CONTRIBUŢII PRIVIND CALCULUL DIMENSIUNILOR OPTIM-ECONOMICE A RECIPIENTELOR DE ÎNALTĂ PRESIUNE CU MANTAUA REALIZATĂ DIN STRATURI FRETATE

CONTRIBUTIONS TO THE PRELIMINARY CHART CALCULATIONS OF THE PIPE SYSTEMS FLEXIBILITY

Conf. dr. ing. Viorel NICOLAE[1]

[1] Universitatea „Petrol-Gaze” din Ploieşti, Romania
E-mail: biblioteca@upg-ploiesti.ro

Rezumat: *In această lucrare se prezintă, intr-un mod original, noile evoluţii de calcul analitic al flexibilitatii sistemelor de conducte. Pentru a simplifica şi diminua această problemă folosind calcule nomografice, au fost calculate şi proiectate diagramele corespunzatoare.*
Cuvinte cheie: *calcul analitic, nomograma, flexibilitate*

Abstract: *This paper presents, with originality, a calculation method in order to define the optimal and economic dimensions of containers with thick shell made of several shrink layers.*
Keywords: *high-pressure containers, shrink layers, optimization.*

1. GENERALITĂŢI

Determinarea dimensiunilor optime constituie una dintre cele mai importante probleme de proiectare a recipientelor de înaltă presiune.

În literatură este cunoscută o metodă de optimizare [1] a recipientelor de înaltă presiune, dar, care datorită ipotezelor pe care se bazează, are un domeniu de aplicare limitat, presupunând cunoscută raza interioară a recipientului.

Metoda ce se propune stabileşte dimensiunile optim-economice ale recipientelor de înaltă presiune (raza interioară optimă), bazându-se pe următoarele ipoteze:

- se aplică recipientelor de înaltă presiune cu închizătoare şi bosaje de tipul celor din figura 1;
- pentru determinarea tensiunilor totale după direcţia inelară se vor utiliza relaţiile date de metoda Cox teoretică [2];
- tensiunile totale după direcţia inelară de pe suprafeţele de contact, generate de presiunea interioară şi din fretaj, sunt egale cu tensiunea admisibilă a materialului.

2. BAZA TEORETICĂ DE CALCUL PENTRU RAZA INTERIOARĂ OPTIMĂ

Conform [2], adoptându-se notaţiile metodei Cox, avem:

$$C = \sqrt[n]{\frac{p_i}{\sigma_a^t} + 1} \qquad (1)$$

$$K = \sqrt{\frac{C}{2-C}} \tag{2}$$

$$\beta = K^n = \left(\sqrt{\frac{C}{2-C}}\right)^n = \left[\left(\frac{C}{2-C}\right)^{\frac{n}{2}}\right] = \frac{R_e}{R_i} \tag{3}$$

$$R_e = R_i\left(\frac{C}{2-C}\right)^{\frac{n}{2}} \tag{4}$$

$$n = \sqrt{3}\cdot\frac{p}{\sigma_a^t} \tag{5}$$

unde: R_i – raza interioară a recipientului;
R_e – raza exterioară a recipientului;
n – numărul de straturi.

Grosimea de perete:

$$s_M = R_E - R_i = R_i\left[\left(\frac{C}{2-C}\right)^{\frac{n}{2}} - 1\right] \tag{6}$$

Factorul de rezistenţă al mantalei:

$$F_m = \frac{1}{C_C}\left[\left(\frac{C}{C+2}\right)^{\frac{n}{2}} - 1\right] \tag{7}$$

Grosimea mantalei devine:

$$s_m = F_M \cdot R_i \cdot C_C + C_C \tag{8}$$

Aria mantalei se calculează cu relaţia:

$$A_m = 2\Pi R_m \cdot L_M \tag{9}$$

unde: L_M – lungimea mantalei;
R_m – raza medie a mantalei.

$$R_m = R_i + \frac{s_m}{2} = R_i\left(1 + \frac{F_m C_C}{2}\right) + \frac{C_C}{2} \tag{10}$$

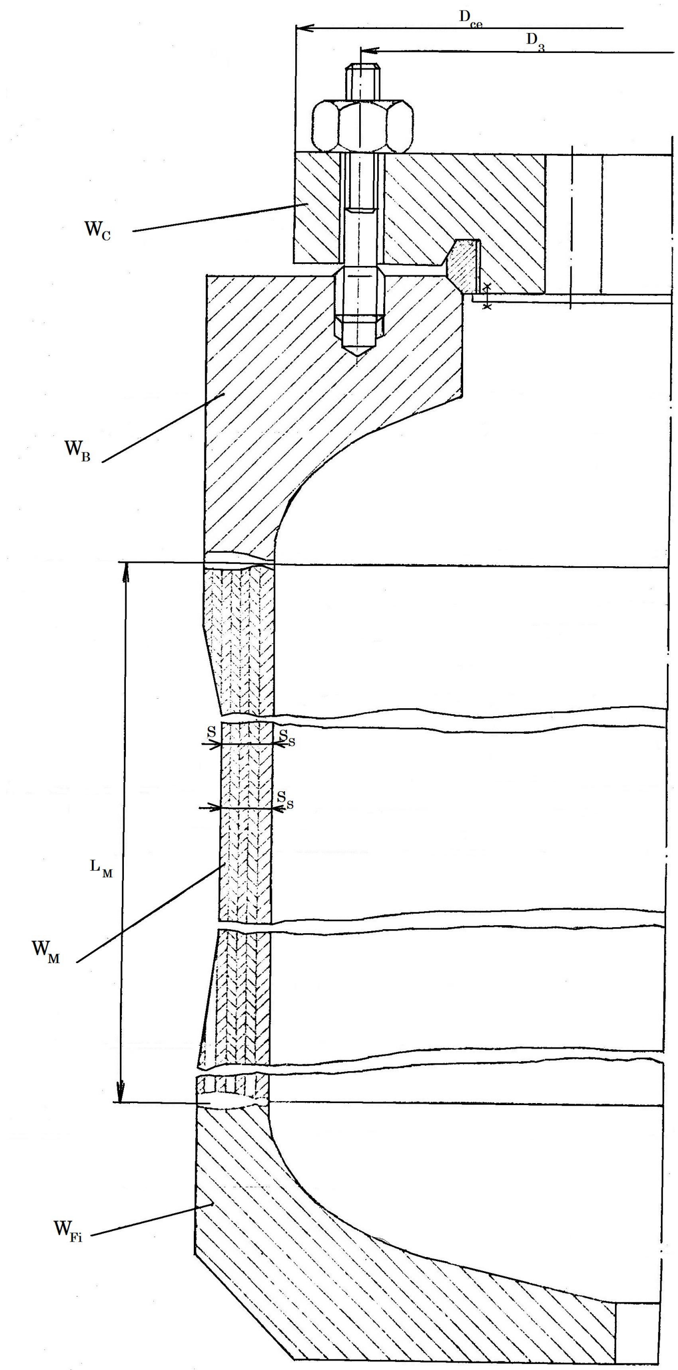

Fig. 1 Recipient de înaltă presiune

Lungimea mantalei va fi:

$$L_m = \frac{V - \Pi\left(R_i^3\alpha + R_i^2\beta + R_i\gamma + \delta\right)}{\Pi R_i^2} \tag{11}$$

$$A_m = 2\Pi R_m L_M = 2\Pi\left[R_i\left(1+\frac{K\cdot F_F\cdot C_C}{2}+\frac{C_c}{2}\right)\right]\cdot\frac{V-\Pi\left(R_i^3\alpha+R_i^2\beta+R_i\gamma+\delta\right)}{\Pi R_i^2} \quad (12)$$

$$A_m = \left[R_i\left(2+KF_F C_C\right)+C_C\right]\frac{V-\Pi\left(R_i^3\alpha+R_i^2\beta+R\gamma+\delta\right)}{R_i^2} \quad (13)$$

Volumul de metal al părţii cilindrice se calculează cu relaţia:

$$W_m = A_m\cdot s_m \quad (14)$$

Înlocuind în (14) pe (13) şi (6), rezultă:

$$W_m = \left[R_i\left(2+K\cdot F_F C_C\right)+C_C\right]\frac{V-\Pi\left(R_i^3\alpha+R_i^2\beta+R_i\gamma+\delta\right)}{R_i^2}\cdot K\cdot\left(R_i\cdot F_F\cdot C_C+C_C\right) \quad (15)$$

Operând algebric:

$$W_m = K\left(R_i^2\alpha'+R_i\beta'+\gamma'\right)\frac{V-\Pi\left(R_i^3\alpha+R_i^2\beta+R_i\gamma+\delta\right)}{R_i^2} \quad (16)$$

unde: $\alpha' = \left(2+F_F K C_C\right)F_F\cdot C_C$ a)

$\beta' = C_C\left(2+F_F K C_C\right)+F_F C_C^2$ b) (17)

$\gamma' = C_C^2$ c)

Expresia volumului de metal al mantalei va fi:

$$W_m = R_i^3 X - R_i^2 Y - R_i Z - D - \frac{E}{R_i}+\frac{J}{R_i^2} \quad (18)$$

unde: $X = 2\Pi\cdot K\cdot\alpha\cdot\alpha'$ a)

$Y = 2\Pi K\beta\alpha' + 2\Pi\alpha\beta' K$ b)

$Z = 2\Pi K\alpha'\gamma - 2\Pi K\beta\cdot\beta'$ c) (19)

$D = 2\Pi\delta\cdot\alpha' + 2K\beta'\Pi\gamma - 2K\alpha V$ d)

$E = 2\Pi K\beta'\delta - 2K\beta' V + 2K\gamma'\Pi\gamma$ e)

$$J = 2K\gamma'$$ f)

Volumul de metal pentru fund

Conform [3], volumul de metal din care se realizează fundul se determină cu relaţia:

$$W_F = B_1 R_i^3 + B_2 R_i^2 + B_3 R_i + B_4 \tag{20}$$

unde:

$$B_1 = 3\Pi \cdot F_F \cdot C_C (1 + F_F \cdot C_C)^2 - \Pi \cdot F_F \cdot C_C - \\ - \frac{\Pi}{3}\left(3 - \frac{1}{3}F_F C_C - \frac{2}{9}F_F C_C + \frac{1}{9}F_F^2 C_C^2\right) \qquad a)$$

$$B_2 = 3\Pi\left[(1 + F_F \cdot C_C)^2 + 2C_C(1 + F_F C_C)F_F C_C\right] - \Pi C_C - \\ - \frac{\Pi}{3}\left[\left(3 - \frac{5}{9}F_F \cdot C_C + \frac{1}{9}F_F^2 C_C^2\right)C_C + F_F C_C\left(-\frac{5}{9}C_C + \frac{2}{9}F_F C_C^2\right)\right] \qquad b)$$

$$B_3 = 3\Pi\left[2C_C^2(1 + F_F C_C) + F_F C_C^2\right] - \left(-\frac{5}{9}C_C + \frac{2}{9}F_F C_C^2\right)C_C \qquad c) \tag{21}$$

$$B_4 = 3\Pi \cdot C_C^3 - \frac{\Pi}{3} \cdot \frac{1}{9}C_C^3 = \frac{80\Pi}{27}C_C^3 \qquad d)$$

$$F_F = \frac{0{,}9}{C_C}\sqrt{\frac{p}{\sigma_a^t}} \qquad e)$$

Volumul de metal al bosajului şi capacului

Conform [3], volumul de metal al bosajului (W_B) şi capacului (W_C) sunt:

$$W_B = \frac{\Pi R_i^3}{2} \tag{22}$$

$$W_C = K_{12} \cdot R_i^3 \tag{23}$$

unde: $K_{12} = \Pi K_{11}^2 \cdot K_{10}$ a)

$$K_{11} = \frac{D_{ec}}{D_i} \qquad b)$$

$$K_{10} = \sqrt{\frac{0{,}45^2\left[3{,}8K_6\left(2K_7 - K_3\right) + K_3 p\right] + K_9^2\left(K_{11} - 2K_8\right)\sigma_a^t}{K_{11} \cdot \sigma_a^t}} \qquad c)$$

$$K9 = 0{,}45\sqrt{\frac{3{,}8K_6\left(2K_7 - K_3\right) + K_3^2 \cdot p}{\left(2 - K_8\right)\sigma_a^t}} \qquad d) \qquad (24)$$

$$K_8 = \frac{0{,}5K_6}{K_7\sigma_a^t} \qquad e)$$

$$K_7 = \frac{D_S}{D_{mg}} \qquad f)$$

$$K_6 = \Pi K_3 K_1 \cdot 1{,}2\sigma_C \frac{\sin\left(\alpha_1 + p\right)}{\cos\rho} \qquad g)$$

$$K_5 = \Pi K_3 p \operatorname{tg}\left(\alpha - \rho\right) \qquad h)$$

$$K_4 = \frac{\Pi}{4}K_3 p + \frac{\Pi}{2}K_3 K_1 p \operatorname{tg}\left(\alpha_1 - \rho\right) \qquad i)$$

$$K_3 = K_2 - \frac{K_1}{2}\operatorname{tg}\alpha_1 \qquad j) \qquad (24)$$

$$K_2 = 2 - K_1 \operatorname{tg}\alpha_1 \qquad k)$$

$$K_1 = \frac{0{,}66p}{\sigma_C^{20} - p\left[0{,}165 + 0{,}825\frac{\sin\left(\alpha_1 + \rho\right)}{\cos\rho}\right]} \qquad l)$$

Volumul total de metal din care se realizează recipientul va fi:

$$W = W_m + W_B + W_f + W_C \qquad (25)$$

unde: W_m – volumul de metal al mantalei;

W_B – volumul de metal al bosajului;

W_f – volumul de metal al fundului;
W_C – volumul de metal al capacului cu prezoane şi inel biconic.

Introducând în (25) volumele de metal date de (18, 20, 22, 23) şi punând condiţia de a avea un volum de metal minim:

$$\frac{dW}{dR_i} = 0 \quad (26)$$

se obţine ecuaţia finală de forma:

$$A_1R_i^5 + A_2R_i^4 + A_3R_i^3 + A_4R_i + A_5 = 0 \quad (27)$$

unde: $A_1 = 3\Pi + 6K_{12} + 6B_1 - 6X$ a)

$A_2 = 4B_2 - 4Y$ b)

$A_3 = 2B_3 - 2Z$ c) (28)

$A_4 = 2E$ d)

$A_5 = -4J$ e)

Soluţia reală a ecuaţiei (27) va fi raza interioară optimă a recipientului, corespunzătoare unei greutăţi minime de metal.

3. CONCLUZII

În ceea ce priveşte metoda de calcul a dimensiunilor optim-economice prezentată în lucrare, rezultă:

- metoda este accesibilă din punctul de vedere al înţelegerii şi volumului de calcul efectuat;
- prin adaptare, ajungând la relaţii similare, se poate dezvolta metoda de calcul şi pentru recipientele de înaltă presiune cu alte tipuri de închizătoare;
- aplicând metoda de calcul propusă se obţin economii de metal de circa 17,1% faţă de proiectarea curentă a unui recipient similar.

BIBLIOGRAFIE

[1] Broc, I., Optimizing the design of multishell cilindrical presuure vessels, Britch Chemical Engineering, vol. 16, nr. 6, iunie, 1981.
[2] Teodorescu, Şt., Utilaj petrochimic şi de rafinării. Aparatură şi recipienţi cu pereţi groşi pentru înaltă presiune, vol. X, I.P.G. Ploieşti, 1979.
[3] Nicolae, V., Contribuţii la calculul şi construcţia recipientelor cu pereţi groşi realizate din bandă profilată înfăşurată, Teză de doctorat, I.P.G. Ploieşti, 1986.
[4] Nicolae, V., Utilaje statice petrochimice şi de rafinării, Editura Universităţii „Petrol-Gaze” din Ploieşti, 2007.
[5] Nicolae, V., Elaborarea unei metode de calcul de optimizare a mantalei recipientelor de înaltă presiune realizată din straturi multiple, SIMEC, Universitatea Tehnică de Construcţii, Bucureşti, 2003.