A XIII-a Conferinţă Naţională multidisciplinară – cu participare internaţională,
"Profesorul Dorin PAVEL – fondatorul hidroenergeticii româneşti",
SEBEŞ, 2013

CERCETAREA INFLUENŢEI FACTORILOR DE INTRARE ASUPRA EFICIENŢEI DE SEPARARE ÎN CÂMP ELECTRIC A PRAFULUI DIN AERUL VENTILAT

Constantin ŢULEANU, Sergiu ŢULEANU,
Andrei BÎNZARI, Elena NICOLAEV

INFLUENCE ENTRANCE FACTORS RESEARCH TO IONIC-ELECTRONIC PURIFICATION A VENTILATION AIR

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.

Cuvinte cheie: câmp electric, electrozi injectori, intensitatea câmpului electric, vânt electric
Keywords: camp, injectori electrodes, electric field intensity, wind electric

1. Introducere

Unul din obiectivele prioritare a conceptului dezvoltării durabile, implementat la nivel mondial şi naţional, constă în prevenirea şi combaterea poluării precum şi asigurarea condiţiilor de viaţă şi de muncă tot mai bune pentru generaţiile prezente şi viitoare şi se referă la totalitatea acţiunilor, mijloacelor şi măsurilor întreprinse în acest scop.

Astfel devine evidentă importanţa activităţilor de cercetare şi implementare a procedeelor şi mijloacelor de purificare, capabile să satisfacă performanţele ecologice şi igienico-sanitare dorite la un consum minim de energie.

O problemă ecologică majoră, care a fost şi va rămâne pe parcurs în atenţia permanentă a specialistului din domeniu, constă în sporirea performanţelor de separare a prafului din aerul încăperilor în care îşi desfăşoară activitatea omul.

Performanţele dorite pot fi obţinute prin aplicarea tehnologiilor iono-electronice de purificare, bazate pe fenomenele electrizării şi polarizării materialelor de orice natură, fineţe şi structură chimică, sub acţiunea câmpurilor electrice de tensiune înaltă.

În prezenta lucrare, prin metoda comparării mediilor de selecţie, folosindu-se analiza dispersională, se analizează influența factorilor de regim asupra eficienţei de separare a prafului în câmp electric neomogen de tensiune înaltă.

2. Condiţiile de experimentare

Procesul tehnologic de separare a prafului din aerul ventilat s-a realizat la instalaţia experimentală conceptul căreia este prezentat în figura 1.

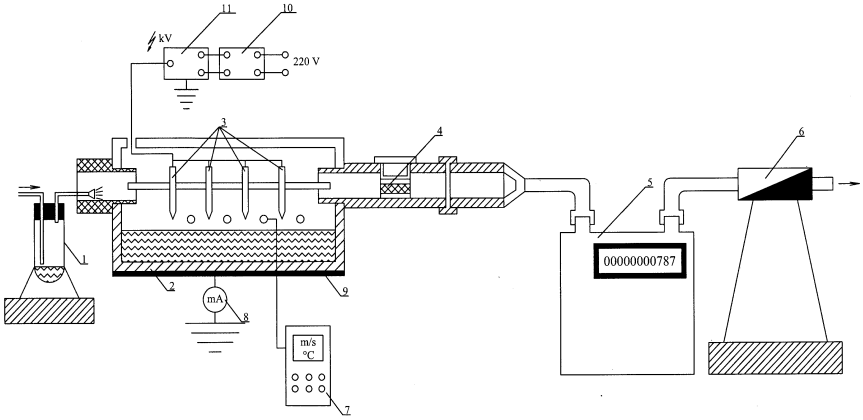


Fig. 1 Schema instalaţiei experimentale de separare a prafului din aer
1 – dispozitiv de injectare a prafului; 2 – model de filtru electric; 3 – electrozi de emisie cu proeminenţă; 4 – filtru absolut; 5 – debitmetru; 6 – aspirator; 7 – termo-anemometru digital; 8 – microampermetru; 9 – electrod de depunere; 10 – variator de tensiune; 11 – transformator de tensiune înaltă

Instalaţia experimentală permite variaţia diferitor parametri de intrare precum şi modelarea direcţionării fluxului de aer ventilat în raport cu direcţia forţei electrice exterioare („vântului electric” creat de electrozii de emisie cu proeminenţă). Astfel la efectuarea experimentărilor s-au modelat trei regimuri distincte: echicurent, contracurent şi încrucişat.

În cadrul experimentărilor efectuate s-a optat pentru luarea în studiu a următorilor factori independenţi de influenţă:

- X_1 - tensiunea E, kV aplicată electrozilor de emisie;
- X_2 - viteza v, m/s a fluxului de aer refulat prin spaţiul activ al modelului de filtru;
- X_3 - concentraţia iniţială a prafului ΔC_i, mg/m^3 din aerul refulat prin spaţiul activ al modelului de filtru.

Ca studiu de caz în prezenta lucrare se examinează influenţa interacţiunii factorilor X nominalizaţi asupra factorului de răspuns Y, în cazul dat eficienţa de separare a prafului din aerul ventilat, pentru regimul **încrucișat** de curgere.

Metodologia efectuării cercetărilor experimentale la instalaţia prezentată şi regimurile tehnologice adoptate la experimentare se descriu în [1].

3. Strategia teoretică a studiului

În contextul strategiei teoretice de experimentare, s-a plecat de la alegerea spre studiere a celor 3 factori nominalizaţi mai sus, optând pentru organizarea unui experiment factorial complet 2^3, care a permis punerea în evidenţă a efectelor tuturor factorilor luaţi în consideraţie, precum şi a tuturor interacţiunilor dintre aceşti 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 şi de a micşora durata lor, dar fără a afecta rezultatele căutate, care de regulă condiţionează economicitatea proceselor ce utilizează rezultatele cercetărilor.

Cercetarea experimentală clasică presupune variaţia singulară a factorilor de intrare în sistem, când ceilalţi rămân constanţi. Este o metodă deterministă şi costisitoare, întrucât conduce la un număr mare de experimentări.

Modelarea matricială, care are ca suport matematic metoda comparării mediilor de selecţie folosind analiza dispersională, presupune că mai mulţi factori de intrare îşi pot modifica deodată

mărimile, conducând la efectuarea unui număr redus de experimentări şi în plus, rezultatele cercetării se obţin 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 semnificaţie Fisher.

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

- numărul N de experienţe diferite, experienţe necesare pentru determinarea coeficienţilor de regresie;
- numărul N_0 de experienţe identice, experienţe 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 şi ultimul nivel (minim şi respectiv maxim) egale cu -1 şi, respectiv, +1.

Valorile pentru care au fost fixați cei 3 factori independenţi luaţi în studiu, pentru cele 2 nivele de variaţie (maxim şi minim), matricea planului de experimentare stabilit şi valorile parametrului de ieşire (de răspuns) sunt prezentate în tabelul 1.

Coeficienţii de regresie b_i s-au determinat prin împărţirea produsului scalar al coloanelor $\overline{Y}$ şi X_i, la numărul de experimente din modelul matricial planificat:

$$b_i = \left(\frac{1}{N}\right) \times \sum_{i=1}^{N} X_{i.j} \times Y_i \qquad (1)$$

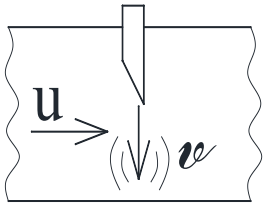
Ecuaţia generală de regresie, care ia în consideraţie efectele de interacţiune dintre nivelele diferiţilor factori are forma:

$$\hat{Y} = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_{1.2}X_1X_2 + b_{1.3}X_1X_3 + b_{2.3}X_2X_3 + b_{1.2.3}X_1X_2X_3 \qquad (2)$$

Pentru determinarea dispersiei reproductibilităţii $S^2_{rep.}$ s-au efectuat suplimentar trei experimentări în centrul planului (E = 12 kV; $v = 1,2$ m/s; $\Delta C_{i.} = 3,64$ mg/m^3), în rezultatul cărora s-au obţinut următoarele valori a parametrului de ieşire (eficienţei de separare): $Y_1^0 = 1,63$;

$Y_2^0 = 1,46$; $Y_3^0 = 1,55$. Eficienţa medie de separare conform acestor experimentări prea valoarea $\overline{Y}^0 = 1,55$.

Tabelul 1

Semnifica-ţia	$\widetilde{X}_1$	$\widetilde{X}_2$	$\widetilde{X}_3$	
$\widetilde{X}_{i0}$	12	1,2	3,64	
$\Delta\widetilde{X}_i$	3	0,5	2,09	
$\widetilde{X}_{max}$	15	1,7	5,73	
$\widetilde{X}_{min}$	9	0,7	1,55	

Experi-enţa	X_0	Planul							Valorile parametrului de ieşire		
		X_1	X_2	X_3	$X_{1.2}$	$X_{1.3}$	$X_{2.3}$	$X_{1.2.3}$	Y_1	Y_2	$\overline{Y}$
1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	0,79	0,75	0,77
2	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	1,22	1,08	1,15
3	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	0,71	0,73	0,72
4	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	0,98	0,96	0,97
5	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	2,94	2,88	2,91
6	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	4,53	4,21	4,37
7	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	2,63	2,57	2,6
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	3,62	3,58	3,6
Coeficienţii de regresie	b_0	b_1	b_2	b_3	$b_{1.2}$	$b_{1.3}$	$b_{2.3}$	$b_{1.2.3}$			
	2.136	0,386	- 0,164	1,24	- 0,074	0,229	-0,106	-0,041			

Dispersia reproductibilităţii şi precizia coeficienţilor de regresie s-au calculat cu aplicarea relaţiilor (3), care au condus la următoarele rezultate $S_{rep.}^2 = 0,00725$; $S_{rep.} = 0,0851$; $S_{b_j} = 0,03$.

$$S_{rep.}^2 = \frac{\sum_{u=1}^{m}\left(Y_u^0 - \overline{Y}^0\right)^2}{m-1}; \; S_{rep.} = \sqrt{S_{rep.}^2}; \; S_{b_j} = \frac{S_{rep.}}{\sqrt{N}} \qquad (3)$$

În scopul evaluării semnificaţiei coeficienţilor de regresie, pentru toate experienţele planului matricial sau calculat cu formula (4) valorile respective a criteriului Student, calcule care au condus la următoarele rezultate: $t_0 = 71,2$; $t_1 = 12,86$; $t_2 = 5,46$; $t_3 = 41,13$; $t_{1.2} = 2,46$; $t_{1.3} = 7,63$; $t_{2.3} = 3,53$; $t_{1.2.3} = 1,37$.

$$t_j = \frac{|b_j|}{S_{b_j}} \tag{4}$$

Semnificaţia coeficienţilor de regresie s-a verificat, conform strategiei aplicate în analiza dispersională, prin compararea valorilor calculate t_j cu valoarea tabelară t_p a criteriului Student (care pentru condiţiile date, nivelul de semnificaţie $\alpha = 0,05$ şi numărul gradelor de libertate $f = m - 1 = 3 - 1 = 2$, este egal din anexa 2 [2] cu $t_p = 4,3$). În conformitate cu această strategie, coeficientul de regresie se consideră semnificativ dacă $t_j > t_p$, în caz contrar coeficientul respectiv de regresie este nesemnificativ şi se exclude din modelul matematic adoptat.

Pentru studiul de caz dat, în rezultatul examinării respectării condiţiei $t_j > t_p$, observăm că condiţia înaintată pentru coeficienţii de regresie, $b_{1.2}$; $b_{2.3}$ şi $b_{1,2,3}$ nu se respectă, aceștia urmând a fi excluşi din model. Astfel modelul matematic obţinut pentru studiul de caz examinat capătă următoarea formă finală:

$$\hat{Y} = 2,136 + 0,386X_1 - 0,164X_2 + 1,234X_3 + 0,229X_1X_3 \tag{5}$$

Verificarea corespunderii modelului matematic obţinut cu fenomenul studiat se apreciază cu ajutorul criteriului *Fisher* conform relaţiei

$$F = \frac{S^2_{ad.}}{S^2_{rep.}} \tag{6}$$

Dispersia corespunderii S^2_{ad} s-a determinat aplicându-se relaţia următoare:

în care: Y_i sunt valorile parametrilor de ieşire (eficienţa de separare) rezultate din experimentările respective efectuate;

$\hat{Y}_i$ - valorile parametrilor de ieşire (eficienţa de separare) calculate în conformitate cu modelul matematic (ecuaţia de regresie) obţinută;

N - numărul de experimentări efectuate;

l - numărul de coeficienţi semnificativi a modelului (ecuaţiei de regresie).

$$S_{ad}^2 = \frac{\sum_{l=1}^{N}\left(Y_i - \hat{Y}_i\right)^2}{N-l} \tag{7}$$

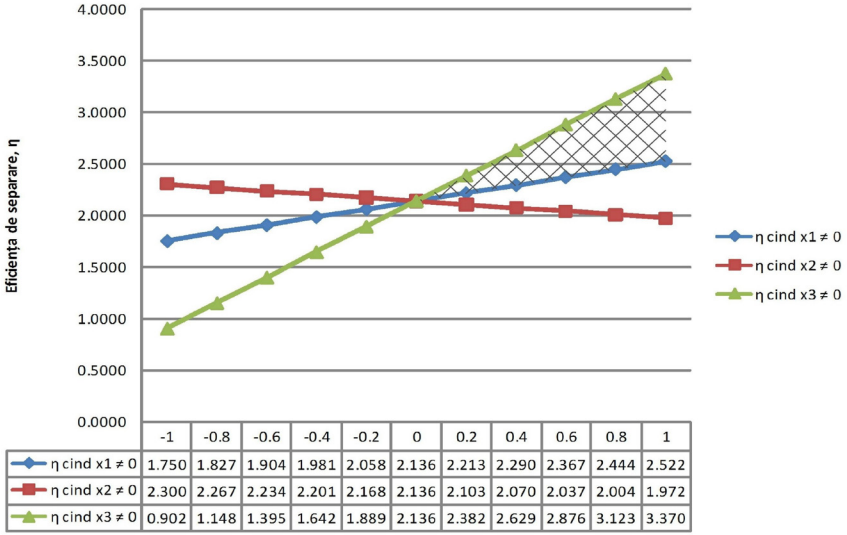
Valorile parametrilor de ieşire $\hat{Y}_i$ calculaţi cu ecuaţia de regresie au condus la obţinerea următoarei valori a dispersiei corespunderii S_{ad}^2 = 0,0491. În consecinţă criteriul Fisher calculat conform relaţiei (6) preia valoarea $F = 6,77$. Valoarea tabelară (anexa 3 [2]) a acestui criteriu pentru nivelul de semnificaţie $p = 0,05$, numărul de grade de libertate $f_1 = N - l = 8 - 5 = 3$ şi $f_2 = m - 1 = 3 - 1 = 2$ este egală cu $F_{tab.}^{p=0,05} = 19,2$. Astfel, deoarece valoarea calculată a criteriului Fisher este mai mică ca valoarea tabelată a acestuia ($F < F_{tab.}^{p=0,05}$) se consideră că ecuaţia de regresie obţinută, descrie adecvat procesul studiat.

Ecuaţia de regresie obţinută, transformată din coordonate adimensionale în scară naturală, pentru studiu de caz examinat, va avea forma:

$$\eta = 2,136 + 0,386\frac{E-12}{3} - 0,164\frac{v-1,2}{0,5} + 1,234\frac{\Delta C_i - 3,64}{2,09} + \\ +0,229\frac{(E-12)(\Delta C_i - 3,64)}{6,27} \tag{8}$$

Analizând dependenţa construită după ecuaţia de regresie (figura 2), putem constata că la majorarea şi a intensităţii câmpului electric X_1 şi a concentraţiei prafului din aerul refulat prin spaţiul activ al filtrului X_3 eficienţa de separare creşte (efectul interacţiunii X_1X_3 este pozitiv). Totodată se observă că, cu creşterea vitezei

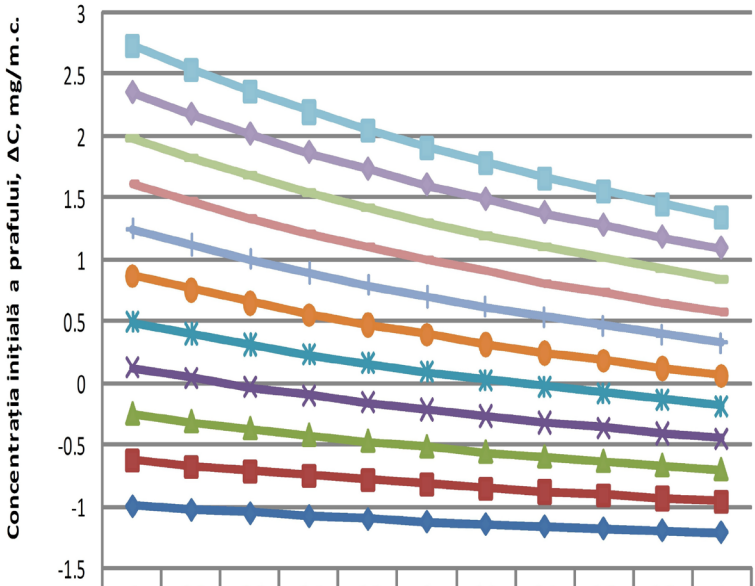
fluxului de aer refulat prin spaţiul activ X_2 eficienţa de separare scade deoarece efectul factorului nominalizat este negativ.



	-1	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1
η cind x1 ≠ 0	1.750	1.827	1.904	1.981	2.058	2.136	2.213	2.290	2.367	2.444	2.522
η cind x2 ≠ 0	2.300	2.267	2.234	2.201	2.168	2.136	2.103	2.070	2.037	2.004	1.972
η cind x3 ≠ 0	0.902	1.148	1.395	1.642	1.889	2.136	2.382	2.629	2.876	3.123	3.370

Fig. 2 Dependenţa eficienţei de separare a prafului în câmp electric de înaltă tensiune

Fenomenele respective sunt explicabile, deoarece la majorarea tensiunii aplicată electrozilor de emisie se intensifică efectul de ionizare artificială a aerului, ceea ce conduce la creşterea vitezei de deviere a particulelor de praf sub influenţa forţelor exterioare a câmpului electric. Creşterea concentraţiei particulelor de praf din aerul refulat prin spaţiul activ al filtrului, la aplicarea câmpurilor electrice alternative, conduce la intensificarea efectului de coagulare a particulelor, factor care de asemenea condiţionează intensificarea separării. Partea haşurată a graficului prezintă în raţiunea noastră zona în care specialistul din domeniu poate alege regimul cel mai adecvat pentru asigurarea eficienţei de separare solicitate la aplicarea conceptului de instalaţii de purificare bazate pe efectele tehnologiilor iono-electronice. În baza ecuaţiei de regresie (5) a fost construită nomograma (figura 3) care permite de a determina eficienţa de separare a filtrului electric în funcţie de tensiunea aplicată electrozilor de emisie E, kV şi concentraţia iniţială a conţinutului de praf din aerul ventilat prin spaţiul activ al filtrului ΔC_i, mg/m^3.



Tensiunea, E, kV	-1	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1
γ=0.75 cînd X3=	-0.995	-1.025	-1.052	-1.078	-1.101	-1.123	-1.143	-1.162	-1.179	-1.195	-1.211
γ=1.125 cînd X3=	-0.621	-0.668	-0.710	-0.749	-0.785	-0.819	-0.850	-0.879	-0.906	-0.931	-0.954
γ=1.5 cînd X3=	-0.248	-0.311	-0.368	-0.421	-0.470	-0.515	-0.557	-0.596	-0.632	-0.666	-0.698
γ=1.875 cînd X3=	0.1243	0.0454	-0.026	-0.093	-0.154	-0.211	-0.264	-0.313	-0.359	-0.402	-0.442
γ=2.25 cînd X3=	0.4975	0.4023	0.3151	0.2349	0.1609	0.0923	0.0287	-0.030	-0.085	-0.137	-0.185
γ=2.625 cînd X3=	0.8706	0.7592	0.6571	0.5632	0.4765	0.3962	0.3217	0.2524	0.1876	0.1271	0.0704
γ=3 cînd X3=	1.2437	1.1161	0.9990	0.8914	0.7921	0.7001	0.6147	0.5353	0.4611	0.3917	0.3267
γ=3.375 cînd X3=	1.6169	1.4729	1.3410	1.2197	1.1077	1.0040	0.9078	0.8182	0.7345	0.6563	0.5830
γ=3.75 cînd X3=	1.9900	1.8298	1.6830	1.5479	1.4233	1.3079	1.2008	1.1010	1.0080	0.9209	0.8393
γ=4.125 cînd X3=	2.3631	2.1867	2.0249	1.8762	1.7389	1.6118	1.4938	1.3839	1.2814	1.1855	1.0956
γ=4.5 cînd X3=	2.7363	2.5435	2.3669	2.2044	2.0545	1.9157	1.7868	1.6668	1.5549	1.4501	1.3520

Fig. 3 Nomograma pentru determinarea eficienţei de separare în funcţie de tensiunea aplicată electrozilor de emisie, X_1 şi concentraţia iniţială X_3 din aerul ventilat refulat prin spaţiul activ al filtrului electric

4. Concluzii

■ Prin efectuarea unui număr redus de experimentări, în rezultatul studiului teoretic, realizat prin metoda comparării mediilor de selecţie, folosind analiza dispersională, s-a obţinut modelul matematic adecvat procesului studiat de separare a prafului în câmp electric neomogen de tensiune înaltă, care poate fi utilizat de specialiştii din domeniu la proiectarea instalaţiilor de separare a prafului din aerul ventilat prin astfel de metode.

■ Ecuaţia de regresie obţinută, poate fi folosită pentru determinarea valorilor maximale a eficienţei de separare, cu filtre electrice bazate pe aplicarea câmpurilor electrice alternative de tensiune înaltă, în funcţie de parametrii cercetaţi.

■ Problema sporirii gradului de separare a filtrelor electrice, se cere de soluţionat cu evidenţa intensităţii şi caracterului câmpului electric aplicat, tipul electrozilor de emisie pentru care se optează, conceptul instalaţiei pentru realizarea procesului de separare şi nu în ultimul rând gradul de poluare a aerului supus purificării.

BIBLIOGRAFIE

[1] Ţuleanu C., Ţuleanu S., *Investigarea eficienţei de separare a particolelor prin valorificarea tehnologiilor iono-electronice de purificare*. Conferinţa tehnico – ştiinţifică: Instalaţii pentru construcţii şi economia de energie, Iaşi, România, 2008. 12 pag. 0,75 c.t.

[2] Ţuleanu C., Ţuleanu S., *Cu privire la sporirea eficienţei separării prafului din încăperi cu grad sporit de etanşare*. Volumul Conferinţei Ştiinţa Modernă şi Energia. Producerea, transportul şi utilizarea energiei, Ediţia 27, Cluj-Napoca, 2008. 8 pag. 0,5 c.t.

[3] Стратан Ф. И., Иродов В.Ф. *Основы научных исследований*. Кишинев. 1985.

Conf.univ.Dr. Constantin ŢULEANU
Şef catedră, preşedintele Asociaţiei Inginerilor de Instalaţii din Republica Moldova - AIIM, tel: +37369156422, email: ctuleanu@mail.ru.
Lector superior, mr.Ing. Sergiu ŢULEANU - tel: +37369210258
Lector universitar, mr.Ing. Andrei BÎNZARI, director executiv AIIM, tel: +37369546959, email: binzariandreiacgv@yahoo.com
Lector superior, mr.Ing. Elena NICOLAEV, secretar executiv AIIM, tel: +37369590737, email: elenanicolaev@rambler.ru
Catedra "Alimentări cu Căldură şi Gaze, Ventilaţie",
Facultatea Urbanism şi Arhitectură, Universitatea Tehnică a Moldovei