

## Modelarea procesului de ardere la cazane termoenergetice

Prof.dr.ing. Mihai TERTIȘCO, conf.dr.ing. Alexandru TERTIȘCO, prep.ing. Ciprian LUPU  
Facultatea Automatică și Calculatoare, Universitatea Politehnica București

*Lucrarea se referă la conducerea cu ajutorul calculatorului a cazanelor termoenergetice de intervenție, care deservesc în caz de avarie, Uzina de Apă Grea de la Drobeta Turnu Severin. Pornirea cazanului în caz de avarie presupune parcurgerea a trei faze tehnologice: aprinderea, aducerea la parametri nominali și cuplarea la bara de alimentare a consumatorilor. Lucrarea de față propune algoritmi de conducere destinați etapei de aducere la parametri nominali a cazanului cât și etapei de funcționare în sarcină.*

**Cuvinte cheie:** modelare, proces de ardere, cazane termoenergetice, lege de comandă.

### Legea de comandă a procesului de ardere

Prin lege de comandă se înțelege modul în care trebuie modificat în timp debitul de păcură  $D_p$  astfel încât sarcina termică a cazanului  $Q(t)$  să fie ridicată de la o valoare dată  $Q_i^T$  la momentul  $t=0$ , la  $Q_f^T$  în aproximativ 0.5 ore. Sarcina termică trebuie crescută treptat astfel încât viteza de variație a temperaturii în tambur să nu depășească 3-5 [ $^{\circ}\text{C}/\text{minut}$ ].

Sarcina la care trebuie încărcat cazanul este determinată de debitul de abur evacuat spre consumator la finele perioadei de încărcare  $Da_f = 42$  [ t/h ] căreia îi corespunde sarcina termică;

$$Q_f^T = (h - h_a) Da_f \text{ [Gcal/h]} \quad (1)$$

în care  $h$  este entalpia aburului livrat iar  $h_a$  este entalpia apei de alimentare. Sarcina termică se asigură prin arderea unui debit de păcură corespunzător:

$$Dp_f = \frac{Q_f^T + \text{pierderi}}{\gamma_p} \quad (2)$$

în care  $\gamma_p$  reprezintă puterea calorică medie a păcurii folosite drept combustibil, iar pierderile sunt datorate fie arderii incomplete a păcurii în focar, fie căldurii cedate în exterior prin intermediul gazelor de ardere evacuate în atmosferă.

### Modelul legii de comandă în trepte a debitului de combustibil

Legea de comandă folosită în prezent și recomandată de proiectant, constă în creșterea treptată a sarcinii cazanului până la  $Da_f$

= 42 [ t/h ], prin modificarea debitului de păcură în trepte de amplitudine constantă,  $Dp_0$  până la  $Dp_f$ . Apariția unei noi trepte are loc la un interval de timp  $t_0$ :

$$t_0 = \frac{0.5}{n+1} \text{ [ore]} \quad (3)$$

în care  $(n+1)$  este numărul de trepte de amplitudine  $D_0$  în care se ajunge de la  $Dp_i$  la  $Dp_f$ . Folosind notația consacrată pentru treapta unitară,

$$1(t) = \begin{cases} 0, & t < 0 \\ 1, & t \geq 0 \end{cases}$$

respectiv, pentru treapta cu apariție întârziată cu  $t_0$ :

$$1(t-t_0) = \begin{cases} 0, & t < t_0 \\ 1, & t \geq t_0 \end{cases}$$

se poate scrie legea de comandă în trepte sub forma:

$$\begin{aligned} D_p(t) &= D_0 [1(t) + 1(t-t_0) + 1(t-2t_0) + \dots \\ &\quad + 1(t-nt_0)] = \\ &= D_0 \sum_{i=0}^n 1(t-it_0) \end{aligned} \quad (4)$$

Legea de comandă (4) are trei parametri  $D_0$ ,  $t_0$  și  $n$  care trebuie calculați astfel încât să asigure în acest interval respectarea restricției impuse vitezei de creștere a temperaturii  $\theta$  în tambur:

$$\frac{d\theta}{dt} \leq (3-5) \text{ [}^{\circ}\text{C}/\text{minut]} \quad (5)$$

### Observație:

Se remarcă faptul că în cele de mai sus s-a făcut o ipoteză simplificatoare foarte dură și anume, că presiunea  $p$  în bară, rămâne

aproximativ constantă la valoarea impusa  $p^*$ . Acest fapt va avea loc numai dacă, simultan cu mărirea în trepte a debitului de combustibil va fi deschis, tot în trepte, ventilul de eşapare, astfel ca sarcina termică să se modifice (în trepte), asigurându-se echilibrul termic. Conform relației (1) de mai sus avem:

$$D_p v = Q_r = (h - h_a) D_a + pierderi \quad (6)$$

în care  $D_a$  este debitul de abur evacuat din bară prin ventilul de eşapare. Dilema introdusă de aceasta observație, având în vedere că ventilul de eşapare este manevrat manual, va fi rezolvată mai jos în cazul legii de comandă a arderii în funcție de debitul de abur furnizat de cazan la funcționarea în paralel pe bară.

### Determinarea experimentală a amplitudinii treptei debitului de combustibil

Vom aborda această problemă ținând cont de viteza admisibilă de creștere a temperaturii în tambur. Pentru evitarea apariției supratensiunilor mecanice și fisurilor, proiectantul recomandă un gradient de temperatură care nu trebuie depășit.

Viteza maximă de creștere a temperaturii în tambur, ca răspuns la o treaptă de combustibil de amplitudine  $D_0$  fixă, depinde numai de constantele fizice ale cazanului (masa metalică, coeficienții de transfer de caldura, gabaritul fizic etc). Prin urmare, la o treaptă de combustibil dată  $D_0$ , viteza maximă de creștere a temperaturii în tambur este o constantă specifică a cazanului. Sintetic aceasta se reflectă în constantele:

- $K^*$  - factorul de amplificare pe canalul debit păcură - temperatură tabur;
- $t^*m$  - timpul mort echivalent pe canalul debit păcură - temperatură tabur;
- $\tau^*$  - constanta de timp (principală) echivalentă.

Parametrii cazanului pot fi determinați din răspunsul indiceal experimental al cazanului pe canalul debit combustibil - temperatură tambur, aproximat acoperitor prin:

$$\theta(t) = \begin{cases} 0 & , t < tm \\ K(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) & , t \geq tm \end{cases} \quad (7)$$

Din (7) rezultă că la  $t=tm$  se va obține valoarea maximă a vitezei de variație a temperaturii în cazul unei trepte unitare:

$$\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_{\max} = \left(\frac{d\theta}{dt}\right)_{t=tm} = \frac{K^*}{\tau^*} \quad (8)$$

În cazul unei trepte de amplitudine  $D_0 \neq 1$  avem:

$$\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_{\max} = \frac{K^*}{\tau^*} D_0 \quad (9)$$

Fiind impusă viteza limită de creștere

$$\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_{\max} \leq 3 \left[ ^\circ\text{C} / \text{minut} \right] \quad (10)$$

și având constantele dinamice ale cazanului obținute experimental ( $K^*$ ,  $t^*m$ ,  $\tau^*$ ) se poate calcula amplitudinea unei trepte de creștere a debitului de combustibil:

$$D_0 = \frac{3\tau^*}{K^*} \left[ t / \text{ora} \right] \quad (11)$$

în care:

- $K^*$  - factorul de amplificare în  $^\circ\text{C}/(t/\text{ora})$ ;
- $\tau^*$  - constanta de timp în ore.

### Calculul parametrilor modelului

Procedura următoare de conducere se referă la cazul în care este cunoscută în prealabil  $Q_r^T$  - la care trebuie încărcat cazanul (42 t/h) într-un interval de timp fix ( $t_f=0.5$  ore) și  $Q_i^T$  - sarcina de la care se pornește. Din relația (1) se poate calcula numărul de trepte:

$$n = \frac{Q_r^T - Q_i^T}{vD_0} \quad (12)$$

în care  $D_0$  este amplitudinea admisibilă a treptei calculate cu relația (11).

Pentru  $t_0$  se poate scrie o relație foarte simplă, dat fiind faptul ca  $t_f=0.5$  ore este dat:

$$t_0 = \frac{t_f}{n} \quad (13)$$

Este de dorit ca  $t_0$  să fie corelat cu timpul de răspuns aproximat prin  $tm+3\tau$ , având o restricție neobligatorie, dar util de verificat:

$$t_0 \geq tm + 3\tau \quad (14)$$

Restricția (14) ne asigură că procesul tranzitoriu s-a încheiat practic înainte de

aparitia următoarei trepte. Neîndeplinirea condiției (14) duce la modificarea condițiilor inițiale pentru răspunsurile următoare, influențând panta într-o oarecare măsură.

### Legea de comandă a arderii pentru cazul sarcinii aleatoare

Legea de comandă (1) pentru procesul încărcării forțate poate fi folosit și la încărcarea cazanului, în vederea acoperirii debitului de abur  $\Delta Da_f$  comunicat de dispecer la cuplarea în bară. Această lege nu poate fi folosită pentru conducerea procesului de ardere la funcționarea în paralel când cazanul trebuie să acopere doar variațiile aleatoare ale consumului din bară, menținând constantă presiunea în bară când sarcina variază aleator și nu poate fi cunoscută anterior ci numai prin măsurare directă. Metoda propusă se bazează pe ecuația de bilanț termic în regim dinamic:

$$A \frac{dp(t)}{dt} = Q^r(t) - (h - h_a) Da(t) \quad (15)$$

în care  $p(t)$  este presiunea în tambur iar restul notațiilor au semnificația din (1).

Măsurarea presiunii în tambur  $p(t)$  și a debitului de abur  $Da(t)$ , furnizat permite calculul sarcinii dinamice,

$$D_Q(t) = Q^r(t) / (h - h_a) \quad (16)$$

Folosind (15) avem:

$$D_Q(t) = Da(t) + c \frac{dp(t)}{dt} \quad (17)$$

în care  $c = \frac{A}{h - h_a}$  este coeficientul de capacitate.

Relația permite o comandă în avans pentru compensarea viitoarei modificări a cantității de abur provocată de variația presiunii din tambur.

Sarcina dinamică  $D_Q$  stă la baza evaluării debitului de păcură injectat în focar.

### Concluzii

În această lucrare, autorii au prezentat câteva rezultate utile conducerii cu ajutorul calculatorului a cazanelor termoenergetice de intervenție, care deservesc în caz de avarie, Uzina de Apă Grea de la Drobeta Turnu Severin.

S-au propus algoritmi de conducere destinați etapei de aducere la parametrii nominali a cazanului, astfel fiind deduse legile de comandă care respectă restricțiile impuse de constructorul cazanului în ceea ce privește gradientul de temperatură.

### Bibliografie

- [1] Terțișco M., Popescu D., *Automatizări industriale*, Ed. Didactică, 1991
- [2] Popescu D., Terțișco Al., *Identificare și comandă pentru aplicații în timp real*, U.P.B., 1995
- [3] *Identificare și Comandă în Sisteme de Reglare Numerică*, D.Popescu, Al. Terțișco, ș.a. București U.P.B. 1994.
- [4] \*\*\*, *Cazanul de 105 t/h abur - Specificații tehnice*