

OPTIMIZAREA MANAGEMENTULUI DE MEDIU LA FABRICAREA CIMENTULUI. INFLUENȚA ECHIPAMENTELOR ȘI A PARAMETRILOR DE FABRICAȚIE ASUPRA EMISIILOR.

OPTIMIZING ENVIRONMENTAL MANAGEMENT IN CEMENT MANUFACTURE. THE INFLUENCE OF EQUIPMENT AND MANUFACTURING PARAMETERS ON EMISSIONS.

Cristina SESCU-GAL¹

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

Rezumat: Cu fiecare zi suntem martorii schimbărilor climatice manifestate în diferite moduri, schimbări care sunt determinate, conform studiilor de specialitate, de creșterea nivelului de emisii poluante. Cercetările sunt extinse la nivelul fiecărei ramuri economice cu scopul de a găsi alternative la procesele de fabricație a produselor, dar și la găsirea unor produse alternative al căror impact asupra mediului să fie nesemnificativ. Lucrarea abordează un concept prin care se pot determina cele mai optime echipamente, procese și materiale utilizate la fabricarea cimentului, în vederea reducerii nivelului de emisii poluante.

Cuvinte cheie: emisii poluante, experiment factorial, ciment

Abstract: Every day, we are witnessing climate change manifested in different ways, changes that are determined, according to specialist studies, by the increase in the level of pollutant emissions. Research is extended to every economic branch in order to find alternatives to product manufacturing processes, but also to find alternative products whose impact on the environment is insignificant. The paper addresses a concept that can determine the most optimal equipment, processes and materials used in cement manufacturing in order to reduce the level of pollutant emissions.

Keywords: pollutant emissions, factorial experiment, cement

1. INTRODUCERE

În cadrul unei fabrici de ciment, nivelul și tipul emisiilor sunt influențate de o multitudine de factori, unii fiind comuni iar alții particulari fiecărei instalații, la care se adaugă și interdependențele existente între aceștia. Deoarece în literatura de specialitate nu se consemnează un model matematic precis și operativ modul prin care interdependențele ce însoțesc procesul de fabricare, se pot utiliza metode pentru determinare pe cale statistică. În prezent, prin monitorizarea emisiilor la coșurile de evacuare se cunoaște nivelul acestora. Este deci de interes, posibilitatea stabilirii apriorii a metodelor de reducere a emisiilor. Pentru stabilirea influenței pe care o are la nivelul emisiilor un anumit proces sau echipament se propune utilizarea metodei de cercetare experimentală realizată pe baza planului experimentelor factoriale complete. Metoda a fost utilizată de către Regis Sebben Paranhos în

lucrarea [1], la instalațiile de preparare a amestecurilor asfaltice.

Factorii de care depinde nivelul emisiilor la fabricarea cimentului, funcție de procesul tehnologic aplicat, sunt:

- compoziția chimică și starea materiilor prime;
- procesul de fabricare;
- sistemele de transport interfazic;
- instalațiile de măcinare a materiilor prime;
- sisteme de stocare și omogenizare;
- instalația de clincherizare;
- instalația de răcire a clincherului;
- combustibilii utilizați;
- instalația de măcinare a cimentului;
- sistemul de ambalare și transport.

Modelarea experimentală a fenomenelor, proceselor, sistemelor investigate presupune definirea obiectivului cercetării, alegerea funcției obiectiv, identificarea factorilor de influență, verificarea adecvantei modelului etc.

2. METODA DE CERCETARE EXPERIMENTALĂ PE BAZA PLANULUI EXPERIMENTELOR FACTORIALE

În rezolvarea problemei modelării experimentale, se caută exprimarea legăturii între funcția obiectiv și factorii de influență sub formă polinomială. Adoptarea unei strategii optime de realizare a experimentelor pentru modelare implică conceperea unui program de realizare și al unui plan experimental optim de cercetare. Astfel, în cadrul realizării experimentelor se pot utiliza următoarele strategii:

a. strategia de cercetare experimentală conform modelului clasic Gauss-Seidel - această strategie se desfășoară după algoritmul „*un factor la un moment dat*”, adică realizează o cercetare „*unifactorială*”.

b. strategia de experimentare factorială conform modelului Box-Wilson - acesta urmărește algoritmul „*toți factorii în fiecare moment*”, ceea ce implică ca în cadrul experimentelor factoriale, pentru fiecare încercare experimentală se modifică valoarea tuturor factorilor de influență prin care se poate reduce mult volumul experimentării.

2.1. Modelul matematic al experimentelor factoriale

Legătura dintre funcția obiectiv y și factorii de influență $x_1, x_2, x_3, \dots, x_k, x_f$ poate fi descrisă sub forma generală:

$$y = \varphi(x_1, x_2, \dots, x_k, z_1, z_2, \dots, z_m, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_d) \quad (1)$$

în care:

- x_1, x_2, \dots, x_f - reprezintă factorii naturali de influență controlabilă;
- z_1, z_2, \dots, z_m - reprezintă factorii de influență necontrolabili, aleatori, cu acțiune stohastică, care generează erorile aleatoare;
- $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_d$ reprezintă parametri statistici, de regulă necunoscuți, numiți coeficienți de influență sau de regresie.

Optimizarea managementului de mediu la fabricarea cimentului. Influența echipamentelor și a parametrilor de fabricație asupra emisiilor.

În cazul programului experimentat care conține un număr de măsurători egal cu numărul total de combinații de nivele ale factorilor, experimentul se numește experiment factorial complet *EFC*.

În experimente factoriale de ordinul I, determinarea coeficienților polinomului de gradul I presupune selectarea factorilor de influență pentru două nivele de variație, pentru nivelul minim și maxim, necesitând în cazul utilizării strategiei experimentelor factoriale complete *EFC*, un volum de experimente $n=2^k$. Programele experiment factorial complet *EFC* sunt utile în cazul în care se urmărește obținerea unui model matematic pentru cazul în care numărul de parametri va fi mai mare de trei. Dar, creșterea numărului parametrilor conduce la mărirea numărului experiențelor, de exemplu pentru *EFC* 2^3 sunt necesare 8 măsurători, pentru *EFC* 2^4 16 măsurători etc., ceea ce conduce la un model matematic complex.

O caracteristică specifică experimentelor factoriale o constituie alegerea domeniului de variație al parametrilor. Studiarea fenomenului presupune a măsura răspunsul funcție de valorile diferite acordate factorilor. Dintre factori se disting:

- *factorii controlabili*, care depind direct de alegerea operatorului (presiune, temperatura, materiale ...)
- *factori necontrolabili*, care variază independent de alegerea operatorului (vremea, mediu de utilizare ...)
- *factorii de intrare* care analizează influențele (materia primă, viteza de omogenizare, temperatura, performanța etc.).

Figura 2.1. arată relațiile dintre factorii de influență, efectul, experimentare și răspuns.

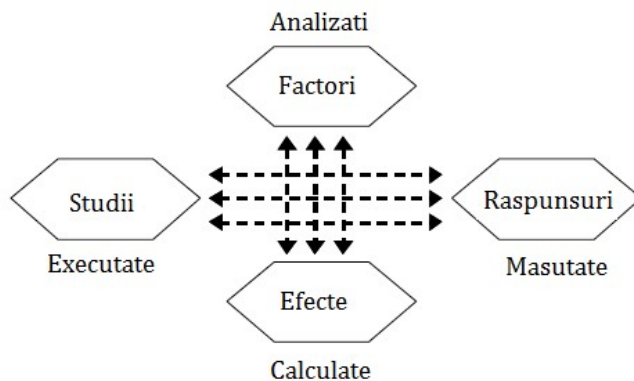


Figura 2.1. - Relația între factori, efecte, teste și răspunsuri

2.2. Conceptul de spațiu experimental

În cadrul experimentelor factoriale este căutat *răspunsul*, numit *factor*. Studiul în cadrul căruia se caută acest factor trebuie să aibă în primul rând un scop clar: minimizarea/maximizarea unor parametri/proprietăți, minimizarea costurilor de producție, minimizarea emisiilor etc., căutarea parametrilor de influență asupra calităților/proprietăților materialului/fenomenului.

La acest nivel, este importantă cunoașterea subiectului analizat, astfel încât să fie posibilă deducerea informațiilor esențiale pentru alegerea răspunsului cel mai judicios:

- adaptarea mijloacelor de măsurare;

- factorii potențiali de influență;
- alegerea domeniului optim de studiu a acestor factori;
- identificarea posibilelor interacțiuni;
- controlul factorilor care nu sunt introduși în studiu.

O dificultate majoră este aceea de a determina domeniul optim de studiu – spațiu experimental, figura 2.2. Câmpul factorial de variație este dat de sfera reală de utilizare a factorilor.

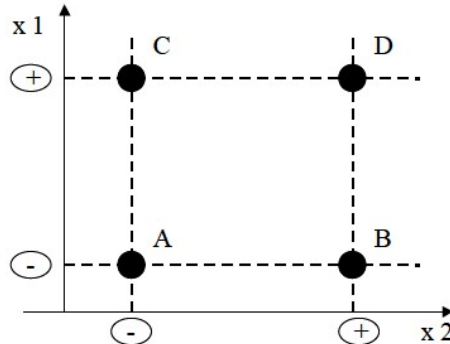


Figura 2.2. – Definierea unui domeniu experimental și locul punctelor experimentale

2.3. Conceptul de suprafață de răspuns

Nivelurile x_i reprezintă coordonatele din punctul experimental și y este valoarea răspunsului la acest punct. Reprezentarea geometrică a conceptului experimental și a răspunsului necesită un spațiu de o mărime mai mare decât spațiu experimental. Un plan de doi factori utilizează un spațiu tridimensional pentru a fi reprezentată o dimensiune pentru răspuns. La fiecare punct al zonei de studiu există un răspuns. O mulțime a tuturor punctelor din domeniul de studiu este un set de răspunsuri care se află pe o suprafață numită suprafața de răspuns, figura 2.3. Cele câteva răspunsuri măsurate la punctele proiectului de experimente sunt utilizate pentru a calcula ecuația suprafeței de răspuns.

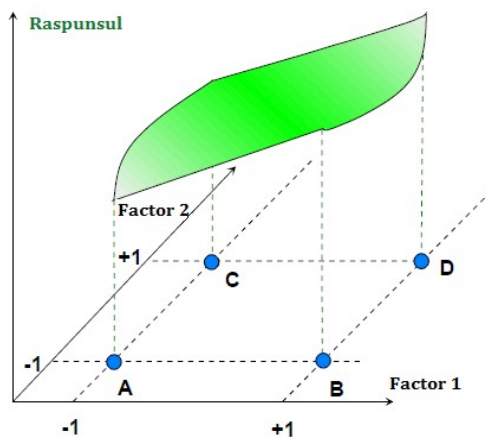


Figura 2.3. – Suprafața de răspuns formată de răspunsurile asociate cu puncte din zona de studiu

Optimizarea managementului de mediu la fabricarea cimentului. Influența echipamentelor și a parametrilor de fabricație asupra emisiilor.

2.4. Conceptul modelării matematice

În cadrul experimentelor factoriale este aleasă a priori o funcție matematică care se referă la factorii de răspuns. Se ia o dezvoltare limitată a seriei de Taylor-Maclaurin. Derivatele sunt presupuse a fi constante și dezvoltarea ia forma unui grad mai mult sau mai puțin ridicat de polinom:

$$y = a_0 + \sum a_i \cdot x_i + \sum a_{ij} \cdot x_i \cdot y_j + \dots + \sum a_{ij} \cdot x_i^2 + a_{ij\dots z} x_i \cdot y_j \dots z \quad (2.)$$

unde:

y - este răspunsul sau dimensiunea de interes; se măsoară în experiment și se obține cu o anumită precizie;

x_i - reprezintă nivelul atribuit factorului i de către experimentator pentru a efectua un test; această valoare este bine cunoscută.

a_0, a_i, a_{ij}, a_{ii} - sunt coeficienții modelului matematic adoptat a priori; ele nu sunt cunoscute și trebuie să fie calculate pe baza rezultatelor experimentelor.

3. DETERMINAREA FACTORILOR DE INFLUENȚĂ ASUPRA EMISIILOR LA NIVELUL UNEI FABRICI DE CIMENT UTILIZÂND METODA EFC

Metodologia de analiză se efectuează cu scopul de a studia posibilitatea de realizare a unor experimente pentru a determina influența asupra surselor, nivelelor și tipurilor de emisii nocive la fabricarea cimentului, luând în calcul parametrii procesului de fabricare, combustibilii utilizați și valorile emisiilor precizați în autorizația de mediu, stabilind o plajă de emisii. În cadrul unei fabrici de ciment nivelul și tipul emisiilor sunt influențate de o multitudine de factori, comuni și particulari fiecărei instalații, la care se adaugă și interdependențele existente între aceștia.

Pentru a determina nivelul și tipul emisiilor datorate unui anumit echipament/fază a procesului tehnologic trebuie să se cunoască datele care intervin în variația acestora. La realizarea experimentelor factoriale se vor lua în calcul acele mărimi și valori ale parametrilor funcție de care se dorește exprimarea legii de influență și care au o influență semnificativă asupra răspunsului căutat.

De exemplu, la nivelul cuptorului de clincherizare se pot considera următorii parametri semnificativi care influențează emisiile:

- temperatura din zona de ardere;
- temperatura aerului secundar;
- timpul de retenție a materialului în cuptor;
- combustibilii utilizați;
- numărul treptelor de cicloane;
- tipul arzătorului;
- echipamente de reținere a pulberilor;

Metoda experimentului programat permite, pe lângă reducerea considerabilă a numărului de experiențe, stabilirea unor corelații matematice (prin intermediul ecuațiilor de regresie) între influențele manifestate de diferiți parametri interdependenți ai procesului analizat. Se va urmări stabilirea unui model matematic de ordinul întâi (liniar), iar în cazul în care acesta nu se va dovedi concordant cu datele experimentale, se va completa matricea

experimentală cu experiențe care să permită determinarea unor modele de ordin superior. Modelele matematice astfel elaborate pot fi supuse optimizării.

3.1. Stabilirea nivelelor de variație

Pentru fiecare parametru de influență se stabilește o zonă de variație; această zonă este cuprinsă între valorile -1 și 1, iar pentru fiecare punct experimental se obține o valoare a răspunsului. Acest răspuns este modelat de un polinom a căror coeficienți sunt necunoscuți și urmează a fi stabilite. Se presupune că răspunsul variază liniar cu valorile x_i , figura 3.1.

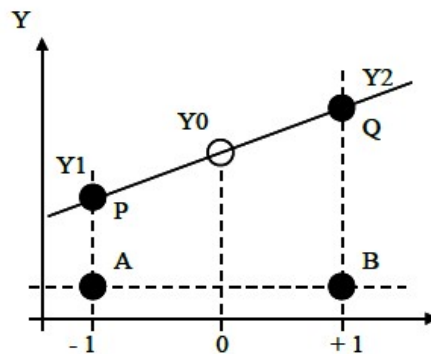


Figura 3.1. – Variația liniară a răspunsurilor y - factorul x ia toate valorile cuprinse între -1 și +1

Modelul matematic al lui y este:

$$y = a_0 + a_1 \cdot x \quad (3.)$$

unde: y – este răspunsul;

x – factorul studiat.

a_0 are următoarea semnificație: - pentru punctul A ($x = -1$) $\rightarrow y = a_0 - a_1$;

- pentru punctul B ($x = +1$) $\rightarrow y = a_0 + a_1$;

Cele două ecuații formază un sistem cu două necunoscute, a_0 și a_1 . Astfel, pentru valoarea centrului domeniului, $a_0 = y_0$, răspunsul este:

$$a_0 = \frac{1}{2} \cdot [y_1 + y_2] = y_0 \quad (4.)$$

Pentru a_1 care este panta răspunsurilor PQ

$$a_1 = \frac{1}{2} \cdot [y_2 - y_1] \quad (5.)$$

Deci:

$$Y = \mu + E \times X \quad (6.)$$

Y - vectorul răspunsurilor;

X - matricea de calcul sau matricea modelului care depinde de punctele experimentale selectate pentru a executa planul;

E - vectorul efectelor;

μ - media.

Optimizarea managementului de mediu la fabricarea cimentului. Influența echipamentelor și a parametrilor de fabricație asupra emisiilor.

Pentru valori continui ale lui x_1 și x_2 , modelul matematic este de forma (fără a se considera și interacțiunile):

$$y = a_0 + a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 \quad (7.)$$

Prin luarea în calcul a interacțiunilor, modelul devine:

$$y = a_0 + a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + a_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 \quad (8.)$$

unde: y – este răspunsul;

x_1 – variația factorului 1 între valorile -1 și +1;

x_2 – variația factorului 2 între valorile -1 și +1;

a_0, a_1, a_2, a_{12} – coeficienți

3.2. Aplicarea EFC

Pentru realizarea acestui plan de experiment factorial se consideră că x_1 reprezintă temperatura aerului secundar din cuptorul de clincherizare. Din datele cunoscute până în prezent, conform [2], dacă temperatura aerului secundar are valori ridicate ($> 1000^\circ\text{C}$) se formează cantități mari de NO_x . De asemenea, nivelul de NO_x este dependent și de variațiile temperaturii în zona de ardere. Astfel că realizarea unui plan experimental poate determina valorile optime ale celor două valori de temperaturi care să conducă la niveluri scăzute de NO_x .

Pentru x_2 se poate considera că reprezintă temperatura în zona de ardere sau timpul în care materialul se află în cuptor, fig. 3.2.

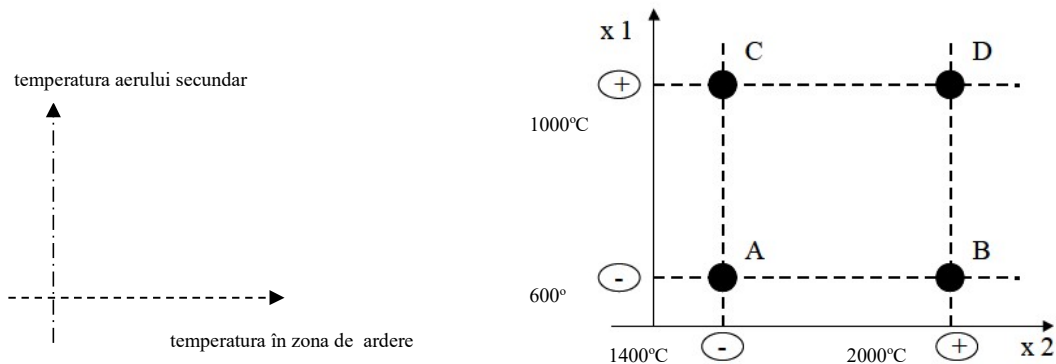


Figura 3.2. – Exemmplu de câmp experimental de studiu

Pentru un plan factorial cu doi factori, vom avea:

$$\begin{aligned} y_1 &= a_0 - a_1 - a_2 + a_{12} \\ y_2 &= a_0 + a_1 - a_2 - a_{12} \\ y_3 &= a_0 - a_1 + a_2 - a_{12} \\ y_4 &= a_0 + a_1 + a_2 + a_{12} \end{aligned} \quad (9.)$$

și

$$\begin{aligned}
 a_0 &= \frac{1}{4} [+ y_1 + y_2 + y_3 + y_4] \\
 a_1 &= \frac{1}{4} [- y_1 + y_2 - y_3 + y_4] \\
 a_2 &= \frac{1}{4} [- y_1 - y_2 + y_3 + y_4] \\
 a_{12} &= \frac{1}{4} [+ y_1 - y_2 - y_3 + y_4]
 \end{aligned}
 \tag{10.}$$

unde: a_0 – este centrul domeniului;

a_1 – efectul factorului 1;

a_2 – efectul factorului 2;

a_{12} – interacțiunea dintre factorii 1 și 2.

Relațiile (9) reprezintă matricea efectelor. Modelul matematic asociat devine:

$$Y = \mu + E_1 x_1 + E_2 x_2 + E_{12} x_1 x_2
 \tag{11.}$$

Modelul permite calcularea răspunsului experimental „y” pentru toate valorile atribuite lui x_1 și x_2 , cuprinse între -1 și +1.

Planul experimental factorial poate fi utilizat și pentru planuri de tipul $2^3, 2^4, \dots, 2^k$ prin luarea în considerare a celorlalți factori. Modelul asociat acestui plan cuprinde:

- un termen constant a_0 pentru valorile medii ale tuturor răspunsurilor;
- k – coeficienți asociați factorilor; acești coeficienți sunt efectele principale corespunzătoare factorilor corespondență;
- C_q^k coeficienți asociați interacțiunilor de ordin q; acești coeficienți sunt valorile interacțiunilor calculate cu matricea efectelor.

Răspunsurile pentru fiecare test pot fi scrise funcție de modelul asociat planului 2^k .

Pentru un plan de tipul 2^3 , relația răspunsului este:

$$y = \mu + E_1 x_1 + E_2 x_2 + E_3 x_3 + E_{12} x_1 x_2 + E_{13} x_1 x_3 + E_{23} x_2 x_3 + E_{123} x_1 x_2 x_3
 \tag{12.}$$

Pentru un plan factorial de nivel 2, strategia de alegere a punctelor experimentale rezultă din definiția domeniului experimental. Acesta este definit funcție de plaja de utilizare, figura 3.3. În acest caz, modelul permite nu doar determinarea răspunsurilor experimentelor, dar și calculul acestuia, y, pentru toate valorile luate de x_1, x_2 , și x_3 .

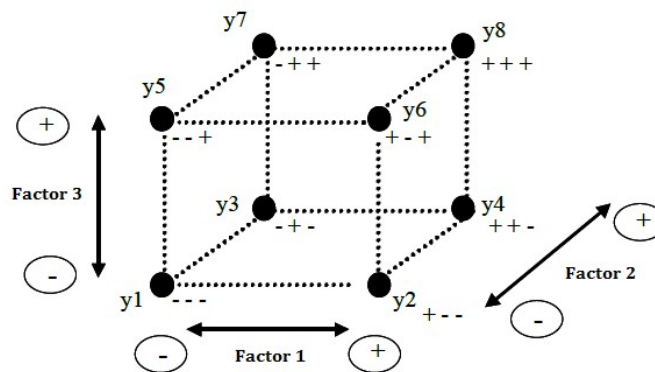


Figura 3.3. – Repartiția punctelor experimentale într-un domeniu experimental de tipul 2^3

Optimizarea managementului de mediu la fabricarea cimentului. Influența echipamentelor și a parametrilor de fabricație asupra emisiilor.

Pentru reprezentare se poate întocmi matricea experimentului, tabel 1.3. aceasta conține toate combinațiile parametrilor, sau o parte a acestora, în formă codificată.

Matricile de tipul tabelului 3.1. au avantaje care le conferă o largă utilizare. Astfel, în cazul unei funcții de regresie, necesitatea asigurării unei precizii de calcul cât mai uniformă, indiferent de punctul din spațiul factorial în care se fac experiențe, trebuie să se asigure condițiile legate de ortogonalitate și rotabilitate.

Tabelul 3.1.

Matricea experimentului factorial

	Nr. experimentului	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Răspunsul Y
Prima etapă – plan tip 2^2 cu doi factori	Exper. 1	-	-	-	Y_1
	Exper. 2	+	-	-	Y_2
	Exper. 3	-	+	-	Y_3
	Exper. 4	+	+	-	Y_4
Etapa a 2-a – plan tip 2^3 cu trei factori	Exper. 5	-	-	+	Y_5
	Exper. 6	+	-	+	Y_6
	Exper. 7	-	+	+	Y_7
	Exper. 8	+	+	+	Y_8

Proprietatea de normare a matricei este dată de relațiile (13.) și (14):

$$\sum_{n=1}^N X_{in} = 0 \quad (13.)$$

$$\sum_{n=1}^N X_{in}^2 = N \quad (14.)$$

unde: $i = (1, 2, \dots, n)$;
 n – numărul factorilor;
 N – numărul experiențelor

Condiția de normalitate a matricei se verifică cu relația (15.):

$$\sum_{n=1}^N X_{in} X_{jn} = 0 \quad (15.)$$

După ce s-a completat matricea programării se pot efectua experiențele. În acest scop, toate variabilele codificate vor fi înlocuite cu variabilele naturale, fiind realizată matricea de lucru. La această matrice se va adăuga coloane care să conțină valorile limită ale variabilelor, timpul de desfășurarea a experiențelor precum și rezultate provizorii, cu scopul de a elimina unele erori accidentale sau sistematice care pot apărea pe parcursul experimentului.

Abordarea acestei metode pentru obținerea ecuației de regresie a unei variabile, în funcție de parametri procesului care concordă la această lege, are ca scop obținerea unei funcții de răspuns care poate fi utilizată în optimizare, în cazul de față în optimizarea managementului de mediu.

După întocmirea matricei programării și efectuarea experiențelor se calculează coeficienții de regresie. Pentru modelul de ordin I funcția are forma:

$$Y_i = a_0 + \sum_{i=1}^k a_i x_i + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=i+1}^k a_{ij} x_i x_j \quad (16.)$$

Scrisă sub formă matricială:

$$Y = XA \quad (17.)$$

în care: X este matricea condițiilor experimentale:

$$X = \begin{pmatrix} x_{01} & x_{11} & \dots & x_{m1} \\ x_{02} & x_{12} & \dots & x_{m2} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ x_{0n} & x_{1n} & \dots & x_m \end{pmatrix} \quad (18.)$$

m – numărul de termeni ai ecuației (16);

n – numărul de experiențe considerate;

A – vectorul coloană al coeficienților a_i ;

Y – matricea rezultatelor experimentale;

Etapa următoare este verificarea adecvantei modelului – constă în calcularea criteriului Fischer:

$$F_{ci} = \frac{PM_{in}}{PM_{er}} \quad (19.)$$

PM_{in} - reprezintă pătratul mediu de inadecvănță;

PM_{er} - reprezintă pătratul mediu al erorilor;

Pentru determinarea acestor două mărimi este necesar să se determine dispersia reziduală și a erorii experimentale. Rezidualul reprezintă diferența dintre valorile măsurate Y_u și valorile prezise Y_p . Pentru o analiză mai riguroasă a modelului determinat se utilizează suma pătratelor rezidualilor, care se obține însumând pentru n experiențe ale programului experimental pătratul rezidualilor. Pătratul mediu de inadecvănță se determină cu relația:

$$PM_{in} = \frac{SP_{in}}{f_{in}} \quad (20.)$$

$$SP_{in} = SP_{rz} - SP_{er}$$

SP_{er} - suma pătratelor erorii experimentale;

SP_{rz} - suma pătratelor rezidualilor.

$$f_{in} = n - m - n_0;$$

Pătratul mediu al erorii experimentale se determină cu relația:

$$PM_{er} = \frac{SP_{er}}{f_{er}} \quad (21.)$$

$$f_{er} = n_0 - 1; n_0 - \text{numărul experiențelor de bază.}$$

Un model este considerat adecvat dacă:

$$F_{ci} < F_T(f_{in}, f_{er}, 95\%) \quad (22.)$$

unde:

$$F_T(f_{in}, f_{er}, 95\%) \text{ se adoptă din tabele.}$$

Verificarea semnificației statistice a coeficienților modelelor de ordinul I.

Este posibil ca unii dintre termenii modelului determinat să nu aibă o influență importantă asupra răspunsului Y prezis de model. În cazul modelelor ortogonale, caracterizate prin aceea

Optimizarea managementului de mediu la fabricarea cimentului. Influența echipamentelor și a parametrilor de fabricație asupra emisiilor.

că toți coeficienții sunt independenți, se recomandă eliminarea termenilor ne semnificativi. Pentru modelele de ordin doi etapele de calcul și verificare sunt aceleași.

După determinarea ecuațiilor de regresie se poate efectua și calculul de optimizare utilizând metodele prezentate în capitolele precedente.

4. CONCLUZII

Procesul de elaborare a cimentului este însoțit invariabil de emisii la nivelul coșurilor de evacuare și nu numai, nivelul acestora fiind monitorizat conform legislației și autorizațiilor de mediu. Instalațiile de fabricare a cimentului sunt instalații complexe, iar efectuarea de experimente implică consumuri de resurse importante. Cum în literatura de specialitate sunt regăsite relațiile de calcul pentru procesele termice și tehnologice ce au loc, cunoscându-se mai puțin modul de interacțiune a compușilor care intră în instalație, în lucrare se prezintă o metodă de modelare statistică cu scopul identificării influențelor ce le revin fiecărei părți de instalație, a materialelor a proceselor etc. la nivelul emisiilor.

Pentru analiza influențelor la nivelul emisiilor, în lucrare a fost propus un studiu de modelare utilizând metoda planului factorial; s-au stabilit nivelurile de variație pentru fiecare factor de influență la emisiile de NO_x și s-a realizat matricea efectelor. Studiul se poate extinde la nivelul oricărui factor ce are influență asupra emisiilor.

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 au loc fenomene ce nu pot fi explicate.

BIBLIOGRAFIE

- [1]. **R. Sebben Paranhos** – *Approche multi-echelles des émissions d'un procede d'elaboration des enrobes a chaud*, Teză de doctorat, l'Universite de Rouen, 2007;
- [2]. **Z. D. Ghizdăveț** – *Modelarea matematică a unor instalații din industria cimentului* – Teză de doctorat, Universitatea Politehnica, București, 2006;
- [3]. **C Sescu Gal**, *Contribuții la îmbunătățirea managementului de mediu al echipamentelor și proceselor tehnologice din fabricile de ciment*, Teză de doctorat, UTCB, 2015;
- [4]. **I. Teoreanu, ș.a.** - *Instalații termotehnologice – lianți, sticlă, ceramică*, Editura Tehnică, București, 1979;
- [5]. **A. Woinaroschy, O. Smigelschi** – *Ingineria sistemelor și optimizarea proceselor chimice*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1983;
- [6]. **J. Goupy** - *Les plans d'experiences*, [<http://www.modulad.fr/archives/numero-34/Goupy-34/goupy-34.pdf>];
- [7]. **P. Triboulet** - *Notions de bases sur les plans d'experiences*, [http://eduscol.education.fr/rnchimie/math/triboulet/plans_experiences.pdf];
- [8]. Cercetarea experimentală realizată pe baza planului experimentelor factoriale complete - [<http://www.scrib.com/stiinta/matematica/Cercetarea-experimentală-reali512315119.php>];
- [9]. Modelarea, simularea și optimizarea proceselor tehnologice - [<http://www.regielive.ro/>].