

ANALIZA FACTORIALĂ A EFICIENȚEI DE SEPARARE DIN AER A PRAFULUI CU APLICAREA CÂMPULUI ELECTRIC ALTERNATIV DE TENSIUNE ÎNALTĂ

Conf. univ. dr. Constantin ȚULEANU
Mr. ing. Sergiu ȚULEANU
Ing. Alexandr ȚULEANU

Universitatea Tehnică a Moldovei

ABSTRACT

The paper includes the results of a theoretical study, achieved by comparing media selection method, using dispersion analysis, in which we chose emphasizing the input factors influenced, to achieve separation of mechanical particles of ventilation air by electrical methods, and the establishment of a mathematical model that would adequately describe the process of separation studied.

1. Introducere

Unul din obiectivele prioritare a conceptului dezvoltării durabile implementat la nivel mondial și național constă în prevenirea și combaterea poluării precum și asigurarea condițiilor de viață și de muncă tot mai bune pentru generațiile prezente și viitoare și se referă la totalitatea acțiunilor, mijloacelor și măsurilor întreprinse în acest scop.

Tehnologiile iono-electronice de purificare sunt considerate cele mai performante deoarece permit de a asigura, grație fenomenelor de electrizare și polarizare a materialelor de orice natură și grad de finețe, cele mai înalte eficiențe.

Folosirea câmpurilor electrice alternative în procesele de purificare, în rațiunea unor cercetători se consideră inoportună, deoarece curentul alternativ de alimentare generează efecte spectaculoase legate de schimbarea direcției câmpului electric creat în spațiul activ al filtrului, iar ca consecință și a direcției de mișcare a particulelor de poluant electrizate.

În rațiunea noastră, prin investigarea și implementarea unor concepții constructive noi în instalațiile bazate pe aplicarea a astfel de câmpuri electrice, se pot atinge performanțe ecologice mult mai avansate și la un consum redus de energie.

În prezenta lucrare, se aduc în evidență rezultatele cercetărilor teoretice pe baza planificării matematice a experimentelor privind separarea prafului din

aerul ventilat în câmp electric alternativ de tensiune înaltă. În cadrul cercetărilor s-a optat pentru conceptul de instalații cu funcționare în regim echicurent.

2. Condițiile de experimentare

Schema instalației experimentale folosită pentru investigarea eficienței de separare a prafului din aerul ventilat în câmp electric alternativ este prezentată în figura 1.

Modelul de filtru experimentat reprezintă o construcție dreptunghiulară din sticlă dielectrică organică (2) având lungimea $L = 50$ cm, lățimea $B = 11,5$ cm și înălțimea $H = 17$ cm. Spațiul activ al filtrului este echipat cu 19 electrozi de emisie cu proeminență de tip vârf (3), având lungimea de 1,5 cm, amplasați pe o placă din sticlă organică în șah cu un pas de 3,5 cm.

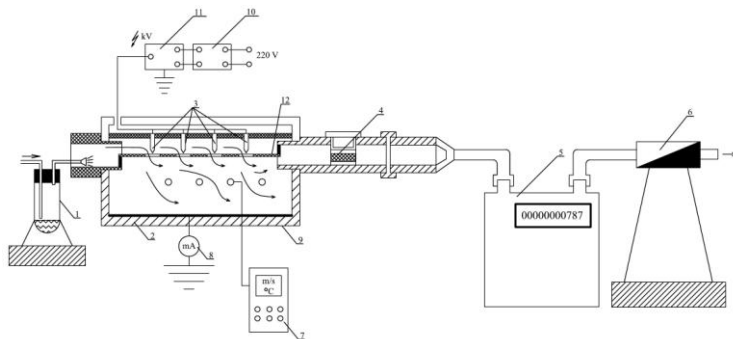


Figura 1. Schema instalației experimentale de separare a prafului din aer.

1 – dispozitiv de injectare a prafului; 2 – model de filtru electric; 3 – electrozi de emisie cu proeminență; 4 – filtru absolut; 5 – debitmetru; 6 – aspirator; 7 – termomanometru digital; 8 – microampermetru; 9 – electrod de depunere; 10 – variator de tensiune; 11 – transformator de tensiune înaltă; 12 – ecran cu orificii de diafragmare.

Într-un astfel de sistem, grație efectelor de electrizare și polarizare a mediilor, în spațiul activ dintre electrozi se stabilește o mișcare electroconvectivă simultană a fazei dispersate și de dispersie, condiționată de permitivitatea și electroconductivitatea neomogenă a fazelor.

Particulele de praf din aer în rezultatul interacțiunii cu ionii arcului electric, format de electrozii de emisie, se electrizează de același semn. Ciocnirea ionilor de gaz cu particulele de praf se produce în rezultatul mișcării electrice și termice, fenomene ce decurg simultan și care depind de dimensiunile particulelor.

Electrizarea particulelor de praf în baza mișcării electrice a ionilor depinde de intensitatea câmpului electric, aria suprafeței particulelor, proprietățile lor dielectrice și durata de aflare a particulei în câmp.

Electrizarea particulelor de praf în baza mișcării termice a ionilor nu depinde de intensitatea câmpului electric, dar depinde de dimensiunea particulelor, tipul și temperatura mediului gazos precum și durata de aflare a particulei în zona activă a instalației.

Câmpul de viteze din spațiul activ al filtrului se măsoară cu ajutorul termoanemometrului digital (7), având plaja de măsurare de la 0,2 până la 20 m/s, precizia $\delta = \pm 3 \%$. Debitul de aer supus separării se măsoară cu ajutorul unui contor cu membrane deformabile (5) având plaja de măsurare $Q_{\min.} = 0,1 \text{ m}^3/\text{h}$ - $Q_{\max.} = 16 \text{ m}^3/\text{h}$.

Cantitatea de praf intrată și ieșită din modelul de filtru s-a determinat prin cântărirea dispozitivului de dozare din amonte și a filtrului absolut din aval, la începutul și sfârșitul fiecărei experiențe folosind cântarul analitic VLA-200M cu o precizie de 0,001 mg. Electrozii de emisie se alimentează de la o sursă de curent înalt alcătuită dintr-un transformator de înaltă tensiune, un variator de curent și un chilovoltmetru pentru măsurarea tensiunii de alimentare a electrozilor de emisie. Eficiența de separare a modelului de filtru s-a investigat pentru diverse debite de aer furnizate prin spațiul activ al modelului de filtru, variindu-se tensiunea furnizată electrozilor de emisie în plaja $U = 0 \dots 15 \text{ kV}$.

Ca mediu de dispersie a fost folosit praf natural polidispers aspirat din încăperi locative și obștești cu o finețe de $\leq 80 \mu\text{m}$, cernut printr-o sita standardizată având dimensiunea ochiurilor 0,08 x 0,08 mm.

Instalația experimentală permite modelarea direcționării fluxului de aer ventilat prin spațiul activ al filtrului, în raport cu direcția forțelor electrice exterioare („vântul electric” creat de electrozii de emisie cu proeminență), precum și modelarea diferitor concepte de realizare a sistemului de electrozi din spațiul activ al filtrului.

3. Strategia teoretică a studiului

În contextul strategiei teoretice de experimentare, s-a plecat de la alegerea spre studiere a 4 factori:

- X1 – tensiunea curentului aplicată electrozilor de emisie;
- X2 – distanța dintre electrozii de emisie și electrodul de depunere;
- X3 – viteza aerului din spațiul activ al filtrului;
- X4 – diametrul orificiilor de diafragmare,

optând pentru organizarea unui experiment factorial complet 2^4 , care a permis punerea în evidență a efectelor tuturor factorilor luați în considerație, precum și a tuturor interacțiunilor dintre acești factori, făcând posibilă stabilirea formei complete a modelului matematic experimentat.

În practica de experimentare de obicei, se pune problema de a găsi modalitatea de minimizare a cheltuielilor pentru efectuarea experimentărilor și de a micșora durata lor, dar fără a afecta rezultatele căutate, care de regulă condiționează economicitatea proceselor ce utilizează rezultatele cercetărilor.

Cercetarea experimentală clasică presupune variația singulară a factorilor de intrare în sistem, când ceilalți rămân constanți. Este o metodă deterministă și costisitoare, întrucât conduce la un număr mare de experimentări.

Modelarea matricială, care are ca suport matematic metoda comparării mediilor de selecție folosind analiza dispersională, presupune că, mai mulți factori de intrare își pot modifica simultan mărimile, conducând la efectuarea unui număr redus de experimentări și în plus, rezultatele cercetării se obțin cu un anumit grad de încredere, deoarece procesul de experimentare are o anumită repetabilitate, iar modelul matematic rezultat fiind apoi verificat cu ajutorul testului de semnificație Fischer.

Structura programului experimental de cercetare în acest caz cuprinde următoarele elemente:

- numărul N de experiențe diferite, experiențe necesare pentru determinarea coeficienților de regresie;
- numărul N_0 de experiențe identice, experiențe necesare, în principal pentru determinarea erorii experimentale.

În scopul simplificării alcătuirii structurii programului experimental, pentru valorile variabilelor independente s-au folosit niveluri codificate, în particular pentru primul și ultimul nivel (minim și respectiv maxim) egale cu -1 și respectiv +1.

Pentru obținerea relației matematice a dependenței eficienței de separare funcție de cei 4 factori independenți luați în studiu, pentru cele 2 nivele de variație (maxim și minim), în prezenta lucrare s-a utilizat planul optimal de cercetare cu patru factori B_4 .

Acest plan se află în nemijlocita apropiere de planurile D - optimale și include experimentul factorial 2^4 în vârfurile hipercubului și 8 puncte situate în centrele fețelor tridimensionale. Pentru efectuarea analizei dispersionale au fost efectuate prealabil 24 de măsurători.

Pentru determinarea coeficienților de regresie a modelului matematic s-au folosit relațiile:

$$\bar{b}_0 = N^* x_0 + a^* \sum_l^k x_{il} \quad (1)$$

$$\bar{b}_{ii} = a^* x_0 + r^* - p^* x_{ii} + p^* \sum_l^k x_{il} \quad (2)$$

$$\widehat{b}_i = \frac{x_i}{a} \quad (3)$$

$$\bar{b}_{ij} = \frac{[x_{ij}]}{p}, (j \neq l) \quad (4)$$

Valorile parametrilor a, p, N^*, a^*, p^*, r^* au fost preluați din catalogul de planuri.

Dispersiile coeficienților modelului se calculează cu formulele:

$$S^2 b_0 = N \cdot S^2 Y \quad (5)$$

$$S^2 b_i = \frac{1}{a} \cdot S^2 Y \quad (6)$$

$$S^2 b_{ij} = \frac{1}{p} \cdot S^2 Y \quad (7)$$

$$S^2 b_{ii} = r \cdot S^2 Y \quad (8)$$

Tabelul 2

Analiza regresională a modelului

b	Valoarea inițială a coeficienților de regresie	b _{cr}	Valoarea finală a coeficienților de regresie	(ijY) i≠j	b _{ij} × (ijY)
b ₀	78,44	3,83	78,44	(0Y)=1980,11	155319,83
b ₁	2,47	1,876	2,47	(1Y)= 44,45	109,79
b ₂	-4,41	1,876	- 4,41	(2Y)= - 79,38	350,07
b ₃	-6,75	1,876	- 6,75	(3Y)= - 121,49	820,06
b ₄	- 3,15	1,876	- 3,15	(4Y)= - 56,77	178,83
b ₁₁	1,755	5,01	0	(11Y)= 1502,19	0
b ₂₂	5,16	5,01	5,16	(22Y)= 1509,0	7786,44
b ₃₃	-4,87	5,01	0	(33Y)= 1488,95	0
b ₄₄	3,655	5,01	0	(44Y)= 1465, 01	0
b ₁₂	0,09	2,0	0	(12Y)= 1,44	0
b ₁₃	0,329	2,0	0	(13Y)= 5,26	0
b ₁₄	0,575	2,0	0	(14Y)= 9,2	0
b ₂₃	0,168	2,0	0	(23Y)= 2,68	0
b ₂₄	- 1,265	2,0	0	(24Y)= - 20,24	0
b ₃₄	- 1,224	2,0	0	(34Y)= - 19,58	0

164565,02

Analizând datele din tabel constatăm că coeficienții b₁₁, b₃₃, b₄₄, b₁₂, b₁₃, b₁₄, b₂₃, b₂₄ și b₃₄ după valoarea absolută sunt mai mici decât valorile critice corespunzătoare și de aceea ei pot fi egalați cu zero și excluși din modelul matematic general. Astfel modelul matematic final are forma:

$$y = 78,44 + 2,47x_1 - 4,41x_2 - 6,75x_3 - 3,15x_4 + 5,16x_2^2 - 5,115x_3^2 \quad (9)$$

Verificarea corespunderii modelului obținut procesului de separare s-a efectuat cu ajutorul criteriului Fischer:

$$F_{\text{exp}} = \frac{S^2 Y_{nc}}{S^2 Y} = \frac{33,3}{11,86} = 2,81 \quad (10)$$

Valoarea tabelară a criteriului Fischer pentru numărul de grade de libertate al dispersiei necorespunderii $f_n = 24 - 6 = 18$ și nivelul de semnificație $\alpha = 0,05$ este $F_{tab} = 19,44$.

Deoarece $F_{\text{exp}} < F_{tab}$ putem concluziona că modelul matematic obținut descrie adecvat procesul cercetat de separare.

Ecuția de regresie obținută, transformată din coordonate adimensionale în scară naturală, pentru studiu de caz examinat, va avea forma.

$$\eta = 78,44 + 2,47U - 4,41H - 6,75v - 3,15d + 5,16H^2 - 5,115v^2 \quad (11)$$

4. Analiza modelului

Analizând modelul matematic obținut (9) observăm că, procesul de separare, pentru regimul echicurent de curgere a fluxului de aer prin spațiul activ al filtrului, este influențat mai mult sau mai puțin, practic de toți factorii puși în analiză (X_1 , X_2 , X_3 și X_4). Cea mai semnificativă influența asupra eficienței de separare o au, viteza curgerii aerului impurificat supus separării prin spațiul activ al filtrului (X_3) și distanța dintre electrozii de emisie și electrodul de depunere (X_2), factor care se caracterizează și printr-un efect patric asupra fenomenului de separare. Mai puțin semnificativă este influența tensiunii aplicată electrozilor de emisie (X_1) și a diametrului orificiilor de diafragmate de pe ecranele de separare a instalației (X_4).

Pentru a scoate în evidență influența fiecărui factor asupra eficienței de separare, s-au cercetat și construit dependențele grafice a eficienței de separare funcție de fiecare factor în parte $Y = f(x_i)$, ceea ce s-a realizat prin menținerea celorlalți factori a modelului la nivelul zero codificat fig. 2.

Din graficele obținute cele mai mari curburi le observăm la dependențele grafice $Y = f(x_2)$ care descrie influența asupra eficienței de separare a distanței dintre electrozii spațiului activ al filtrului și $Y = f(x_3)$ care reprezintă influența asupra eficienței de separare a vitezei aerului din spațiul activ al filtrului.

Creșterea dependenței $Y = f(x_3)$ la valori negative codificate a factorului (X_3), este cauzată de scăderea vitezei fluxului de aer care expandează prin orificiile de diafragmare, ceea ce condiționează creșterea simultană a eficienței de separare, grație aflării mai îndelungate a particulelor poluante în spațiul activ al filtrului. Curbura pronunțată pe partea respectivă a graficului se datorează și

creșterii densității curentului în secțiunea transversală a orificiilor de diafragmare, grație diametrelor mici a acestora.

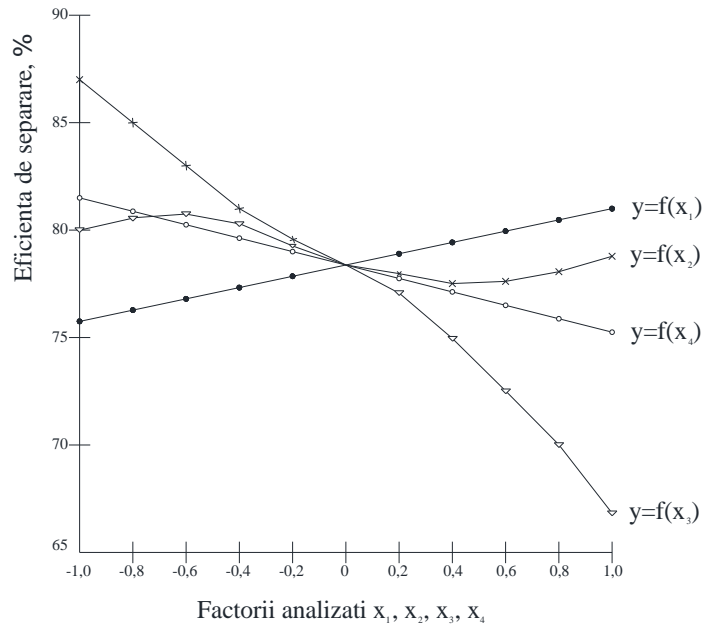


Figura 2. Dependența eficienței de separare a prafului din aer în câmpuri electrice alternative de tensiune înaltă funcție de factorii X_1 , X_2 , X_3 și X_4 .

La valori pozitive codificate a acestui factor, viteza fluxului de aer crește cu o intensitate mai superioară, deaceia și curbura pe această parte a dependenței $Y = f(x_3)$ este mai lentă, iar eficiența de separare scade mai brusc, efect condiționat simultan și de reducerea densității curentului din secțiunea orificiilor de diafragmare.

Analizând dependența grafică $Y = f(x_2)$ care descrie influența asupra procesului de separare a distanței dintre electrozii spațiului activ al filtrului observăm că, la majorarea distanței dintre electrozii de emisie și electrodul de depunere (X_2), eficiența de separare se reduce pînă la $X_2 = + 0,2$, după care începe să crească.

Acest fenomen este condiționat de efectele electrocinetice (electrizare și polarizare a particulelor poluante din aerul supus separării) și aerodinamice (de interacțiune a fluxului de aer care expandează prin orificiile de diafragmare cu getul de „vânt electric” format de arcul electric al electrozilor de emisie), efecte foarte spectaculoase produse în spațiul activ al filtrului.

Dependența grafică $Y = f(x_4)$ care descrie influența diametrului orificiilor de diafragmare asupra eficienței de separare are un caracter liniar. Observăm că cu

mărirea diametrelor orificiilor de diafragmare eficiența de separare se deminuează, fenomen condiționat de reducerea densității curentului pe secțiunea orificiilor de diafragmare iar ca consecință și a efectelor electrocinetice de electrizare și polarizare a particulelor poluante din aerul supus separării.

Creșterea liniară a funcției $Y = f(x_1)$, care prezintă dependența grafică a eficienței de separare de tensiunea curentului aplicată electrozilor de emisie, este condiționată de majorarea intensității câmpului electric din spațiul activ al filtrului iar ca consecință și de intensificare a efectelor electrocinetice și aerodinamice dintre sistemul de electrozi cu care este echipat spațiului activ al modelului de filtru.

5. Concluzii

S-a obținut modelul matematic de gradul doi care descrie adecvat influența asupra eficienței de separare a următorilor factori: tensiunea aplicată electrozilor de emisie X_1 , distanța dintre electrozii de emisie și electrodul de depunere X_2 , viteza aerului supus separării prin spațiul activ al filtrului X_3 și diametrul orificiilor de diafragmare X_4 .

Bibliografie:

1. **И.П.Верещагин и др.** Основы электрогазодинамики дисперсных систем. Ст. 125-130. Москва, 1974 г.
2. **Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц.** Электродинамика сплошных сред. Серия: Теоретическая физика. Т. 8. Москва, «Наука», 1982.
3. **Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц.** Гидродинамика сплошных сред. Серия: Теоретическая физика. Т. 6. Москва. Наука, 1986
4. **Țuleanu C., Țuleanu S., Bînzari A., Nicolaev E.** Cercetarea influenței factorilor de intrare asupra eficienței de separare în câmp electric a prafului din aerul ventilat. A XIII-a Conferința națională multidisciplinară cu participare internațională "Dorin Pavel - fondatorul hidroenergeticii Românești" ISSN 2067-7138. Sebeș. România. 2013.
5. **Țuleanu C., Țuleanu S., Bînzari A., Nicolaev E.** Cercetarea influenței parametrilor funcționali de regim asupra eficienței de separare a particulelor în câmp electric alternativ de tensiune înaltă. A XIII-a Conferința națională multidisciplinară cu participare internațională "Dorin Pavel - fondatorul hidroenergeticii Românești" ISSN 2067-7138. Sebeș. România. 2013.