

PROTECȚIA CALITĂȚII AERULUI PRIN ECOLOGIZAREA TEHNOLOGIILOR DE UTILIZARE A CĂRBUNELUI (DIRECTIVA CE 2008/50)

Dionisie BUBURUZ

Institutul de Ecologie și Geografie al Academiei de Științe a Moldovei și al Ministerului Mediului din Republica Moldova

Abstract: Protection of air quality through greening technology using coal. Large reserves of coal of inferior quality have stimulated interest in scientific research in the greening process of preparation and coal combustion and flue gas purification. Scientific and technological achievements allow the use of coal as an energy agent quite competitive economically and environmentally. Implementation of modern cooking and burning of coal will allow utilizarea extensively for energy production.

Key words: coal, preparation and combustion technology, air protection, legislation.

Introducere

Directiva 2008/50 a CE a înăsprit condițiile pentru protecția atmosferei. Traficul și termocentralele sunt primele pe lista vinovaților de poluare. Directiva vizează toți poluanții care afectează mediul, de la plumb până la pulberile în suspensie și prevăd reducerea emisiilor de poluanți de câteva ori. Transpunerea în legislație până pe 11 iunie 2010 și 5 ani pentru conformare.

Valorile limită ale poluanților sunt micșorate semnificativ. Pulberile în suspensie se vor lua în calcul de la 2,5 μm . Statele membre trebuie, până la 01.01.2015, să aducă valoarea limită a pulberilor la cel mult 25 mg/m^3 medie pe an și la 20 mg/m^3 până în anul 2020.

Directiva vizează direct sursele de poluare ale aerului atmosferic, printre care și procesul de producere a energiei din combustibilii fosili. În anul 2010, în lume circa 16% din energie se producea din cărbune, în România circa 25%. Pronosticurile conform cărora până în anul 2050 consumul de cărbune va scădea de circa 4 ori, pare să nu se adevărească.

Având în vedere rezervele mari de cărbune bituminos, tehnologiile moderne de utilizare a cărbunelui de calitate joasă cu emisii minime de SO_2 , NO_x , CO, cărbunelui aparțin viitorului. Implementarea la CTE a modulelor de gazificare prealabilă a cărbunelui ar îmbunătăți indicatorii ecologici, fiindcă în acest caz SO_2 este legat în procesul de gazificare, iar formarea de NO_x termici este frânată de viteza mare de ardere a gazului sintetic, iar conținutul particulelor în gazele de cocs este mai mică de 50 mg/m^3 , concentrația de SO_2 de 4-5 ori mai mică decât cerințele ecologice.

Materiale și metode

Ca obiecte de cercetare au servit Directiva 2008/50 CE din domeniul protecției aerului atmosferic și determinarea impactului ecologic, actele legislative corespunzătoare ale Republicii Moldova (RM), și publicațiile științifice din domeniul cercetat.

Ca instrument de cercetare a fost utilizată analiza sistemică comparativă a corespunderii acțiunilor prevăzute în actele legislative și normativ-metodice ale RM realizărilor tehnico-științifice moderne, principiilor Concepției de dezvoltare durabilă, prevederilor Directivelor UE privind protecția aerului atmosferic și determinarea impactului ecologic.

Rezultate și discuții

Cărbunele ca agent poluant al mediului

Cercetările efectuate pe 43 de mostre de cărbune cu diferite grade de metamorfizare (joasă - Cdaf 62-73,3%, medie - Cdaf 76,4 - 85% și înaltă cu Cdaf 85,5 - 93,5%) au permis caracterizarea conținutului în cărbune a silicaților, oxizilor și hidroxizilor, carbonaților, sulfatilor, sulfurilor, fosfaților și rocii minerale [1, 2, 3]. S-a evidențiat o legătură genetică între compoziție și gradul de metamorfizare. Cei metamorfizați sunt bogați în umiditate, substanțe volatile, N_2 , H_2 , O_2 și S, în

cenușă predominantă MgO, CaO, SO₃. În cenușa cărbunelui înalt metamorfizat se găsește un conținut ridicat de SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, K₂O, Na₂O și TiO₂.

Cărbunele înalt metamorfizat conține mai mult ilit, mică, clorit, spineli, dolomit, siderit, parțial cuarț, caolinit, oxihidroxizi de Fe. În cei puțin metamorfizați, se găsesc mai mult montmorilonit, ceolită, hidroxizi de Al, calcită, pirită, ghips și sulfatați de Fe, Al, Ba.

Analiza geochimică a cărbunelui și a conținutului de Mn, Co, Ti, Zn, Cr, Mo, Pb, Ni, V în cărbunele românesc din diferite zăcăminte, arată un conținut ridicat de Mn, Co, Ti și Pb. Compușii metalelor prezenți în componența cărbunelui manifestă o influență considerabilă asupra procesului de ardere și, în paralel, zgura rezultată după procesul de combustie poate fi utilizată ca adsorbant, catalizator și ca materie primă de extragere a unor metale rare.

Elementele-impurități din cărbune sunt clasate după cum urmează:

- formatoare de cenușă - peste 0,5% (Ca, Mg, Fe, Al, P, S);
- tipomorifice - 0,5% (Ba, Ca, Zn, Mn, Ti, V);
- tipomorifice rare - 0,001 - 0,01% (Ge, Ga, Mo, Be, As, Pb, Cr);
- netipomorifice rare - (Li, Cu, Zr, Sc, Sn, Co, Ni, Sb, Y, Yb, Ag, F);
- extrarare exotice - mai puțin de 0,0001% (La, Ce, W, Tl, Hg, Nb, Ta, Bi, Hf, In).

În majoritatea cazurilor conținutul ridicat de elemente-impurități în cărbune concordă apreciabil cu situația geochimică din zona zăcămintelor de cărbune.

Conform datelor prezentate de Agenția de Protecție a Mediului din SUA, din cărbuni se degajă în mediul înconjurător 189 substanțe poluatoare, din care 10 sunt mai periculoase: Cd, Cr, Pb, Mn, Hg, Ni, dioxinele, furanii, clorurile și fluorura de hidrogen. O atenție sporită necesită Hg, forma și căile de emisie, care nu sunt îndeajuns studiate [4]. Utilizarea procedeelor de concentrare a cărbunilor micșorează conținutul microelementelor cu 30-80%. Cantitatea emisă în atmosferă depinde și de tehnologia de combustie.

Analizând componența cărbunilor spanioli și a cenușei, s-a arătat că aceștia conțin microelementele As, B, Ba, Be, Bi, Cd, Co, Cr, Cs, Cu, Ga, Ge, Hg, Li, Mn, Mo, Ni, Pb, Rb, Sb, Se, Sn, Sr, Ta, Th, Tl, V, W, U, Y, Zn, Zr și metale rare; aceeași situație este și cu cărbunii britanici.

În cărbunii rusești au fost indentificate circa 50 de elemente chimice. Concentrațiile mai mici de 0,1% au fost clasificate ca microelemente. Majoritatea elementelor au efecte toxice și cancerigene. Din ele 10 sunt toxice Cr, Zn, Hg, Cd, V, Th, F, Be, Sb, As. O parte din ele erau în cantități mai mici decât pragul toxicității și sunt clasificate ca potențial toxice: Mg, Pd, Co, Ni, Se.

În componența cărbunilor se găsesc și substanțe radioactive. S-a arătat că o CTE care lucrează pe cărbune degajă în atmosferă substanțe radioactive U²³⁸ și Th²³², nu mai puțin decât o centrală atomică electrică în regim normal de lucru. Apare necesitatea monitorizării și captării acestor substanțe cu metodele utilizate la CAE, pentru cărbunii nepreparați.

Microelementele care se găsesc în cărbuni au și un efect pozitiv - catalitic asupra procesului de combustie, dar exercită o influență negativă ecologică asupra mediului.

Etapele de preparare a cărbunelui

Procesul de preparare mecanică a cărbunelui de calitate inferioară pentru ardere constă din câteva etape: mărunțirea, tratarea magnetică (separarea piritei), spălarea cu apă (sulfatii), spălarea cu solvenți organici, uscarea, granulara sau brichetarea, umezirea, activarea prin iradiere, încălzirea (până la temperatura aproape de cea de combustie) și prepararea de oremulsii [5, 6]. Se înlătură S, sterilul și elementele toxice. Tehnologiile menționate permit respectarea legislației referitoare la puritatea aerului și ridică randamentul utilizării combustibilului solid. Se obține cărbune cu conținut de cenușă 0,430-0,860 kg la un GJ și mai puțin de 0,25 kg S la un GJ. Produsul sub formă de suspensie poate înlocui petrolul, gazul natural, praful de cărbune.

Fărămițarea - cărbunele se mărunțește până la 0,1-0,2 mm, se separă pe fracțiuni, procedeul de mărunțire poate fi fuzionat cu cel de "spălare uscată" și de demagnetizare a cărbunelui, adică desulfarea parțială a cărbunelui.

Îmbogățirea cărbunelui - se sfectuază prin separarea gravitațională în strat pseudofluidizat în coloana de clasificare a particulelor de 45 mkm. Pentru particule mai mici de 38 mkm se

utilizează centrifuga. Metoda permite înobilarea cărbunelui inițial până la 90% din potențialul energetic. Concentrarea cărbunelui mărunțit în hidrocicloane, pneumoseparatoare, sedimentatoare, cicloane, căzi cu medii grele, permit micșorarea esențială a impurităților de As, Be, Cd, Co, Cr, F, Hg, Mn, Ni, Pb, Sb, FeS₂. În cărbunele fărâmițat și concentrate, în funcție de destinația lui, se adaugă substanțe bazice (CaO, CaCO₃) pentru conservarea sulfului în procesul de combustie în produse nevolatile.

Desulfurarea cărbunelui - una din principalele impurități din cărbune, cu un puternic efect negativ asupra mediului, este sulful. Se găsește în cărbune în cantități de 0,3-6% în mai multe combinații, în hidrocarburi - sulf organic, în pirită - sulf anorganic și în cantități mai mici ca sulfuri ale metalelor. Metodele de desulfurare sunt: "spălarea uscată", flotarea, extracția, metoda magnetică și microbiologică, utilizarea microundelor ș. a. Se propun metode de desulfurare în condiții moi prin oxidesulfare și cu utilizarea, ce pare mai efektivă, a agenților reducători în metodele chimice de desulfurare. O metodă de desulfurare a prafului de cărbune este folosirea magnetitei în calitate de mediu dens pentru captarea particulelor mici în cicloane. În metodele microbiologice pentru înlăturarea sulfului anorganic din cărbune se folosesc bacteriile *Thiobacillus ferrooxidans* și *T. thiooxidans* la pH<4, la temperatura de 18-40°C, *Sulfolobus brierleyi* - la pH 1,5-4 și temperatura de 45-80°C, precum și *Pseudomonas putida* și *Escherichia coli* la 25-40°C și pH 6-8.

Extracția - pentru cărbunii puțin metamorfizați și lignite, pentru extracție se utilizează ulei de antracen, etilendiamina (EDA), parafina lichidă, piridina, percloretilena și altele. După prelucrarea cărbunelui cu HNO₃ se extrage cu alcoolii în reactor semicontinuu. Adăugarea apei și KOH crește considerabil gradul de extracție a sulfului.

Activarea cărbunelui - cărbunele cu umiditatea sporită înainte de ardere se usucă. Cel mai efektiv procedeu de uscare s-a dovedit a fi în strat efervescent cu vapori de apă. Prioritatea utilizării la centralele electrice a cărbunelui uscat constă în micșorarea emisiilor acide la arderea lui și creșterea randamentului cu 15% în comparație cu cărbunele brun umed. Concomitent cu încălzirea cărbunelui poate fi efectuată și activarea termică pentru arderea mai deplină și diminuarea emisiei oxizilor de sulf în atmosferă.

Oremulsiile - o direcție cu perspectivă de preparare a cărbunelui este obținerea suspensiilor de cărbune în apă, păcură, ulei, petrol etc. Ca stabilizatori se utilizează emulgatori.

Metodele chimice de conversie a cărbunelui

Metodele chimice de conversie a cărbunelui sunt: gazificarea, piroliza, hidrogenarea și lichefierea [7].

Lichefierea - cărbunele puțin metamorfizat prin procesul de lichefiere cu sau fără catalizatori, în prezența solvenților ca tetralina, naftalina și decalina este transformat în cărbune mai caloric și hidrocarburi cu conținut minim de sulf. Produsele lichide prin distilare se separă în uleiuri, benzină, motorină fără sulf. Din reziduu se extrag cu tetrahidrofuran produsele lichide, din care se separă asfaltene, preasfaltene, uleiuri. Din uleiuri se extrag hidrocarburi alifatiche, aromatice și polare. Au fost indentificate 46 de substanțe aromatice, 26 polare. Condițiile de lichefiere sunt: presiune inițială a CO 6-7 mPa, finală 27-31 MPa, temperatura - 350-475°C, timp - 30 min, cu și fără catalizator. Sistemele utilizate: CO/H₂O; CO/H₂O/FeS₂; CO/H₂O/FeS₂/S. Randamentul 80-95%. Creșterea temperaturii mărește cota uleiurilor, mărirea timpului de reacție a substanțelor gazoase. Lichefierea microbiologică a cărbunilor se efectuează în prezența bacteriilor și fermenților, ca *Acinetobacter colcoacticus* BK-4883, *Pseudomonas denitrificans* BK-4884, *Pseudomonas longa* 4885. După prelucrarea cărbunelui cu ștampul de bacterii, se efectuează lichefierea la temperatura de 110-275°C în mediu de alcool metilic ori izopropilic în raportul carbine:alcool 1:0,03-1:0,06 și 1:2-1:4, corespunzător.

Hidrogenarea - cărbunele brun poate fi lichefiat și prin hidrogenare la presiuni și temperaturi înalte în prezența catalizatorului, în amestec cu reziduuri petroliere, la presiunea 8, 10 și 12 MPa, la 380°C, timp de 2 ore. Produsele lichide și solide se despart cu toluol și n-hexan. În calitate de catalizatori ai hidrogenării se utilizează substanțe ce conțin metalele tranzitive.

Piroliza - cărbunile de calitate joasă, prin piroliza în strat fluid, se transformă în combustibil util energetic și ecologic. În procesul de piroliză a cărbunilor brunii, turbei, lignitelor, șisturilor, la ele se adaugă rășini fenolice, ce influențează randamentul de obținere a cocsului și a altor produse. Variația condițiilor de piroliză permite obținerea produselor cu o anumită componență. Au fost identificate circa 40 de substanțe în fracțiile aromatice ale rășinilor. Piroliza cărbunelui pentru obținerea gazului se efectuează în reactoare cu două zone. În partea de sus are loc piroliza pulberii de cărbune în contact cu gazele de ardere, iar în cea de jos - a gazocarbonizatului. Piroliza și arderea au loc în strat pseudolichiefiat. Mai complicat decurge piroliza cărbunelui bituminos. El se amestecă cu resturile de cocs de la gazificarea moale și se supune pirolizei într-un reactor încălzit cu microunde cu o iradiere la intrare de 2,45 GHz, ce variază de la 450-650 W. Partea componentă de cărbune - de la 30 la 60%. Energia de activare crește (23,63-38,84 J/g.mol), iar constanta vitezei reacției se micșorează (1,31-0,48 min⁻¹) cu creșterea concentrației cărbunelui în amestec de la 30 la 60%.

Gazificarea - tehnologiile de gazificare se utilizează pentru cărbunii cu conținut ridicat de substanțe volatile, de rocă și sulf, lignite și este bazată pe prelucrarea suspensiei de cărbune în apă, în prezența oxigenului cu înlăturarea rezidului lichid. La gazificarea cărbunelui se obține cărbune fără fum - semicocs cu conținut de rășini mai mic de 2% și gaze de conversie. Sulful este captat sub formă de sulf elementar de 99,7%. Gazele obținute se purifică de S, Hg, HCl ș. a. în cicloane și coloane de spălare. Gazificarea cărbunelui se efectuează într-un reactor înzestrat cu echipament pentru fluidizarea prafului de cărbune, cu sau fără catalizator. Timpul de reacție a particulelor de cărbune este circa o secundă. Consumul de cărbune 5-10,0; O₂ - 4-8; vapori de apă - 4-6 kg/oră. Gradul de conversie 0,97. Temperatura de conversie 850-1150°C. Gazul conține 38% H₂, 48% CO. Randamentul este 78%.

Combustia cărbunelui

Elaborarea metodelor noi de ardere a combustibilului are ca scop ridicarea maximă a eficienței și diminuarea cantității poluanților degajați.

Dintre cele mai rentabile procedee de ardere a cărbunelui cu cele mai joase emisii de substanțe nocive în atmosferă, pot fi menționate următoarele: a) arderea cărbunelui preparat; b) arderea în strat pseudofluidizat; c) arderea în strat efervescent; d) arderea pe trepte; e) arderea în prezența de adaosuri de substanțe chimice (adsorbanti, oxidanți, reducători); f) arderea în prezența catalizatorilor; g) arderea oremulsiilor; h) utilizarea arzătoarelor sofisticate [8, 9].

La arderea combustibilului în strat fluidizat temperatura regimului de ardere este cuprinsă între 830-880°C, obținându-se în rezultat numai oxizi de azot "de combustibil". Degajarea lor nu depășește de obicei nivelul de 200 mg/m³, când conținutul oxigenului în fum atinge 7%.

Sulful ce se găsește în cărbune, în procesul de gazificare se transformă în H₂S și COS, care se înlătură din combustibilul gazos nepurificat prin absorbția lor de către solvenți selectivi, sau prin hidroliza COS până la H₂S.

Sursa principală de formare a NO_x este camera de ardere a turbinei de gaze. Pentru a stopa procesul de formare a NO_x se folosesc următoarele procedee:

- injectarea lichidelor inerte în zona de ardere;
- folosirea instalațiilor "uscate" de ardere cu un nivel scăzut de formare a oxizilor de azot.

Optimizarea procesului de combustie se obține și prin utilizarea catalizatorului procesului de ardere. În calitate de catalizatori sunt propuși cromitul de Mg și cromitul de Cu+Mg. Pentru activarea lui se adaugă suplimentar oxid de vanadiu în următoarea proporție de masă în %: Mg_xCr₂O₄, ori Mg_{1-x}Cu_xCr₂O₄ 10-26, oxid de vanadiu 1-6, restul Al₂O₃.

La combustia oremulsiilor diminuarea emisiei de NO_x constituie 25-45%. Se poate micșora emisia de NO_x cu 25-45% la utilizarea emulsiilor apă-cărbune. Acest efect apare și la injectarea apei în zona de ardere. Arderea concomitentă a cărbunelui cu gaz ori păcură duce la diminuarea emisiei de NO_x.

Purificarea gazelor de coș

Sunt elaborate o serie de metode de purificare a gazelor de coș de aerosoli, HCl, COS, HF, HCN, CO, CO₂, H₂S, hidrocarburi, dioxine, furani, benzopireni, pulberi, funingine, cenușă volatilă, metale grele, SO₂+NO_x, CO+SO₂, CO+NO_x, CO+SO₂+NO_x și amestecurile lor.

Metodele utilizate se împart în umede și uscate. Pentru purificarea uscată a gazelor se utilizează filtre, cicloane și filtre electrice. Filtrele pot fi de construcție diferită.

Mai efective sunt metodele umede unde gazul de coș este irigat cu soluții dispersate prin injecție în contrasens. Gazele pot fi irigate în scrubere și cu apă.

Metoda aditivă aridă de captare a sulfului prezintă un mare interes pentru instalațiile mici prin cheltuielile relativ mici de capital, suprafețe reduse, lipsa apelor reziduale.

La compararea sistemelor de desulfurare a gazelor prin adsorbție s-a arătat că mai efectivă este desulfurarea la trecerea gazelor prin strat pseudofluidizat de sorbent.

Pentru Republica Moldova sunt mai preferabile metodele umede, dat fiind că în calitate de absorbant pot fi folosite soluțiile și suspensiile de var, calcar, la fel și deșeurile prelucrării pietrei și producerii varului. Metoda umedă de desulfurare a gazului de coș necesită un volum mai mare de lucru, dar eficacitatea ei este de 98-99%.

Comparând metodele catalitice cu cele necatalitice se demonstrează că în ambele cazuri se obțin rezultate efective (90%), dar s-a stabilit că metoda necatalitică este economic și tehnologic cu mult mai convenabilă. Dar și metoda catalitică selectivă de reducere (SRC) are o utilizare foarte largă. Optimizarea proceselor SRC se obține prin controlul procesului.

Gazele pot fi purificate de NO_x și prin adsorbție cu soluții bazice și acide.

Sunt elaborate o serie de metode de înlăturare concomitentă ori pe trepte a substanțelor poluante din gazele de coș. Calea cea mai simplă este recircularea gazelor în camera de ardere, optimizarea procesului de combustie și arderea suplimentară cu sau fără catalizator, utilizarea arzătoarelor speciale și a membranelor, modificarea formei camerei de ardere. În aceste metode se folosesc procedee ca: adsorbția, absorbția, condensarea, adăugarea de substanțe chimice, reducerea, oxidarea, bioconversia, metoda catalitică selectivă și neselectivă (SCK-tehnologia), utilizarea metodelor electrochimice de iradiere cu flux de electroni accelerați, energia de ionizare a scânteii electrice, iradierea cu unde radio și de frecvențe înalte.

Sinteză

Ecologizarea procesului de producere a energiei din cărbune prevede următoarele tehnici de preparare prealabilă și combustie a cărbunelui și de purificare a gazelor de coș:

- prepararea cărbunelui de calitate joasă înainte de procesul de combustie, utilizarea proceselor controlate de combustie, ca o consecință rezultând simplificarea proceselor de purificare a gazelor de coș, ceea ce permite diminuarea emisiilor în atmosferă a substanțelor poluante;

- utilizarea în complex a metodelor de preparare și de combustie a cărbunelui cu cele de purificare a gazelor de coș permite micșorarea cheltuielilor capitale pentru construirea unei CTE pe cărbune cu 20-30% din costul echipamentului mai simplificat de purificare a gazelor de coș.

Apariția Directivei CE 2008/50 a dus la înnăsprirea măsurilor pentru protecția atmosferei. În cazul Republicii Moldova, la prima etapă, luând în considerație starea economică se recomandă pentru sectorul energetic:

- pentru instalațiile de ardere din raioane adăugarea prealabilă în cărbune a deșeurilor de la carierele de piatră ar permite micșorarea emisiei oxidului de sulf;

- pentru sobele și cazanele din sectorul privat este necesar importul de cărbune preparat, fără fum;

- folosirea în centrele raionale a instalațiilor termogeneratoare de putere mică ar ridica randamentul utilizării cărbunelui și ar permite arderea lui fără echipamente de purificare a gazelor de coș;

- implementarea tehnologiilor moderne de preparare și combustie a cărbunelui și de purificare a gazelor de coș ar permite diminuarea nivelului de poluare a atmosferei în RM cu circa 20-45%.

Concluzii

Utilizarea tehnologiilor moderne de preparare și combustie a cărbunelui, de purificare a gazelor de coș permite îndeplinirea prevederilor Directivei CE 2008/50, privind diminuarea emisiilor de substanțe poluante în atmosferă.

Bibliografie

1. Buburuz D., Brega V., Șofransky V., Carabulea B., Nicorici T., 1997 - *Bazinul aerian: impact și protecție*, Informație de sinteză I.C.S.I.T.E. al RM. Chișinău, 77 pp.
2. Buburuz D., Turta C., Bulgac I., Sofransky V., Spataru T., 1999 - *Tehnologiile de combustie și de epurare a gazelor de coș de oxizii de azot*, Informație de sinteză I.C.S.I.T.E. al RM, Chișinău, 63 pp.
3. Buburuz D., Turta C., Șofransky V., Bulhac I., 1995 - *Tehnologiile de tratare și combustie a carburanților pentru diminuarea emisiei oxidului de sulf (IV)*. Informație de sinteză I.C.S.I.T.E. al RM, Chișinău, 54 pp.
4. Ibarra Jose V., 1994 - *Release of volatile sulfur compounds during low temperature pyrolysis of coal*, Fuel, 73(6):933-939
5. Kreysa G., 1992 - *Electrochemical technologies for clean environment*. Int. Soc. Electrochem. (ISE). Cordoba. 52-53.
6. Loser Th., 1991 - *Adsorptive Rauchgasnachreinigung mit Aktivkoks*, Entsorg. Prax., Spez., 6:32-36
7. Whittingham P., 1994 - *Well Romanians eyeing CFBC for emissions control*, Coal and Synfuels Technol, 15(41):8-12
8. Sinoda Kaohary Sato Tory, 1991 - *Status and perspective desulphurisation technologies and dentrificare elaboration*, Gyps. and Lime, 234:337-343
9. Smart J. P. et al., 1994 - *The effectiveness of multifuel reburning in an internally fuel-staged burner for NOx reduction*, Fuel, 73(9):1437-1442

Date de contact

Dionisie BUBURUZ: Institutul de Ecologie și Geografie al Academiei de Științe a Moldovei și al Ministerului Mediului din Republica Moldova, str. Academiei 1, Chișinău, RM. MD 2028, e-mail: fordinu2000@yahoo.com, fordinu@mail.ru