ASUPRA UNOR FENOMENE TRANZITORII SPECIFICE EXPLOATĂRII CONDUCTELOR DE GAZE

C. TRIFAN[1], L.MEDREA[2], S. DOBÎRCIANU[3], T.F. TRIFAN[4], R. POPESCU[5]

Rezumat: *Conductele de transport sau de distribuție gaze naturale sunt dimensionate pentru anumite valori ale debitelor şi presiunilor, considerându-se că funcționează în regim staționar. În realitate exploatarea sistemelor de conducte de gaze naturale este afectată de variații sensibile ale acestor parametri. În lucrare se prezintă un mod de abordare a acestor fenomene generate de variații ale debitelor şi presiunilor la intrarea şi respectiv la ieşirea din conducte.*

Cuvinte cheie: *conducte, presiune, debit, staționar, nestaționar.*

1. Modelul matematic

Se va considera că toți parametrii termo şi hidrodinamici care caracterizează gazul în mişcare (viteză, presiune, masă specifică, temperatură) au valori medii constante în secțiunea transversală a conductei, mişcarea fiind deci unidimensională. Toate mărimile enumerate mai sus vor depinde deci, în cazul general, de o singură variabilă spațială, *x*, şi de timpul *t*.

$$v = v(x,t), p = p(x,t), \rho = \rho(x,t), T = T(x,t). \tag{1}$$

unde, variabila *x* reprezintă distanța de la secțiunea de intrare în conductă până la secțiunea considerată.

În modelarea matematică a mişcării nestaționare se va considera că temperatura gazelor este constantă şi are valoarea medie T_m, calculată cu formula $T_m = (T_i + T_a)/2$, unde T_i este temperatura gazelor la intrarea în conductă iat T_a temperatura mediului ambiant al zonei în care este îngropată conducta. Deoarece situațiile critice care conduc la mari perturbații în exploatarea sistemelor de distribuție se întâlnesc iarna, vom considera pentru temperatura medie valoarea $T_m = 275$ K. Factorul de abatere *Z* este o funcție de *p* şi *T*. În cazul mişcării gazelor prin conductele de gaze se poate considera o valoare medie constantă $Z_m = 0{,}985$.

Deoarece, din punct de vedere hidraulic,

[1] Prof. Dr. Ing. U.P.G. Ploieşti
[2] Drd. Ing. Director dezvoltare Eon Gaz România
[3] Dr. Ing. U.P.G. Ploieşti
[4] Drd. Ing. Dispecer Transgaz Bucureşti, Sector Ploieşti
[5] Drd. Ing. Director general RATP Ploieşti

conductele din polietilenă sunt netede, valoarea coeficientului de frecare λ se calculează în funcţie de numărul lui *Reynolds,* cu una din următoarele formule

$$\lambda_1(d,\dot{m}) = 0{,}3164\,\mathrm{Re}(d,\dot{m})^{-0{,}25},$$
$$3\cdot 10^3 \le \mathrm{Re} \le 10^5 \qquad (2)$$

$$\lambda_2(d,\dot{m}) = 0{,}0032 + 0{,}221\,\mathrm{Re}(d,\dot{m})^{-0{,}237},$$
$$\mathrm{Re} > 10^5 \qquad (3)$$

În ceea ce priveşte numărul lui *Reynolds*, vom apela la relaţia de definire

$$\mathrm{Re}(d,\dot{m}) = 123080\dot{m}/d, \qquad (4)$$

deoarece, pentru starea normală caracterizată prin p_N =1,0133 bar şi T_N = 273,16 K, vâscozitatea dinamică are valoarea μ_{273} = 10,35.10^{-6} Pa.s.

Deoarece în cazul exploatării conductelor din componenţa reţelelor de distribuţie a gazelor naturale presiunea şi debitul au variaţii lente, se poate neglija efectul forţelor inerţiale, ecuaţia de mişcare putând fi simplificată.

Modelul matematic al mişcării nestaţionare lente izotermice a gazelor prin conducte este format din ecuaţia presiunii specifică regimului nestaţionar lent, cu condiţii iniţiale şi la limită adecvate pentru presiune şi debitul masic. Ecuaţia presiunii se poate scrie [1]

$$\frac{\partial P}{\partial t} = \alpha \sqrt{\frac{P}{\left|\frac{\partial P}{\partial x}\right|}}\,\frac{\partial^2 P}{\partial x^2}, \qquad (5)$$

unde $\alpha(d,\dot{m}) = 375 d^{0{,}5} \lambda(d,\dot{m})^{-0{,}5}$.

Condiţia iniţială a modelului matematic este repartiţia presiunii din regimul staţionar, iniţial

$$P(x,0) = P_1 - a_0\,\dot{m}_0^2 x,\; P_1 = p_1^2, \qquad (6)$$

unde $a_0 = 228418 d^{-5} \lambda(d,\dot{m}_0)$.

Condiţiile la limită se scriu corespunzător exploatării conductei. Astfel, la intrare, presiunea rămâne constantă iar la ieşire, debitul variază; condiţiile sunt:

$$t > 0\,P(0,t) = P_1; \frac{\partial P}{\partial t}(l,t) = -a\,\dot{m}_2^2(t) \qquad (7)$$

unde $\dot{m}_2(t)$ reprezintă valoarea debitului masic de gaze livrat la consumator, diferit de cea din regimul staţionar iniţial, $\dot{m}_0$.

2. Abordarea numerică

Este evident caracterul neliniar al ecuaţiei (5) datorită factorului iraţional, ceea ce face imposibilă abordarea analitică a acesteia. Ecuaţia poate fi abordată numeric, printr-o schemă cu diferenţe finite, însoţită de un procedeu iterativ adecvat pentru eliminarea factorului iraţional. În acest scop se va transforma domeniul continuu al presiunii $C:[0 \le x \le l, 0 \le t \le T]$ în reţeaua discretă $R_{i,j}:[x_i = (i-1)h]$ în care $i = 1 \div N+1; t_j = j\tau,\; j = 0 \div M$, unde i este indicele spaţial, j -indicele temporal, h -pasul spaţial, -pasul temporal, N –numărul paşilor spaţiali şi M -numărul paşilor temporali. În acest fel, în locul valorilor exacte ale presiunii $P(x,t)$, vom considera valorile aproximative discrete $P_i^j = P(x_i,t_j)$.

Se va apela la o schemă de calcul cu diferenţe finite de tipul implicit *Hyman. Kaplan*, cunoscută ca necondiţionat stabilă şi absolut convergentă. Ecuaţia (5) se transformă în schema cu diferenţe finite

$$P_i^{j+1} - P_i^j = \alpha c\, A_i^{j+1}\left(P_{i-1}^{j+1} - 2P_i^{j+1} + P_{i+1}^{j+1}\right) (8)$$

unde

$$c = \frac{\tau\sqrt{2}}{h\sqrt{h}},\ A_i^{j+1} = \sqrt{\frac{P_i^{j+1}}{P_{i-1}^{j+1} - P_{i+1}^{j+1}}} \quad (9)$$

Schema (8) se poate scrie:

$$\Phi_i^{j+1} P_{i-1}^{j+1} - \Psi_i^{j+1} P_i^{j+1} + \Phi_i^{j+1} P_{i+1}^{j+1} = -P_i^j \quad (10)$$

unde, pentru $i = 2 \div N$

$$\Phi_i^{j+1} = c\alpha(d,\dot{m}) A_i^{j+1} \ ,$$

$$\Psi_i^{j+1} = 2c\alpha(d,\dot{m}) A_i^{j+1} + 1 \quad (11)$$

Condiția inițială se scrie astfel:

$$P_i^0 = P_1 - a_0\, \dot{m}_0^2\, (i-1)h\ , \quad (12)$$

pentru $i = 1 \div N+1$, iar condițiile la limită devin:

$$P_0^{j+1} = P_1\ ,$$

$$P_{N-1}^{j+1} - 4P_N^{j+1} + 3P_{N+1}^{j+1} = -2h\, a(d,\dot{m}_2)\dot{m}_2^2 \quad (13)$$

Relațiile (12) și (13) completează sistemul generat de schema (10), permițând astfel calculul repartițiilor presiunii P_i^{j+1} pentru $j = 1 \div m$ și respectiv $i = 1 \div N+1$.

Pentru rezolvarea sistemului implicit de ecuații algebrice liniare generat de schema (10), completată cu ecuațiile (12) și (13) se va nota cu $P0(i)$ repartiția patratului presiunii corespunzătoare momentului cunoscut, j, $P0(i) = P_i^j$ și cu $P(i)$ repartiția corespunzătoare momentului necunoscut, j+1, adică $P(i) = P_i^{j+1}$.

Conform metodologiei de rezolvare a sistemului implicit de ecuații de mai sus, se vor obține mai întâi soluții aproximative succesive care, prin comparație, vor da repartiția corectă a sistemului. Soluțiile aproximative ce se obțin succesiv prin rezolvarea sistemului algebric generat de schema de calcul adoptată, vor fi notate cu $P1(i)$ pentru prima aproximație și respectiv $P2(i)$ și $P3(i)$ pentru următoarele două aproximații.

Astfel, pentru lansarea calculului iterativ, în (10) vom pune $x(i) = P0(i)$, cu care se obține primul set de valori aproximative ale presiunii $P1(i)$. Pentru obținerea celui de-al doilea set de valori aproximative $P2(i)$ vom pune în (10) $x(i) = P1(i)$, și în fine pentru obținerea celui de-al treilea set de valori aproximative $P3(i)$, vom pune $x(i) = P2(i)$, între acestea din urmă făcându-se comparația impusă de procedeul iterativ.

3. Simularea unui regim tranzitoriu într-o conductă de gaze

Se va considera o conductă de repartiție gaze din polietilenă care funcționează în regim staționar, transportând debitul $\dot{m}_0$. Repartiția pătratului presiunii în lungul conductei este

$$P(x) = P_1 - a_0 \dot{m}_0^2 x\ . \quad (14)$$

La un moment dat, intră în funcțiune un nou consumator (sau i se întrerupe alimentarea unui consumator) care face ca în capătul final valoarea debitului să fie

$\dot{m}_2 = \dot{m}_0 \cdot f$, unde f este coeficientul de variație a debitului, supraunitar, sau subunitar. Din acest moment mişcarea gazelor va avea un caracter nestaționar, în conductă instalându-se un proces tranzitoriu care va dura până când repartiția pătratului presiunii în lungul acesteia va fi corespunzătoare noii valori a debitului

$$P(x) = P_1 - a_2\, \dot{m}_2^2\, x\ . \quad (15)$$

unde $a_2 = 228418 d^{-5} \lambda(d,\dot{m}_2)$.

Valoarea de control a presiunii gazelor din capătul final al conductei va fi $P_c = P_1 - a_2\, \dot{m}_2^2\, l$, fiind cea care controlează durata procesului, deoarece momentul atingerii acestei valori corespunde sfârşitului procesului tranzitoriu.

Pentru determinarea duratei regimului tranzitoriu, a fost elaborat softul specializat TRANZ 1. Acestea determină repartiția presiunii în lungul unei conducte de gaze din polietilenă în timpul regimului tranzitoriu generat de condițiile de exploatare a conductei. Softul este elaborat în mediul de programare Delphi 5.

Softul a fost rulat pentru simularea regimului tranzitoriu într-o conductă de repartiție gaze din polietilenă Dn 200 (d=0,164 m) lungă de 4.000 m, presiunea la intrare având valoarea de 4 bar(5 bara), constantă pe parcursul simulării. Debitul inițial a fost de 5.443 m^3/h, acesta crescând cu 5%. Rezultatele sunt prezentate în diagramele din figura 1 unde sunt indicate cele două curbe de variație a presiunii în lungul conductei, precum şi durata regimului tranzitoriu generat de noua valoare a debitului transportat.

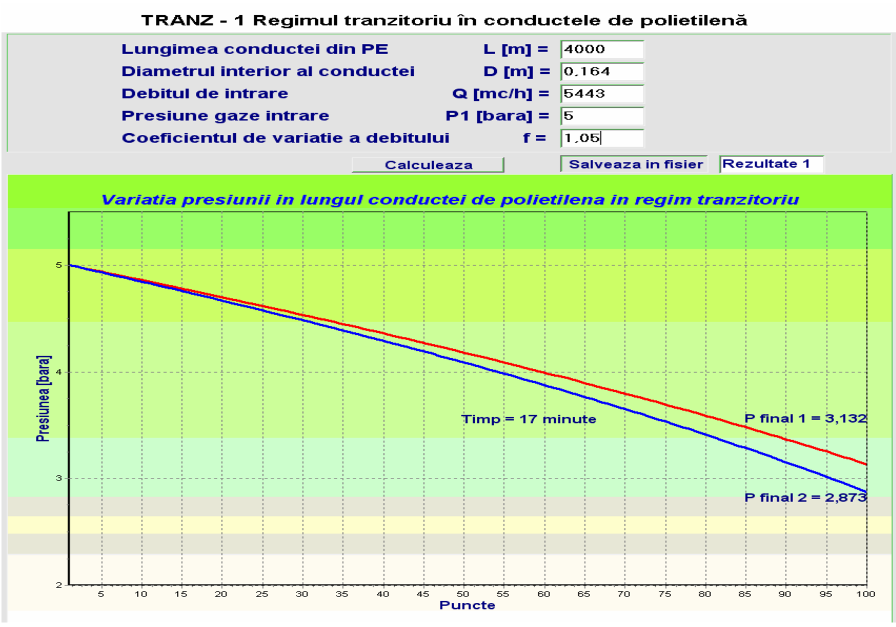

Fig. 1.*Variația presiunii în lungul unei conducte de PE Dn 200 în regim tranzitoriu*

Concluzii

Programul de calcul **TRANZ-1** poate fi utilizat cu uşurință de operatorii din domeniul rețelelor de distribuție a gazelor naturalea pentru simularea exploatării acestora, durata regimului tranzitoriu fiind deosebit de importantă pentru luarea unor decizii rapide şi pertinente.

Programul a fost rulat pentru simularea regimului tranzitoriu în conducte de gaze cu geometrii diferite şi funcționând în condiții diverse, obținându-se timpii de restabilire corespunzători. Rezultatele au pus în evidenţă următoarele:

1. Geometria conductei afectează esenţial durata regimului tranzitoriu. Astfel, în condiţii de funcţionare identice (presiune la intrare şi debit iniţial), cu creşterea lungimii conductei creşte şi durata de restabilire, iar unui diametru superior îi corespunde o durată mai mică.
2. Condiţiile de funcţionare influenţează şi ele durata de restabilire, în cazul menţinerii geometriei conductei. Astfel, creşterea coeficientului de variaţie a debitului conduce la o mărire a duratei procesului.

Bibliografie

1. Trifan, C.: *Distribuţia gazelor prin reţele de conducte.* Ploieşti. Editura U.P.G.. 2005.
2. Trifan. C., Albulescu. M., Neacşu. S.: *Elemente de mecanica fluidelor şi termodinamică tehnic.* Ploieşti. Editura U.P.G., 2005;
3. Oroveanu. T., David. V., Stan. Al.D., Trifan. C.: *Colectarea transportul, depozitarea şi distribuţia produselor petroliere şi gazelor.* Bucureşti. Editura Didactică şi Pedagogică. 1985.
4. Soare. Al.(coordonator): *Ingineria zăcămintelor de hidrocarburi.* Bucureşti. Editura Tehnică. 1981.
5. Vasilescu.C., Svoronos.I.: *Exploatarea raţională a gazelor naturale.* Bucureşti. Editura Academiei. 1968.