

## SISTEM EXPERT PENTRU AUTOACORDAREA OPTIMALĂ A BUCLELOR DE REGLARE AUTOMATE

dr. ing. Mircea Andrei  
dr. ing. Mihaela M. Oprea

Universitatea Petrol-Gaze Ploiești

**Rezumat:** Lucrarea descrie sistemul expert prototip, *Expert\_AT*, destinat autoacordării optimale a buclelor de reglare automate, sistem dezvoltat în cadrul grantului CNCISIS A<sub>T</sub> cod 221/2001.

**Cuvinte cheie:** sistem expert, autoacordare optimală, buclă de reglare automată.

### 1. Introducere

Problema acordării optimale a unei bucle de reglare automată s-a pus întotdeauna, indiferent de metoda de reglare și de tipul regulatorului. Ca urmare, de-a lungul timpului s-au dezvoltat o serie de algoritmi și metode de acordare optimală, începând cu metode experimentale și sfârșind cu algoritmi de autoacordare oferiiți ca funcții implicate ale reglatoarelor numerice [1], [2], [3], [4].

Aplicarea tehnologiei sistemelor bazate pe cunoștințe în domeniul sistemelor automate la nivelul buclelor de reglare reprezintă o soluție care a fost cercetată în ultimii ani și care a condus la o serie de implementări în cadrul sistemelor de timp real [5].

Metoda de autoacordare optimală, care este descrisă în lucrare, prezintă două particularități care se pot constitui în tot atâtea avantaje: (1) presupune utilizarea cunoștințelor unui expert uman în domeniu, oferind astfel accesul la metode și euristici concrete, la un nivel profesional foarte înalt; (2) se bazează pe raționamente deductiv-inductive, asemănătoare sistemului uman de selectare și de interpretare a cunoștințelor, ceea ce îi oferă o mare independență față de proces, precum și capacități de autoînvățare.

Sistemul prototip *EXPERT\_AT*, care este prezentat în lucrare, a fost dezvoltat în cadrul grantului CNCISIS A<sub>T</sub> cod 221/2001 și a fost testat în regim de simulare, urmând ca în anul II de desfășurare a proiectului să fie testat în regim de timp real.

Structurarea lucrării este următoarea. În secțiunea a 2a este prezentată simularea funcționării unui sistem de reglare automată a temperaturii la un cuptor tubular. Sistemul expert prototip *Expert\_AT* este descris în secțiunea a 3a, iar în secțiunea a 4a sunt prezentate rezultatele experimentale obținute. Concluziile desprinse sunt evidențiate în ultima secțiune.

### 2. Simularea funcționării unui sistem de reglare automată

Simularea funcționării unui sistem de reglare automată s-a impus ca o necesitate, deoarece în acest fel este posibilă studierea în amănunt a comportării sistemului expert prototip. În acest scop, a fost ales pentru simulare un sistem de reglare automată a temperaturii la un cuptor tubular (SRA-T), prezentat în figura 1.

Cuptorul tubular este o instalație tipică dintr-o rafinărie de petrol, cu rolul de a încălzi țițeiul brut de la temperatura atmosferică până la o temperatură care să facă posibilă distilarea lui primară (cca. 350°C). Acest proces presupune vehicularea prin cuptor a unui debit mare de produs care este încălzit prin arderea unei cantități foarte mari de combustibil.

Procesul reglării temperaturii produsului la ieșirea cuptorului tubular este un proces lent, caracterizat printr-o evoluție dinamică, de ordin superior, cu timp mort.

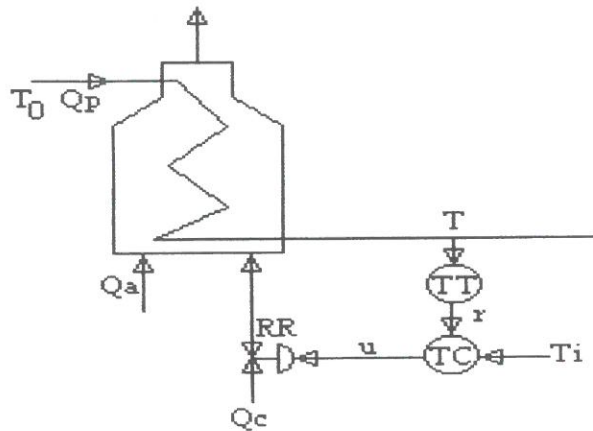


Figura 1 Sistemul de reglare automată a temperaturii asociat unui cuptor tubular

TT – traductor de temperatură, TC – regulator de temperatură, RR – Robinet de reglare, r – semnal de reacție,  $T_1$  – semnal de referință, u – semnal de comandă, Qc – debit de combustibil, Qa – debit de aer,  $T_0$  – temperatura produsului la intrarea în cuptor, Qp – debitul de produs care trece prin cuptor.

Funcționarea SRA-T prezentat în figura 1 este specifică tuturor sistemelor de reglare automată, care acționează după abatere și poate fi sintetizată după cum urmează: pe baza reacției provenite din proces, prin intermediul traductorului și al prescrierii stabilite de către operatorul uman, regulatorul TC elaborează și emite o comandă către robinetul de reglare, prin intermediul căruia se modifică debitul de combustibil utilizat pentru încălzirea produsului. Prin aceste operații se realizează menținerea temperaturii produsului la ieșirea din cuptor la o valoare egală sau cât mai apropiată de cea prescrisă.

## 2.1. Modelul matematic dinamic al SRA-T

Sistemul de reglare automată, descris în paragraful anterior are următorul model matematic:

$$\text{Proces} \begin{cases} a_{12} \cdot \ddot{T}_1 + a_{11} \cdot \dot{T}_1 + T_1 = bp \cdot Qc(t - \tau_1) \\ a_{21} \cdot \dot{T}_2 + T_2 = bpp \cdot Qp(t - \tau_2) \\ T = T_1 + T_2 \end{cases}$$

$$\text{TT: } a_t \dot{r} + r = bt \cdot T$$

$$\text{TT: } a_t \dot{i} + i = b_t \cdot T_i$$

$$\text{RR: } a_E \cdot \dot{Qc} + Qc = b_E \cdot u$$

$$\text{TC: } u = u_0 + kp \cdot e + \frac{1}{Ti} \int edt + Td \frac{de}{dt}$$

unde,

$$\left. \begin{array}{l} a_{11} = 1 \text{ min} \\ a_{21} = 4 \text{ min} \\ a_{12} = 6 \text{ min} \end{array} \right\} \text{constante de timp din proces}$$

$b_p = 15^\circ C / (m_N^3 / m)$  constantă de proporționalitate pe canalul Qc

$b_{pp} = -30^\circ C / (m_N^3)$  constantă de proporționalitate pe canalul Qp

$\tau_1 = 0, \tau_2 = 0$

$a_t = 0, b_t = \frac{16}{500} m_A$  constante de proporționalitate ale traductorului

$a_E = 0, b_E = \frac{2400}{16} m_N^3 / (h \cdot mA) = \frac{40}{16} m_N^3 / (\min \cdot mA)$  constante de proporționalitate ale elementului de execuție

Pe canalul elementului de execuție, procesul este de ordinul II, în timp ce pe canalul perturbației este de ordinul I. Regulatorul este de tip PID, constantele de acordare fiind ajustabile în limitele:

$0.1 \leq P \leq 1000;$

$0.1 \leq T_i \leq 10000;$

$0 \leq T_d \leq 2000.$

Modelul matematic dinamic este prevăzut cu constante de timp mort,  $\tau_1$  și  $\tau_2$ , care, în simularea pe care am realizat-o, au fost neglijate. Luarea în considerare a timpului mort este o problemă de cercetare viitoare. Simularea SRA are la bază integrarea ecuațiilor ce constituie modelul matematic dinamic, utilizând algoritmul Runge-Kutta de ordinul IV pentru sisteme de ecuații diferențiale, utilizându-se un pas de integrare  $h=0,5$  minute.

### 3. Sistemul prototip *EXPERT\_AT*

Schema bloc a sistemului de autoacordare optimală, bazat pe sistem expert, este prezentată în figura 2. Sistemul prototip *EXPERT\_AT* cuprinde o bază de cunoștințe, un motor de inferențe deductiv-inductiv, o interfață cu procesul (simulat), o interfață cu operatorul uman și un modul de achiziție a cunoștințelor [6]. Arhitectura sistemului expert prototip este descrisă în figura 3. Fluxul informațional, asociat proceselor desfășurate la nivelul sistemului *EXPERT\_AT* este astfel configurat încât ușureze schimbul de informații între diferitele task-uri ale sistemului.

#### Legenda

MI-motor de inferența

BC-baza de cunoștințe

BF-baza de fapte

SAC-sistem de achiziție a datelor și calcul

$K_p, T_i, T_d$  - parametri de acordare ai regulatorului

i - semnal de referință

r - semnal de reacție

u - comanda

y - marime reglata

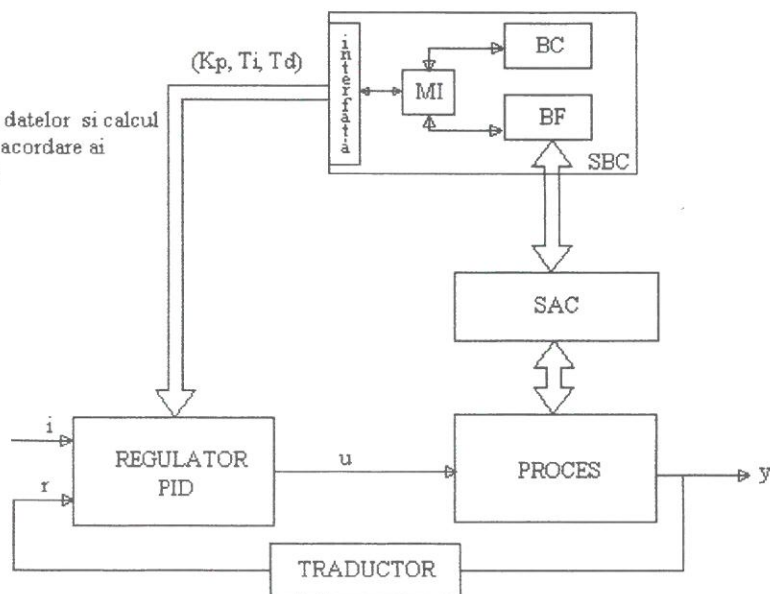


Figura 2 Schema bloc a sistemului de autoacordare optimală

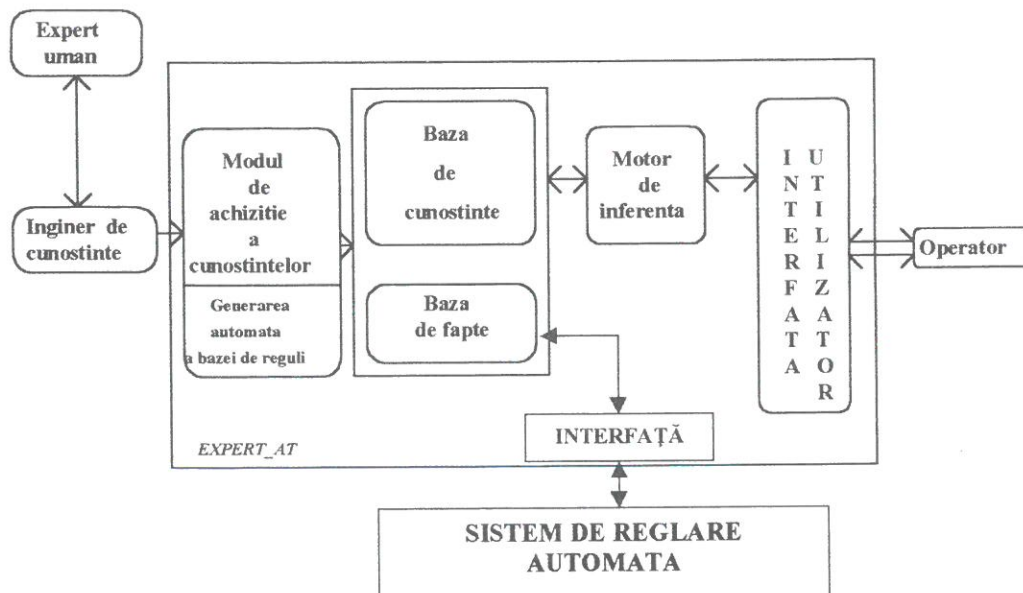


Figura 3 Arhitectura sistemului bazat pe cunoștințe

Ansamblul *Motor de Inferență - Bază de Cunoștințe* constituie nucleul central al sistemului *EXPERT\_AT*. Această structură are ca sarcină efectuarea raționamentelor ce conduc la aflarea parametrilor optimi. Asemenea expertului uman, sistemul *EXPERT\_AT* analizează starea curentă a sistemului de reglare automată și, în funcție de regulile și euristicile cunoscute, elaborează soluții pentru îmbunătățirea calității procesului de reglare automată, prin modificarea parametrilor de acordare ai regulatorului. Datele primare necesare sunt achiziționate din modulul care simulează sistemul de reglare automată. Acestea aduc informații despre următorii parametri: eroare staționară, eroare dinamică maximă, durata regimului tranzitoriu, durata timpului mort, nivelul oscilațiilor mărimii reglate, raportul de amortizare, parametrii de acordare curenți ai regulatorului.

Pornind de la informațiile respective, sistemul propune modificarea parametrilor de acordare, astfel încât calitatea procesului de reglare automată să fie îmbunătățită. Înainte de aplicarea efectivă a valorilor propuse, sistemul face o testare a funcționării SRA. Dacă modificările în dinamica SRA sunt în sensul îmbunătățirii calității procesului de reglare automată, acestea se validează (se consideră a fi optime în condițiile de funcționare curente) și sunt transferate ca valori curente regulatorului. Dacă această condiție nu este îndeplinită, sistemul revine la ultimele valori istoric optime. De asemenea, în momentul în care noii parametri sunt validați, se exportă către o bază de date istorice, toate datele semnificative legate de funcționarea SRA cu noile valori optimizate.

Programul de simulare este scris în limbajul C++ Builder și se bazează pe rezolvarea sistemului de ecuații diferențiale, reprezentat de modelul matematic dinamic al sistemului de reglare automată. În figura 4, este prezentată interfața sistemului cu operatorul uman. Aceasta ne permite modificarea parametrilor sistemului și urmărirea efectului acestora asupra procesului de reglare automată. Simulatorul oferă atât informații numerice despre valorile momentane ale diferiților parametri, cât și informații grafice privind evoluțiile în timp ale acestora.

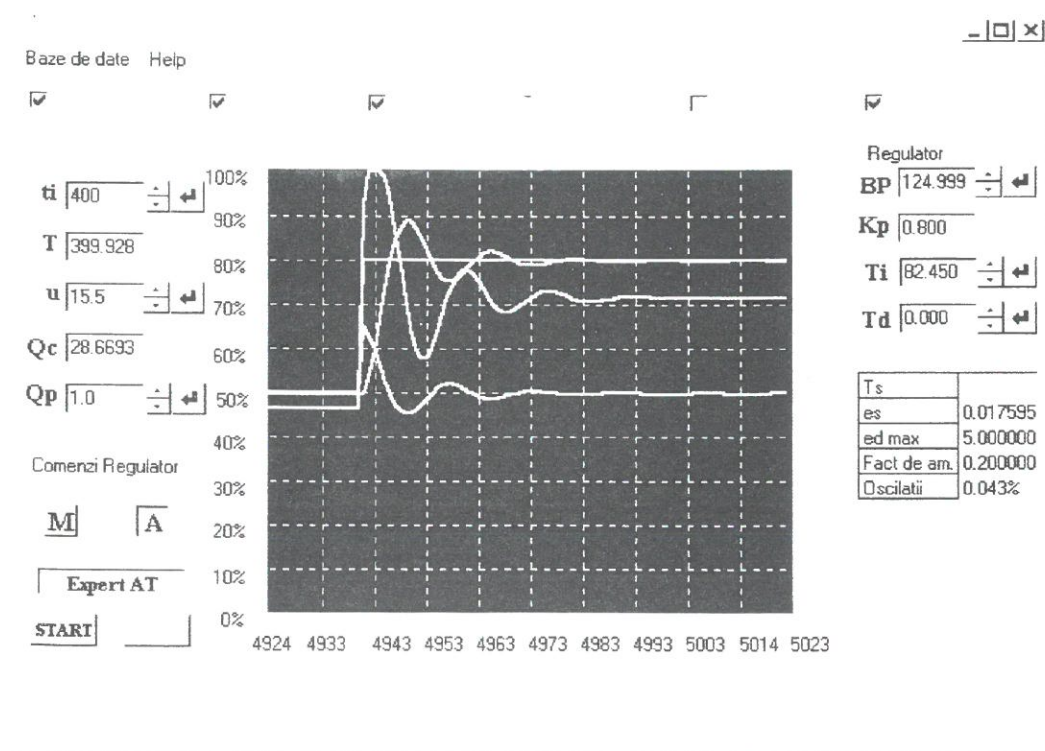


Figura 4 Interfata sistemului *Expert\_AT*

### Baza de cunoștințe

Cunoștințele preluate de la experții umani au fost structurate sub formă de reguli (care includ și cunoștințe euristice) într-o bază de cunoștințe.

În scopul generării unei baze de cunoștințe coerente, neredundante și consistente, am implementat și testat baza de cunoștințe în două moduri:

- cu ajutorul unui generator de sisteme expert (VP-Expert), care folosește reguli deductive și un mecanism de înlănțuire înapoi a regulilor (backward chaining – raționament inductiv);
- cu ajutorul unui limbaj de programare logică (Prolog), care folosește reguli inductive și un mecanism inductiv pentru raționamente.

Baza de reguli include regulile care permit modificarea parametrilor de acordare în funcție de valorile mărimilor măsurate (eroarea staționară, eroarea dinamică maximă, durata regimului tranzitoriu etc) sau a cunoștințelor deduse în timpul raționamentelor efectuate de motorul de inferențe (de exemplu, *stabilitatea sistemului de reglare automată* funcție de *oscilațiile mărimii reglate*).

Parametrii analizați sunt:

$es$  – eroarea staționară -  $\in [0, 100\%]$

$edm$  – eroarea dinamică maximă  $\in [0, 100\%]$

$TS$  – durata regimului tranzitoriu  $\in [1, 10000]$  secunde

*Stabilitate* – *f\_bună, bună, precară*

$TM$  – timp mort proces  $\in [0, 10000]$  – inițial 0

$TP$  – tip proces  $\in [0, 1]$  – implicit 0

$R_{am}$  – raport de amortizare  $\in [0, 3]$

$K_p, T_i, T_d$  – parametrii de acordare ai regulatorului;

Baza de reguli va conține cinci grupuri de reguli care stabilesc influența  $TS, Stabilitate, es, edm, TM$  asupra  $K_p, T_i, T_d$ .

Prezentăm, în continuare, câteva exemple de reguli.

**dacă**  $TS = f\_mare$  **atunci**

$$Kp\_TS = Kp + Kp * 80 / 100$$

$$Ti\_TS = Ti - Ti * 50 / 100$$

$$Td\_TS = Td + Td * 20 / 100;$$

**dacă**  $Stabilitate = f\_bună$  **atunci**

$$Kp\_S = Kp + Kp * 20 / 100$$

$$Ti\_S = Ti - Ti * 20 / 100$$

$$Td\_S = Td;$$

**dacă**  $ES = mare$  **atunci**

$$Kp\_ES = Kp + Kp * 30 / 100$$

$$Ti\_ES = Ti - Ti * 80 / 100$$

$$Td\_ES = Td + Td * 30 / 100;$$

**daca**  $EDM = mare$  **atunci**

$$Kp\_EDM = Kp - Kp * 50 / 100$$

$$Ti\_EDM = Ti + Ti * 5 / 100$$

$$Td\_EDM = 0;$$

Setul de cinci grupuri de reguli include cunoștințele euristice, date de expertul uman în domeniu. Modul în care variază fiecare parametru este stabilit euristic, pe baza experienței expertului uman. Cumularea influenței fiecăruia dintre cei cinci factori  $TS$ ,  $Stabilitate$ ,  $ES$ ,  $EDM$ ,  $TM$ , este stabilită de o regulă de tip euristică.

$$Kp\_O = (Kp\_TS + Kp\_S + Kp\_ES + Kp\_EDM + Kp\_TM) / 5$$

$$Ti\_O = (Ti\_TS + Ti\_S + Ti\_ES + Ti\_EDM + Ti\_TM) / 5$$

$$Td\_O = (Td\_TS + Td\_S + Td\_ES + Td\_EDM + Td\_TM) / 5$$

Un alt grup de reguli se referă la determinarea valorii simbolice a stabilității, în funcție de valoarea oscilațiilor. Valorile simbolice ale  $TS$ ,  $ES$ ,  $EDM$ ,  $TM$  sunt determinate pornind de la valorile lor numerice, această operație realizându-se cu ajutorul unui alt set de reguli, corespunzător fiecărui factor.

Alegerea parametrilor optimi din baza de date se face pe baza unei funcții euristice,  $H$ :

$$H = p_1 * T_1 + p_2 * T_2 + p_3 * T_3 + p_4 * T_4;$$

$$TS = 2400 \text{ sec}, p_1 = 0.2, p_2 = 0.2, p_3 = 0.1, p_4 = 0.5$$

Baza de reguli euristice pentru stabilirea parametrilor  $T_i$ :

$$R_1^h: \text{Dacă } es \leq es^{optim} \text{ atunci } T_1 = 0;$$

$$R_2^h: \text{Dacă } edm \leq edm^{optim} \text{ atunci } T_2 = 0;$$

$$R_3^h: \text{Dacă } Ts \leq Ts^{optim} \text{ atunci } T_3 = 0;$$

$$R_4^h: \text{Dacă } |R_{am} - 1/4| \leq |R_{am}^{optim} - 1/4| \text{ atunci } T_4 = 0;$$

$$R_{11}^h: \text{Dacă } |es - es^{optim}| < 0.2 \text{ atunci } T_1 = 1/2;$$

$$R_{21}^h: \text{Dacă } |edm - edm^{optim}| < 2 \text{ atunci } T_2 = 1/2;$$

$$R_{31}^h: \text{Dacă } |Ts - Ts^{optim}| < Ts^{optim} * 5/100 \text{ atunci } T_3 = 1/2;$$

$$R_{12}^h: \text{Dacă } es \geq es^{optim} + 0.2 \text{ atunci } T_1 = 1;$$

$$R_{22}^h: \text{Dacă } edm \geq edm^{optim} + 2 \text{ atunci } T_2 = 1;$$

$$R_{32}^h: \text{Dacă } Ts \geq Ts^{optim} + Ts^{optim} * 5/100 \text{ atunci } T_3 = 1;$$

$$R_{42}^h: \text{Dacă } |R_{am} - 1/4| > |R_{am}^{optim} - 1/4| \text{ atunci } T_4 = 1;$$

$R_5^h$ : Dacă  $h^{ct} < h^{optim}$  atunci

\* alege datele curente drept optim;

#### Motorul de inferențe

În versiunea actuală a sistemului *Expert\_AT*, motorul de inferență este cel inclus în generatorul de sisteme expert VP-Expert, care înlănțuie regulile pornind de la scopul problemei.

## 4. Rezultate experimentale

Rezultatele autoacordării realizate cu ajutorul sistemului *Expert\_AT* sunt prezentate în tabelele 1 și 2, așa cum apar ele în baza de date istorice a aplicației [7]. În timpul simulării, s-au realizat două tipuri de algoritmi de reglare: tabelul 1 conține date aferente unui algoritm PI, iar tabelul 2 conține date asociate unui algoritm de reglare PID.

Tabelul 1 – algoritm PI

| Kp   | Ti     | Td   | es   | edm  | Ts      | Oscilații | Ram  | H    |
|------|--------|------|------|------|---------|-----------|------|------|
| -    | [s]    | [s]  | [%]  | [%]  | [s]     | [%]       | -    | -    |
| 1.00 | 60.00  | 0.00 | 0.20 | 8.00 | 2400.00 | 0.02      | 0.40 | 1.00 |
| 0.64 | 113.29 | 0.00 | 0.00 | 7.20 | 2400.00 | 0.21      | 0.14 | 0.80 |
| 0.64 | 113.29 | 0.00 | 0.00 | 7.20 | 2400.00 | 0.21      | 0.14 | 0.80 |
| 1.00 | 54.60  | 0.00 | 0.01 | 7.00 | 2700.00 | 0.54      | 0.40 | 0.80 |
| 0.21 | 102.00 | 0.00 | 0.01 | 9.40 | 3600.00 | 0.77      | 0.40 | 0.80 |
| 0.64 | 124.50 | 0.00 | 0.00 | 6.60 | 2040.00 | 0.31      | 0.12 | 0.75 |
| 0.64 | 124.50 | 0.00 | 0.00 | 6.60 | 2040.00 | 0.31      | 0.12 | 0.75 |
| 2.50 | 54.60  | 0.00 | 0.00 | 2.20 | 1320.00 | 0.22      | 0.18 | 0.75 |
| 2.50 | 49.69  | 0.00 | 0.00 | 2.60 | 1320.00 | 0.34      | 0.15 | 0.75 |
| 2.50 | 45.22  | 0.00 | 0.00 | 4.00 | 1320.00 | 0.50      | 0.15 | 0.75 |
| 1.00 | 91.00  | 0.00 | 0.00 | 6.20 | 2160.00 | 0.16      | 0.13 | 0.75 |
| 1.00 | 82.81  | 0.00 | 0.00 | 7.00 | 2160.00 | 0.29      | 0.17 | 0.75 |
| 1.00 | 54.60  | 0.00 | 0.01 | 7.00 | 2700.00 | 0.55      | 0.40 | 0.30 |
| 0.80 | 75.03  | 0.00 | 0.00 | 8.00 | 2580.00 | 0.33      | 0.28 | 0.30 |
| 0.80 | 82.45  | 0.00 | 0.00 | 8.00 | 2280.00 | 0.54      | 0.22 | 0.25 |

În prima linie din fiecare tabel sunt prezentate valorile inițiale la pornirea sistemului, iar, pe ultima linie, în baza de date, sunt păstrate valorile parametrilor corespunzători celei mai bune calități a reglării automate realizate.

*Oscilații* – valoarea, în procente, a oscilațiilor mărimii reglate;

*Ram* – raport de amortizare a oscilațiilor după un semnal de intrare de tip treaptă;

*H* – valoarea unei funcții obiectiv implementată printr-o euristică. Valoarea maximă a lui H este 1, iar calitatea procesului de reglare automată este cu atât mai bună, cu cât valoarea H este mai mică.

Se poate constata faptul că sistemul a fost adus la o configurație a parametrilor de acordare, care asigură o calitate a procesului de reglare automată ce ne permite să afirmăm că autoacordarea realizată este optimă (sau cel puțin foarte aproape de optim).

În sprijinul acestei afirmații se pot observa următoarele:

- valoarea funcției obiectiv a scăzut cu 75% față de valoarea de plecare;
- raportul de amortizare este foarte aproape sau chiar egal cu  $\frac{1}{4}$ , valoare considerată ideală în literatura de specialitate;
- eroarea staționară este eliminată în totalitate;
- durata regimului tranzitoriu s-a redus în mod sensibil;
- oscilațiile se mențin la o valoare mică;
- eroarea dinamică maximă este în limite normale.

Tabelul 2 – algoritm PID

| Kp<br>- | Ti<br>[s] | Td<br>[s] | es<br>[%] | edm<br>[%] | Ts<br>[s] | Oscilatii<br>[%] | Ram<br>- | H<br>- |
|---------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|------------------|----------|--------|
| 1.000   | 60.000    | 0.000     | 0.200     | 8.000      | 2400.000  | 0.020            | 0.400    | 1.000  |
| 0.640   | 113.295   | 2.856     | 0.001     | 7.000      | 2400.000  | 0.188            | 0.143    | 0.800  |
| 2.860   | 63.700    | 12.600    | 0.002     | 1.000      | 900.000   | 0.805            | 0.000    | 0.750  |
| 2.860   | 63.700    | 12.600    | 0.002     | 1.000      | 900.000   | 0.805            | 0.000    | 0.750  |
| 2.860   | 63.700    | 12.600    | 0.002     | 1.000      | 900.000   | 0.805            | 0.000    | 0.750  |
| 3.130   | 49.500    | 12.600    | 0.000     | 1.000      | 1260.000  | 0.151            | 0.200    | 0.750  |
| 0.640   | 124.499   | 3.400     | 0.000     | 6.400      | 2040.000  | 0.278            | 0.094    | 0.750  |
| 6.003   | 57.715    | 21.000    | 0.002     | -84.800    | 1560.000  | 0.166            | 0.931    | 0.750  |
| 5.400   | 40.404    | 17.640    | 0.001     | -84.800    | 1200.000  | 0.193            | 0.930    | 0.750  |
| 1.000   | 54.600    | 0.000     | 0.006     | 7.000      | 2700.000  | 0.544            | 0.400    | 0.300  |
| 2.000   | 45.500    | 8.400     | 0.002     | 4.200      | 1680.000  | 0.296            | 0.238    | 0.250  |
| 4.860   | 28.280    | 14.818    | 0.003     | 0.800      | 1260.000  | 0.349            | 0.250    | 0.250  |

Comparând cele două cazuri (algoritm PI – tabelul 1 și PID – tabelul 2) se poate constata o îmbunătățire a funcționării sistemului *EXPERT-AT*, care conduce la o calitate finală mai bună a procesului de reglare automată. Totuși, se poate observa faptul că o creștere prea mare a timpului de derivare (tabel 2) conduce la valori nedorit de mari ale erorii dinamice maxime. Acest aspect va trebui să fie rezolvat în etapele viitoare de dezvoltare a sistemului.

## 5. Concluzii

Simulatorul dezvoltat a fost utilizat cu succes pentru studiul influenței parametrilor de acordare asupra dinamicii SRA, precum și pentru testarea diferitelor strategii și euristici de determinare a unor parametri de acordare, care să conducă la performanțe optime ale procesului de reglare automată. În urma colaborării Expert Automatist – Inginer de Cunoștințe, utilizând experiența practică și rezultatele simulării a rezultat o bază de cunoștințe, care, ulterior s-a dovedit coerentă și completă. Aceasta a constituit baza viitorului sistem expert și ea a fost îmbogățită ca urmare a testărilor ulterioare ale funcționării acestuia.

## Bibliografie

1. **PARASCHIV, N., V. MARINOIU, M. ANDREI:** Ingineria Reglării Automate. Îndrumar de laborator și culegere de probleme, Universitatea Petrol-Gaze Ploiești, 1996.
2. **MARINOIU, V., N. PARASCHIV:** Automatizarea proceselor chimice, Ed. Tehnică, București, 1992.
3. **GILLES, E.D., U. KNOPP:** Regelungstechnik, Scriptum zur Vorlesung, Universität Stuttgart, Institut für Systemdynamik und Regelungstechnik, 1991.
4. **\*\* \*:** Instruction Manual, Self-Tuning Control Functions Manual, Yokogawa Electric Corporation, Tokyo, Decembrie 1994.
5. **CÎRSTOIU, D.I.:** Sisteme expert, Editura All, București, 1994.
6. **OPREA, M.:** Programare logică și Sisteme expert, Ed. Universității Petrol-Gaze Ploiești, 1999.
7. **OPREA, M., M. ANDREI:** Dezvoltarea unui sistem bazat pe cunoștințe pentru acordarea optimă a buclor de reglare, Raport de Cercetare - anul I - Grant CNCSIS A<sub>T</sub> cod: 221/2001, contract nr. 69/2001, Universitatea Petrol-Gaze Ploiești, Catedra de Informatică, Ploiești, 2001.