



(12)

BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2010 00352**

(22) Data de depozit: **21/04/2010**

(45) Data publicării mențiunii acordării brevetului: **30/10/2017** BOPI nr. **10/2017**

(41) Data publicării cererii:
30/11/2011 BOPI nr. **11/2011**

(73) Titular:
• **INSTITUTUL NAȚIONAL DE
CERCETARE-DEZVOLTARE PENTRU
FIZICA LASERILOR, PLASMEI ȘI
RADIĂȚIEI, STR. ATOMIȘTILOR NR.409,
MĂGURELE, IF, RO**

(72) Inventatori:
• **IGHIGEANU DANIEL PAUL, BD.DACIA
NR.88, ET.5, AP.21, SECTOR 2,
BUCUREȘTI, B, RO;**
• **MARTIN DIANA, STR.LIVIU REBREANU
NR.5, BL.52, SC.3, ET.4, AP.106,
SECTOR 3, BUCUREȘTI, B, RO;**

• **CĂLINESCU IOAN, STR.GHIRLANDEI
NR.38, BL.D 1, SC.C, PARTER, AP.21,
SECTOR 6, BUCUREȘTI, B, RO;**
• **MATEI CONSTANTIN, STR.NUCȘOARA
NR.5, BL.38, SC.1, ET.3, AP.12, SECTOR 6,
BUCUREȘTI, B, RO;**
• **MĂNĂILĂ ELENA, STR.BABA NOVAC
NR.17, BL.G 13, SC.1, ET.1, AP.8,
SECTOR 3, BUCUREȘTI, B, RO;**
• **CRĂCIUN GABRIELA, STR.ȘELIMBĂR
NR.32, MĂGURELE, IF, RO**

(56) Documente din stadiul tehnicii:
US 5397444; US 4825028

(54) **PROCEDEU ȘI INSTALAȚIE PENTRU CREȘTEREA
PERFORMANȚEI DE CONVERSIE A POLUANȚILOR
GAZOȘI DIN GAZELE REZIDUALE INDUSTRIALE**



RO 126841 B1

1 Invenția se referă la un procedeu și la o instalație pentru îndepărtarea poluanților
gazoși din gazele de ardere industrială.

3 Preocupările pentru sănătatea publică și controlul asupra ploilor acide, cu efect
devastator asupra covorului verde al pământului, și asupra sănătății oamenilor, au condus
5 la o acțiune răspândită la nivel mondial pentru reducerea emisiilor de SO₂ și NO_x provenite
din instalații mari de ardere (termocentrale și fabrici de ciment), prin utilizarea unor procedee
7 de depoluare diferite. În țara noastră, există reglementări foarte stricte cu privire la emisiile
de SO₂ și NO_x.

9 Printre tehnologiile convenționale pentru tratarea gazelor de ardere destinate
controlului emisiilor de SO₂ și NO_x se numără desulfurarea umedă, uscată și semi-uscată
11 (DGA), precum și reducerea catalitică selectivă (RCS). Procesele mai sus menționate
îndepărtează SO₂ și NO_x în două instalații distincte. Astfel de procedee implică tehnologii
13 chimice destul de complicate, și sunt producătoare de deșeuri, precum apă uzată, gips și
catalizatori uzați.

15 De asemenea, poluarea cu compuși organici volatili (COV) este foarte răspândită în
diferite procese din industriile chimică și metalurgică, precum și la arderea combustibililor
17 fosili și a deșeurilor. Printre efectele lor poluante putem aminti: distrugerea stratului de ozon,
formarea smogului fotochimic în troposferă, care contribuie la efectul de seră, pot fi toxice,
19 urât mirositoare sau chiar cancerigene. Reglementările din UE sunt foarte stricte și vor fi
aplicate și la noi în țară în doar câțiva ani. Principalele tehnologii utilizate pentru eliminarea
21 compușilor organici volatili din gaze sau ape uzate includ recuperarea lor prin metode de
concentrare și separare (condensare, absorbție, adsorbție), sau distrugerea prin incinerare
23 sau metode biochimice. Metodele de incinerare sunt cele mai răspândite, dar sunt scumpe
și sunt considerate neprietenoase față de mediu, deoarece pot conduce la formarea de
25 dioxine și alți compuși toxici. Metodele de absorbție și adsorbție conduc la obținerea unor
deșeuri solide și lichide greu de distrus sau depozitat. Tratamentele biologice au o viteză
27 generală mică și, în plus, mulți compuși chimici au o biodegradabilitate scăzută.

29 Tehnologia de tratare a gazelor de ardere prin iradierea cu electroni accelerați este
una dintre cele mai promițătoare metode ale noii generații de procedee de depoluare [A. A.
31 Basfar et al., "*Electron beam flue gas treatment (EBFGT) technology for simultaneous
removal of SO₂ and NO_x from combustion of liquid fuels, Fuel*", 2008, Vol. 87, No. 8-9,
pp. 1446-145; J. Licki, A. G. Chmielewski, E. Iller, Z. Zimek, J. Mazurek, L. Sobolewski,
33 "*Electron-beam flue-gas treatment for multicomponent air-pollution control*", 2003,
Applied Energy, Vol. 75, pp. 145-154; A. G. Chmielewski et al., "*Operational experience
of the industrial plant for electron beam flue gas treatment, Radiat. Phys. Chem.*", Vol.
35 71, 2004, pp. 439-442]. Este un proces de epurare uscată, pentru îndepărtarea simultană
37 a SO₂ și NO_x, în care nu este generat niciun deșeu în afara produsului secundar. Cercetările
au arătat că iradierea gazelor de ardere cu un flux de electroni accelerați poate aduce
39 schimbări chimice care facilitează îndepărtarea SO₂ și NO_x. Energia fluxului incident de
electroni accelerați este absorbită de către componentele gazului de ardere, proporțional cu
41 fracția lor masică. Principalele componente ale gazului de ardere sunt: N₂, O₂, H₂O și CO₂,
iar în concentrații mai scăzute sunt prezenți și SO₂ și NO_x. Energia electronilor este
43 consumată în procesele de ionizare, excitare și disociere ale moleculelor și, în final, pentru
formarea radicalilor activi liberi *OH, HO₂*, O, N și H. Acești radicali oxidează SO₂ și NO la
45 SO₃ și NO₂, care, în reacția cu vaporii de apă, prezenți în gazul de evacuare, formează acid
sulfuric (H₂SO₄) și acid azotic (HNO₃). Acești acizi vor reacționa în continuare cu amoniacul
47 adăugat, injectat în gazul de ardere înainte ca acesta să pătrundă în vasul de procesare,

RO 126841 B1

pentru a forma sulfatul de amoniu ((NH₄)₂SO₄) și sulfatul-nitrat de amoniu 1
((NH₄)₂SO₄ 2NH₄NO₃). Aceste săruri sunt obținute sub formă de pudră uscată, folosind un 3
colector convențional de particule. Pulberea colectată poate fi utilizată drept îngrășământ în 3
agricultură, sau ca și component pentru fertilizatorii comerciali NPK sau NPKS. Metoda a fost 5
dezvoltată de la nivel de laborator la instalații pilot și la instalații industriale, ca rezultat al 5
cercetărilor și dezvoltării proiectelor din Japonia, SUA, Germania, China și Polonia.

Pe baza rezultatelor obținute din studiile teoretice și din testele pe stații pilot la nivel 7
industrial, s-a constatat că iradierea cu electroni accelerați este o metodă eficace de 7
îndepărtare simultană a SO₂ și NO_x din gazele de ardere dintr-o termocentrală, dar consumul 9
de energie electrică este în jur de 2...4% din energia electrică totală, produsă în centrală. 9
Astfel, la scară industrială, problema reducerii consumului de energie electrică pentru 11
purificarea gazelor poluante prin reducerea costului fasciculului de electroni este foarte 11
importantă. 13

De asemenea, tratamentul cu electroni accelerați este recunoscut ca fiind eficient 15
pentru orice compus organic, și nu conduce la obținerea de reziduuri [B. M. Penetrante, M. 15
C. Hsiao, B. T. Merritt, G.E. Vogtlin, P.H. Wallman, "*Electron beam and pulsed corona 17
processing of volatile organic compounds in gas streams, Pure and Applied 17
Chemistry*", Vol. 68, 1996, pp. 1083-1088; K. Urashim and J.S. Chang, "*Removal of 19
Volatile Compounds from Air Streams and Industrial Flue Gas by Non-Thermal Plasma 19
Technology, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*", Vol. 7, No. 5, 21
2000, pp. 6023-6614]. Compușii organici volatili pot fi rapid descompuși de radicalii liberi 21
formați în timpul iradierii. Electronii accelerați de mare energie (~MeV), la contactul cu gazele 23
ce conțin compuși organici volatili, atacă componentele aerului pentru a forma speciile active 23
N₂⁺ și O₂⁺. Acestea reacționează cu apa din gaze, pentru a forma radicalii hidroxil și oxigen. 25
Cei din urmă sunt foarte activi, reacționând cu compușii organici volatili din gaze, 25
transformându-i în radicali alchil ce reacționează mai departe cu oxigenul, determinând 27
oxidarea rapidă a compușilor organici volatili. Producții intermediari de oxidare (aldehide, 27
acizi) se obțin la iradierea cu doze mici, iar atunci când iradierea continuă, oxidarea este 29
completă, până la CO₂ și apă. Concentrația de specii active foarte mare face posibil 29
tratamentul cu electroni accelerați al unor debite mari de gaze poluate cu compuși organici 31
volatili. 31

Ideea procesării materialelor prin acțiunea combinată a electronilor accelerați și a 33
microundelor, idee conținută în invenție, a fost generată de observația potrivit căreia 33
electronii accelerați (radiații ionizante) și microundele (radiații neionizante), deși 35
interacționează cu substanța prin mecanisme fizice total diferite, sunt capabili să inducă 35
aceleași efecte macroscopice finale, inclusiv în ceea ce privește reducerea poluanților din 37
ape și gaze industriale. Aceste efecte se pot produce cu randamente mai ridicate și cu 37
obținerea de caracteristici superioare de material față de iradierile separate, cu electroni sau 39
cu microunde. 39

Asocierea energiei microundelor la energia electronilor accelerați este o metodă 41
originală, potențial capabilă să producă randamente ridicate la consumuri reduse de energie 41
electrică, comparativ cu iradierea singulară cu electroni accelerați, prin reducerea dozelor 43
necesare și utilizarea unor acceleratoare de puteri mai mici (costul iradierii cu microunde 43
este mai mic decât cel al iradierii cu electroni accelerați). Prin iradierea combinată, cu cele 45
două tipuri de radiație, se are în vedere utilizarea avantajelor oferite de fiecare în parte, 45
astfel:

Iradierea cu electroni accelerați este o metodă extrem de eficace în procesarea 47
materialelor, deoarece este capabilă să inducă reacții fizico-chimice, de cele mai multe ori 49
fără catalizatori și inițiatori, la orice temperatură, în gaze, lichide și solide. Proprietatea de 49
a iniția reacții chimice și, deci, transformări de material la temperatura camerei a adus

RO 126841 B1

1 avantaje unice iradierii cu radiații ionizante [Byron Williams, "*UIEXIII Congress on*
2 *Electricity Applications*", 1996, pp. MIV 19-22; F.T. Tanasescu, R. Cramariuc,
3 "*Electrostatica V Tehnike, in Energhia Publishing House*", Moskva, 1980]: randamente
4 de practic 100% în conversia unui sistem fizico-chimic în alt sistem fizico chimic, timpi de
5 procesare de sute și mii de ori mai reduși decât cei necesari în metodele clasice,
6 productivitate cu circa 250...300% mai mare decât productivitatea clasică, adaptabilitate
7 perfectă la exigențele cele mai ridicate, privind calitatea mediului, deoarece nu eliberează
8 în atmosferă produși secundari de reacție, adaptabilitate la orice grad de automatizare și
9 control riguros al proceselor tehnologice, reducerea, în unele cazuri, a consumului de
10 energie de 20...30 ori în comparație cu procesele clasice. Esența aplicațiilor fasciculelor de
11 electroni produse de acceleratoare în procesarea materialelor constă în abilitatea electronilor
12 accelerați de a modifica proprietățile fizice, chimice sau biologice ale mediilor iradiate [W.
13 Mondelaers, "*Low-energy electron accelerators în industry and applied research*",
14 *Nuclear Instruments and Physics Research B 139*, 1998, pp. 43-50; T. Seguchi et al.,
15 "*Evolution in Beam Applications*", *Proceedings of Int. Conf.*, Takasaki, Japan, 1991,
16 p. 702; R. Mehnert, "*Review of industrial applications of electron accelerators*",
17 *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, 1996, BI 13, pp. 81-87]. Aceste
18 efecte pot fi utilizate într-o manieră benefică, cu minimum de efecte secundare, pentru
19 materiale cu însușiri noi sau îmbunătățite, și pentru o mai bună calitate a vieții. Totuși, în
20 unele tehnologii, procesarea cu electroni accelerați necesită doze mari de radiații, ca, de
21 exemplu, în eliminarea oxizilor de azot și de sulf, din gazele industriale. Doze mici de radiații,
22 simultan cu rate mari de procesare, sunt importante pentru eficiența ridicată a tehnologiilor
23 bazate pe iradiere, și introducerea acestora la scară industrială. Ca urmare, reducerea
24 dozelor de radiații constituie una dintre direcțiile principale de cercetare.

25 Procesarea materialelor cu microunde constituie o tehnologie relativ nouă, ce
26 realizează îmbunătățiri substanțiale ale unor materiale, și chiar produce materiale și
27 microstructuri care nu pot fi obținute cu alte metode. Avantajele utilizării microundelor în
28 prelucrarea materialelor sunt formulate astfel [A.C. Metaxas, "*Foundations of*
29 *Electroheat*", John Wiley & Sons Ltd., U.K., 1996]: transfer rapid de energie electro-
30 magnetică de la microunde la moleculă, efecte termice și netermice rapide, selective și
31 volumetric; lipsa produșilor poluanți de combustie; echipamente compacte; lipsa elec-
32 trozilor; automatizare la nivel înalt. De asemenea, tratarea materialelor cu microunde nu
33 produce emisii toxice în mediu, în timpul tratamentului materialelor, asigură avantaje
34 economice spectaculoase, prin reducerea substanțială, de la câteva zeci la câteva sute de
35 ori, a timpului necesar de prelucrare a materialelor, și, mai ales, permite obținerea de
36 materiale noi și microstructuri care nu pot fi obținute prin alte metode fizice cunoscute.
37 Literatura de specialitate [A.C. Metaxas, "*Radio frequency and microwave drying: a*
38 *review*", in *Proceeding of the Conference: Microwave Chemistry*, Praga, 1998; R.
39 Decaroux, "*Industrial application of RF and microwave power; present and future*", in
40 *Proceeding of the Conference: Microwave and High frequency heating*, Fermo, Italy,
41 1997] prezintă o listă amplă a numeroaselor aplicații deja industriale ale microundelor. În
42 realizarea unei instalații cu microunde, se iau în considerare și alți factori deosebit de
43 importanți, în afara celor energetici, și anume: economie de timp de prelucrare, eficiență
44 ridică de proces și compatibilitate cu mediul ambiant. De asemenea, având în vedere
45 cerințele unei instalații industriale de tratare a gazelor poluante (ușurința de aplicare și
46 costuri mici), se consideră că utilizarea iradierii cu microunde este mult mai avantajoasă
47 decât descărcările corona sau DC.

RO 126841 B1

Problema tehnică pe care o rezolvă invenția constă în reducerea dozei de iradiere cu electroni accelerați, necesară procesului de depoluare, simultan cu creșterea eficienței de îndepărtare a gazelor acide (SO ₂ și NO _x) și a compușilor organici volatili (COV), din gazele reziduale industriale, în stațiile existente de depoluare a gazelor cu acceleratoare de electroni.	1 3 5
Procedeul de îndepărtare a poluanților gazoși din gazele reziduale industriale, prin iradiere simultană, cu electroni accelerați și microunde, înlătură dezavantajele menționate mai sus prin aceea că, pentru reducerea gazelor acide SO ₂ și NO _x , dar și a compușilor organici volatili, constă în:	7 9
- fixarea geometriei de iradiere a acceleratorului de electroni;	
- apar obținerea, dozarea și condiționarea amestecului gazos ce conține poluanți, astfel: pentru gaze acide: maximum 3000 ppm SO ₂ , maximum 600 ppm NO _x , debit maxim 2 Nm ³ h ⁻¹ , temperatură gaze 65...70°C, 10% CO ₂ , 7% H ₂ O, NH ₃ adăugat stoichiometric; pentru compuși organici volatili: maximum 1000 ppmv hexan și/sau 1000 ppmv toluen diluat în aer cu 7% vapori de apă; debit maxim 2 Nm ³ h ⁻¹ , catalizator;	11 13
- iradierea cu electroni accelerați și microunde, și modificarea parametrilor de proces în funcție de rezultatele monitorizării în flux.	15 17
Instalația de îndepărtare a poluanților gazoși din gazele reziduale industriale înlătură dezavantajele menționate mai sus prin aceea că este alcătuită din:	19
- un accelerator de electroni,	
- un sistem de generare microunde, atașat unei incinte de iradiere combinată electroni accelerați și microunde, construită din oțel inoxidabil, ca și cavitare rectangulară electromagnetice multimod;	21 23
- niște magnetroane a căror protecție este asigurată de către o sarcină suplimentară de microunde, pentru uniformizarea câmpului de microunde;	25
- niște magnetroane a căror protecție este asigurată de către o sarcină suplimentară de microunde, pentru uniformizarea câmpului de microunde;	27
- un sistem de amestec și recirculare gaze.	
Instalația de îndepărtare a poluanților gazoși din gazele reziduale industriale înlătură dezavantajele menționate mai sus prin aceea că sistemul pentru generare microunde, atașat incintei de iradiere combinată, este adaptat din cuptoare cu microunde casnice modificate radical electric și mecanic, și este format din:	29 31
- un sistem de injecție microunde, montat pe incinta de iradiere combinată, constituit din șase generatoare de microunde care conțin magnetroane de 2,45 GHz, 700 W și transformatoare de filament realizate separat de transformatorul anodic;	33 35
- un sistem de alimentare și control magnetroane, pentru fiecare magnetron existând un transformator anodic, un autotransformator, un circuit pentru măsurare și afișare curent anodic.	37
Prin aplicarea invenției se obțin următoarele avantaje:	39
- tratarea materialelor cu microunde nu produce emisii toxice în mediu în timpul tratamentului materialelor, asigură avantaje economice spectaculoase, prin reducerea substanțială, de la câteva zeci la câteva sute de ori, a timpului necesar de prelucrare a materialelor;	41 43
- încălzirea catalizatorului prin acțiunea combinată a microundelor și a electronilor accelerați;	45
- eficiență de îndepărtare ridicată la orice concentrație de poluanți și la orice debit;	
- modul de injecție cu microunde al instalației este simplu, robust, ieftin, ușor de controlat, întreținut și reparat.	47

RO 126841 B1

1 Se dau în continuare două exemple de realizare a invenției, în legătură cu fig. 1...5,
ce reprezintă:

3 - fig. 1, schița incintei de iradiere combinată electroni accelerați și microunde pentru
eliminarea SO₂ și NO_x;

5 - fig. 2, schița incintei adaptate pentru îndepărtarea compușilor organici volatili, în
prezența unui catalizator;

7 - fig. 3, schița de ansamblu a sistemului de alimentare și control al modulelor
generatoare de microunde;

9 - fig. 4, schița instalației realizate pentru reducerea SO₂ și NO_x prin iradiere simultană,
cu electroni accelerați și microunde;

11 - fig. 5, schița instalației realizate pentru îndepărtarea compușilor organici volatili prin
iradiere simultană, cu electroni accelerați și microunde.

13 Procedul de iradiere a poluanților gazoși prin tratament simultan electroni accelerați
și microunde, cu un accelerator de electroni adecvat, conform invenției, cuprinde următoarele
15 etape:

Etapa 1: Se fixează geometria de iradiere a acceleratorului:

17 - se verifică pata lăsată de fasciculul de electroni pe o sticlă amplasată sub baleiorul
acceleratorului, în vederea poziționării corectă a incintei de iradiere;

19 - se fixează componentele instalației experimentale;

- se controlează funcționarea sistemului de ventilație din camera de iradiere;

21 - se controlează funcționarea corectă a mijloacelor de avertizare luminoasă, care
trebuie să fie active pe toată durata iradierii;

23 - se controlează condiționarea pornirii radiației de închiderea ușii camerei
acceleratorului.

Etapa 2: Obținerea și condiționarea amestecului gazos cu poluanți:

25 - în funcție de poluanții gazoși studiați, se procedează la obținerea, dozarea și
27 condiționarea acestora;

- se introduce în incinta de reacție amestecul gazos ce conține poluanți.

Etapa 3: Iradierea cu acceleratorul de electroni **8**:

29 - se controlează evacuarea oricărei persoane din camera de iradiere;

31 - se închide ușa de acces în camera de iradiere, și se pornește acceleratorul de
electroni **8**;

33 - se controlează funcționarea sistemului de televiziune în circuit închis, care
supraveghează instalația tot timpul iradierii;

35 - se reglează și se fixează, de la pupitrul de comandă, parametrii acceleratorului, și
se așteaptă 1...2 min pentru ca aceștia (energia medie E_c și curentul mediu I_{med}) să se
37 stabilizeze;

39 - se pornește iradierea cu electroni accelerați, și se supraveghează stabilitatea
parametrilor.

Etapa 4: Tratamentul cu microunde:

41 - se pornesc sistemele de injecție microunde aflate pe reactorul de iradiere
combinată, concomitent cu pornirea iradierii cu electroni accelerați;

43 - se reglează puterea de microunde dorită de la sistemul de generare și control
microunde.

Etapa 5: Monitorizarea amestecului gazos:

45 - se măsoară concentrațiile de gaze poluante atât înainte, cât și după tratamentul
47 simultan electroni accelerați și microunde, în flux continuu sau periodic, în funcție de soluțiile
de măsurare disponibile.

RO 126841 B1

<i>Etapa 6: Analiza produşilor solizi de reacţie:</i>	1
- în cazul în care, în urma procesului de iradiere combinată cu electroni acceleraţi şi microunde, rezultă produşi de reacţie solizi, este utilizată metoda ion cromatografică de analiză.	3
<i>Etapa 7: Oprirea instalaţiei:</i>	5
- se opresc sistemele de injecţie microunde aflate pe reactorul de iradiere combinată, concomitent cu oprirea iradierii cu electroni acceleraţi;	7
- se opreşte sistemul de obţinere a amestecului de gaze cu poluanţi;	
- se deschide uşa camerei acceleratorului şi se aşteaptă câteva minute, pentru aerisire;	9
- se recuperează produşii de reacţie, în vederea analizei;	11
- se pregăteşte instalaţia în vederea unei noi experimentări.	
Pentru realizarea incintei de iradiere combinată electroni acceleraţi şi microunde, trebuie respectate simultan următoarele condiţii de bază:	13
a) Condiţii impuse de caracteristicile electromagnetice ale microundelor	15
Pentru ca incinta să respecte condiţiile impuse de caracteristicilor electromagnetice ale microundelor, aceasta trebuie să prezinte o geometrie corespunzătoare unei cavităţi multimod cu pereţi metalici, sau unui aplicator de microunde cu dimensiuni interioare în concordanţă cu frecvenţa utilizată (2,45 GHz), pentru a permite excitarea unor moduri de oscilaţie corespunzătoare. Frecvenţa 2,45 GHz este inclusă în banda ISM (Industrial, Scientific and Medical) şi evită astfel interferenţele cu utilizatorii din telecomunicaţii (telefonie celulară, relee de MU, radare meteo aero-purtate, comunicaţii prin satelit, radare trafic-auto-poliţie, radare de marină, radare control trafic aerian etc.). Aplicatorul de microunde este acea parte a unui circuit de microunde în care radiaţia electromagnetică interacţionează cu proba. El este special executat pentru a satisface specificul procesului tehnologic şi condiţia de utilizare eficientă a energiei electromagnetice, adică să absoarbă fără reflexii fluxul de energie care se injectează în interiorul lui. S-a ales soluţia unei incinte multimod cu dimensiuni superioare lungimii de undă în spaţiul liber. O cavitate multimod permite injectarea directă de la antena unui magnetron poziţionată corespunzător, într-o geometrie care să asigure emiterea fluxului de microunde fără reflexii.	17
În cavitatea electromagnetică multimod s-a introdus o conductă din polietilenă, prin care circulă apa în timpul iradierii cu microunde. Această conductă constituie o sarcină de microunde suplimentară, care îndeplineşte două roluri esenţiale în funcţionarea corectă a incintei de iradiere ca aplicator de microunde:	19
- asigură cuplarea modurilor oscilante din cavitatea electromagnetică multimod, ceea ce asigură uniformizarea câmpului de microunde şi, deci, a iradierii cu microunde în interiorul cavităţii;	21
- protejează sistemele de injecţie de microunde (mai exact magnetroanele generatoare de microunde din componenţa sistemelor de injecţie de microunde) în situaţiile în care "sarcinile" introduse în incintă sunt de volum mic sau prezintă un procent scăzut de apă.	23
b) Condiţii impuse de caracteristicile (electrice şi geometrice) ale câmpului de electroni	25
Incinta trebuie să permită introducerea în interiorul ei a unui câmp de electroni acceleraţi cu o anumită energie cinetică E_c şi o anumită secţiune transversală (caracteristică geometrică), ambele în concordanţă cu caracteristicile oferite de acceleratorul de electroni.	27

RO 126841 B1

1 Aceste caracteristici impun ca prin unul dintre pereții metalici ai incintei să se practice o fantă
2 rectangulară acoperită cu o folie subțire de titan sau aluminiu. Această folie trebuie să fie
3 suficient de groasă pentru a nu permite ieșirea microundelor în afara cavității și, în același
4 timp, suficient de subțire pentru a permite penetrarea fără pierderi de energie a câmpului de
5 electroni accelerați. Dimensiunile fantei acoperite cu folie metalică, denumită în continuare
6 fereastră de electroni, trebuie să corespundă dimensiunilor secțiunii transversale a câmpului
7 de electroni accelerați, emis de către accelerator. Fasciculul de electroni, la ieșirea din
8 sistemul de baleiere, prezintă o geometrie de trunchi de piramidă a cărei bază se mărește
9 pe măsură ce electronii străbat un strat de aer din ce în ce mai gros, datorită împrăștierii pe
10 moleculele de aer sau alte materiale întâlnite pe parcursul lor. În cazul instalației
11 experimentale propuse, în care incinta de iradiere trebuie să fie și cavitate electromagnetică,
12 se impune limitarea dimensiunilor acesteia la valori pentru care se pot produce puteri de
13 microunde care să asigure un câmp cu o densitate suficientă de energie electromagnetică.
14 S-a ales o dimensiune pentru incinta de iradiere apropiată de dimensiunile baleiorului
15 acceleratorului ILU-6M. De asemenea, dimensiunile ferestrei de electroni, acoperită cu o
16 foiță de titan de 60 μm , corespund dimensiunilor secțiunii transversale a câmpului de
17 electroni accelerați, emis prin fereastra baleiorului acestui accelerator, și anume, 6 cm x
18 100 cm.

19 c) Condiții impuse de introducerea simultană a electronilor accelerați și microundelor
20 Introducerea simultană a unui câmp de microunde și a unui câmp de electroni
21 accelerați impune pentru incintă o geometrie cu secțiune rectangulară din câteva
22 considerente, și anume:

23 - câmpul de electroni accelerați are o secțiune rectangulară;
24 - antenele de microunde utilizate au o secțiune rectangulară, fiind adaptate din
25 cuptoare cu microunde casnice, deoarece sunt capabile să asigure un transfer maxim și
26 uniform de microunde în incinta de reacție. Injecția cu microunde în cavitatea electro-
27 magnetică multimod se realizează direct prin antenele magnetronelor care sunt poziționate
28 pe capacul superior într-o configurație geometrică ce permite emisia fluxului de microunde
29 fără reflexii, prin fante acoperite cu folii transparente la microunde, și etanșe la gazele
30 corozive din interiorul incintei;

31 - configurația geometrică la trecerea dintre sistemul de injecție microunde și incintă,
32 cât și configurația geometrică din interiorul incintei trebuie să fie astfel realizate încât să se
33 evite formarea de concentrații locale de câmp electric, care să conducă la străpungeri.

34 S-a ales soluția unei incinte rectangulare multimod, prevăzută cu mai multe fante prin
35 care se injectează câmpul de microunde pentru asigurarea unui transfer maxim și uniform
36 de câmp electromagnetic. Pe aceeași față cu aceste fante se găsește și fereastra de
37 electroni accelerați.

38 d) Condiții impuse de comportarea materialelor în câmpuri de electroni și microunde
39 Natura materialelor implicate în construcția și utilizarea incintei de reacție este foarte
40 importantă în cazul particular al utilizării acesteia în iradiere simultane cu electroni accelerați
41 și microunde, datorită particularităților comportării acestora în câmp de radiații, astfel că se
42 impune respectarea următoarelor condiții:

43 - realizarea pereților incintei din metale cu densități și număr atomic mic, pentru
44 diminuarea emisiei de radiație X de frânare prin bombardament cu electroni;

45 - pentru a limita pierderile ohmice în aplicatoare și ghiduri de undă, acestea sunt
46 construite din cupru, aluminiu sau oțel inoxidabil, deoarece în domeniul de frecvențe
47 corespunzător microundelor adâncimea de pătrundere în metal este de numai câțiva microni
48 (la 2,45 GHz este de 10 μm). Suprafețele lor interioare trebuie să fie netede, iar joncțiunile
49 dintre tronsoane fără asperități, pentru evitarea pierderilor și străpungerilor;

RO 126841 B1

- introducerea în interiorul incintei de materiale rezistente la iradierea cu electroni, dar transparente la microunde. Această condiție este greu de realizat deoarece nu există material neafectat de iradierea cu electroni care, în același timp, să fie și transparent la microunde. Subliniem că este exclusă utilizarea de piese metalice în interiorul unui aplicator de microunde. De asemenea, este exclusă utilizarea pieselor din teflon, care este un material foarte puțin rezistent la iradierea cu electroni. Orice obiect introdus în interiorul incintei de reacție modifică structura modurilor de oscilație, și afectează sistemul de injecție de microunde. Din acest punct de vedere, incinta trebuie să aibă o structură geometrică foarte simplă și orificii cât mai puține și mai mici.

S-a ales soluția unei incinte rectangulare multimod, cu pereți din oțel inoxidabil, cu un volum care să permită trecerea debitului de gaze necesar pentru efectuarea experimentelor. Dimensiunile interioare ale incintei sunt: $9\lambda \times 6\lambda \times 2\lambda$, în care λ este lungimea de undă corespunzătoare frecvenței de 2,45 GHz. În interiorul incintei se poziționează 2 tuburi din polietilenă, prin care va circula apa, astfel încât aceasta să absoarbă excesul de energie de microunde obținut în urma iradierii amestecului de gaze. Tuburile trec prin șocuri de microunde necesare pentru a evita scăpările de microunde în exterior.

În cazul tratării compușilor organici volatili, iradierea cu electroni accelerați determină transformarea compușilor organici volatili din gaze. De regulă, această transformare nu conduce la obținerea doar de CO_2 și H_2O , ci se obțin în cantități apreciabile și produși intermediari de oxidare. Pentru conversia completă a COV, tratamentul catalitic poate fi deosebit de util, iar menținerea catalizatorului sub o iradiere cu electroni și microunde conduce la activarea suplimentară a acestuia, și la scăderea temperaturii procesului de oxidare. De aceea, în partea inferioară a incintei de reacție se montează un pat din sită de oțel inox, pentru așezarea catalizatorului. Acesta este realizat și poziționat astfel încât să nu perturbe modurile de oscilație ale câmpului electromagnetic.

Sistemul de injecție microunde în incinta de reacție trebuie să fie alcătuit din sisteme și componente de microunde care să permită menținerea stabilității frecvenței câmpului electromagnetic injectat în incintă, posibilitatea compensării neadaptării dintre impedanța de ieșire a sistemului de injecție și impedanța de intrare a incintei, protecția generatorului de microunde de acțiunea distrugătoare a undelor electromagnetice reflectate, posibilitatea reglajului nivelului de putere de microunde injectate, precum și posibilitatea monitorizării nivelului de putere incidentă și reflectată.

Adaptarea și utilizarea cuptoarelor casnice cu microunde în cercetarea științifică este facilitată de simplitatea construcției și a modului de utilizare, adaptabilitatea incintei cu microunde (cavitatea multimod) la o foarte largă gamă de tipuri de sisteme materiale care pot fi procesate și studiate în microunde, costul scăzut în comparație cu instalațiile specializate pentru un domeniu îngust de cercetare și aplicare, folosirea ca generator de microunde a unui magnetron robust, cu eficiență ridicată (70%), răcit cu aer, prevăzut cu magnet permanent, și care nu necesită izolator cu ferită, pentru protecție la sarcini neadaptate. La realizarea sistemului de generare și injecție microunde în incinta de iradiere combinată au fost utilizate cuptoare cu microunde de uz casnic, modificate structural și funcțional, mecanic și electric.

Schița incintei de iradiere combinată electroni accelerați și microunde, pentru eliminarea SO_2 și NO_x , din fig. 1, este formată dintr-o cavitate **3** rectangulară multimod, un sistem **7** de injecție microunde, cu 6 magnetroane de 2,45 GHz și 700 W putere maximă, o fereastră **2** pentru pătrunderea electronilor accelerați, și o fantă **9** pentru pătrunderea șocurilor de microunde, prin care trece conducta din polietilenă prin care circulă apa.

RO 126841 B1

1 Schița incintei adaptate pentru îndepărtarea compușilor organici volatili, în prezența
unui catalizator, este prezentată în fig. 2. Gazele tratate cu electroni accelerați și microunde
3 trec printr-un pat de catalizator aflat pe partea inferioară a reactorului, și sunt evacuate
printr-o pâlnie atașată incintei. Incinta este astfel formată dintr-o intrare de gaze 1 cu 3
5 racorduri, o fereastră 2 pentru electroni, o incintă 3 de iradiere combinată, o sită metalică 4
pe care este așezat catalizatorul, o pâlnie 5 pentru evacuare gaze, un sistem 6 de amestec
7 și recirculare gaze, și un sistem 7 de injecție microunde. În figură este reprezentat și un
baleior al acceleratorului de electroni 8.

9 Reglarea continuă și în limite largi a puterii medii de microunde a constituit o
necesitate importantă pentru realizarea procedurii și, de aceea, s-a elaborat o variantă
11 modificată a tipului de generator de microunde din cuptorul cu microunde de uz casnic.
Metoda adoptată pentru reglarea puterii magnetronului se bazează strict pe caracteristicile
13 de funcționare specificate în catalogul de produs al acestuia, și anume:

- puterea medie a magnetronului în funcție de curentul mediu al acestuia: această
15 caracteristică este practic liniară în domeniul normal de funcționare a magnetronului;

- curentul mediu al magnetronului în funcție de tensiunea înaltă aplicată acestuia:
17 aceasta este o caracteristică puternic neliniară.

Metoda adoptată pentru reglajul continuu și în limite largi al puterii medii de
19 microunde a fost aceea de variere controlată a amplitudinii tensiunii înalte, aplicată între
catodul și anodul magnetronului, ce are ca efect reglajul curentului mediu, deci al puterii
21 medii a magnetronului.

Sistemul de generare microunde este constituit din:

23 - sistemul de injecție microunde, constituit din 6 generatoare de microunde care
conțin magnetroane de 2,45 GHz și transformatoare de filament realizate separat de
25 transformatorul anodic, care furnizează câmpul de microunde în interiorul cavității
rectangulare multimod (incinta de reacție). Metoda prin care se face injecția de microunde
27 permite creșterea puterii medii la zeci și sute de kW, ceea ce nu este posibil a se realiza cu
ghiduri de undă;

29 - sistemul de alimentare și control magnetroane, care se poziționează în afara
camerei de iradiere. Instalația conține 3 module de alimentare și control, fiecare modul
31 conținând câte două sisteme de alimentare și control, pentru două magnetroane.

Pentru realizarea sistemului de generare microunde s-au utilizat 6 cuptoare casnice
33 cu microunde de 700 W. Cele șase cuptoare au fost dezmembrate și reutilizate pe
componente, în proporție de 90%, în construcția sistemelor de injecție cu microunde.
35 Componentele demontate din cuptoare și reutilizate au fost magnetroanele,
transformatoarele anodice, diodele de înaltă tensiune, condensatoarele de înaltă tensiune,
37 protecțiile termice, ventilatoarele pentru răcirea magnetroanelor, microîntrerupătoarele de
securizare a ușilor, filtrele de rețea etc. S-a ales această soluție deoarece achiziționarea
39 separată a acestor componente costă cel puțin dublu în comparație cu achiziționarea unor
cuptoare casnice de microunde.

41 Sistemul de generare microunde realizat combină și alimentează 6 magnetroane
într-o configurație geometrică, electrică și funcțională unitară, radical diferită față de un
43 generator de microunde dintr-un cuptor cu microunde de uz casnic.

45 Deoarece incinta de reacție se află în camera de iradiere, este necesar ca și
comanda regimurilor de iradiere cu microunde să se facă de la distanță, adică din camera
de comandă a acceleratorului, în scopul sincronizării acestora cu regimurile de iradiere cu
47 electroni accelerați.

RO 126841 B1

Principalele modificări efectuate asupra cuptorului cu microunde sunt următoarele:	1
a) modificările mecanice - au constat în separarea compartimentelor electrice care conțin și generatoarele de microunde (magnetronanele), și fixarea lor pe incinta de iradiere combinată, pe care s-au decupat fante pentru injectarea câmpului de microunde, demontarea din compartimentul destinat magnetronului a acelor componente care sunt necesare pentru a fi reasamblate în sistemul de alimentare și control magnetron amplasat în camera de comandă, acoperirea fantei prin care magnetronul emite câmpul de microunde, cu un plastic transparent la microunde, care trebuie să permită pătrunderea fără pierderi de energie a microundelor în incinta de reacție, și care trebuie să fie etanșată corespunzător pentru a nu permite ieșirea microundelor în afara cavității, asigurarea contactului electric și etanșarea la presiunea de gaze între întregul compartiment electric, separat de cuptorul clasic de microunde, și peretele incintei de reacție;	3 5 7 9 11
b) modificările electrice au fost necesare pentru a permite reglarea continuă și în limite largi, de la zero la valoarea maximă, a puterii de microunde injectate în incinta de iradiere combinată și a timpului de iradiere, măsurarea continuă în timpul iradierii a puterii de microunde, și comanda de la distanță a regimurilor de iradiere cu microunde. Pentru realizarea acestor cerințe, am modificat corespunzător sistemul de alimentare al magnetronului, prin separarea alimentării filamentului de cea cu tensiune înaltă. Astfel, transformatorul anodic s-a reasamblat în sistemul de alimentare și control magnetron 2,45 GHz, care a fost completat cu un autotransformator (ATR) pentru varierea tensiunii în primarul transformatorului anodic, cu un sistem pentru măsurarea și afișarea curentului mediu al magnetronului, care este proporțional cu puterea de microunde, și poate fi variat cu echipamentul autotransformatorului, și cu un releu de timp pentru monitorizarea timpului de iradiere cu microunde. În compartimentul electric al cuptorului, alături de magnetron, s-a introdus un nou transformator de filament cu înfășurarea secundară prevăzută cu izolație de înaltă tensiune, față de înfășurarea primară, deoarece tensiunea de filament de ≈ 3 V se aplică pe catodul magnetronului care se găsește la potențial înalt față de pământ. Transformatoarele de filament au fost proiectate și executate în cadrul proiectului care a stat la baza cererii de brevet, și nu fac parte din componentele cuptoarelor clasice cu microunde.	13 15 17 19 21 23 25 27 29
Schița de ansamblu a sistemului de alimentare și control al modulelor generatoare de microunde este prezentată în fig. 3, în care, în camera de iradiere, sub baleiorul acceleratorului de electroni 8 , se află incinta 3 de iradiere combinată, prevăzută cu fereastra 2 pentru electroni, pe care se află montate sistemele 7 de injecție microunde, ce au în componență magnetronane 10 de 2,45 GHz, având filamentele alimentate de la transformatoare de filament 11 special realizate. În camera de comandă se găsesc sistemele 12 de alimentare și control magnetronane, ce conțin blocuri 13 de formare impulsuri de înaltă tensiune, pentru anod magnetron, transformatoare 14 anodice de înaltă tensiune, sisteme de reglaj 15 și sisteme de măsurare 16 putere microunde.	31 33 35 37
Exemplul 1: Tratamentul gazelor acide din gazele de ardere, prin iradiere simultană electroni accelerați și microunde cu acceleratorul ILU-6M	39
Schița instalației realizate pentru reducerea SO ₂ și NO _x prin iradiere simultană, cu electroni accelerați și microunde, este reprezentată în fig. 4, instalația fiind formată din accelerator de electroni 8 , incintă 3 de iradiere combinată, sisteme 7 de injecție microunde, unitate 17 de ardere combustibil, sistem 18 de evacuare gaze, filtru particule 19 , robinet 20 pentru reglare debit, ventilator 21 , pompă 22 pentru dozarea apei, pompă 23 pentru dozarea amoniacului, cameră 24 de evaporare, sistem 25 de colectare apă proces și sistem 26 de monitorizare gaze. Se parcurg etapele procedurii de iradiere a poluanților gazoși descris	41 43 45 47

RO 126841 B1

1 anterior. Se detaliază, în continuare, doar activitățile specifice reducerii simultane a gazelor
2 acide (SO_2 și NO_x) din gazele de ardere, prin tratament combinat electroni accelerați și
3 microunde cu acceleratorul ILU-6M:

Etapa 1: Se fixează geometria de iradiere a acceleratorului ILU-6M.

5 *Etapa 2:* Se pornește modelul experimental de simulare a gazelor de ardere.

7 În arzător se arde un combustibil lichid, în care se adaugă un compus organic cu sulf
(de exemplu, CS_2), în scopul obținerii concentrației dorite de SO_2 . În cazul în care
8 concentrația de NO nu este suficientă, după condiționarea gazului se va alimenta în sistem
9 NO dintr-o butelie de gaze, cu un debit măsurat.

Se reduce temperatura gazului de ardere în răcitorul de aer.

11 Gazul de ardere se divizează în două fluxuri: unul va fi atras către instalația de
laborator de către ventilator, iar restul va fi eliminat în atmosferă, prin coșul de evacuare.

13 Pentru condiționarea instalației înainte și după teste, se arde un combustibil fără sulf.

Etapa 3: Condiționarea gazului de ardere.

15 Se pornește sistemul de dozare a vaporilor de apă, pentru a crește umiditatea gazului
de ardere la nivelul dorit. Apa este preluată cu o pompă dozatoare cu piston, și evaporată
17 înainte de a fi introdusă în sistem.

19 Se injectează NH_3 în gazul de ardere, înainte ca acesta să pătrundă în incinta de
iradiere. Se folosește o soluție apoasă de amoniac, cu concentrația de 25%, care va fi
preluată de o pompă dozatoare încălzită până la evaporare, și apoi introdusă în sistem.

21 Se pornește controlerul pentru ajustarea temperaturii gazului la intrarea în incinta de
iradiere combinată la 65...70°C, prin reglarea debitului de apă din răcitorul de gaz.

23 *Etapa 4:* Iradierea cu acceleratorul ILU-6M.

Etapa 5: Tratamentul cu microunde.

25 *Etapa 6:* Monitorizarea amestecului de gaz:

27 - Gazul de ardere conține concentrații mari de SO_2 , NO_x , H_2O și CO_2 . Pentru a
asigura o măsurare cât mai corectă, se utilizează echipamentul ENDA-600 ce poate analiza
următoarele componente: SO_2 : 200...5000 ppm; NO_x : 0...500 ppm; NO_x : 0...1000 ppm;
29 0...1000 ppm; CO_2 : 0...25%; CO: 200...5000 ppm; O_2 : 10...25%.

31 - Se instalează două sisteme extractive, pentru monitorizarea în regim continuu a
concentrațiilor de SO_2 și NO_x , la începutul procesului (înainte de injecția de amoniac), și la
ieșirea din proces (după sacul filtrant). Citirea se face în afara camerei de iradiere.

33 - Temperatura gazului la intrarea în reactor este măsurată cu un termocuplu.

35 - Umiditatea gazului de evacuare se determină prin metoda analitică manuală, bazată
pe metoda 4EPA, care folosește tuburi U umplute cu granule de silicagel.

Etapa 7: Analiza produșilor solizi de reacție:

37 - Gazul care părăsește incinta de procesare trece apoi printr-o cameră de retenție,
pentru a asigura un timp de staționare suficient pentru formarea produsului secundar.

39 - Sărurile formate se recuperează ca pulbere uscată, folosind saci filtranți. Sacii de
Goretex cu îmbrăcămintă de teflon vor fi folosiți pentru colectarea produsului secundar într-o
41 incintă încălzită, pentru a evita condensarea apei din gaze.

43 - În urma procesului de iradiere combinată cu electroni accelerați și microunde, și în
prezența amoniacului, oxizii acizi SO_2 și NO_x sunt transformați într-un amestec de compuși
de sulfat de amoniu și, respectiv, azotat de amoniu. În lipsa iradierii (sau la doze de iradiere
45 insuficiente), în produsul solid mai pot apărea și sulfit, respectiv, azotit de amoniu. Proporția
dintre sulfat și azotat este dată de proporția inițială dintre SO_2 și NO_x . În scopul identificării
47 anionilor de sulfat și de sulfit, azotat și azotit, este utilizată metoda ion cromatografică.

RO 126841 B1

Etapa 8: Oprea instalației.

Rezultatele experimentale au fost obținute în următoarele condiții: temperatura amestecului de gaze 65...70°C, debitul de gaze de ardere 1,5...2 Nm³h⁻¹, 10% concentrație de CO₂, 1500...2000 ppm concentrație inițială de SO₂, 350...600 ppm concentrație inițială de NO_x, 7% concentrație apă, NH₃ adăugat stoichiometric pentru transformarea completă a SO₂ și NO_x.

Analiza rezultatelor a condus la următoarele concluzii:

- tratamentele separate cu electroni accelerați și cu microunde, precum și cele simultane sunt foarte eficiente în cazul eliminării SO₂, indiferent de concentrațiile inițiale sau de debite;

- valori apropiate de 100% ale eficienței de îndepărtare a SO₂ sunt obținute chiar și numai cu microunde care, în general, sunt mai puțin eficiente decât electronii accelerați;

- eficiența de îndepărtare a NO_x este mult mai mică decât cea a SO₂ pentru tratamentele separate cu electroni accelerați (75...85%) și cu microunde (maximum 40%), depinzând de concentrația inițială, concentrațiile apei și amoniacului, temperatura și debitul gazului, puterea de microunde, și de fasciculul de electroni, dar crește semnificativ prin tratamentul simultan până la 98%;

- eficiența de îndepărtare a NO_x crește încet dar constant cu creșterea puterii de microunde;

- utilizarea adițională a energiei de microunde la energia electronilor accelerați duce la scăderea dozei de iradiere cu electroni pentru aceleași eficiențe de îndepărtare, în special pentru SO₂, la doze de până la 10 kGy;

- în concluzie, iradierea simultană cu electroni accelerați și microunde este o metodă eficientă de îndepărtare simultană a oxizilor de sulf și de azot din gazele de ardere, fără să se genereze deșeuri, și cu costuri mai mici decât iradierea singulară cu electroni.

Exemplu de rezultate experimentale:

Tipul de tratament	Debit de gaz [m ³ /h]	SO ₂ [%]		NO _x	
		Concentrație inițială [ppmv]	Eficiență [%]	Concentrație inițială [ppmv]	Eficiență [%]
MU (1,5 kW)	1,5	1500	89,5	350	22
MU (1,85 kW)	1,5	1500	89,5	350	36,5
EA (2,7 kW)	1	2000	99,9	600	73
EA (2,7 kW) + MU (1,18 kW)	1	2000	100	600	88

Exemplul 2: Tratamentul compușilor organici volatili prin iradiere simultană electroni accelerați și microunde cu acceleratorul ILU-6M

Pentru îndepărtarea compușilor organici volatili (COV) este de preferat oxidarea lor totală, rezultând numai H₂O și CO₂. Pentru multe tehnologii care folosesc fascicule de electroni, procesele de excitare, ionizare și disociere produc specii chimice care nu sunt direct utilizabile pentru oxidarea compușilor organici volatili, și care consumă o mare parte din energia de intrare. Astfel, oxidarea incompletă poate conduce la realizarea de produse de reacție toxice. Pentru a depăși aceste limitări la îndepărtarea compușilor organici volatili, a fost propusă o tehnică hibridă, bazată pe utilizarea combinată a electronilor accelerați, microundelor și oxidării catalitice.

RO 126841 B1

1 Schița instalației realizate pentru îndepărtarea compușilor organici volatili prin iradiere
simultană, cu electroni accelerați și microunde, este reprezentată în fig. 5, instalația fiind
3 formată din accelerator **8** de electroni, incintă **3** de iradiere combinată cu pat de catalizator,
sisteme **7** de injecție microunde, compresor **27** de aer comprimat, robinet **20** de reglare debit,
5 valvă **28** de siguranță, filtru cărbune absorbant **29**, rotametrul **30**, pompă **22** pentru dozarea
apei, pompă **31** pentru dozarea compușilor organici volatili lichizi, cameră **24** de evaporare,
7 sistem **25** de colectare apă proces, robinet **32** cu 3 căi pentru selecție probă, și sac Tedlar
33 pentru prelevare probă gazoasă.

9 Un amestec de hexan (H) și toluen (T), cu o concentrație inițială de $[H]_i + [T]_i = 1000$
ppmv + 1000 ppmv, diluat în aer cu 7% vapori de apă, a fost utilizat în experimente.

11 În experimentele de descompunere a compușilor organici volatili s-au determinat
concentrațiile de oxizi de carbon și de compuși organici volatili (cele inițiale și cele nou
13 apărute). Pentru a obține o mai bună evaluare a procesului de oxidare, a fost determinată
eficiența de descompunere E_d (eficiența de conversie a COV în orice produse) și eficiența
15 de oxidare E_o (eficiența pentru conversia de COV în oxizi de carbon):

$$17 \quad E_d = \frac{[COV]_0 - [COV]_t}{[COV]_0} * 100 \quad E_o = \frac{[CO_2]_t - [CO_2]_0 + [CO]_t}{\frac{Nr. \text{Catomi}}{[COV]_0 - [COV]_t}} * 100$$

21 unde: 0 este concentrația inițială în ppmv, și t este concentrația după tratament în ppmv.

23 S-a urmărit încălzirea catalizatorului V_2O_5 în incinta de reacție la 200...300°C, astfel
încât temperatura gazelor la ieșirea din reactor să fie de numai 70...80°C. Încălzirea
catalizatorului prin acțiunea combinată a microundelor și a electronilor accelerați constituie
25 un avantaj important al metodei, deoarece consumul de energie este minim, iar instalația nu
are nevoie de schimbătoare de căldură complicate. Se parcurg etapele procedurii de
27 iradiere a poluanților gazoși descris anterior. Se detaliază, în continuare, doar activitățile
specifice descompunerii compușilor organici volatili, prin tratament combinat electroni
29 accelerați și microunde cu acceleratorul ILU-6M:

Etapa 1: Se fixează geometria de iradiere a acceleratorului ILU-6M.

31 *Etapa 2:* Pregătirea concentrațiilor de diferiți compuși organici volatili:

33 - Se alege compusul organic volatil ce va fi supus testărilor (de exemplu, hexan și/sau
toluen).

35 - Se calibrează aparatul de măsură pentru componentul ales, conform instrucțiunilor
de calibrare.

37 - Compusul organic volatil ales se introduce într-o biuretă și, cu ajutorul unei pompe
dozatoare, se obține debitul dorit de compus organic volatil lichid, care pătrunde în
vaporizator.

39 - Cu ajutorul altei pompe dozatoare, se obține debitul dorit de apă, care pătrunde în
vaporizator.

41 *Etapa 3:* Introducerea gazului ales în incinta de reacție:

43 - Cu ajutorul compresorului, prin robinetul de reglare debit, se generează aer la un
debit constant măsurat cu ajutorul unui rotametrul.

45 - Aerul intră în vaporizator, iar amestecul omogenizat de compus organic volatil
pătrunde în reactor.

47 - Se pornește sistemul **6** de amestec și recirculare gaze al incintei adaptate pentru
tratamentul COV (fig. 2), în vederea omogenizării amestecului de gaze.

RO 126841 B1

- Amestecul care iese din reactor trece printr-un vas de colectare apă, iar gazele sunt evacuate. 1

Etapa 4: Iradierea cu acceleratorul ILU-6M. 3

Etapa 5: Tratamentul cu microunde.

Etapa 6: Prelevarea probelor și analiza: 5

- Pentru măsurători preliminare la intrarea și la ieșirea din reactor, se conectează analizorul de gaze TLV PANTHER prin robinetul cu 3 căi, pentru selecție probă. 7

- Se prelevează probe de gaz, înainte și după incinta de iradiere, în pungi Tedlar, în vederea analizelor pe gaz-cromatograf. Pentru a determina concentrațiile relative ale compușilor din amestecul de compus organic volatil în aer, și ale produșilor de oxidare (CO₂ și CO), s-a utilizat cromatografia de gaze GC. Analizele s-au efectuat cu gaz cromatografal Fissons 8330, prevăzut cu un detector cu ionizare în flacără (FID) și hidrogen, ca și gaz purtător, pentru analiza compusului organic volatil, și gaz cromatografal Buck, prevăzut cu un detector cu ionizare în flacără (FID), și cu al doilea detector de conductivitate termică (TCD), având ca și gaz purtător heliul, pentru analiza compușilor organici volatili și a oxizilor de carbon (CO și CO₂). 9
11
13

- După terminarea măsurătorilor, se deconectează pompa de recirculare din circuit, și se conectează compresorul, pentru curățarea incintei prin circulația aerului atmosferic. 17

Etapa 7: Oprirea instalației. 19

Experimentele au evidențiat faptul că, în general, eficiența de îndepărtare a compușilor organici volatili prin tratament cu microunde crește odată cu creșterea concentrației inițiale, dar scade puternic cu creșterea debitului de gaz. Acest lucru contrastează cu iradierea cu electroni accelerați, caz în care eficiența de îndepărtare a compușilor organici volatili crește odată cu scăderea concentrației inițiale, și nu este influențată de debitul de gaz. 21
23
25

Prin combinarea iradierii cu electroni cu tratamentul cu microunde în prezența catalizatorului, am obținut o eficiență de îndepărtare ridicată la orice concentrație de poluanți și la orice debit. 27
29

Exemplu de rezultate experimentale:

Iradiere EA + MU; [H] _i = 1000 ppmv; [T] _i = 1000 ppmv; [H ₂ O] = 7%; Debit = 1m ³ /h								
P _{EA} kW	P _{MU} W	T °C	E _d %		E _{d(H+T)} %	CO ppmv	CO ₂ ppmv	E _o %
			Hexan	Toulen				
2,7	900	150	58,9	56,99	58,05	685	1139	16,2
5,4	900	150	73,07	73,51	73,25	1920	2111	34,8
8,1	900	150	76,97	77,3	77,1	5077	3596	76,8
2,7	1298	188	68,2	81,65	74	2739	2003	41,41
5,4	1298	188	76,15	75,05	75,64	5061	3050	75
8,1	1298	188	85,3	83,3	84,4	11244	6753	100
5,4	1298	210	87,9	84,9	86,4	5573	3621	78

RO 126841 B1

Revendicări

1

3

1. Procedeu de îndepărtare a poluanților gazoși din gazele reziduale industriale, prin iradiere simultană cu electroni accelerați și microunde, **caracterizat prin aceea că**, pentru

5

reducerea gazelor acide SO₂ și NO_x, dar și a compușilor organici volatili, constă în:

7

- fixarea geometriei de iradiere a acceleratorului de electroni;
- obținerea, dozarea și condiționarea amestecului gazos ce conține poluanți, astfel: pentru gaze acide: maximum 3000 ppm SO₂, maximum 600 ppm NO_x, debit maxim 2 Nm³h⁻¹, temperatură gaze 65...70°C, 10% CO₂, 7% H₂O, NH₃ adăugat stoichiometric; pentru compuși organici volatili: maximum 1000 ppmv hexan și/sau 1000 ppmv toluen diluat în aer cu 7% vapori de apă; debit maxim 2 Nm³h⁻¹, catalizator;

9

11

- iradierea cu electroni accelerați și microunde, și modificarea parametrilor de proces în funcție de rezultatele monitorizării în flux.

13

15

2. Instalație de îndepărtare a poluanților gazoși din gazele reziduale industriale, **caracterizată prin aceea că** este alcătuită din:

17

- un accelerator de electroni (**8**),
- un sistem de generare microunde, atașat unei incinte (**3**) de iradiere combinată electroni accelerați și microunde, construită din oțel inoxidabil, ca și cavitate rectangulară electromagnetică multimod,

19

21

- niște magnetroane (**10**) a căror protecție este asigurată de către o sarcină suplimentară de microunde, pentru uniformizarea câmpului de microunde,

23

- un sistem (**6**) de amestec și recirculare gaze.

25

3. Instalație de îndepărtare a poluanților gazoși din gazele reziduale industriale, **caracterizată prin aceea că** sistemul pentru generare microunde atașat incintei de iradiere combinată este adaptat din cuptoare cu microunde casnice, modificate radical electric și mecanic, și este format din:

27

- un sistem (**7**) de injecție microunde, montat pe incinta de iradiere combinată, constituit din șase generatoare de microunde, care conțin magnetroane (**10**) de 2,45 GHz, 700 W, și transformatoare de filament (**11**) realizate separat de transformatorul anodic,

29

31

- un sistem (**12**) de alimentare și control magnetroane, pentru fiecare magnetron (**10**) existând un transformator anodic, un autotransformator, un circuit pentru măsurare și afișare curent anodic.

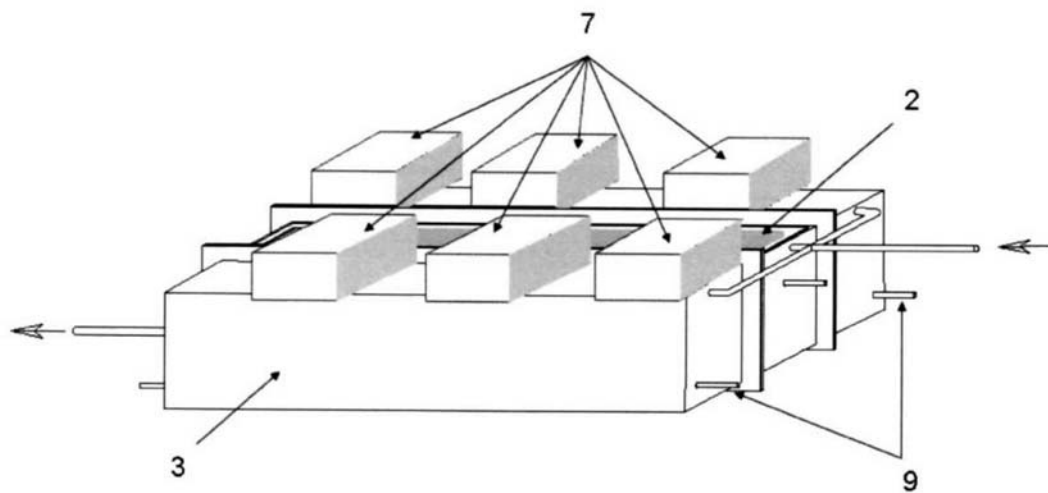


Fig. 1

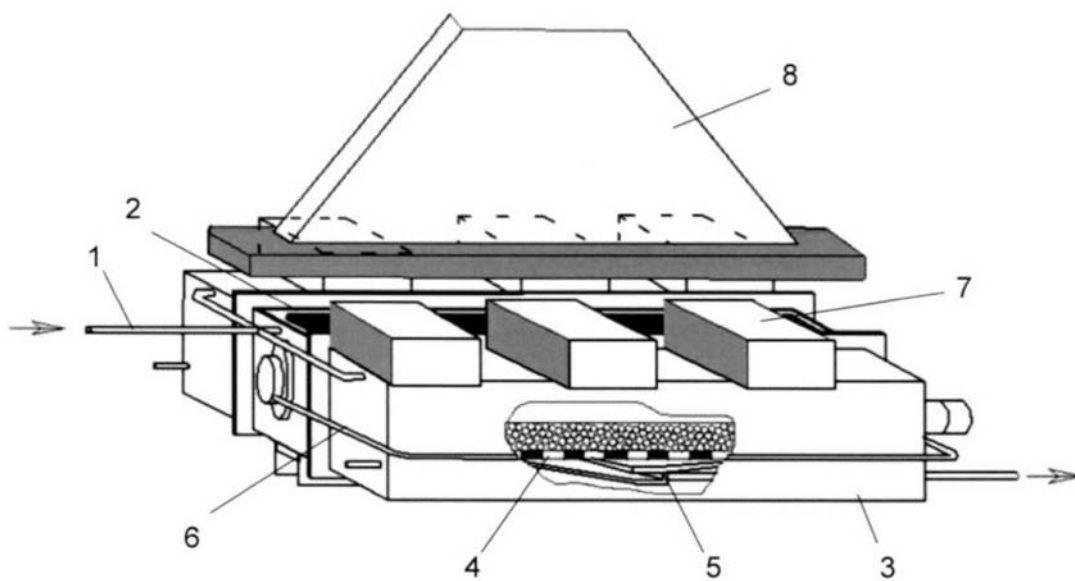


Fig. 2

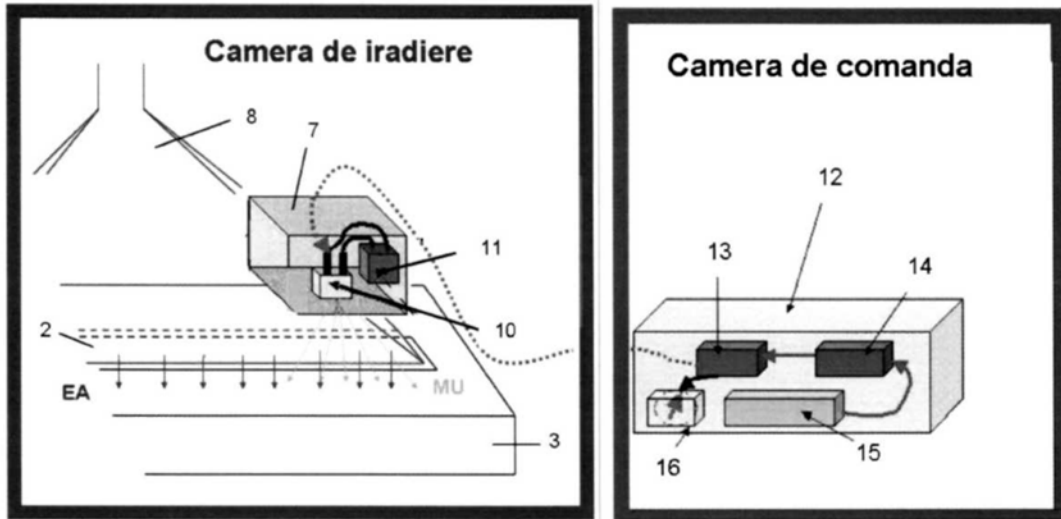


Fig. 3

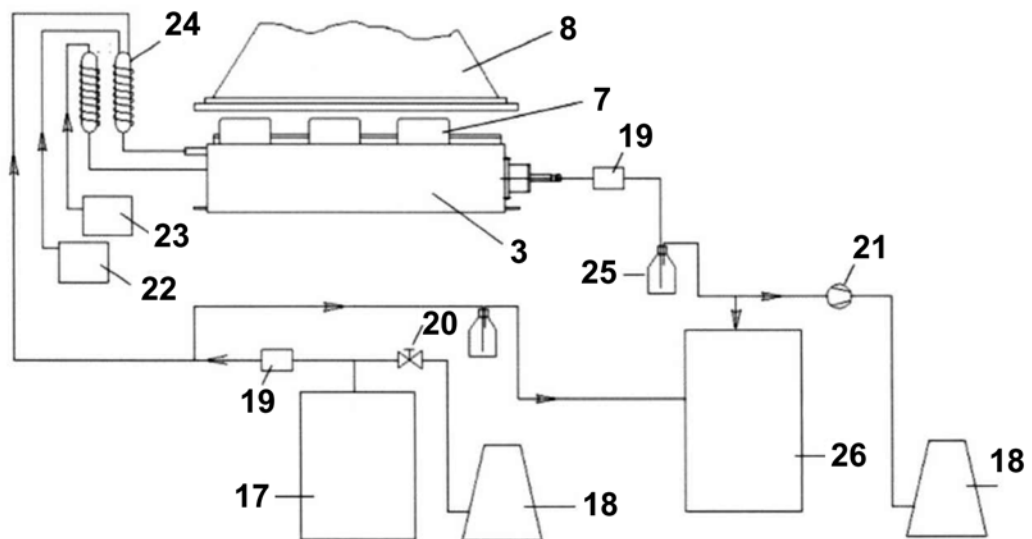


Fig. 4

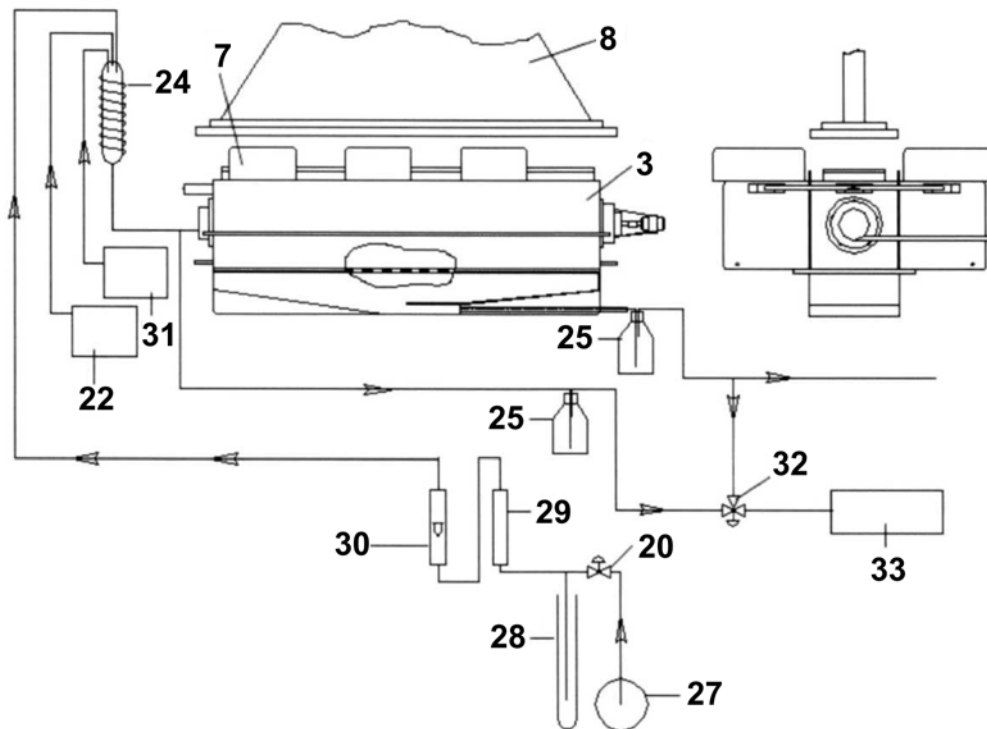


Fig. 5

