

ANALIZA FLUXURILOR DE MATERIALE ÎN INSTALAȚIILE DE FABRICARE A CIMENTULUI UTILIZÂND TEORIA SISTEMELOR, A GRAFURILOR ȘI MATRICILOR

ANALYSIS FLOWS THE MATERIAL IN THE CEMENT PLANT USING SYSTEMS THEORY, GRAPH METHODE AND MATRIXES

Cristina SESCU-GAL¹

¹ Universitatea Tehnică de Construcții, Facultatea de Utilaj Tehnologic, Romania
e-mail: cristi.sescu@yahoo.com

Rezumat: Cunoașterea modului de deplasare, transformare și amestec a materialelor în procesul de fabricare a cimentului se studiază cu scopul creșterii eficienței de exploatare care implică reducerea costurilor energetice, precum și în vederea determinării posibilităților de reducere a emisiilor la coș. În lucrare se analizează o instalație de fabricare a cimentului în vederea determinării fluxurilor de materiale, utilizând teoria sistemelor, teoria grafurilor și matricile de circulație. Modul original de elaborare a matricilor de circulație pentru fluxurile de materiale poate fi extins și în cazul fluxurilor de gaze și a emisiilor la coș.

Cuvinte cheie: ciment, instalație, sistem, graf, matrici de circulație

Abstract: Knowledge of movement, transforming and mixing materials in the cement manufacturing process is studied to increase efficiency of operation which involves reducing energy costs as well as to determine the possibility to reduce stack emissions. The paper analyzes the cement manufacturing facility to determine material flows, using systems theory, theory of graphs and matrices movement. Original way of developing matrices circulation material flows can be extended to the gas flow and stack emissions.

Keywords: cement, plant, system, graphs, matrices movement

1. INTRODUCERE

Procesul de fabricare a cimentului implică, pe lângă procese de natură termo-tehnologică de transfer de căldură și procese de amestec, topire, răcire, mărunțire, procese de transfer de materiale ce au loc în interiorul instalațiilor tehnologice. În urma acestor procese au loc transformări fizico-chimice la nivelul materiei prime, rezultând un produs finit, cimentul, sau un semifabricat cu caracteristici prestabilite, clincherul. Studiul asupra modului în care au loc aceste transformări este destul de complex și trebuie să țină cont de influențele și interdependențele care apar la nivelul materiei prime în toate etapele de fabricare. Pentru analiza proceselor de transfer de materiale, în literatura de specialitate sunt utilizate metode matematice de prognoză bazate pe elaborarea ecuațiilor de conservare care se pot concretiza prin ecuații de bilanț de materiale și de energii precum și metode empirice.

2. ABORDAREA SISTEMICĂ A UNEI INSTALAȚII DE FABRICARE A CIMENTULUI

Instalațiile din industria cimentului sunt instalații complexe, caracterizate printr-un număr mare de parametri de proces aflați în interdependență, care pot fi modelate matematic sub diferite aspecte în scopul acoperirii cerințelor de natură economică, tehnologică și/sau de mediu. La modelarea acestora se utilizează metode moderne de predicție, optimizare și control de proces, metode impuse din condiții de dificultate a modelării deterministe cu precizie ridicată a acestor instalații. Totodată, un factor deosebit de important pentru creșterea performanței în modelarea diferitelor sisteme complexe este și permeabilizarea granițelor dintre diferite ramuri ale ingineriei și științelor exacte.

Având în vedere complexitatea proceselor termo-tehnologice prin care materia primă ajunge la produsul finit, nu se pot utiliza toate tipurile de metode ale modelării proceselor tehnologice care se folosesc în alte sectoare din industrie, economie etc., fiind o operație dificilă abordarea unui anumit model matematic pentru procesele termo-tehnologice care au loc în instalațiile dintr-o fabrică de ciment.

Pentru a putea realiza o abordare matematică cât mai riguroasă a unei fabrici de ciment, în lucrarea de față se aplică noțiunile de sistem, abordare sistemică sau teoria sistemelor. Primul pas în studiul unui sistem sau proces este realizarea unui model, care poate să fie fizic la alte dimensiuni sau o formalizare matematică a comportării sistemului de studiat. O caracteristică a sistemelor din industria cimentului este structura ierarhizată; elementele unui sistem sunt la rândul lor sisteme cu structură organizată, numite subsisteme. Analiza sistemelor presupune definirea și cunoașterea cât mai precisă a comportării unui sistem cu o structură dată, astfel că subsistemele se pot defini cantitativ prin expresii de tipul (1).

$$Y_j = \Psi_j(X_i, D_k); j = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

unde:

- Y_j este vectorul variabilelor la ieșirea din subsistem; acesta depinde de variabilele de intrare X_i și de vectorul mărimilor de control D_j ;
- X_i vectorul variabilelor de intrare;
- D_k vectorul mărimilor de control, adică mărimi care condiționează transformările $X_i - Y_j$;

Aplicând ca metodă de analiză teoria generală a sistemelor, se consideră întreaga instalație dintr-o fabrică de ciment un sistem, figura 1, care este alcătuit din trei subsisteme principale pentru a căror definire se poate specifica suprafața de frontieră prin care se detașează de mediul ambiant și/sau de sistem precum și care sunt interacțiunile dintre acestea.

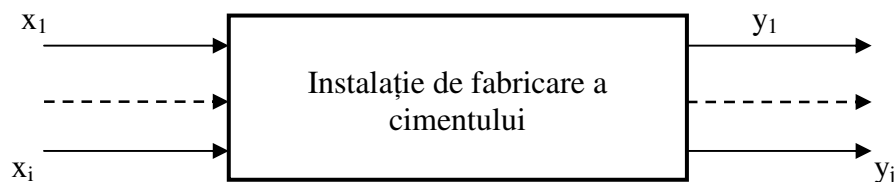


Figura1. – Interpretare sistemică a unei instalații de fabricare a cimentului

În figura 1, mărimile reprezentate au următoarele semnificații:

- x_1, \dots, x_i – mărimi de intrare în sistem care reprezintă resurse materiale, resurse energetice, resurse tehnologice etc.;

Analiza fluxurilor de materiale în instalațiile de fabricare a cimentului utilizând teoria sistemelor, a grafurilor și matricilor

- $y_1 \dots y_j$ – mărimi de ieșire din sistem, reprezentate de: ciment, clincher, emisii în aer, apă și sol, produse secundare ale proceselor etc.

Reprezentarea instalațiilor din fluxul tehnologic de fabricare a cimentului este arătată în figura 2, în care s-a realizat și delimitarea celor trei subsisteme, astfel:

- subsistemul 1 cuprinde procesul de realizare a amestecului brut, care include și echipamentele de stocare și omogenizare a acestuia;
- subsistemul 2 include procesul de ardere a amestecului omogenizat și răcirea clincherului; din sistemul de stocare a clincherului există posibilitatea ca o parte din acesta să fie expedit din instalație ca materie primă pentru instalații separate de măcinare a cimentului;
- subsistemul 3 reprezintă instalația de măcinare a cimentului cu adaosurile specificate în rețeta de fabricare.

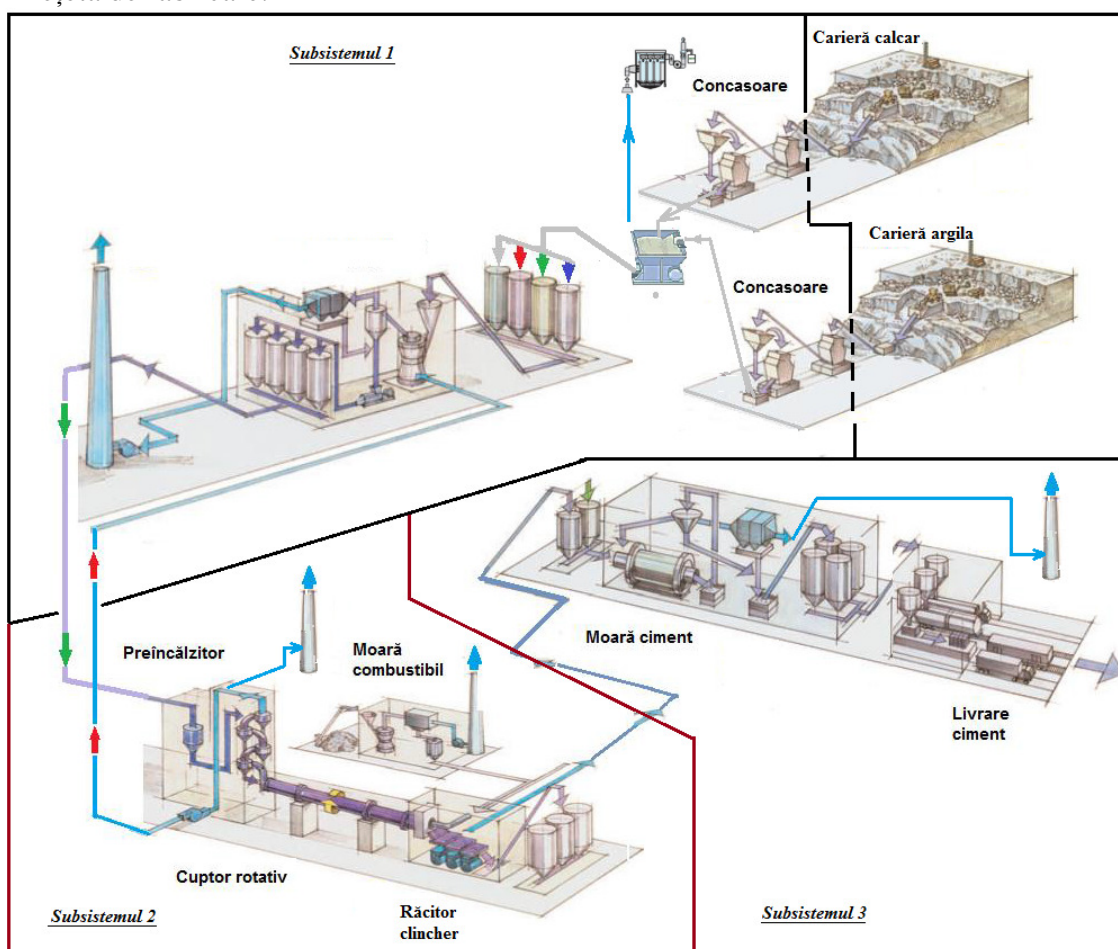


Figura 2 - Sistem de fabricare a cimentului: ➔ flux de gaze calde în amestec cu particule de material cules din turnul de cicloane; ➔ flux de material

Pentru instalația din figura 2 s-a realizat delimitarea suprafețelor de frontieră dintre cele trei subsisteme și dintre subsisteme și mediul ambiant, reprezentând fluxul materialelor prin instalațiile tehnologice în cadrul acestora. Conform principiului conservării masei, suma tuturor materialelor intrate într-un sistem într-un interval de timp dat și a celor existente la momentul inițial trebuie să fie egală cu suma materialelor ieșite în același interval de timp și a celor rămase în sistem.

3. ANALIZA FLUXURILOR DE MATERIALE PRIN UTILIZAREA TEORIEI GRAFURILOR ȘI A MATRICILOR DE CIRCULAȚIE

În lucrarea de față se realizează modelarea întregii instalații pe cele trei subsisteme definite anterior, utilizând abordarea matricială efectuată pe baza grafurilor corespunzătoare celor trei subsisteme, care stau la baza definirii matricei de circulație. În cadrul acestor matrici, valorile înscrise sunt cele corespunzătoare fluxului de material sau fracții de material care circulă prin instalație (aparat, subsistem, instalație).

Efectuarea analizei sistemului de fabricare a cimentului din punct de vedere matematic, pentru stabilirea fluxurilor de circulație a materialelor și a gazelor a fost realizată prin utilizarea elementelor din teoria grafurilor, aplicată pentru structura sistemelor din figura 3 ce are la bază delimitările frontierelor conform instalației din figura 2.

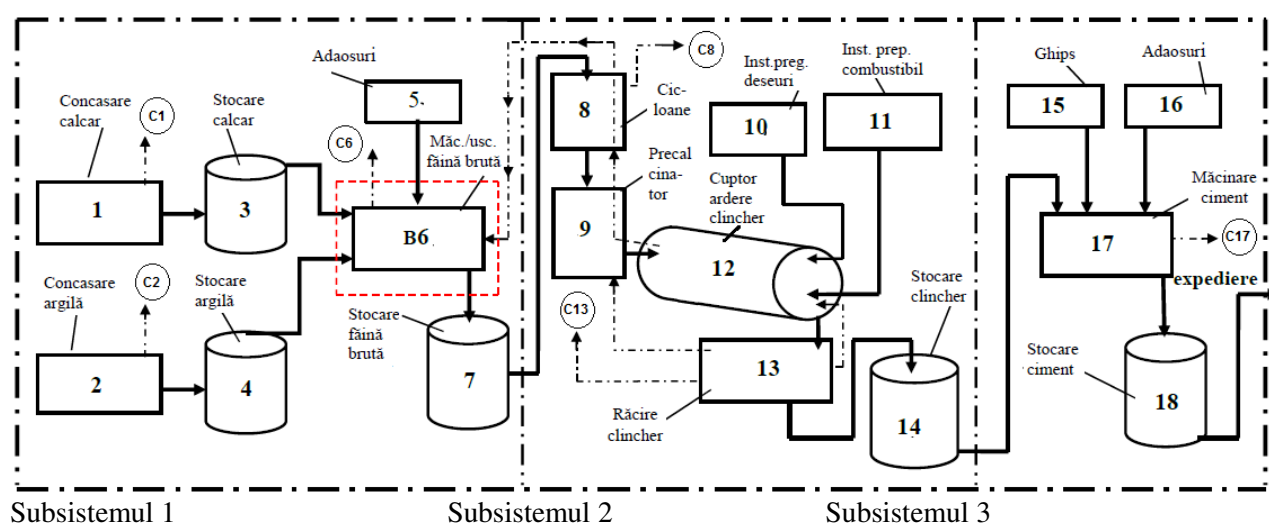


Figura 3 - Schema instalației de fabricare a cimentului - Fluxul materialelor
 → flux de material; - - → fracție de material intrat în fluxul de gaze

Echipamentele tehnologice din alcătuirea instalației sunt reprezentate prin nodurile grafului iar modul de deplasare a materialului, respectiv gazului – prin săgeți, orientate în sensul de circulație a acestora. Folosirea acestei metode oferă posibilitatea de a utiliza avantajele oferite de calculul matricial, prin definirea fiecărui graf cu o matrice, determinând cantitățile de materiale și de gaze care trec prin sistemul/subsistemul/echipamentul analizat. În figura 4. s-a realizat modelarea matricială a întregii instalații cu grafuri, prin care este reprezentat modul de circulație a materialului în instalație.

4. MODELAREA MATRICIALĂ A SUBSITEMULUI 1. DEFINIREA MATRICEI DE CIRCULAȚIE A MATERIALULUI

Procesele care au loc în acest subsistem sunt date de prepararea amestecului brut, stocarea, preomogenizarea, măcinarea și uscarea materiilor prime, cu formarea unei pulberi numită făină brută. Pentru instalația adoptată în această analiză și prezentată în figura 1, uscarea materiilor prime are loc în instalația de măcinare fină. Pentru această operație se folosește aerul cald adus din sistemul de răcire a clincherului, trecut prin calcinator și turnul de cicloane.

Analiza fluxurilor de materiale în instalațiile de fabricare a cimentului utilizând teoria sistemelor, a grafurilor și matricilor

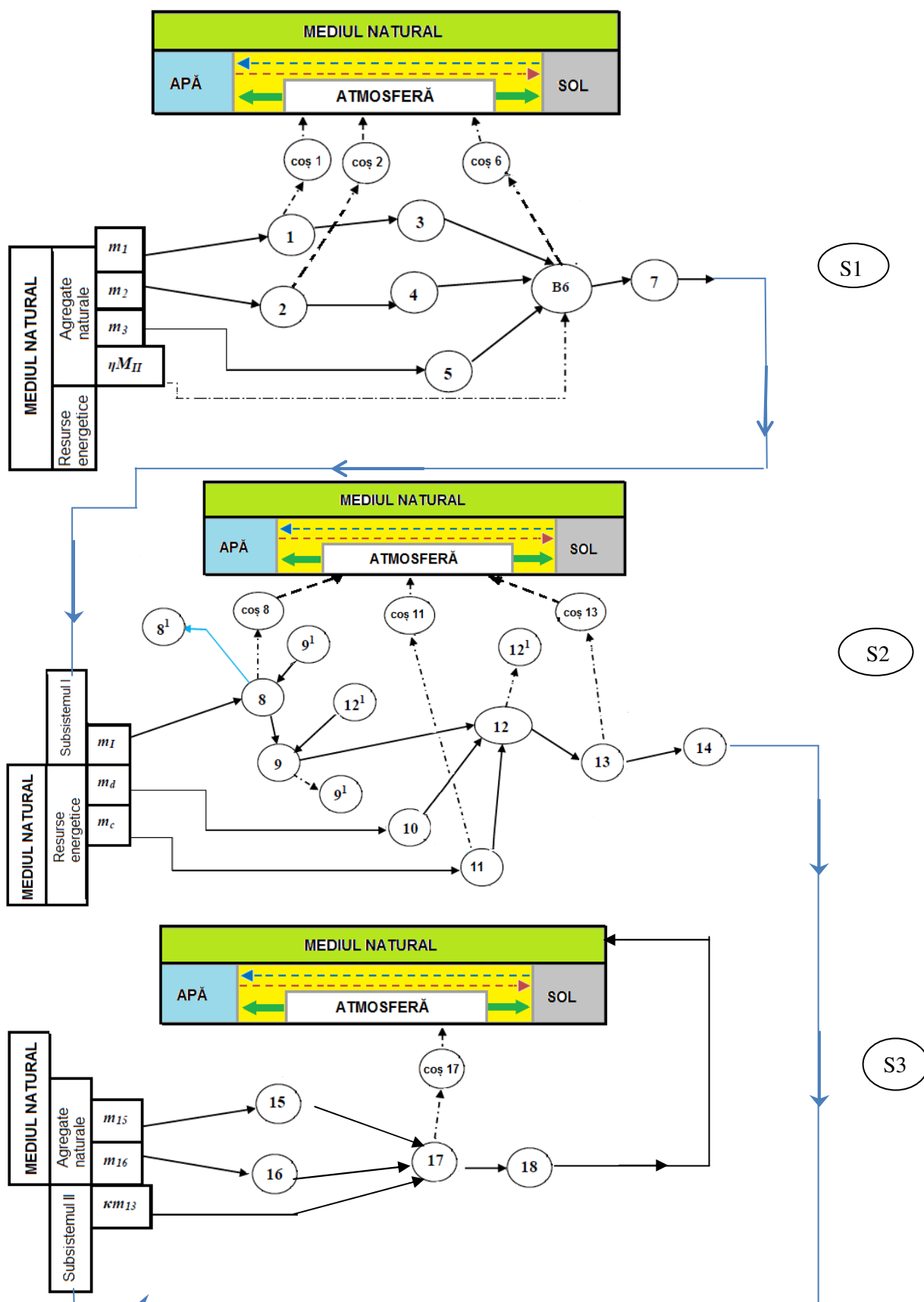


Figura 4 – Graful asociat sistemului de fabricare a cimentului

În acest mod se realizează o economie importantă la energia termică, fapt care conduce și la reducerea emisiilor nocive corespunzătoare acestui proces.

Parametri care intervin în graful ce definește subsistemul 1, figura 4., sunt:

- m_1 – calcar, materie primă pentru fabricarea cimentului care are o granulație rezultată după concasarea grosieră la dimensiuni maxime ale granulelor de 20-25 mm, ce are loc de regulă în cariera de exploatare;
- m_2 – argilă, materie primă pentru fabricarea cimentului care are o granulație rezultată după concasarea grosieră din cariera de exploatare la aceleași dimensiuni ca ale calcarului;
- m_3 – adaosuri de corecție a amestecului brut: cenuși de pirită, minereuri de fier sau zguri din industria metalurgică neferoasă, cu conținut ridicat în oxizi de fier sau chiar de fier metalic pentru a corecta conținutul de Fe_2O_3 din ciment; sunt introduse în fluxul de fabricație în etapa de măcinare a amestecului brut;
- ηM_{II} – fracție de material transportat de gazele calde de la răcitor și din procesul de clincherizare, compus din aerul terțiar, aerul secundar și aerul primar; aerul terțiar și cel secundar sunt recuperate din instalația de răcire a clincherului din care iese cu o temperatură de aproximativ 900...1000°C; aerul primar este cel introdus pentru realizarea condițiilor de ardere a combustibililor; fluxul gaze calde conține particule culese din sistemul cuptor, din combustibili, din sistemul de calcinare și turnul de cicloane.

Reprezentarea matricei de circulație corespunzătoare grafului din figura 4 este dată în tabelul 1. La construirea acestei matrici s-a ținut seama de faptul că un element de matrice a_{ij} arată fracția gravimetrică de material din echipamentul i care trece în echipamentul j . În cadrul acestei matrici de circulație, elementele $a_{i,j}$ care ies dintr-un echipament primesc valoare negativă, ceea ce semnifică faptul că ieșirea este considerată ca o intrare negativă. În acest fel, suma elementelor pe coloană indică fracția din materialul ieșit din treapta i care părăsește subsistemul. Ipotezele care au stat la baza întocmirii matricei de circulație:

- a) se consideră că fracțiile de material care părăsesc sistemul din faza de concasare prin intermediul emisiilor de praf ce au loc, sunt identice pentru cele două tipuri de materii prime, respectiv calcar și argilă: s-a notat cu $(1-\delta) m_i$;
- b) se neglijează cantitatea de material care rămâne în interiorul echipamentelor/instalațiilor și pe traseele de transport interfazic.

Specificația notațiilor din matricea de circulație a materialelor în subsistemul 1 este următoarea:

- $(1-\delta) m_1$ - fracție din calcar care părăsește subsistemul antrenat de circulația aerului la operația de concasare fină;
- $(1-\delta) m_2$ - fracție din argilă care părăsește subsistemul antrenat de circulația aerului la operația de concasare fină;
- δm_1 calcar rămas din cantitatea totală considerată după eliminarea fracției $(1-\delta) m_1$;
- δm_2 argilă rămasă din cantitatea totală considerată după eliminarea fracției $(1-\delta) m_2$;
- m_6 cantitatea totală considerată compusă din elementele care intră în aparatul B6;
- $(1-\varepsilon) m_6$ fracție din materialul m_6 care părăsește subsistemul antrenat de fluxul de gaze prin coșul de evacuare; conține și vaporii de apă care se evaporă din materialul solid intrat în instalația de măcinare;
- εm_6 material rămas în aparatul B6 și care constituie făina brută care este stocată în silozuri în stare uscată.

Forma convențională a matricei de circulație pentru subsistemul 1 este dată în tabelul 2.

Analiza fluxurilor de materiale în instalațiile de fabricare a cimentului utilizând teoria sistemelor, a grafurilor și matricilor

Tabelul 1

Matricea de circulație a materialelor corespunzătoare grafului pentru subsistemul I

i\j	I	1	coș 1	2	coș 2	3	4	5	B6	coș 6	7	Σa_{ij}
I	0	m_1	0	m_2	0	0	0	m_3	ηM_{II}	0	0	$m_1+m_2+m_3+\eta M_{II}$
1	$-m_1$	0	$(1-\delta) m_1$	0	0	δm_1	0	0	0	0	0	0
1'	0	$-(1-\delta) m_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$-(1-\delta) m_1$
2	$-m_2$	0	0	0	$(1-\delta) m_2$	0	δm_2	0	0	0	0	0
2'	0	0	0	$-(1-\delta) m_2$	0	0	0	0	0	0	0	$-(1-\delta) m_2$
3	0	$-\delta m_1$	0	0	0	0	0	0	δm_1	0	0	0
4	0	0	0	$-\delta m_2$	0	0	0	0	δm_2	0	0	0
5	$-m_3$	0	0	0	0	0	0	0	m_3	0	0	0
B6	$-\eta M_{II}$	0	0	0	0	$-\delta m_1$	$-\delta m_2$	$-m_3$	0	$(1-\epsilon) m_6$	ϵm_6	$-\eta M_{II}-\delta(m_1+m_2)-m_3+m_6$
6'	0	0	0	0	0	0	0	0	$-(1-\epsilon) m_6$	0	0	$-(1-\epsilon) m_6$
7	0	0	0	0	0	0	0	0	$-\epsilon m_6$	0	0	$-\epsilon m_6$
Σa_{ij}	$-(m_1+m_2+m_3)-\eta M_{II}$	0	$(1-\delta) m_1$	0	$(1-\delta) m_2$	0	0	0	$\eta M_{II}+\delta(m_1+m_2)+m_3-m_6$	$(1-\epsilon) m_6$	ϵm_6	0
	I	1	coș 1	2	coș 2	3	4	5	6	coș 6	7	Σa_{ij}

Tabelul 2

Matricea convențională de circulație a subsistemului 1

i\j	I	1	coș 1	2	coș 2	3	4	5	B6	coș 6	7
I	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0
1	-1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
coș 1	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	-1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
coș 2	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0
3	0	-1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
4	0	0	0	-1	0	0	0	0	1	0	0
5	-1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
B6	-1	0	0	0	0	-1	-1	-1	0	1	1
coș 6	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0

6. CONCLUZII

Calculul precis al proceselor care au loc în interiorul fiecărui subsistem, echipament sau instalație, precum și determinarea parametrilor optimi de funcționare a acestora, constituie un obiectiv intens cercetat. Țelul propus este mai dificil de atins datorită particularităților procesului de clincherizare, în care și în prezent cu toate cercetările și studiile efectuate, au loc fenomene ce nu pot fi explicate. Modelarea instalației de fabricare a cimentului s-a realizat prin utilizarea teoriei sistemelor, cu parcurgerea următorilor pași:

- instalația de fabricare a cimentului a fost divizată în trei subsisteme principale care au fost supuse modelării matematice;
- s-a aplicat metoda de modelare a subsistemelor prin grafuri și matrici de circulație a materialelor și gazelor în interiorul subsistemului.

Matricile de circulație au fost realizate într-o abordare proprie, nouă, care utilizează efectiv cantitățile ce tranzitează echipamentul, subsistemul sau sistemul tehnologic într-o unitate de timp. Această analiză poate fi utilizată la stabilirea, cât mai aproape de nivelul real, a fluxurilor de materiale din instalații. Modul de rezolvare a matricilor de circulație poate fi aplicat și pe echipamente individuale din componența sistemului.

BIBLIOGRAFIE

- [1] C Sescu Gal, *Contribuții la îmbunătățirea managementului de mediu al echipamentelor și proceselor tehnologice din fabricile de ciment*, Teză de doctorat, UTCB, 2015;
- [2] I. Teoreanu, ș.a. - *Instalații termotehnologice – lianți, sticlă, ceramică*, Editura Tehnică, București, 1979;
- [3] A. Vișan, N. Ionescu - *Procese industriale complexe 2*, Universitatea Politehnica, București, 2004.