

ETANSARE FRONTALA EXTERIOARA CU IMPULSURI. ANALIZA STABILITATII STATICE

Marius PUSTAN

Universitatea Tehnica din Cluj-Napoca

This paper shown a static stability analyze of the external mechanical face seal with impulses. Static rigidity is estimate and stability condition is also established. A dimensional parameters have been settled to make computing more easily. These a-dimensional parameters are defined like the rapport between real value and a reference value of specific parameter.

1. Introducere

În functie de pozitia interstitiului de etansat în raport cu incinta de lucru, etansarile frontale se pot clasifica în etansari frontale exterioare si etansari frontale interioare. În cazul unei etansari frontale interioare (fig.1, a) fluidul patrunde în interstitiul de etansat de la diametrul exterior al etansarii spre cel interior pe când, la etansarea frontala exterioara (fig.1, b) fluidul patrunde în interstitiu de la diametrul interior spre cel exterior. Datorita acestui fapt, fortele centrifuge în cazul etansarii frontale interioare se opun patrunderii fluidului în interstitiul de etansat iar în cazul unei etansari frontale exterioare, fortele centrifuge ajuta la evacuarea spre exteriorul incintei a fluidului din interstitiu.

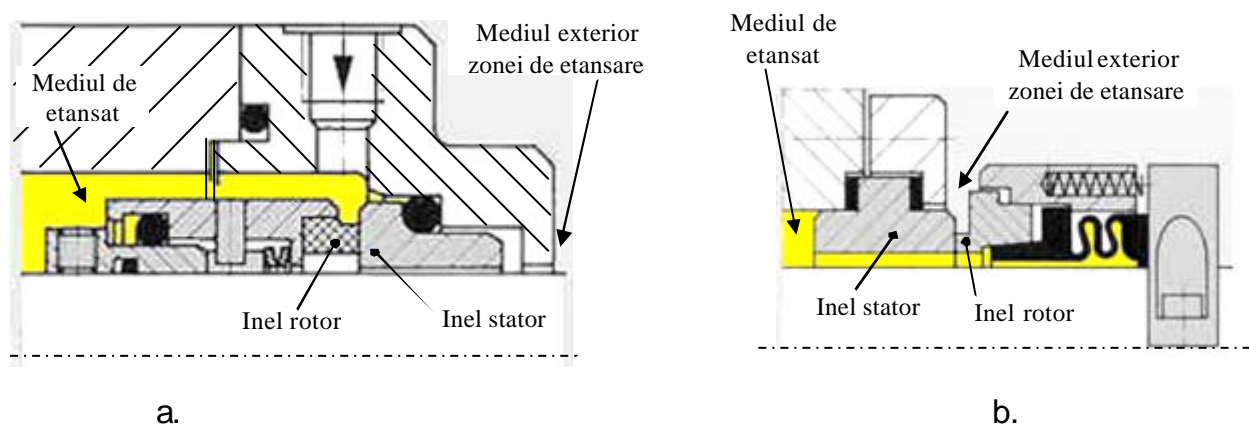


Fig.1 Tipuri de etansari frontale din punct de vedere a pozitiei interstitiului de etansat în raport cu incinta de lucru
a. etansare frontala interioara;
b. etansare frontala exterioara.

2. Variante caracteristice si descrierea constructiv – functionala a etansarilor frontale cu impulsuri.

Etansarea frontala cu impulsuri este acea etansare frontala la care unul dintre inelele de etansare, de regula statorul etansarii, în timpul functionarii este supus la slabe perturbatii axiale.

Etansarile frontale cu impulsuri, în mod asemanator cu etansarile frontale clasice, pot fi clasificate în functie de pozitia interstitiului de etansat în raport cu incinta de lucru. Astfel avem *etansare frontala interioara cu impulsuri* etansarea la care interstiul se afla dispus în interiorul incintei de lucru (fig.2) si *etansare frontala exterioara cu impulsuri* etansarea la care interstiul se afla dispus în exteriorul incintei mediului de etansat (fig.3).

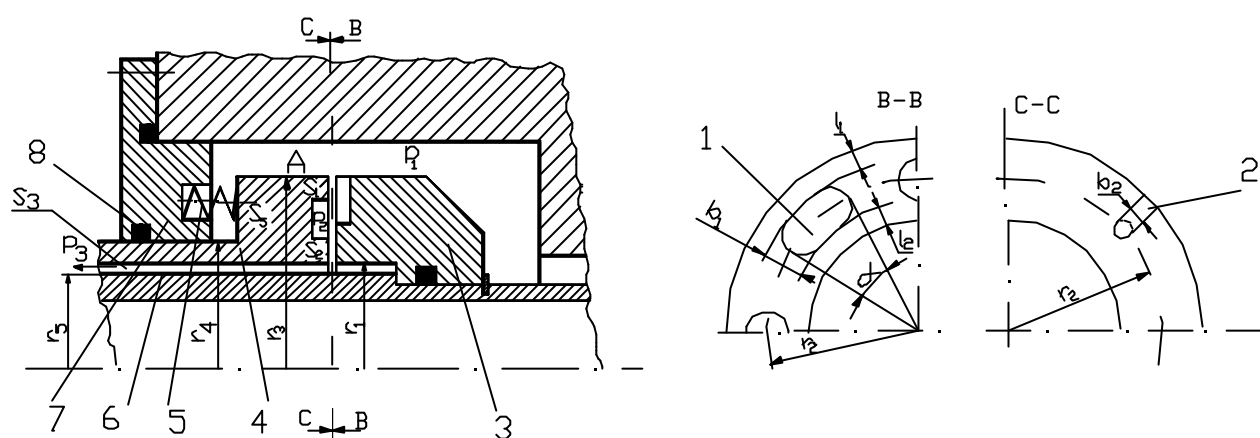


Fig. 2. Etansare frontala interioara cu impulsuri

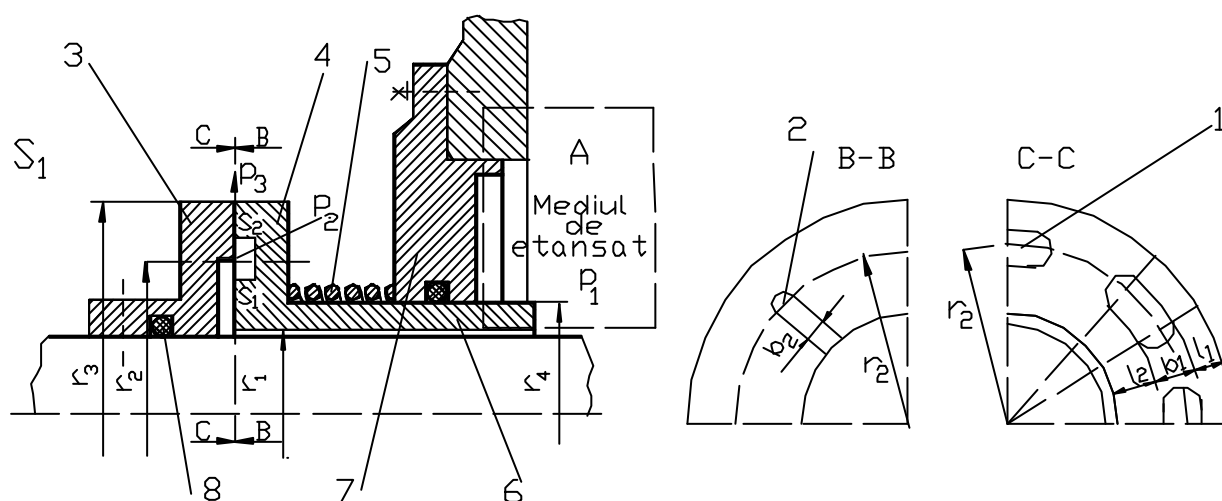


Fig. 3 Etansare frontala exterioara cu impulsuri

Cresterea rigiditatii pentru acest tip de etansare se datoreaza unor impulsuri discrete a presiunii, impulsuri produse atunci când camerele (1) vin în legatura cu mediul de etansat A

prin intermediul canalelor (2) executate în discul rotitor. Autoreglarea jocului frontal este determinată de dependența dintre mărimea impulsurilor și turatia discului (3).

Conform figurilor anterioare, inelul deplasabil axial (4) este montat în capacul (7) al corpului etansării, iar elementul elastic (5) îl apasă pe inelul de reazem (3) care este rigid fixat pe arbore și se rotește împreună cu acesta. Pe suprafața frontală a inelului (4) sunt dispuse camerele (1), iar pe suprafața discului (3), se află practicate canalele (2), care la rotația discului (3) fac legătura camerelor (1) cu mediul de etansat (A).

Frecvența impulsurilor de presiune care acționează asupra inelului deplasabil axial (4) este dată de numărul de camere practicate pe acest inel și de rotația arborelui. Ca urmare a acestor impulsuri, inelul (4) este supus la perturbatii slabe.

Din punct de vedere al etansării unor fluide care conțin particule abrazive, la etansarea frontală interioară particulele antrenate în mișcare în interfața de etansare sunt expulzate de către forțele centrifuge, în momentul deschiderii interstițiului, spre interiorul incintei de lucru existând pericolul ca ele să fie antrenate din nou în mișcare în interfața. Acest lucru reprezintă un dezavantaj al etansării frontale interioare cu impulsuri, dezavantaj care este eliminat de către etansările frontale exterioare. La etansarea frontală exterioară, în momentul deschiderii interstițiului de etansare ca urmare a impulsurilor, forța centrifugă expulzează particulele abrazive din interfața spre exteriorul incintei de lucru.

Acest aspect al expulzării particulelor abrazive din interfața de etansare constituie un avantaj major care duce la creșterea duratei de viață a sistemelor de etansare. În cazul etansărilor frontale clasice, ținând seama de înălțimea foarte mică a interstițiului de etansat (1-2μm), în momentul în care în interstițiu patrund particule abrazive acestea sunt antrenate în mișcare prin interfața după o spirală de la intrarea în etansare până la ieșire existând pericolul unei uzuri accentuate.

În ceea ce privește temperatura în zona de etansare, etansarea frontală cu impulsuri comparativ cu etansările frontale clasice, se caracterizează printr-o temperatură mai scăzută deoarece, impulsurile care iau naștere duc la o recirculare mai ușoară a fluidului prin interfața de etansare aducând în zona de contact fluid la o temperatură mai scăzută.

3. Rigiditatea statică a etansărilor frontale exterioare cu impulsuri

Prin rigiditate statică se înțelege capacitatea peliculei de fluid, din interfața de etansare de a se opune variației sarcinii exterioare la o anumită grosime a interstițiului de etansare.

Pentru determinarea forței axiale de deschidere a interstițiului de etansare considerăm ca presiunea pe suprafața inelului descrisă de razele $(r_2+0.5b_1)$ și $(r_2-0.5b_1)$ este constantă și egală cu p_{2med} iar în afara acestei suprafețe, variația presiunii pe rază se consideră liniară.

Forța axială de deschidere a interfeței de etansare este dată de relația:

$$F_a = 0.5(p_1 + p_{2med}) \cdot S_1 + p_{2med} \cdot S_0 + 0.5(p_{2med} + p_3) \cdot S_2 \quad (1)$$

unde, suprafețele care definesc interstițiul de etansare sunt

$$S_1 = \pi[(r_2 - 0.5b_1)^2 - r_1^2]; \quad S_2 = \pi[r_3^2 - (r_2 + 0.5b_1)^2]; \quad S_0 = \pi[(r_2 + 0.5b_1)^2 - (r_2 - 0.5b_1)^2] \quad (2)$$

Forța axială de deschidere a interstițiului de etansare poate fi scrisă sub următoarea formă adimensională:

$$\varphi_a = \frac{F_a}{F_{a0}} \quad (3)$$

unde, F_{a0} reprezinta o forta de referinta care corespunde situatiei în care fluidul patrunde în interstitiu doar prin canalele de aductie. Acest caz este caracteristic situatiei de început a functionarii etansarii, când interstitiul este închis iar presiunile p_1 si p_3 nu au influenta asupra interstitiului de etansare. În aceasta situatie, forta axiala de deschidere a interfetei se considera ca fiind forta de referinta iar presiunea care patrunde în interstitiu fiind presiunea de referinta. Prin urmare, forta axiala de referinta de deschidere a interstitiului de etansare este data de relatia:

$$F_{a0} = p_0(0.5S_1 + S_0 + 0.5S_2) \quad (4)$$

Notam:

$$S = 0.5(S_1 + 2S_0 + S_2) \quad (5)$$

Pe baza relatiilor (4) si (5), forta axiala adimensionala de deschidere a interstitiului de etansare data de relatia (3) devine:

$$\varphi_a = \frac{F_a}{S \cdot p_0} \quad (6)$$

Daca în relatia (6) introducem forta axiala data de relatia (1) obtinem:

$$\varphi_a = 0.5 p_{1r} \frac{S_1}{S} + p_{2r} + 0.5 p_{3r} \frac{S_2}{S} \quad (7)$$

Presiunea medie adimensionala din camere p_{2r} este data de relatia [2]:

$$p_{2r} = \frac{p_{1r} \left(1 + \alpha_{13} \cdot \frac{j_r^3}{\omega_r} \right) + p_{3r} \alpha_{23} \cdot \frac{j_r^3}{\omega_r} + p_{ir} \omega_r^2}{1 + C \cdot \frac{j_r^3}{\omega_r}} \quad (8)$$

Marimile care intervin în aceasta relatie sunt:

- j_r este marimea adimensionala a jocului din interstitiu

$$j_r = \frac{j}{j_0} \quad (9)$$

j – jocul relativ din interstitiu; j_0 –jocul de referinta;

- w_r –viteza unghiulara adimensionala

$$w_r = \frac{w}{w_0} \quad (10)$$

w –viteza unghiulara relativa; w_0 –viteza unghiulara de referinta

- p_{1r} –presiunea adimensionala a fluidului de etansat

$$p_{1r} = \frac{p_1}{p_0} \quad (11)$$

p_1 –presiunea fluidului de etansat; p_0 –presiunea de referinta;

- p_{2r} –presiunea medie adimensionala a fluidului din camere

$$p_{2r} = \frac{P_{2med}}{p_0} \quad (12)$$

P_{2med} –presiunea medie din camere

- p_{3r} –presiunea adimensionala a fluidului la iesirea din etansare;

$$p_{3r} = \frac{p_3}{p_0} \quad (13)$$

p_3 – presiunea fluidului la iesirea din etansare;

- p_{ir} – presiunea fluidului generata de forte centrifuge;

$$p_{ir} = \frac{\Delta p_{i0}}{p_0} = \frac{0.5 r w_0^2 (r_3^2 - r_2^2)}{p_0} \quad (14)$$

r – densitatea fluidului;

- c_{10} – conductibilitatea de referinta a interstitiului S_1 ;

$$c_{10} = \frac{a(r_2 - 0.5b_1)j_0^3}{12h_1} \quad (15)$$

- c_{20} – conductibilitatea de referinta a interstitiului S_2

$$c_{20} = \frac{a(r_2 + 0.5b_1)j_0^3}{12h_2} \quad (16)$$

- $c_{30} = \frac{2V}{E_1 \cdot t_0}$, V – volumul camerelor de pe inelul stator; E_1 – modulul de compresiune; t_0 – timpul de referinta.

- $a_{13} = \frac{c_{10}}{c_{30}}$; $a_{23} = \frac{c_{20}}{c_{30}}$; $C = \frac{c_{10} + c_{20}}{c_{30}}$;

Dupa introducerea presiunii medii adimensionale (8) în relatia (7), obtinem:

$$\varphi_a = p_{1r} \left(0.5 \frac{S_1}{S} + \frac{1 + \alpha_{13} \frac{j_r^3}{\omega_r}}{1 + C \frac{j_r^3}{\omega_r}} \right) + p_{3r} \left(0.5 \frac{S_2}{S} + \frac{\alpha_{23} \frac{j_r^3}{\omega_r}}{1 + C \frac{j_r^3}{\omega_r}} \right) + p_{ir} \frac{\omega_r^2}{1 + C \frac{j_r^3}{\omega_r}} \quad (18)$$

Pentru determinarea caracteristicii statice a sistemului de etansare scriem ecuatia de echilibru a fortelor care actioneaza asupra statorului luând în considerare urmatoarele forte (fig. 4):

- forta data de presiunea fluidului

$$F_p = F_a - p_1 S_5 \quad (19)$$

- forta data de element elastic

$$F_e = k \cdot D \quad (20)$$

Pentru echilibru trebuie ca :

$$F_p = F_e \text{ sau } F_a - p_1 S_5 = k \cdot D \quad (21)$$

Suprafata S_5 a statorului, conform figurii 3, este:

$$S_5 = \pi(r_4^2 - r_1^2) \quad (22)$$

Conditia de echilibru (21) sub forma adimensionala este:

$$\varphi = \chi \quad (23)$$

$$\text{unde, } \varphi = \frac{F_p}{S p_0} = \frac{F_a}{S p_0} - \frac{p_1 S_5}{p_0 S} = \varphi_a - p_{1r} \frac{S_5}{S} \quad (24)$$

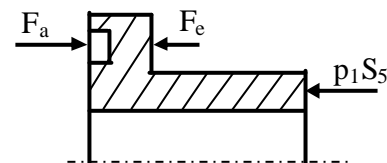


Fig.4 Sistemul de forte care actioneaza asupra statorului

$$\chi = \frac{F_e}{Sp_0} = \frac{kD}{Sp_0} \quad (25)$$

Ecuatia (23) devine:
$$\varphi_a - p_{1r} \frac{S_5}{S} = \frac{kD}{Sp_0} \quad (26)$$

Daca în relatia (24) introducem φ_a dat de relatia (7) obtinem:

$$\varphi = -\left(\frac{S_5 - 0.5S_1}{S}\right)p_{1r} + p_{2r} + p_{3r} \frac{0.5S_2}{S} \quad (27)$$

Facem urmatoarele notatii:

$$s_1 = \frac{S_5 - 0.5S_1}{S}; s_2 = \frac{0.5S_2}{S} \quad (28)$$

Cu aceste notatii, relatia (25) devine:

$$\varphi = -\sigma_1 p_{1r} + p_{2r} + \sigma_2 p_{3r} \quad (29)$$

Relatia (24) dupa înlocuirea lui φ_a dat de relatia (7) devine :

$$\varphi = 0.5 p_{1r} \frac{S_1}{S} + \frac{p_{1r} + p_{1r} \alpha_{13} \frac{j_r^3}{\omega_r}}{1 + C \frac{j_r^3}{\omega_r}} + \frac{p_{3r} \alpha_{23} \frac{j_r^3}{\omega_r}}{1 + C \frac{j_r^3}{\omega_r}} + \frac{p_{ir} \omega_r^2}{1 + C \frac{j_r^3}{\omega_r}} + 0.5 p_{3r} \frac{S_2}{S} - p_{1r} \frac{S_5}{S} \quad (30)$$

Rigiditatea statica a etansarii frontale exterioare cu impulsuri este:

$$k_s = \frac{\partial \varphi}{\partial j_r} = -3 \frac{\alpha_{23} \frac{j_r^3}{\omega_r}}{\left(1 + C \frac{j_r^3}{\omega_r}\right)^2} [p_{1r} - p_{3r} + p_{ir} \omega_r^2 (1 + \alpha_{12})] \quad (31)$$

unde:
$$a_{12} = \frac{c_{10}}{c_{20}} \quad (32)$$

Conditia stabilitatii statice este:

$$p_{1r} - p_{3r} + p_{ir} \omega_r^2 (1 + \alpha_{12}) > 0 \quad (33)$$

sau,
$$p_{1r} + p_{ir} \omega_r^2 (1 + a_{12}) > p_{3r} \quad (34)$$

În general, presiunea fluidului la iesirea din zona de etansare este cu mult mai mica decât presiunea fluidului de etansat, si conditia de stabilitate este îndeplinita.

4. Determinarea înaltimei interstitiului de etansare

Din conditia de echilibru (23) sub forma adimensionala a elementului deplasabil axial, obtinem jocul relativ din interstitiu .

Relatia (7) dupa înlocuirea presiunii medii adimensionale data de relatia (8) devine:

$$\varphi = -\sigma_1 p_{1r} + \frac{p_{1r} \left(1 + \alpha_{13} \cdot \frac{j_r^3}{\omega_r}\right) + p_{3r} \alpha_{23} \cdot \frac{j_r^3}{\omega_r} + p_{ir} \omega_r^2}{1 + C \cdot \frac{j_r^3}{\omega_r}} + \sigma_2 p_{3r} \quad (35)$$

Din egalitatea relatiei (35) cu forta elastica adimensionala, conform relatiei (23), se obtine înaltimea adimensionala a interstitiului de etansare:

$$j_r = \left[\frac{\omega_r p_{1r} (1 - \sigma_1) + p_{3r} \sigma_2 + p_{1r} \omega_r^2 - \chi}{C \chi + p_{1r} (\sigma_1 - C_1) - p_{3r} (\sigma_2 - C_2)} \right]^{1/3} \quad (36)$$

unde:

$$C_1 = \frac{c_{10}}{c_{10} + c_{20}}; \quad C_2 = \frac{c_{20}}{c_{10} + c_{20}} \quad (37)$$

Odata cu cresterea presiunii de etansare si a turatiei, jocul frontal se maresc iar cu cresterea fortei data de elementul elastic, jocul frontal se micsoareaza. Deoarece jocul nu poate fi negativ, exista doua zone de lucru a etansarii, care se determina pe baza urmatoarelor inegalitati:

$$\left\{ \frac{\chi - p_{3r} (\sigma_2 - C_2)}{C_1 - \sigma_1} \right\} < p_{1r} < \left\{ \frac{\chi - p_{10} \omega_r^2 - p_{3r} \sigma_2}{1 - \sigma_1} \right\} \quad (38)$$

sau

$$\left\{ \frac{\chi - p_{3r} (\sigma_2 - C_2)}{C_1 - \sigma_1} \right\} > p_{1r} > \left\{ \frac{\chi - p_{10} \omega_r^2 - p_{3r} \sigma_2}{1 - \sigma_1} \right\} \quad (39)$$

În afara acestor limite, etansarea sau se închide ($j_r = 0$) sau se deschide ($j_r = \infty$). Parametrii geometrici ai etansarii trebuie alesi astfel încât tot domeniul de variatie în procesul de lucru a presiunii de etansare sa se încadreze în una din limitele de mai sus. În practica, cel mai bine de variat este parametrul s_1 , modificând suprafata S_5 .

5. Debitul de pierderi datorat efectului hidrostatic la etansarea frontala cu impulsuri

Se pleaca de la conditia de continuitate a volumelor de lichid care intra respectiv care ies din camere în perioada $t=2p/?i$, (i -numarul canalelor de aductie de pe rotor):

$$Q_1(t - t_c) + Q_3 t_c = Q_2 t, \quad (40)$$

unde cu Q_1 si Q_2 am notat debitele prin interstitiile S_1 si S_2 , care corespund sectorului inelar caracterizat de unghiul α si timpul t , adica timpul de parcurgere a unghiului dintre doua canale de aductie iar cu Q_3 debitul determinat de comprimarea lichidului în camere la cresterea presiunii de la $p_{2 \min}$ la $p_{2 \max}$ în timpul t_c , adica timpul în care camerele comunica cu spatiul de etansat prin canalele de aductie.

Din relatia (40) se determina debitul de scurgere din etansare Q_2 .

Debitul Q_1 se determina pornind de curgerea laminara prin interstitiucul relatia [1]:

$$Q = \frac{bh^3}{12\eta} \frac{p' - p''}{l} \quad (41)$$

unde h este vâscozitatea dinamica a fluidului iar $(p' - p'')$ este gradientul de presiune.

Astfel exprimând b si h , conform figurii 3, obtinem:

$$Q_1 = \frac{a(r_2 - 0.5b_1)j^3}{12hl_1} (p_1 - p_{2med}) = c_1(p_1 - p_{2med}) \quad (42)$$

Unde, c_1 este conductibilitatea interstitiului S_1 :

$$c_1 = \frac{a(r_2 - 0.5b_1)j^3}{12hl_1} \quad (43)$$

Legatura dintre conductibilitatea interstitiului S_1 si conductibilitatea de referinta definita de relatia (15) este:

$$c_1 = c_{10} j_r^3 \quad (44)$$

Debitul Q_3 dat de comprimarea fluidului în camere se poate determina cu relatia [1]:

$$Q_3 = \frac{V}{E_l} \frac{p_{2 \max} - p_{2 \min}}{t_c} \quad (45)$$

Acceptând o variatie liniara a presiunii p_2 în timpul t_c , putem scrie:

$$Q_3 = \frac{V}{E_l} \cdot \frac{p_{2 \max} - 2p_{2 \text{ med}} + p_{2 \min}}{t_c} = 2 \frac{V}{E_l} \cdot \frac{p_{2 \max} - p_{2 \text{ med}}}{t_c} \quad (46)$$

Astfel, tinând seama ca, presiunea maxima din camere este egala cu suma dintre presiunea fluidului de etansat si presiunea generata de forte centrifuge,

$$p_{2 \max} = p_1 + \omega_r^2 \Delta p_{i0}; \Delta p_{i0} = 0.5 r \omega_0^2 (r_2^2 - r_1^2) \quad (47)$$

din relatia (40), dupa înlocuirea explicita a debitelor date de relatiile (42) si (45) se determina debitul de scurgere a fluidului din etansare:

$$Q_2 = c_1 (p_1 - p_{2 \text{ med}}) + \frac{2V}{E_l \cdot t} (p_1 + \omega_r^2 \Delta p_{i0} - p_{2 \text{ med}}) \quad (48)$$

Daca notam $\frac{2V}{E_l \cdot t} = c_{30}$ si timpul de referinta de parcurgere a unghiului dintre doua canale

$t_o = \frac{2\pi}{\omega_0 i}$ se poate exprima c_3 astfel:

$$c_3 = \frac{2V}{E_l t_o} \frac{\omega}{\omega_0} = c_{30} \omega_r \quad (49)$$

Tinând seama de presiunile adimensionale si de relatiile (15), (16), (49), debitul de pierderi dat de relatia (48) poate fi scris sub forma adimensionala astfel:

$$Q_{2r} = \frac{Q_2}{c_{20} p_0} = (c_{10} j_r^3 + c_{30} \omega_r) \frac{1}{c_{20}} (p_{1r} - p_{2r}) + c_{30} \omega_r^3 \frac{\Delta p_{i0}}{p_0} \quad (50)$$

Daca tinem seama de presiunea medie adimensionala p_{2r} definita de relatia (8) relatia

(50) devine:

$$Q_{2r} = (c_{10} j_r^3 + c_{30} \omega_r) j_r^3 \frac{(p_{1r} - p_{3r})}{\omega_r c_{30} + (c_{10} + c_{20}) j_r^3} + p_{ir} j_r^3 \frac{\omega_r^2}{1 + C \frac{j_r^3}{\omega_r}} \quad (51)$$

BIBLIOGRAFIE

- [1] Pustan, M., - Modelul matematic al etansarii frontale cu impulsuri. Simularea pe calculator. Referat 2. Cluj-Napoca 2002;
 [2] Pustan, M., Étanchement frontal extérieur aux impulsions. Le calcul de la force axiale d'ouverture de l'interface d'étanchement ; Simpozionul international VAREHD 12, CD_ISBN 973-666-119-9, Suceava 2004.