

SIMULATOR PENTRU INVESTIGAREA STRUCTURILOR DE REGLARE AUTOMATĂ A PROCESELOR DE FRAȚIONARE

Cornel Marinescu, Gabriel Rădulescu *

KEYWORDS: dynamic model, simulation, graphical interface.

ABSTRACT: This paper presents *DIN_SIM* software tool for the dynamic simulation of a distillation column with various structures of the control loops. The model of this complex system has two sections: the column dynamic generalized model and the control structure model. The Euler implicit algorithm is used in the integration of this model, and the results of simulation are presented in an easy-to-understand form, using a graphical user interface.

1. Introducere

Dificultatea reglării procesului de fracționare, alături de complexitatea deosebită a activităților de cercetare și proiectare a structurii sistemelor de reglare automată (SRA) a coloanei impun utilizarea unor instrumente puternice de asistență care să realizeze predicții asupra comportării sistemului proiectat înainte de construcția sa efectivă.

Simularea pe calculator permite urmărirea evoluției în timp a procesului studiat, sub acțiunea unor factori interni și externi perturbatori, cu scopul de evaluare a performanțelor unei anumite structuri a dispozitivului de automatizare. De asemenea, ea se constituie într-un suport al activității de instruire a personalului instalației, creându-se posibilitatea de experimentare în condiții de deplină siguranță a diferitelor metodologii de operare.

Stadiul actual al realizărilor în domeniu impune programele de simulare orientate pe utilizarea interfețelor grafice, cu un grad ridicat de accesibilitate, destinate în egală măsură atât specialiștilor în utilizarea tehnicii de calcul cât și celor pentru care folosirea

calculatoarelor a devenit o necesitate, fără a reprezenta profesia de bază (ingineri tehnologi, personal de operare).

Autorii articolului de față propun un program - *DIN_SIM* - de simulare a coloanelor clasice de fracționare industriale (cu talere), a cărui utilizare este simplificată datorită orientării pe o singură clasă de aplicații, ce se bazează pe o reprezentare fidelă a realității: orizont de simulare infinit, posibilitatea modificării unor parametri de operare în timpul execuției programului, efectele acestor modificări fiind observate imediat după producerea lor.

Principial se pune problema elaborării unui model matematic dinamic (MMD) al coloanei, pe structura căruia urmează a fi adăugate modelele SRA asociate, și integrarea numerică a sistemului de ecuații diferențiale obținut, rezultatele fiind reprezentate sub formă grafică. În scopul unei analize comparative a performanțelor diferitelor structuri posibile ale SRA s-a căutat ca simulatorul să fie flexibil, în sensul de a permite utilizatorului modelarea cu ușurință a unei anumite structuri, fără modificări majore ale programului.

2. Modelul matematic dinamic centralizat al coloanei

În urma unor îndelungate experimentări, autorii lucrării de față au adoptat un model ce reprezintă un compromis acceptabil între precizia rezultatelor și dimensiunile rezonabile ale reprezentării matematice, implicând un timp de execuție relativ mic pentru rutina de integrare numerică.

Modelul matematic dinamic al întregii coloane se obține prin combinarea modelelor matematice asociate vârfului, talerelor intermediare și bazei coloanei, modele bazate pe ecuații de bilanț material global și pe component, ecuații de bilanț termic și ecuații de echilibru interfazic. Deoarece, din motive de spațiu, nu prezentăm aici decât o formă condensată a acestora, cititorul interesat poate consulta lucrările [3, 5, 8].

Pentru fiecare din treptele de echilibru considerate se adoptă următorii vectori de stare:

$$X_1^T = [T_c, T_{mc}, T_1, H_v, x_1], \text{ pentru vârful coloanei;}$$

$$X_j^T = [x_j, L_j, V_j, T_j], \text{ pentru talerul } j, j = 2 \dots n_{tt} - 1;$$

$$X_{n_{tt}}^T = [x_{n_{tt}}, V_{n_{tt}}, T_{n_{tt}}, H_B, T_{mr}], \text{ pentru baza coloanei.} \quad (1)$$

Dacă MMD al talerului j se scrie, uzând de aceste notații, sub forma:

$$\frac{dX_j}{dt} = f_j(x_j, L_{j-1}, V_{j-1}, \dots), \quad (2)$$

atunci, considerând vectorul generalizat de stare

$$X^T = [X_1^T, X_2^T, \dots, X_{n_{tt}}^T], \quad (3)$$

MMD al coloanei se poate scrie sub forma matriceală

$$\frac{dX}{dt} = f(X, U, P) \quad (4)$$

în care:

- $U^T = [L_1, D, QW_r, B]$ este vectorul comandă;
- $P^T = [F, x_F, h_F]$ este vectorul perturbație.

Sistemul (4) este rigid, impunându-se restricții asupra pasului de integrare pentru a se asigura stabilitatea soluției numerice; în plus, datorită dimensiunilor relativ mari, reprezentarea sa în memoria calculatorului se bazează pe faptul că matricea $f(X, U, P)$ este tip bloc-diagonală.

3. Simularea dinamicii coloanei

Pentru integrarea sistemului (4) sunt necesare condițiile inițiale X_0 (X la momentul de timp $t = 0$) care, dându-se U_0 și P_0 , se determină rezolvând sistemul de ecuații algebrice obținut din (4) prin anularea derivatei dX/dt , fiind folosită metoda matricei tridiagonale, pe larg expusă în [8].

În ceea ce privește algoritmul de integrare numerică a sistemului (4) s-a utilizat o metodă monopas de tip Euler implicită, cu pas de integrare variabil, metodă ce reprezintă un compromis convenabil între acuratețe și rapiditatea calculului, convergența soluției numerice fiind condiționată de stabilirea corectă a pasului de integrare. Concret, în condițiile unui pas de timp variabil în domeniul 2 ... 100 secunde, au fost obținute soluții numerice stabile pentru variații sub formă de treaptă date componentelor vectorilor U și P , variații care însă trebuie să fie limitate în amplitudine (corespunzător situațiilor de operare reale din industrie).

3. Regulatorul

Modelul matematic dinamic centralizat al întregii coloane reprezintă entitatea de bază a simulatorului, în fond „procesul” ce trebuie reglat, pe structura căruia va fi grefat un modul adițional - regulatorul.

Din punctul de vedere al conducerii procesului, în ipoteza unei presiuni P constante pe sistem (reglată cu debitul de agent de răcire la condensator), rămân de reglat concentrațiile produselor ($x_D = x_1$, $x_B = x_{ntt}$) și nivelurile de lichid H_V și H_B , folosind ca agenți de reglare L_1 , D , B și QW_r , perturbațiile luate în considerare fiind F , x_F și h_F .

Reglarea multivariabilă a sistemelor este abordată în prezent în două maniere: ca o extensie a reglării monovariabile și ca reglare multivariabilă propriu-zisă [1, 5], simulatorul *DIN_SIM* admitând construirea ambelor variante structurale ale SRA. În plus, pentru ca

utilizatorul să aibă posibilitatea de a studia comportarea coloanei echipate cu diferite structuri ale sistemelor de reglare automată s-a adoptat soluția parametrizării complete atât a MMD al coloanei cât și a modulului corespunzător regulatorului, existând o libertate deplină de a realiza „conexiunile“ proces - reglatoare, prin punerea în corespondență a mărimilor de intrare și ieșire ale celor două entități ale simulatorului.

4. Programul de simulare a dinamicii coloanei echipate cu SRA

Simulatorul software *DIN_SIM* a fost scris în limbaj FORTRAN, forma executabilă fiind generată cu ajutorul mediului integrat MICROSOFT FORTRAN POWERSTATION 1.0. Programul este organizat într-un modul principal care exploatează subrutine de introducere a datelor, rezolvarea modelelor matematice static și dinamic și reprezentări grafice. Caracteristica sa majoră este interactivitatea, în sensul introducerii și/sau modificării datelor de operare (referințele, comenzile manuale și parametrii de acordare a reglatoarelor, perturbațiile ce influențează sistemul) chiar în timpul execuției, de la consolă, nefiind necesară restartarea programului decât pentru schimbări structurale ale sistemului sau modificarea proprietăților amestecului supus separării.

Înainte de lansarea în execuție, utilizatorul trebuie să introducă date referitoare la geometria coloanei, parametrii de operare inițiali, caracteristicile amestecului de separat, precum și parametrii modelelor matematice asociate coloanei și structurii de reglare.

În timpul execuției simulatorul prezintă două opțiuni majore de afișare a informațiilor: modul GRAFIC, în care utilizatorul poate studia evoluția în timp a variabilelor selectate, și modul RAPORT, care oferă o situație detaliată la un moment de timp asupra întregii coloane.

În modul GRAFIC (fig. 1), ecranul *DIN_SIM* este împărțit în trei zone: zona *diagramei mobile* pe care sunt reprezentate simultan evoluțiile a doi parametri (selectabili), zona *parametrilor principali de operare* și zona „*consolei operatorului de proces*“, în care utilizatorul are acces la reglatoare și poate simula perturbații sub formă de

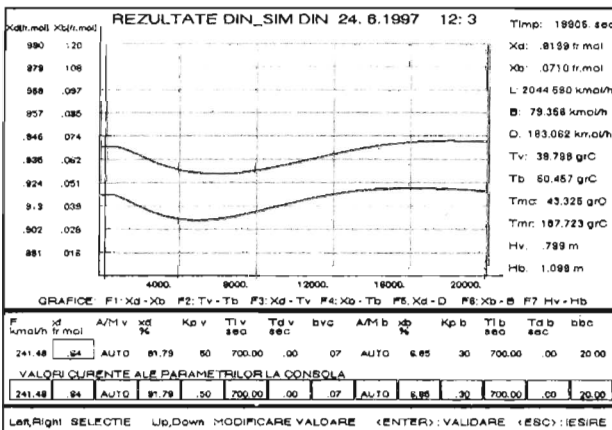


Fig.1. *DIN_SIM* în mod GRAFIC.

treaptă ale debitului F și concentrației x_F ale alimentării.

Talere	Comp. ușor [Fr. Mol]	Lichid [kmol/h]	Zestre [kmol]	Vapori [kmol/h]	Temperatura [°C]	Time: 2. sec
1	91781	1973 293	71 680	000	39 809	Xa 81781 fr.mol
2	90080	2030 406	1.487	2144 293	41.769	Xb .0885 fr.mol
7	86147	2032 607	1.488	2203 342	42.393	L 1973.293 kmol/h
12	81267	2035 036	1.489	2206 601	42.842	B. 70.483 kmol/h
17	76466	2037 166	1.489	2207 743	43.298	D: 171 000 kmol/h
22	71940	2039 281	1.490	2209 864	43.744	Tv. 38.808 grC
27	67918	2041 473	1.491	2212 026	44.188	Tb. 50.480 grC
32	64222	2279 612	1.659	2208.686	44.676	Tmc: 43.336 grC
37	60881	2281 100	1.659	2210 391	45.107	Tmr: 183.756 grC
42	51709	2281.444	1.659	2211.002	45.784	Hv. .800 m
47	42903	2280 419	1.659	2210.246	46.610	Hb: 1.100 m
52	33226	2279 276	1.658	2208.389	47.541	
57	22826	2276 709	1.658	2208.730	48.493	
62	15798	2273 600	1.657	2209.466	49.371	
67	09643	2272 587	1.657	2202 203	50.110	
70	04956	70 483	51.876	2202 043	50.480	

GRAFICE: F1: Xa-Xb F2: Tv-Tb F3: Xa-Tv F4: Xb-Tb F5: Xa-D F6: Xb-B F7: Hv-Hb

F	X	A/M v	D/V v	Kp v	Td v	bvc	A/M b	V/B b	Kp b	Td b	bbc		
kmol/h	fr.mol	%	%	sec	sec	%	%	sec	sec	sec	sec		
241.48	.87	MAN	7.87	.50	700.00	.00	.07	MAN	3124.26	.30	700.00	.00	20.00

VALORI CURENTE ALE PARAMETRILOR LA CONSOLA

241.48	.87	MAN	7.87	.50	700.00	.00	.07	MAN	3124.26	.30	700.00	.00	20.00
--------	-----	-----	------	-----	--------	-----	-----	-----	---------	-----	--------	-----	-------

Left,Right SELECTIE Up,Down: MODIFICARE VALOARE (ENTER): VALIDARE (ESC): IESIRE

Fig.2. *DIN_SIM* în mod RAPORT.

care se operează cu date industriale, fără a fi aplicate modificări de scară. Raportul *time real / time de execuție* depinde de o serie de factori: dimensiunile coloanei (număr de talere), gradul de perturbare a sistemului și caracteristicile calculatorului pe care rulează aplicația. Concret, pentru o coloană industrială de separare a propenei (având un număr de 70 de talere teoretice) acest raport variază în intervalul 6:1 ... 20:1 pe un PC 486 - DX4 / 100 MHz.

5. Concluzii

Simulatorul software *DIN_SIM* se constituie într-un puternic instrument de asistență a activităților de cercetare și proiectare a structurii sistemelor de reglare automată asociate coloanelor de fracționare. De asemenea, datorită gradului ridicat de accesibilitate, utilizarea simulatorului poate fi integrată programelor de instruire a personalului de operare a instalațiilor tehnologice. În același timp sunt de remarcat flexibilitatea și adaptabilitatea simulatorului, reprezentarea fidelă a realității și performanțele deosebite din punct de vedere al exactității și rapidității calculului.

Notății

- L - debit molar de lichid care părăsește talerul;
- V - debit molar de vapori care părăsesc talerul;
- F - debit molar de alimentare (externă);
- D - debit molar de produs extras de pe taler;
- x - fracție molară de component ușor în faza lichidă;
- h - entalpie în faza lichidă a amestecului;
- T - temperatură;

În modul RAPORT (fig. 2) este afișat un tabel conținând valori ale concentrațiilor, debitelor de lichid și vapori, zestrei de lichid și temperaturilor pentru un număr de maxim 16 talere, cu o distribuție cât mai uniformă vârf-bază.

Din punct de vedere al performanțelor, simulatorul realizează o execuție „în timp comprimat” chiar în condițiile în

QW - debit termic;

H - nivel de lichid;

Indici inferiori

j - număr taler;

ntt - număr de talere teoretice;

F - alimentare;

c - agent răcire la ieșire;

mc - metal condensator;

mr - metal refierbător;

r - refierbător;

V - vas de reflux;

B - baza coloanei.

Bibliografie

1. **Cîrtoaje, V.** - Teoria sistemelor automate, Universitatea "Petrol-Gaze" Ploiești, 1996;

2. **Erwin, D., Sorescu, Gh., Eingenberger, G.** - Numerische Methoden zur Simulation verfahrenstechnischer Prozesse, in Chem. -Ing. -Tech. 64 (1992), Nr. 2, S. 136 - 147;

3. **Marinoiu, V.** - Un model matematic pentru simularea dinamicii proceselor de fracționare, în vol. „Industria de petrol și gaze - prezent și perspective“, Sesiunea Științifică 14 - 15 mai 1992, secțiunea Chimie, Tehnologia petrolului, Petrochimie;

4. **Marinoiu, V., Marinescu, C.** - Sistem de programe pentru investigarea structurii buclilor de reglare asociate unei coloane de fracționare, idem, secțiunea Automatică, Electrotehnică, Acționări;

5. **Marinoiu, V., Paraschiv, N.** - Automatizarea proceselor chimice, vol. 1-2, Editura Tehnică, București 1992;

6. **Marlin, Th. E.** - Process Control. Designing Processes and Control Systems for Dynamic Performance, Mc. Graw Hill, New York, USA;

7. **Skogestad, S.** - Dynamics and Control of Distillation Columns - a critical Survey, University of Trondheim, Norway;

8. **Strătuță, C., Marinoiu, V., Sorescu, Gh.** - Metode și programe de calcul al proceselor de distilare, fracționare și absorbție, Editura Tehnică, București, 1976;

*) Șef lucr. dr. ing. mat. Cornel Marinescu, prep. ing. Gabriel Rădulescu -
Universitatea „Petrol - Gaze“ Ploiești.