and friction factor. The Darcy formula can be rationally derived by dimensional analysis, with the exception of the friction factor. Which must be determined experimentally. The friction factor for laminar flow condition is a function of Reynolds number only ; where as for turbulent flow, it is also a function of the character of the pipe wall. To characterise the accuracy of commonly used explicit approximation of friction factor, 1.000 logarithmically spaced Re values in the 4.000 and 108 range were chosen to determine corresponding friction factor for different formulas. This paper presenting the error of different correlation of friction factor and a new representation for friction factor based to error in computing.

1.INTRODUCERE

Omenirea a creat mostrii industriale si casnici care sa se foloseasca de resurse de energie pentru a functiona. Astazi nu se concepe existenta planetara fara consum de resurse naturale.

Ironia sortii face ca resursele de energie sa se gaseasca in zone slab dezvoltate economic si spiritual fiind necesara transportarea lor.

Tocmai de aceea s-a creat activitate specializata in acest domeniu si anume transportul produselor fluide prin conducte.

Transportul petrolului prin conducte reprezinta cea mai sigura si ieftina cale de transport. Cantitatile mari de prelucrat, consumurile mari existente in zone diferite fac necesara transportarea de rate mari de fluid (peste 3000 tone pe ora in Romania).

Este necesara studierea in amanunt a comportarii conductelor de transport petrol tocmai pentru a reduce cheltuielile.

Pretul de transport este constituit din:

- consumul energetic necesar pomparii;
- intretinerea sistemului;
- amortismente;
- investitii in sustinerea tehnica;

Se vede ca pretul de cost este influentat de cheltuielile cu energia electrica. Aceste cheltuieli sunt date de eficienta pomparii si anume cu cat cantitatea de titei este mai mare (se utilizeaza statii de pompe puternice cu debite mari) cu atat consumul de energie poate scadea.

Acest fapt demonstreaza ca hidraulica conductei este importanta in definirea proiectului si exploatarea unei conducte.

2.CALCULUL HIDRAULIC AL CONDUCTELOR

In general in conductele prin care se efectueaza transportul petrolului miscarea fluidului are un caracter stationar. Pentru a se stabili regimul de curgere in conducta este necesara calcularea numarului lui Reynolds:

$$Re = \rho \cdot v_m \cdot d / \mu = \frac{4 \cdot Q}{\rho \cdot D^2 \cdot \nu} \quad (1)$$

Unde, Q este debitul, cunoscut ca data de proiectare, v_m este viteza medie a fluidului din conducta in sectiunea transversala a ei, d este diametrul interior al conductei iar ν este vascozitatea cinematica.

In cazul in care numarul lui Reynolds este mai mic de valoarea critica (2000) miscarea este laminara.

Daca numarul lui Reynolds este mai mare de 3000 miscarea fluidului prin conducte este turbulenta.

Caderea de presiune in conducte datorata frecarii, se determina cu formula:

$$\Delta p_f = \frac{\rho \cdot v_m^2 \cdot l}{2 \cdot d} I \quad (2)$$

Unde λ este coeficientul de rezistenta al conductei fata de curgerea fluidului fiind functie de regimul de curgere.

Ecuatia 2 cunoscuta ca fiind ecuatia lui Darcy-Weisbach si da rezultate bune in zona curgerii laminare sau turbulente a fluidului.

Daca curgerea este laminara coeficientul de rezistenta are valoarea:

$$I = \frac{64}{Re} \quad (3)$$

Ecuatie cunoscuta si sub numele de formula lui Stokes.

Pentru conducte hidraulic netede, extinderea legii logaritmice la toata sectiunea transversala a conductei conduce la formula:

$$\frac{1}{\sqrt{I}} = 0,869 \cdot \ln(Re \cdot \sqrt{I}) - 0,8 \quad (4)$$

Sau:

$$\frac{1}{\sqrt{I}} = 2 \cdot \lg(Re \cdot \sqrt{I}) - 0,8 \quad (5)$$

Care da abateri de 2% fata de datele experimentale in domeniul $3 \cdot 10^3 < Re < 3 \cdot 10^6$.

Ecuatia este cunoscuta sub numele de Prandtl sau Karman-Nikuradse [1-3].

Pentru $Re > 10^5$ rezultate corecte da si ecuatia lui Nikuradse si anume:

$$I = 0,0032 + \frac{0,221}{Re^{0,237}} \quad (6)$$

Pentru conducte rugoase, legea logaritmica de repartiei a vitezei medii conduce la formula:

$$\frac{1}{\sqrt{I}} = 0,869 \cdot \ln \frac{d}{2 \cdot k_s} + 1,74 \quad (7)$$

Sau:

$$\frac{1}{\sqrt{I}} = 2 \cdot \lg \frac{d}{2 \cdot k_s} + 1,74 \quad (8)$$

Cunoscuta sub numele de ecuatia lui Mikuradse.

Pentru conductele mixte cele mai bune rezultate o da relatia lui Colebrook-White si anume:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -0,869 \cdot \ln\left(\frac{k_s}{3,71 \cdot d} + \frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{f}}\right) \quad (9)$$

Sau:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \lg\left(\frac{k_s}{3,71 \cdot d} + \frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{f}}\right) \quad (10)$$

Care are o aplicabilitate larga pentru toate tipurile de conducte in regim turbulent.

In regim turbulent stabilirea pe o cale mai simpla a formulei care trebuie utilizata, respectiv al caracterului neted, mixt sau rugos al conductei, se poate face calculand parametrii adimensionali:

$$Re_1 = \frac{28,243}{\sqrt{f_n}} \cdot \frac{d}{2 \cdot k_s} \quad (11)$$

$$Re_2 = (689,0048 + 791,9595 \lg \frac{d}{2 \cdot k_s}) \cdot \frac{d}{2 \cdot k_s} \quad (12)$$

precum si numarul lui Reynolds Re, corespunzator miscarii din conducta.

Daca $Re < Re_1$ conducta este hidraulic neteda, iar daca $Re > Re_2$ atunci conducta este complet rugoasa. Intre aceste valori conducta este mixta.

Coeficientul de rezistenta λ_n care apare in expresia parametrului Re_1 este corespunzator conductelor hidraulic netede, in domeniul precizat prin valoarea calculata a numarului lui Re.

3. Erori asociate factorului de frecare

Ecuatiile 4 si 5 descriu cele mai bine comportarea fluidului la curgerea prin conducte. In aceste ecuatii factorul de frecare este functie de Re, implicit de curgerea fluidului. Acest factor de obicei este estimat pe baza calculului iterative cand Re este cunoscut. Exista posibilitatea de a calcula factorul de frecare si pe baza estimarii date de Moody (Figura 3). Aceasta diagrama nu poate fi computerizata. Tocmai de aceea apar erori in descrierea curgerii fluidului prin conducte in cazul aplicatiilor stiintifice de finete (curgerea sangelui prin vene si artere, etc).

Cea mai buna metoda ramane compunerea factorului de frecare pe baza ecuatiilor 4 si 5 corelate cu eroarea data de catre cercetarile din domeniu [1,5-11].

Recent Chis [15], Goudar si Sonnad [12] au propus o noua forma a ecuatiei (4):

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = a \cdot W \cdot \left[\frac{Re}{a} e^{\left(-\frac{b}{a}\right)} \right] \quad (13)$$

Unde:

$$a = \frac{4}{\ln(10)}, b = 0,4 \quad (14)$$

Unde W este o functia Lambert [13] iar constantele a si b nu au fost simplificate pentru a mentine acuratetea reprezentarii.

Compunand factorul de frecare dupa ecuatia (13) s-a reusit determinarea cu precizie de 4 zecimale a acestuia fata de realitate in intervalul de curgere $4000 < Re < 10^8$ [12, 14].

In prezentul material este data corelatia dintre eroarea formulei 13 si a celorlalte formule utilizate, pentru acelasi interval de lucru. Pentru a caracteriza eroarea formulelor fata de realitate sa luat 1000 de valori logaritmice in intervalul $4000 < Re < 10^8$. graficul erorilor este dat in figurile 1,2. In tabelul 1 sunt date comparatiile erorilor coeficientului de frecare functie de numarul lui Re.

Nr.crt.	Corelatia	Nivelul erorii %	Referinta
1	$I = 0,0791Re^{-0,25}$	-46,76 la 2,76	5
2	$I = 0,046Re^{-0,2}$	-22,23 la 2,42	6
3	$I = 0,0366Re^{-0,1818}$	-18,86 la 2,34	7
4	$I = 0,014 + 0,125Re^{-0,32}$	-0,48 la 17,41	8
5	$I = 0,0008 + 0,0553Re^{-0,237}$	-14,43 la 1,14	1
6	$I = 0,00128 + 0,1143Re^{-0,311}$	-2,64 la 11,17	7
7	$\frac{1}{\sqrt{I}} = 1,58 \ln(Re) - 3,28$	-0,26 la 3,75	9
8	$\frac{1}{\sqrt{I}} = 1,5635 \ln\left(\frac{Re}{7}\right)$	-0,69 la 1,65	10
9	$\frac{1}{\sqrt{I}} = -1,7372 \ln\left(\frac{Re}{1,964 \ln(Re) - 3,8215}\right)$	-0,34 la 0,04	11

Tabelul 1. Comparatia intre erorile de calcul a factorului de frecare I

Asa cum am aratat exista foarte multe metode de a calcula I . Valoarea lui W este functie de Re.

Am introdus un parametru x :

$$x = \frac{Re}{a} \exp\left(-\frac{b}{a}\right) \quad (15)$$

Compunand functia W fata de x avem:

$$W(x) = \ln \frac{x}{\ln \frac{x}{(\ln x)^h}} \quad (16)$$

Unde h este dat de relatia:

$$h = \exp \left\{ -\frac{1,124491989777808}{0,4225028202459761 + \ln(x)} \right\} \quad (17)$$

Daca $W(x)$ este cunoscut se obtine si factorul de frecare din ecuatia 13.

4.CONCLUZII

In proiectarea conductelor estimarea factorului de frecare este foarte importanta pentru definirea cheltuielilor de exploatare.

Metoda aleasa este usoara si utila in proiectare

Pentru $Re=10^5$ valoarea lui h este de 0,9041. daca compunem functia W avem valoarea 8,5804. din ecuatia 13 rezulta factorul de frecare egal cu 0,0045 valoare aproximativ egala cu cea data de experiente.

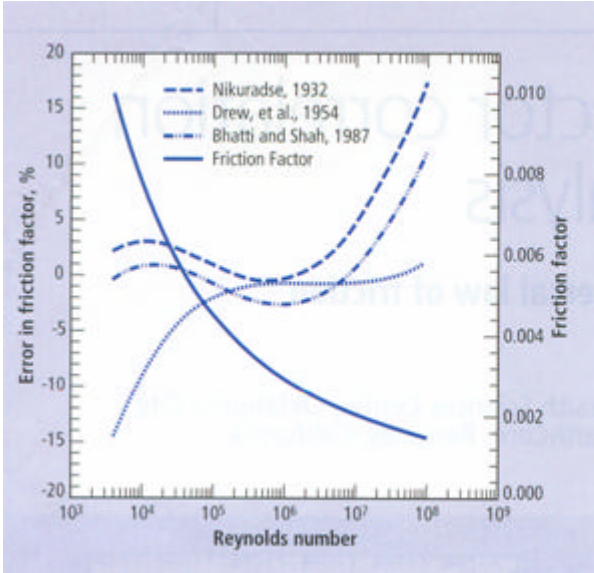


Figura 1. Eroarea asociata factorului de frecare de frecare

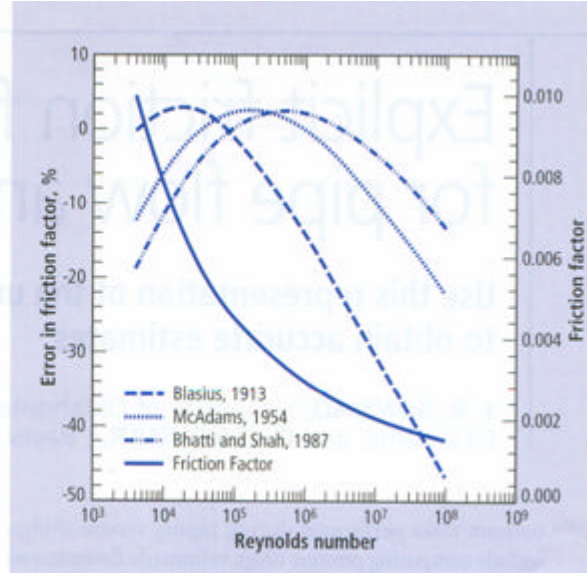


Figura 2. Eroarea asociata factorului de frecare

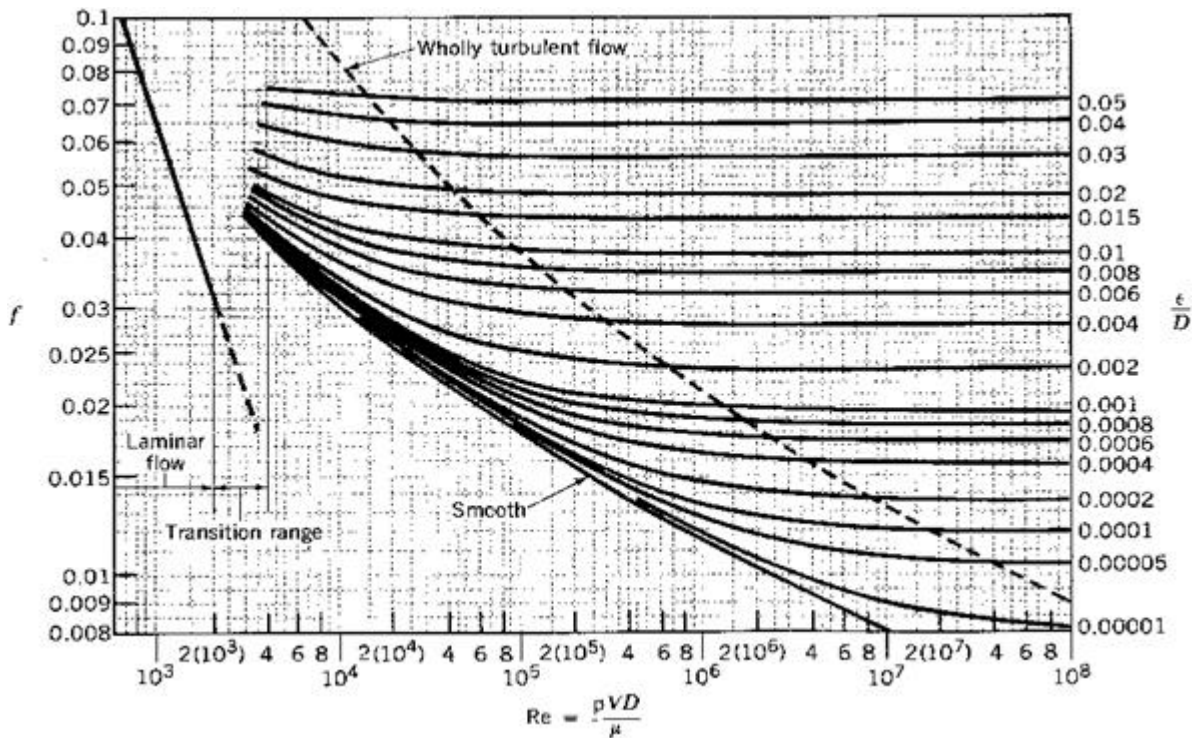


Figura 3. Diagrama lui Moody

BIBLIOGRAFIE

1. Nikuradze, J.-Gesetzmassigkeit der turbulenten stromung in glatten rohren, Ver.Dtsch.Ing.-Forschungsh, 356, 1932.
2. Prandtl, L.-Neure ergebnisse der turbulenzforschung, Z.Ver.Deutsch.Ing., 77, 1933, pp.105-114.
3. von Karman, T.-Turbulence and skin friction, J.Aerosp.Sci. 7, 1934, pp1-20.
4. Moody, L.F.-Friction factors for pipe flow, Trans ASME, 66, 1944, pp 671-684.
5. Blasius, H.-Das ahnlickhkeitsgesetz bei reibungsvorgangen in flussigkeiten, Forschg, Arb.Ing..Wes, 131, 1913.
6. McAdams W.H.-Heat transmission, McGraw-Hill, New York, 1954.
7. Bhatti M.S., Shah R.K.-Turbulent an transition flow convective heat transfer in ducts, in Handbook of single phase convective heat transfer, Wiley, New York, 1987, pp 4.1-4.166.
8. Drew T.B., Koo R.C., Mc Adams W.H.-The friction factors for clean round pipe, Trans AIChE 28, 1932, pp 56-72.
9. Filonenko G.K.-Hydraulic resistance in pipes, Teploenergetika, 1, 1954, pp40-44.
10. Colenbrook C.F.-Turbulent flow in pipes whith particular reference to the transition region between the smouth and roughs pipe laws, J.Inst. Civil Eng., 11, 1938-1938, pp.133-156.
11. Techno, R, Tickner R.R. and James R.E., An accurate equation for the computation of the friction factor for smouth pipes from Reynolds number, J.Appl.Mech. 32, 1965, pp443.
12. Goudar C.T, Sonnad J.R.-Explicit friction factor correlation for turbulent fluid flow in smouth pipes, Ind.Eng.Chem.Res, 42, 2003, pp 2878-2880.
13. Corles R.M., Gont G.H., Hare D.E., Jeffrey D.J. and Knuth D.E.-On the Lambert function-Adv.Compu.Math, 5, 1966, pp.329-359.
14. Sonnad J.R. and Goudar C.T.-Explicit factor friction correlation for pipe flow analysis, Hydrcarbon Processing, June, 1995.
15. Timur Chis-Contributii la studiul comportarii conductelor flexibile, Editura Ex Ponto, Constanta, 2005.