



(12)

CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2013 00111**

(22) Data de depozit: **21.07.2010**

(41) Data publicării cererii:
29.11.2013 BOPI nr. 11/2013

(86) Cerere internațională PCT:
Nr. **CA 2010/001123 21.07.2010**

(87) Publicare internațională:
Nr. **WO 2012/009781 26.01.2012**

(71) Solicitant:
• **ATOMIC ENERGY OF CANADA LIMITED,**
1 PLANT ROAD, CHALK RIVER, ONTARIO,
CA

(72) Inventatori:
• **SPERANZINI ROBERT A., 36 CHADWICH**
DRIVE, DEEP RIVER, ONTARIO, CA;
• **MILLER DOUGLAS, 1540 PRESTWICK**
DRIVE, ORLEANS, ONTARIO, CA;
• **SEMMLER JALEH, 11 SUMAC COURT,**
DEEP RIVER, ONTARIO, CA

(74) Mandatar:
FRISCH & PARTNERS S.R.L., BD.CAROL I
NR.54, SC.B, ET.3, AP.5, SECTOR 2,
BUCUREȘTI

(54) **PROCEDEU ȘI REACTIV DE DECONTAMINARE A UNUI REACTOR**

(57) Rezumat:

Invenția se referă la o compoziție concentrată de reactiv de decontaminare, și la un procedeu asociat pentru decontaminarea reactoarelor nucleare sau a componentelor acestora. Reactivul de decontaminare este o suspensie apoasă, cuprinzând EDTA și acid citric în raport de 1:5...3:1 în greutate. Procedeu de decontaminare cuprinde: injectarea reactivului de decontaminare în agentul de răcire circulant dintr-un sistem primar de transport al căldurii, de răcire sau de transport al apei, al unui reactor nuclear, circularea soluției de reactiv menționate, pentru a dizolva depunerile conta-

minate din sistemul menționat, trecerea soluției de reactiv printr-o rășină schimbătoare de cationi, pentru a colecta cationii și radionuclizii dizolvați, în scopul regenerării soluției de reactiv, recircularea soluției de reactiv regenerată prin sistemul menționat, urmată de trecerea soluției de reactiv printr-o rășină schimbătoare de ioni în pat mixt, pentru a îndepărta reactivul de decontaminare din sistemul menționat.

Revendicări: 20
Figuri: 4



PROCEDEU ȘI REACTIV DE DECONTAMINARE A UNUI REACTOR

DOMENIUL INVENȚIEI

[0001] Această invenție este adresată decontaminării suprafețelor contaminate cu materiale radioactive, cum ar fi suprafețe de transmitere a căldurii și de răcire din reactoarele nucleare. Este furnizat un amestec reactiv decontaminant având eficiență îmbunătățită în dizolvarea oxizilor de metal și radionuclizilor într-un procedeu regenerativ.

STADIUL TEHNICII ÎN DOMENIUL INVENȚIEI

[0002] Sistemul de răcire a reactorului al unui reactor CANDU® (CANada Deuterium Uranium) este compus din tubulatură din oțel carbon și oțel inoxidabil, și conducte generatoare de aburi pe bază de nichel care transportă apă grea între miezul reactorului și generatoarele de aburi pentru a produce electricitate. După câțiva ani de exploatare a unei instalații nucleare, acumularea de oxizi și radionuclizi într-un reactor nuclear va avea ca rezultat o reducere a proprietăților de transfer al căldurii, debit redus, coroziune a metalului de bază și câmpuri de radiație puternică. Acumularea de oxizi și radionuclizi va avea ca rezultat dificultăți în întreținerea și inspectarea sistemului, și, în cele din urmă, o reducere a energiei generate. În consecință va fi necesar să se utilizeze un procedeu de decontaminare chimică pentru a dizolva și îndepărta oxizii și radionuclizii. În plus, în timpul scoaterii din funcțiune a unui reactor nuclear, astfel de depuneri superficiale radioactive trebuie să fie îndepărtate de pe suprafețele de răcire a reactorului utilizând un procedeu de decontaminare.

[0003] În trecut, decontaminarea sistemelor de răcire a reactorului a fost efectuată prin circularea a diverși reactivi concentrați prin instalație și apoi evacuarea reactivilor epuizați într-o zonă de depozitare a deșeurilor radioactive lichide. În unele aplicații, reactivii epuizați au fost tratați utilizând o rășină schimbătoare de ioni pentru a îndepărta metalele și radionuclizii. În alte aplicații, volumul deșeurilor lichide a fost redus prin evaporare și/sau radionuclizii și metalele dizolvate au fost precipitate prin tratare chimică. Rășina schimbătoare de ioni epuizată a fost apoi îndepărtată și

sigure de decontaminare a reactoarelor.

[0007] Brevetul din Statele Unite 4.512.921 (US '921), eliberat în 23 Aprilie 1985, dezvăluie un procedeu regenerativ de decontaminare a sistemului de răcire al unui reactor nuclear de putere răcit cu apă utilizând o cantitate mică dintr-unul sau mai mulți agenți de complexare organici slab acizi. Procedeu chimic de decontaminare descris în US '921 este cunoscut ca procedeu CITROX™. Specificația învață că (vezi coloana 4, rândurile 38-40) "concentrația de acid citric poate varia de la aproximativ 0,002-0,01 M cu 0,005 M fiind concentrația preferată" (corespunzând la 0,4-1,92 g/l, cu 0,96 g/l fiind concentrația preferată) și revendică un agent de complexare organic slab care cuprinde 0,005-0,02 M (0,45-1,8 g/l) acid oxalic și 0,002-0,01 M (0,4- 1,92 g/l) acid citric. Totuși, dezvăluirea din US '921 se referă doar la un singur experiment, efectuat în laborator, la concentrații de acid citric depășind 0,005 M (0,96 g/l). Acel experiment a fost efectuat într-un laborator, și a fost doar pentru a pre-satura o rășină anionică ca pregătire pentru decontaminare. Concentrația de acid citric folosită în testul pentru îndepărtarea oxizilor de fier și cobaltului dintr-un test de circulare în buclă a fost 0,005 M (0,96 g/l). Reactivul utilizat în procedeu de decontaminare din US '921 include o combinație de acid oxalic și acid citric. Procedeu CITROX™ folosit în mod obișnuit în tubulatura și componentele sistemului reactoarelor PWR și BWR utilizează 0,01 M (0,9 g/l) de acid oxalic și 0,005 M (0,96 g/l) de acid citric.

[0008] În plus față de procedeele CAN-DECON™, CAN-DEREM™ și CITROX™, au fost dezvoltate alte câteva procedee de decontaminare din întreaga lume, și anume CORD™, LOMI™ și EMMA™ și variante cu originea în aceste procedee, pentru utilizare în reactoare speciale.

[0009] Siemens AG Kraft Werk Union (KWU) a dezvoltat în 1986 procedeu de Decontaminare Chimică prin Oxidare Reducere (CORD™). Procedeu CORD™ este o versiune mai diluată a procedeelelor mai vechi dezvoltate de către KWU și este aplicat în combinație cu un procedeu de oxidare a acidului permanganic (HP). Procedeu CORD™, care este proiectat pentru reactoare realizate în principal din oțel inoxidabil, utilizează procedeu HP pentru a oxida Cr(III) la Cr(VI), și acid oxalic ca principalul reactiv de decontaminare la o concentrație de 0,022 M (2 g/l). Ar trebui

observat că decontaminarea reactoarelor cu tubulatură din oțel inoxidabil, de exemplu, PWR, necesită utilizarea unei etape de oxidare pentru a condiționa suprafețele de oțel inoxidabil. Etapa de oxidare poate fi aplicată în condiții acide utilizând un procedeu cum ar fi procedeul cu acid permanganic (HP) sau procedeul cu permanganat de azot (NP), sau în condiții alcaline utilizând, de exemplu, un procedeu cu permanganat alcalin (AP).

[0010] Procedeleele CORD™ și CITROX™ dezvoltate pentru aplicare în PWR și BWR sunt procedee pe bază de acid oxalic. Totuși, procedeele de decontaminare pe bază de acid oxalic nu sunt adecvate pentru utilizare în sisteme cu încărcări mari de oxizi deoarece precipitarea oxalatului de fier are ca rezultat o decontaminare inefficientă.

[0011] Spre sfârșitul anilor 1970 și începutul anilor 1980 un program de cercetare în cooperare, legat de decontaminarea circuitelor de reactoare răcite cu apă, între Central Electricity Generating Board (CEGB) din Anglia, și Berkeley Nuclear Laboratories a avut ca rezultat dezvoltarea reactivilor Ioni Metalici în Stare de Oxidare Scăzută (LOMI™). Reactivul LOMI™ constă dintr-un ion metalic reducător cum ar fi vanadiu (V^{2+}), complexat cu un ligand chelator cum ar fi acidul picolinic pentru a forma un agent reducător, în acest caz picolinat de vanadiu, care poate converti ioni ferici în ioni feroși. Procedeul a fost proiectat pentru aplicare specifică în sisteme de reactor proiectate de General Electric. Procedeul LOMI™ este aplicat cu o etapă de oxidare, de obicei un procedeu NP.

[0012] Electricité de France (EdF) a dezvoltat procedeul EMMA™ care se bazează pe utilizarea alternativă a unei etape de oxidare pentru a oxida Cr(III) la Cr(VI), și o etapă de reducere pentru a dizolva oxidul rezidual rămas. Etapa de oxidare a procedeului EMMA™ utilizează o soluție care constă din permanganat de potasiu (4,4-6,3 mM, 0,7-1,0 g/l), acid azotic (2,1 mM, 0,13 g/l), și acid sulfuric (0,5 mM, 0,05 g/l), aplicat timp de 10-15 ore la un pH de 2,5-2,7 la 80°C. Etapa de reducere utilizează acid citric (2,6 mM, 0,5 g/l) și acid ascorbic (4,0-5,7 mM, 0,7-1,0 g/l) aplicat timp de 5 ore la un pH de 2,7-3,0 la 80°C.

[0013] În pofida existenței altor reactivi de decontaminare, rămâne nevoia pentru un procedeu cu compoziții îmbunătățite pentru o mai bună regenerabilitate și eficiență

care poate fi aplicat în decontaminarea Reactoarelor cu Apă Grea sub Presiune (PHWR), cât și a PWR și a BWR.

[0014] Aceste informații din stadiul tehnicii sunt furnizate în scopul de a face cunoscute informații considerate de către solicitant ca fiind de posibilă relevanță pentru prezenta invenție. Nu este intenționată neapărat o admitere, nici nu ar trebui interpretat ca admitere a faptului că oricare dintre informațiile precedente constituie stadiul anterior al tehnicii față de prezenta invenție.

REZUMATUL INVENȚIEI

[0015] Un obiectiv al prezentei cereri este să furnizeze un procedeu de decontaminare a unui reactor și un reactiv pentru utilizare într-un astfel de procedeu.

[0016] În conformitate cu un aspect al prezentei invenții, este furnizată o compoziție diluată de reactiv de decontaminare cuprinzând de la aproximativ 0,6 la aproximativ 3,0 g/l (2,1-10,3 mM) EDTA și de la aproximativ 0,4 la aproximativ 2,2 g/l (2,1-11,5 mM) acid citric. Reactivul care conține acid citric și EDTA la aceste concentrații poate fi utilizat eficient într-un procedeu regenerativ pentru a decontamina un reactor nuclear, sau o componentă a acestuia, cu eficiență ridicată fără a cauza coroziune semnificativă a componentelor sistemelor de răcire. În plus, procedeul din prezenta invenție furnizează un Factor de Decontaminare (DF) mai mare într-un timp de aplicare mai scurt decât procedeul CAN-DEREM™ anterior. Fără a dori să fie legat de teorie, aceasta este probabil datorită absenței acidului oxalic din reactiv. În acest mod, este evitată corodarea intergranulară (IGA) a sistemelor din oțel inoxidabil sensibilizate și este evitată formarea și precipitarea oxalatului de fier. Reactivul a fost găsit ca fiind util în decontaminarea sistemelor de răcire ale reactoarelor nucleare din oțel carbon și oțel inoxidabil.

[0017] În conformitate cu alt aspect al prezentei invenții, este furnizat un reactiv de decontaminare concentrat pentru injectare, într-un volum de injecție V_i , într-un reactor nuclear, sau o componentă a acestuia, reactorul nuclear menționat, sau componenta acestuia având un volum V_s , în care reactivul de decontaminare concentrat menționat este o suspensie apoasă cuprinzând EDTA la o concentrație

de ((aproximativ 0,6 la aproximativ 3,0 g/l) x V_S) ÷ V_I și acid citric la o concentrație de ((aproximativ 0,4 la aproximativ 2,2 g/l) x V_S) ÷ V_I .

[0018] În conformitate cu alt aspect al prezentei invenții, este furnizat un procedeu pentru decontaminarea unei suprafețe contaminate cu depuneri radioactive, cuprinzând etapa de circulare peste suprafața contaminată a unui amestec reactiv cuprinzând reactivi de decontaminare organici acizi cuprinzând de la aproximativ 0,6 la aproximativ 3,0 g/l (2,1-10,3 mM) EDTA și de la aproximativ 0,4 la aproximativ 2,2 g/l (2,1-11,5 mM) acid citric. Acest procedeu demonstrează o îmbunătățire față de procedeele de decontaminare anterioare, incluzând procedeul CAN-DEREM™, prin reducerea cantității de timp necesare pentru decontaminare, ceea ce conduce la perioade de oprire reduse.

[0019] În conformitate cu o variantă de realizare a prezentei invenții, procedeul include etapa de injectare a reactivului de decontaminare sub formă de suspensie în sistemul de transport al căldurii sau de răcire al unui reactor nuclear care a fost oprit. Agentul de răcire apă este circulat pe măsură ce reactivii decontaminanți sunt diluați și vin în contact cu suprafețele care sunt decontaminate, dizolvând contaminanții radioactivi de pe suprafața sistemului. La scurt timp după ce a început circularea reactivului, o coloană de rășină schimbătoare de ioni cationici puternic acidă este introdusă prin supape și soluția de agent de răcire apă este trecută prin coloană pentru a îndepărta cationii radioactivi și elementele dizolvate. Reactivul este apoi regenerat și ulterior recirculat așa încât reactivul de decontaminare poate dizolva mai multe metale și radionuclizi din sistemul de răcire. Atunci când factorul de decontaminare (DF) dorit a fost obținut, soluția este trecută printr-o rășină schimbătoare de ioni în pat mixt pentru a captura reactivii de decontaminare, radionuclizii, și metalele dizolvate reziduale din sistem, reconstituind astfel agentul de răcire la normal.

DESCRIEREA DESENELOR

[0020] Figura 1 Concentrația de Fe dizolvat în soluție (Înainte de coloana de rășină schimbătoare de ioni (BIX) și După coloana de rășină schimbătoare de ioni (AIX)) utilizând procedeul CAN-DEREM™.

[0028] Așa cum este utilizat aici termenul "încărcare mare de oxizi" este intenționat să se refere la mai mult de 20 g/m².

[0029] Așa cum este utilizat aici termenul "încărcare mare de radionuclizi" este intenționat să se refere la mai mult de 10 mCi/m².

[0030] S-a descoperit acum că un reactiv de decontaminare diluat din prezenta invenție care cuprinde EDTA și acid citric la concentrații de de la aproximativ 0,6-3,0 g/l (2,1-10,3 mM) de EDTA și 0,4-2,2 g/l (2,1-11,5 mM) de acid citric este eficient la decontaminarea încărcării mari de oxizi și încărcării mari de radionuclizi din reactoarele nucleare. Reactivul de decontaminare diluat din prezenta invenție este utilizat în condiții neoxidante.

[0031] În interiorul intervalelor enumerate mai sus, concentrațiile preferate de EDTA și acid citric pentru orice aplicație de decontaminare sunt selectate în funcție de obiectivele decontaminării. În conformitate cu o variantă de realizare preferată a prezentei invenții, reactivul de decontaminare diluat conține EDTA la o concentrație de 1,5-2,2 g/l (5,1-7,5 mM) și acid citric la o concentrație de 1,8-2,2 g/l (9,5-11,6 mM).

[0032] În interiorul intervalelor enumerate mai sus, concentrațiile preferate de EDTA și acid citric pentru orice aplicație de decontaminare sunt selectate în funcție de obiectivele decontaminării. În conformitate cu o variantă de realizare preferată a prezentei invenții, reactivul de decontaminare diluat conține EDTA la o concentrație de aproximativ 1,8 g/l (6,2 mM) și acid citric la o concentrație de aproximativ 2 g/l (10,4 mM).

[0033] Reactivii de decontaminare din prezenta invenție pot cuprinde în plus un inhibitor de coroziune. Un exemplu de inhibitor de coroziune adecvat este Rodine™ 31A. De preferință, inhibitorul de coroziune este un amestec de sulf și inhibitor de coroziune fără halogenuri.

[0034] În aplicații speciale, pot fi adăugate 50-225 mg/l de Rodine™ 31A ca inhibitor de coroziune, și 20-100 mg/l de hidrazină, ca agent reducător și captator de oxigen.

[0035] Câțiva parametri vor avea impact direct asupra concentrațiilor de reactiv, incluzând volumul și suprafața sistemului, materialele de construcție, dacă decontaminarea este efectuată în apă ușoară sau grea, încărcarea cu oxizi estimată, necesitatea utilizării unui inhibitor de coroziune, necesitatea utilizării unui agent reducător, factorii de decontaminare doriți, și tipul, dimensiunea și capacitățile utilajelor de decontaminare. Dimensiunea pompei utilajului de decontaminare, debitul prin sistem, perioada de înjumătățire de purificare, utilizarea de încălzitoare exterioare, etc., vor avea toate un impact asupra eficienței procedurii și vor influența astfel concentrațiile de reactiv necesare.

[0036] În comparație cu procedeele CAN-DECON™ și CAN-DEREM™ anterioare, procedeul din prezenta invenție folosește o concentrație mai mare de reactivi, care a fost descoperită acum ca având ca rezultat o dizolvare mai rapidă a depunerii și o eliberare mai rapidă a metalelor și radionuclizilor în soluție. În procedeul din prezenta invenție, radionuclizii și metalele dizolvate sunt ulterior îndepărtate din soluție utilizând un sistem de purificare. Un sistem de purificare eficient, adică, un sistem de purificare cu o perioadă de înjumătățire scurtă, îmbunătățește factorul de decontaminare obținut.

[0037] Procedeul din prezenta invenție include etapa de injectare a unui reactiv de decontaminare concentrat în sistemul de transport al căldurii sau de răcire al unui reactor nuclear. Reactivul de decontaminare concentrat include EDTA și acid citric într-o suspensie și la o concentrație suficientă pentru a forma un reactiv de decontaminare diluat în agentul de răcire în care concentrațiile de EDTA și acid citric sunt în intervalul de la aproximativ 0,6-3,0 g/l (2,1-10,3 mM) și respectiv 0,4-2,2 g/l (2,1-11,5 mM).

[0038] Din cauza solubilității scăzute a EDTA la valori joase ale pH-ului și volumului de reactiv utilizat pentru injectare, reactivul concentrat trebuie adăugat sub forma unei suspensii. Concentrația de EDTA și acid citric din reactivul de decontaminare concentrat este determinată pe baza volumului reactorului, sau al componentei acestuia, ce urmează a fi decontaminat și volumului de reactiv care poate fi injectat. Volumul de injecție este în mod tipic dictat de către volumul rezervorului sau

sistemului de injecție utilizat la reactorul nuclear ce urmează a fi decontaminat. Concentrația de EDTA din reactivul concentrat este determinată utilizând următorul calcul:

$$\text{Concentrația de EDTA din reactivul concentrat} = (C_{\text{EDTA}} \times V_S) \div V_I$$

unde:

C_{EDTA} este concentrația de EDTA din reactivul de decontaminare diluat (adică, de la aproximativ 0,6 la aproximativ 3,0 g/l);

V_S este volumul reactorului, sau al unei componente a acestuia, ce urmează a fi decontaminat; și

V_I este volumul de reactiv de decontaminare concentrat ce urmează a fi injectat.

[0039] În mod similar, concentrația de acid citric din reactivul concentrat este determinată utilizând următorul calcul:

$$\text{Concentrația de acid citric din reactivul concentrat} = (C_{\text{CA}} \times V_S) \div V_I$$

unde:

C_{CA} este concentrația de acid citric din reactivul de decontaminare diluat (adică, de la aproximativ 0,4 la aproximativ 2,2 g/l);

V_S este volumul reactorului, sau al unei componente a acestuia, ce urmează a fi decontaminat; și

V_I este volumul de reactiv de decontaminare concentrat ce urmează a fi injectat.

[0040] Agentul de răcire apă este circulat pe măsură ce componenții reactivului de

decontaminare concentrat sunt diluați pentru a forma reactivul de decontaminare diluat. Reactivul de decontaminare diluat este apoi circulat și vine în contact cu suprafețele care sunt decontaminate, dizolvând contaminanții radioactivi de pe suprafața sistemului. La scurt timp după ce a început circularea reactivului de decontaminare, coloana de rășină schimbătoare de cationi este introdusă prin supape și soluția de răcire este trecută prin coloană pentru a îndepărta cationii radioactivi și elementele dizolvate. Reactivul de decontaminare diluat este regenerat pe măsură ce acesta curge prin rășina schimbătoare de cationi și ulterior recirculat așa încât reactivul de decontaminare diluat poate dizolva mai mulți radionuclizi din sistem. Atunci când a fost obținut DF dorit, soluția de răcire este trecută printr-o rășină schimbătoare de ioni în pat mixt (de exemplu, IRN150) pentru a îndepărta componentii reactivului de decontaminare, radionuclizii și metalele dizolvate reziduale din sistem, reconstituind astfel agentul de răcire la compoziția sa normală. La aceasta se face uneori referire ca la etapa de "curățare" a procedurii.

[0041] Reactivul de decontaminare concentrat poate conține EDTA suplimentar utilizat pentru condiționarea rășinii schimbătoare de cationi. Așa cum ar fi apreciat de către un lucrător cu pregătire de specialitate în domeniu, cantitatea de EDTA necesară pentru condiționarea rășinii este, în parte, determinată de tipul (sau eficiența) și cantitatea de rășină utilizată în procedeu de decontaminare. Cantitatea de rășină utilizată în procedeu este determinată pe baza cantității de oxizi de fier și radionuclizi estimate ca fiind prezentă în reactor sau în componenta reactorului ce urmează a fi decontaminat. Cantitățile estimate de oxizi de fier și radionuclizi pot fi determinate utilizând tehnici standard care utilizează segmente reprezentative obținute din conductele reactorului sau ale componentei reactorului ce urmează a fi decontaminat.

[0042] Rășina cationică schimbătoare de ioni utilizată este o rășină cationică puternic acidă (de exemplu, IRN77), pe când rășina schimbătoare în pat mixt este în general un amestec de rășini anionice puternic și slab acide și și rășini cationice puternic acide deoarece unii componenți organici sunt mai eficient îndepărtați pe o rășină anionică slabă. Rășinile schimbătoare de ioni sunt consumate cât se poate de aproape de capacitatea lor. Volumul total al rășinii schimbătoare de ioni este determinat înainte de decontaminare pe baza concentrației scontate de radionuclizi

și metale dizolvate, și a capacității și eficienței pe unitate ale rășinii schimbătoare de ioni. Un efluent din fier dizolvat și ^{60}Co la ieșirea coloanei indică momentul în care este consumată coloana cationică. Altă metodă de identificare a faptului că s-a consumat coloana este atunci când concentrațiile de radionuclizi sau elemente dizolvate la ieșirea coloanei sunt mai mari decât la intrarea coloanei, adică, dacă a avut loc străpungerea coloanei. Odată consumată, coloana consumată este evacuată prin supape și o coloană nouă care conține rășina cationică schimbătoare de ioni proaspătă este introdusă prin supape. Rășinile schimbătoare de ioni consumate sunt aruncate, sau depozitate ca materiale deșeuri solide.

[0043] Procedul și sistemul de decontaminare din prezenta invenție pot fi utilizate cu combustibil în miezul reactorului. Într-un exemplu de variantă de realizare, procedul și sistemul din prezenta invenție sunt utilizate în timpul opririi sau la scoaterea din funcțiune a unui reactor.

[0044] Capacitatea de decontaminare a unui reactiv de decontaminare și compatibilitatea sa cu materialele sistemului sunt elementele cele mai importante în selectarea unui reactiv de decontaminare pentru o anumită aplicație. Reactivul CAN-DEREMTM fusese utilizat pentru a decontamina generatoarele de aburi la Beaver Valley, un PWR în care un strat de oxid relativ subțire, estimat ca fiind între 8 și 20 g/m², a fost prezent pe conductele generatorului de aburi InconelTM-600. Un procedeu Permanganat Alcalin (AP) / CAN-DEREMTM în cinci etape a fost utilizat cu succes în timpul decontaminării. Etapa AP este o etapă de oxidare care este necesară pentru un sistem realizat din oțel inoxidabil, cum ar fi PWR, pentru a converti Cr(III) insolubil în Cr(VI) solubil. O etapă de oxidare (AP, HP sau NP) este utilizată în toate decontaminările PWR.

[0045] Totuși, reactivul CAN-DEREMTM nu este adecvat pentru utilizare în decontaminarea generatoarelor de aburi CANDU deoarece capacitatea reactivului este prea scăzută. Într-un caz a fost estimat că au existat 100 g/m² de oxid pe suprafețele interioare ale conductelor generatoarelor de abur ale acestui reactor particular.

[0046] În contrast cu acesta, reactivul, procedul și sistemul de decontaminare din

prezenta invenție sunt utile pentru decontaminarea părții primare a generatoarelor de aburi din reactoarele CANDU datorită capacității și eficienței lor ridicate. Mai mult, sistemul de decontaminare, procedeul și reactivul din prezenta invenție nu provoacă coroziune semnificativă componentelor sistemelor de răcire.

[0047] Pentru a avea o mai bună înțelegere a invenției descrise aici, sunt expuse următoarele exemple. Ar trebui să fie înțeles că aceste exemple sunt doar în scopuri ilustrative. Prin urmare, ele nu ar trebui să limiteze întinderea protecției acestei invenții în nici un fel.

EXEMPLE

[0048] Înainte de o aplicare ar trebui executate lucrări de calificare utilizând reactivul de decontaminare din prezenta invenție și utilizând materiale de construcție reprezentative.

Ar trebui determinată coroziunea a diverse materiale la mai multe concentrații de reactivi cu și fără inhibitor de coroziune. Ca atare, o evaluare a compatibilității unui reactiv cu materialele generatoarelor de aburi este componenta cheie a programului de calificare a reactivului.

[0049] Compatibilitatea materialelor părții primare a generatoarelor de aburi cu reactivul de decontaminare diluat din prezenta invenție a fost evaluată într-o serie de funcționări în buclă. În plus, au fost executate teste de laborator pentru a simula condițiile statice și de flux redus în vasul generatorului de aburi.

EXEMPLUL 1

[0050] Au fost efectuate o serie de teste de laborator pentru coroziune în condiții statice, pentru a determina vitezele de coroziune ale oțelului carbon Monel-400 și SA106 Gr. B în diverși reactivi de decontaminare. Monel-400 este materialul utilizat pentru conductele generatoarelor de abur din unele generatoare de aburi CANDU, și SA106 Gr. B este materialul utilizat pentru țevile și distribuitorii de alimentare din toate reactoarele CANDU. Ambele materiale sunt susceptibile de coroziune în

condiții acide. Aceste teste de coroziune au fost efectuate la 90°C într-o atmosferă de azot. În aceste teste la reactivi nu a fost adăugat un inhibitor de coroziune, pentru a obține valori de coroziune ample. Două concentrații de acid citric diferite (2 g/l și 20 g/l) au fost testate în prezența a 1,8 g/l de EDTA. Vitezele de coroziune medii, pe baza măsurătorilor de pierdere în greutate în timpul testelor de 24 ore, sunt rezumate în Tabelul 1.

Tabelul 1 : Vitezele de Coroziune ($\mu\text{m/h}$) ale Oțelurilor Carbon Monel-400 și SA106 Gr. B după Expunerea la Formulări de Reactiv

Soluția de Testare	Monel-400 ($\mu\text{m/h}$)	SA106 Gr. B ($\mu\text{m/h}$)
CAN-DEREM™ (0,4 g/l acid citric, 0,6 g/l EDTA)	0,0007	0,51
A. 2 g/l acid citric, 1,8 g/l EDTA	0,0004	2,13
B. 20 g/l acid citric, 1,8 g/l EDTA	0,002	11,3
C. 100 g/l EDTA, pH 9	0,018	0,14

[0051] Din datele din Tabelul 1, se poate vedea că în toți reactivii testați coroziunea a fost scăzută la Monel-400. În formulări acide de reactiv, viteza de coroziune a oțelului carbon SA106 Gr. B a crescut cu concentrația de reactiv. Deși coroziunea lui SA106 Gr. B a fost mai scăzută utilizând CAN-DEREM™ decât utilizând soluția de testare A, reactivul din urmă are o capacitate mai ridicată de îndepărtare a oxidului și radionuclizilor în timpul decontaminării. Viteza de coroziune în 100 g/l EDTA (pH 9) a fost mică, dar această formulare a fost eliminată considerându-se că nu a fost eficientă pentru dizolvarea oxidului.

EXEMPLUL 2

[0052] Diverse formulări de reactiv au fost evaluate în funcționările în buclă și testele de laborator.

Parametrii care au fost examinați au inclus Rodine™ 31A, un inhibitor de coroziune comercial (0,100 mg/l, 225 mg/l), concentrația de hidrazină (0 și 20 mg/l), și pH (2,2 și 3,5).

Hidrazina este un agent reducător și este de asemenea utilizată ca un captator de oxigen. În plus, în unele teste, la reactiv au fost adăugate fier dizolvat (Fe), nichel (Ni) și cupru (Cu) pentru a simula chimia de disociere. Vitezele de coroziune ale materialelor din oțel carbon Monel-400 și SA106 Gr. B expuse la două astfel de soluții în timpul funcționării în buclă sunt rezumate în Tabelul 2.

Tabelul 2: Viteza de Coroziune ($\mu\text{m/h}$) a Materialelor în Două Teste în Buclă

Soluția de Testare	Monel-400 ($\mu\text{m/h}$)	SA106 Gr. B ($\mu\text{m/h}$)
A. 2 g/l acid citric, 1,8 g/l EDTA cu 100 mg/l de Rodine™ 31A și 20 mg/l de hidrazină	0,10±0,01	0,79±0,05
B. 2 g/l acid citric, 1,8 g/l EDTA cu Fe/Ni/Cu	0,13±0,01	20,2±6,1

[0053] În timpul testelor în buclă, viteza liniară a reactivului prin segmentul de testare care a conținut cupoanele de coroziune a fost 3,65 m/s. Viteza de coroziune a Monel-400 a fost mai mare în testele în buclă decât în condițiile statice ale testelor de laborator dar a fost totuși foarte scăzută. Coroziunea lui SA106 Gr. B utilizând soluția de testare A a fost mai scăzută decât în testul de laborator în care nu a fost utilizat inhibitor de coroziune. Coroziunea lui SA106 Gr. B în soluția de testare B neinhibată, care a conținut de asemenea ioni ferici, dând naștere coroziunii ionilor ferici, a fost mult mai mare decât în soluția inhibată.

EXEMPLUL 3

[0054] Funcționările în buclă și testele de laborator au fost completate cu investigarea electrochimică a coroziunii Monel-400 și oțelului carbon în reactivul care conține 2 g/l acid citric și 1,8 g/l EDTA ("reactivul de decontaminare diluat"). A fost evaluată compatibilitatea materialelor generatorului de abur, sudurilor generatorului de abur și specimenelor tensionate de oțel carbon pentru a determina gradul de coroziune generală a Monel-400 și materialelor părții primare a generatorului de abur,

și distrugerea localizată provocată de coroziune, de exemplu, fisurare, corodare, corodare intergranulară, etc.

[0055] Electrozi disc uzinați dintr-un segment al unei țevi de alimentare realizate din SA106 Gr. B, și electrozi cilindrici din Monel-400 pregătiți din sârmă Monel-400, au fost utilizați pentru studiile de coroziune ale oțelului carbon și respectiv Monel-400. În timpul experimentelor de explorare a potențialului electrozii au fost roțiți sau la 1500 sau la 2000 rpm pentru a accelera transportul de masă la și de la electrod. Pentru aceste studii a fost utilizată o celulă electrochimică cu cămașă de sticlă, încălzită prin o baie de apă de recirculare care trece prin cămașa din jurul celulei. Măsurătorile vitezelor de coroziune ale SA106 Gr. B și Monel-400 au fost realizate utilizând două proceduri diferite care au furnizat rezultate echivalente. În testele 1 până la 11 (vezi Tabelul 3), un potențostat PAR-173/276 a fost utilizat pentru a comanda și varia sistematic potențialul electrozilor metalici. Potențialele electrozilor metalici au fost măsurate în raport cu un electrod Ag/AgCl de referință. La fiecare valoare a potențialului aplicat electrodului metalic, a fost măsurat curentul net al electrodului. Electrozii metalici au fost polarizați la limita negativă a explorării, -1000 mV contra Ag/AgCl. Potențialul a fost schimbat la un regim de 0,5 mV/s, până ce a fost atinsă limita pozitivă a explorării, 1000 mV contra Ag/AgCl. În testele 12 până la 14 (vezi Tabelul 3), a fost utilizat un potențostat PINE AFRDE-4 pentru a comanda și varia sistematic potențialul electrodului. Inițial a fost măsurat potențialul de circuit deschis (E_{oc}). Începând de la E_{oc} , electrodul a fost polarizat în mod progresiv la potențiale mai negative. După atingerea limitei negative a explorării, electrodul a fost întors la E_{oc} . Electrodul a fost apoi polarizat în mod progresiv la potențiale mai pozitive, până ce a fost atinsă limita pozitivă a explorării. În timpul acestor experimente potențialul a fost schimbat cu incremente de 20 mV. La fiecare potențial a fost măsurat curentul net în regim staționar. Datele de la testele de mai sus au fost prezentate ca reprezentări grafice semi-logaritmice ale potențialului în raport cu densitatea absolută ale curentului net, cunoscute în mod obișnuit ca grafice Tafel, și densitățile curentului au fost convertite în viteze de coroziune așa cum este prezentat în Tabelul 3. Gradul de distrugere localizată provocată de coroziune, de exemplu, fisurare, corodare, corodare intergranulară, etc., a fost determinat prin examinarea detaliată a secțiunilor transversale metalografice ale specimenelor după expunerea la reactivul de decontaminare diluat în funcționările în buclă.

[0056] Rezultatele de coroziune obținute din testele electrochimice variind concentrația de hidrazină, pH-ul de începere și temperatura de aplicare sunt rezumate în Tabelul 3. În unele teste, au fost adăugate 100 mg/l de ioni ferici pentru a simula condițiile chimiei de disociere. Tabelul 3 redă condițiile de test utilizate și un rezumat al coroziunii lui SA106 Gr. B și Monel™-400.

Tabelul 3: Teste Electrochimice pentru Determinarea Vitezelor de Coroziune ale SA 106 Gr. B și Monel-400 (Toate Soluțiile de Testare au Conținut 1,8 g/l de EDTA și 2,0 g/l de Acid Citric)

Test #	Aliajul testat	Rodine™ 31A (mg/l)	Hidrazină (mg/l)	Ioni Ferici (mg/l)	pH	Tem p. (°C)	Viteza de Coroziune (μm/h)
1	SA106 Gr. B	100	20	-	2,25	92±1	0,21
2	SA106 Gr. B	100	20	-	3,21	92±1	0,10
3	SA106 Gr. B	100	200	-	3,24	92±1	0,22
4	SA106 Gr. B	1000	200	-	3,20	92±1	0,13
5	SA106 Gr. B	100	20	100	3,20	92±1	8,4
6	SA106 Gr. B	100	200	100	3,22	92±1	6,7
7	SA106 Gr. B	-	20	-	2,31	92±1	1,1
8	SA106 Gr. B	-	20	-	3,22	92±1	3,4
9	SA106 Gr. B	100	200	-	3,24	92±1	0,05
10	Monel-400	100	200	-	3,24	92±1	0,07
11	Monel-400	100	200	-	3,22	92±1	0,01
12	Monel-400	100	-	-	2,25	92±1	0,06
13	Monel-400	100	20	-	2,25	92±1	0,01
14	SA106 Gr. B	100	20	-	2,25	92±1	0,69

EXEMPLUL 4

[0057] În timpul decontaminării reactoarelor cu încărcare mare de oxizi, în soluție poate fi eliberată o cantitate substanțială de ioni ferici. Au fost efectuate teste de

laborator pentru a evalua efectele ionilor ferici asupra oțelului carbon în condiții de flux redus. Au fost efectuate teste timp de 5 și 48 ore la 90°C. Concentrațiile de ioni ferici utilizate au fost 133 și 266 mg/l. Rezultatele testelor de laborator sunt rezumate în Tabelul 4. Vitezele de coroziune au fost cu un ordin de mărime mai scăzute în testele de laborator decât în testele de explorare a potențialului în care transportul de masă a fost mai eficient.

Tabelul 4: Viteza de Coroziune ($\mu\text{m/h}$) a SA106 Gr. B în Prezența Ionilor Ferici în Soluții Conținând 1,8 g/l de EDTA și 2,0 g/l de Acid Citric

Test #	Durata Testului (h)	Concentrația Totală de Fier (mg/l)	Concentrația de Ioni Ferici (mg/l)	Viteza de Coroziune a SA106 Gr. B ($\mu\text{m/h}$)
1	5	0	0	0,045±0,005
2	5	0	0	0,06±0,02
3	5	200	133	0,55±0,4
4	5	200	133	0,53±0,06
5	48	0	0	0,033±0,003
6	5	400	266	0,44±0,03
7	48	200	133	0,26±0,05
8	48	200	133	0,16±0,012

[0058] În funcție de obiectivele decontaminării, se fac reglări ale formulării și timpului de aplicare în funcție de materialele de construcție și toleranțele de coroziune reziduală pentru un sistem de centrală nucleară. În plus, în timpul aplicației, concentrațiile de reactiv și metale dizolvate sunt monitorizate pentru a se asigura că decontaminarea avansează conform planului.

[0059] În timpul decontaminării, ca rezultat al coroziunii componentelor oțelului carbon poate fi generat gaz de hidrogen. Viteza formării de gaz depinde de mulți factori, cum ar fi dacă este utilizat un inhibitor de coroziune și concentrația sa, suprafața de oțel carbon goală disponibilă, și temperatura și pH-ul de exploatare. În

timpul decontaminării sunt utilizate degazeificatoare pentru a îndepărta gazele.

[0060] Așa cum s-a observat mai sus, în timpul calificării procedurii pentru o anumită aplicație, este determinat pH-ul. pH-ul de exploatare nu este reglat în timpul aplicației. Totuși, adăugarea de reactiv poate avea un impact asupra pH-ului sistemului. PH-ul sistemului devine acid după ce reactivul a fost introdus, circulat și rășina cationică schimbătoare de ioni este introdusă prin supape. Pe măsură ce radionuclizii și metalele dizolvate sunt îndepărtate pe rășina cationică, soluția este inițial acidă pe măsură ce protonii din rășina cationică sunt introduși în agentul de răcire. În timp, totuși, pH-ul începe să crească pe măsură ce mai mulți dintre reactivi formează complexe cu metalele dizolvate și radionuclizii. pH-ul poate varia între 2,2 și 4,5 către încheierea procedurii de decontaminare.

[0061] Reactivul de decontaminare diluat din prezenta invenție poate fi aplicat în intervalul de temperaturi de la 80 la 120°C. Reactivul este stabil și eficient pentru utilizare în acest interval de temperaturi. Temperatura de aplicare este alt parametru care este finalizat în timpul calificării procedurii. În general dizolvarea și vitezele de coroziune cresc cu creșterile de temperatură. Dacă procedeul este utilizat la temperaturi mai înalte, acest lucru nu ar trebui să aibă nici un impact asupra eficienței rășinii schimbătoare de ioni, deoarece reactivul care trece prin sistemul de purificare este inițial răcit înainte de a trece prin coloana de rășină schimbătoare de ioni.

[0062] Durata decontaminării utilizând reactivul de decontaminare diluat din prezenta invenție este impusă de către volumul sistemului, încărcarea cu oxizi, inventarul de radionuclizi, limitele de coroziune și alte condiții de aplicare. Viteza dizolvării oxizilor în procedeul de decontaminare din prezenta invenție este mult mai rapidă decât, de exemplu, în procedeul CAN-DEREM™. Totuși, durata efectivă depinde de eficiența sistemului de purificare.

[0063] În timpul decontaminării, impuritățile eliberate sunt parțial îndepărtate prin filtrare în amonte de sistemul de purificare și parțial prin coloana de rășină schimbătoare de ioni.

108

[0064] Exemplul 5

[0065] Procedul din prezenta invenție a fost comparat cu procedeul CAN-DEREM™ în două teste conduse utilizând segmente de conducte ale generatoarelor de abur de la un reactor CANDU®.

[0066] Segmentele de conducte ale generatoarelor de abur, fiecare de 6 cm lungime, au fost umplute cu reactivii de decontaminare, închise cu capace la o extremitate și scufundate într-o baie de apă menținută la 90°C. Reactivii au fost lăsați în segmentele de conductă pentru o perioadă de timp de 15 minute, după care reactivii au fost eșantionați și analizați. Au fost măsurate pH-ul inițial și final și concentrațiile de fier dizolvat. În plus, a fost realizată o estimare a încărcării cu oxizi utilizând cei doi reactivi. Rezultatele rezumate în Tabelul 5 arată că procedeul din prezenta invenție are o capacitate de 2,6 ori mai mare în comparație cu CAN-DEREM™.

Tabelul 5: Rezultatele Decontaminării Statice a Segmentelor de Conductă ale Generatorului de Abur Îndepărtate de la un Reactor CANDU

Reactiv	pH Inițial	pH Final	Concentrația de Fier (mg/l)	Oxid Îndepărat în 15 min (g/m²)
CAN-DEREM™	2,71	3,76	107	0,625
1,8 g/l EDTA + 2,0 g/l Acid Citric	2,35	3,34	282	1,65

[0067] Exemplul 6

[0068] Procedul și compoziția din prezenta invenție au fost comparate cu CAN-DEREM™ în timpul decontaminării segmentelor de țevă de alimentare de intrare de la un reactor CANDU. Decontaminarea a implicat utilizarea unui procedeu în trei etape care constă din două etape de reducere și o etapă de oxidare cu permanganat alcalin (AP). Datele rezumate în Tabelul 6 arată încărcarea medie cu oxizi (g/m²), valorile globale DF și procentajul de activitate îndepărtată (%AR) utilizând cele două procedee. Factorii de decontaminare și procentajul de activitate îndepărtată au fost

calculați utilizând Ecuațiile (1) și (2).

$$DF = \text{Activitate Inițială} / \text{Activitate Finală} \quad (\text{Ecuația 1})$$

$$\%AR = [1 - (\text{Activitate Finală} / \text{Activitate Inițială})] \times 100 \quad (\text{Ecuația 2})$$

Tabelul 6: Rezultatele Decontaminării Segmentelor de Țevi de Alimentare de Intrare Îndepărtate de la un Reactor CANDU

Procedeu	Încărcarea cu Oxizi(g/m ²)	DF	%AR
CAN-DEREM TM /AP/ CAN-DEREM TM	2781±648	544±214	99,79±0,10
(1,8 g/l EDTA+ 2,0 g/l Acid Citric)/AP/(1,8 g/l EDTA + 2,0 g/l Acid Citric)	4827±1230	5205±1040	99,98±0,0

[0069] Figura 1 și Figura 2 compară concentrația de Fe dizolvat din soluție (prezentată ca BIX) și concentrația de fier dizolvat îndepărtat pe rășina schimbătoare de ioni (AIX) în timpul celor două procedee. În timpul aplicării CAN-DEREMTM (Figura 1), concentrația cea mai mare de fier dizolvat a fost 106 mg/l. Concentrația de Fe dizolvat a scăzut rapid pe măsură ce rășina schimbătoare de ioni conținând rășină cationică puternic acidă a fost introdusă prin supape.

[0070] În Figura 2, sunt prezentate concentrațiile de Fe din soluție (BIX) și după coloana de rășină schimbătoare de ioni (AIX) utilizând procedeul și reactivul din prezenta invenție. În timpul acestui procedeu concentrația de fier inițială a fost 480 mg/l. Fierul din soluție a fost îndepărtat rapid la scurt timp după ce a fost introdusă prin supape coloana de rășină schimbătoare de ioni conținând rășină cationică puternic acidă.

[0071] Comparând Figura 1 și Figura 2, este evident că procedeul din prezenta invenție a fost aproximativ de 4,5 ori mai eficient în dizolvarea fierului decât procedeul CAN-DEREMTM. Ar trebui observat că în procedeul CAN-DEREMTM, concentrațiile de EDTA și acid citric au fost 600 și respectiv 400 mg/l. Concentrațiile

de EDTA și acid citric din procedeul din prezenta invenție au fost 1.800 și respectiv 2.000 mg/l. În plus, un amestec inhibitor de coroziune și un agent reducător au fost de asemenea utilizați în procedeul CAN-DEREM™.

[0072] În Figura 3 și Figura 4, au fost comparați radionuclizii totali eliberați în soluție (BLX) și îndepărtați din soluție în timpul procedurii CAN-DEREM™ și procedurilor din prezenta invenție. Concentrațiile de radionuclizi totali îndepărtați în timpul acestor procedee au fost $1,7 \times 10^{-5}$ $\mu\text{Ci/ml}$ și respectiv $7,0 \times 10^{-5}$ $\mu\text{Ci/ml}$, adică, concentrațiile de radionuclizi totali îndepărtați în timpul prezentului procedeu a fost un factor de patru ori mai mare decât cel din etapa CAN-DEREM™.

[0073] Invenția fiind astfel descrisă, va fi evident că aceasta poate fi modificată în multe moduri. Astfel de variante nu trebuie privite ca o îndepărtare de spiritul și întinderea protecției invenției, și toate aceste modificări așa cum ar fi evidente unei persoane cu pregătire în domeniu sunt intenționate a fi incluse în întinderea protecției invenției a următoarelor revendicări.

Variantele de realizare a prezentei invenții pentru care este revendicată o proprietate sau autorizație exclusivă sunt definite după cum urmează:

Revendicări

1. Reactiv de decontaminare concentrat pentru injectare, într-un volum de injecție V_I , într-un reactor nuclear, sau o componentă a acestuia, reactorul nuclear menționat, sau componenta acestuia având un volum V_S , în care reactivul de decontaminare concentrat menționat este o suspensie apoasă cuprinzând EDTA la o concentrație de $((\text{aproximativ } 0,6 \text{ la aproximativ } 3,0 \text{ g/l}) \times V_S) \div V_I$ și acid citric la o concentrație de $((\text{aproximativ } 0,4 \text{ la aproximativ } 2,2 \text{ g/l}) \times V_S) \div V_I$.
2. Reactivul de decontaminare în conformitate cu revendicarea 1 în care raportul EDTA: acid citric este între 1,5:1 și 3:1 în greutate.
3. Reactivul de decontaminare în conformitate cu oricare dintre revendicările 1 și 2, care cuprinde în plus un inhibitor de coroziune.
4. Reactivul de decontaminare în conformitate cu revendicarea 3, în care inhibitorul de coroziune este Rodine™ 31A.
5. Reactivul de decontaminare în conformitate cu revendicarea 3, în care inhibitorul de coroziune este un amestec de sulf și inhibitor de coroziune fără halogenuri.
6. Reactivul de decontaminare în conformitate cu oricare dintre revendicările 1-4, care cuprinde în plus un captator de oxigen.
7. Reactivul de decontaminare în conformitate cu revendicarea 5, în care captatorul de oxigen este hidrazină.
8. Reactivul de decontaminare în conformitate cu oricare dintre revendicările 1-6, care cuprinde în plus un reactiv reducător.
9. Reactivul de decontaminare în conformitate cu oricare dintre revendicările 1-8 în care concentrația de EDTA este $((\text{aproximativ } 1,8 \text{ g/l}) \times V_S) \div V_I$ și concentrația de acid citric este $((\text{aproximativ } 2,0 \text{ g/l}) \times V_S) \div V_I$.

10. Reactivul de decontaminare în conformitate cu oricare dintre revendicările 1-9, pentru utilizare în decontaminarea unui sistem primar de transport al căldurii sau de răcire al unui reactor CANDU.

11. Procedeu de decontaminare a unui sistem primar de transport al căldurii, de răcire, sau de transport al apei al unui reactor nuclear cuprinzând:

injectarea unui reactiv de decontaminare în agentul de răcire circulant din sistemul menționat pentru a forma o soluție de reactiv diluată în care este prezent EDTA într-o concentrație de la aproximativ 0,6 la aproximativ 3,0 g/l și este prezent acid citric într-o concentrație de la aproximativ 0,4 la aproximativ 2,2 g/l;

circularea soluției de reactiv diluate menționate pentru a dizolva depunerile contaminate din acesta;

trecerea soluției de reactiv diluate menționate printr-o rășină schimbătoare de cationi pentru a colecta cationii și radionuclizii dizolvați, pentru a regenera soluția de reactiv diluată menționată;

recircularea soluției de reactiv regenerate menționate prin sistemul menționat; și

trecerea soluției de reactiv diluate menționate prin rășina schimbătoare de ioni în pat mixt pentru a îndepărta reactivul de decontaminare menționat din sistemul menționat.

12. Procedeu în conformitate cu revendicarea 11 în care raportul EDTA:acid citric în soluția de reactiv diluată menționată este între 1,5:1 și 3:1 în greutate.

13. Procedeu în conformitate cu oricare dintre revendicările 11 și 12, în care reactivul de decontaminare menționat cuprinde de asemenea un inhibitor de coroziune.

14. Procedeu în conformitate cu revendicarea 13 în care inhibitorul de coroziune este sau Rodine 31A sau un amestec de sulf și inhibitor de coroziune fără halogenuri.

15. Procedeu în conformitate cu oricare dintre revendicările 11-14, în care reactivul de decontaminare menționat cuprinde de asemenea un captator de oxigen.

16. Procedeu în conformitate cu revendicarea 15 în care captatorul de oxigen este hidrazină.

17. Procedeu în conformitate cu oricare dintre revendicările 11-16, în care reactivul de decontaminare menționat cuprinde de asemenea un reactiv reducător.

18. Procedeu în conformitate cu oricare dintre revendicările 11-17 în care soluția de reactiv diluată menționată cuprinde EDTA în concentrație de aproximativ 1,8 g/l și acid citric într-o concentrație de aproximativ 2,0 g/l.

19. Procedeu în conformitate cu oricare dintre revendicările 11-18 în care sistemul primar de transport al căldurii sau de răcire face parte dintr-un reactor CANDU, un PWR sau un BWR.

20. Procedeu în conformitate cu oricare dintre revendicările 11-19 în care reactorul nuclear este oprit.

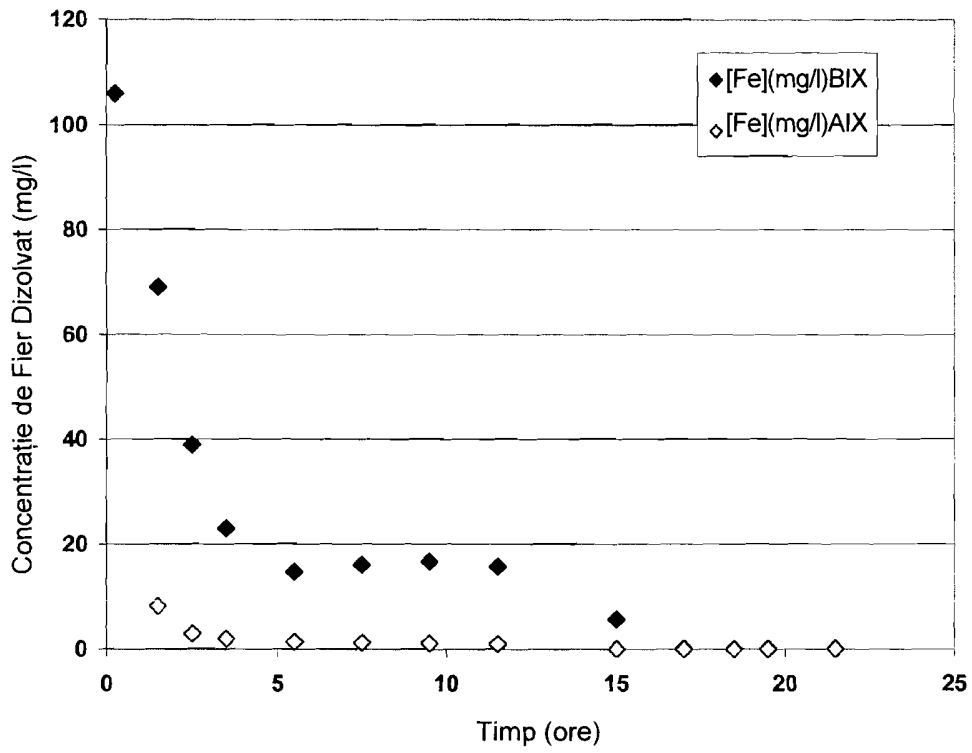


Figura 1

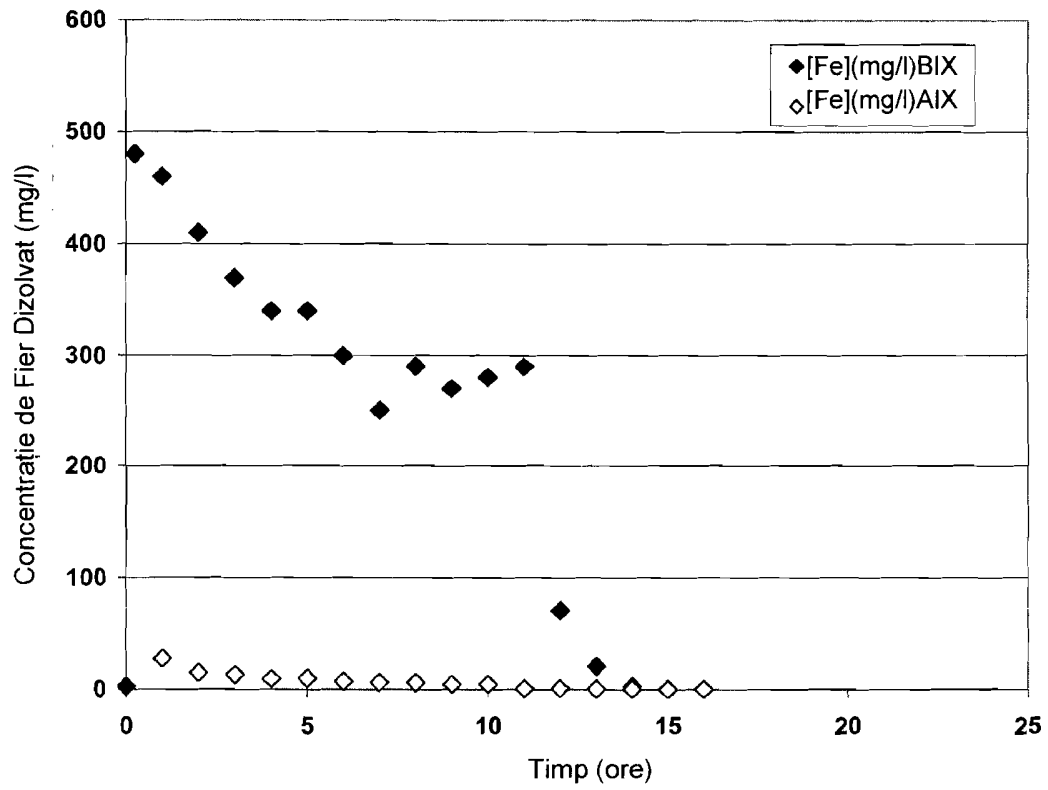


Figura 2

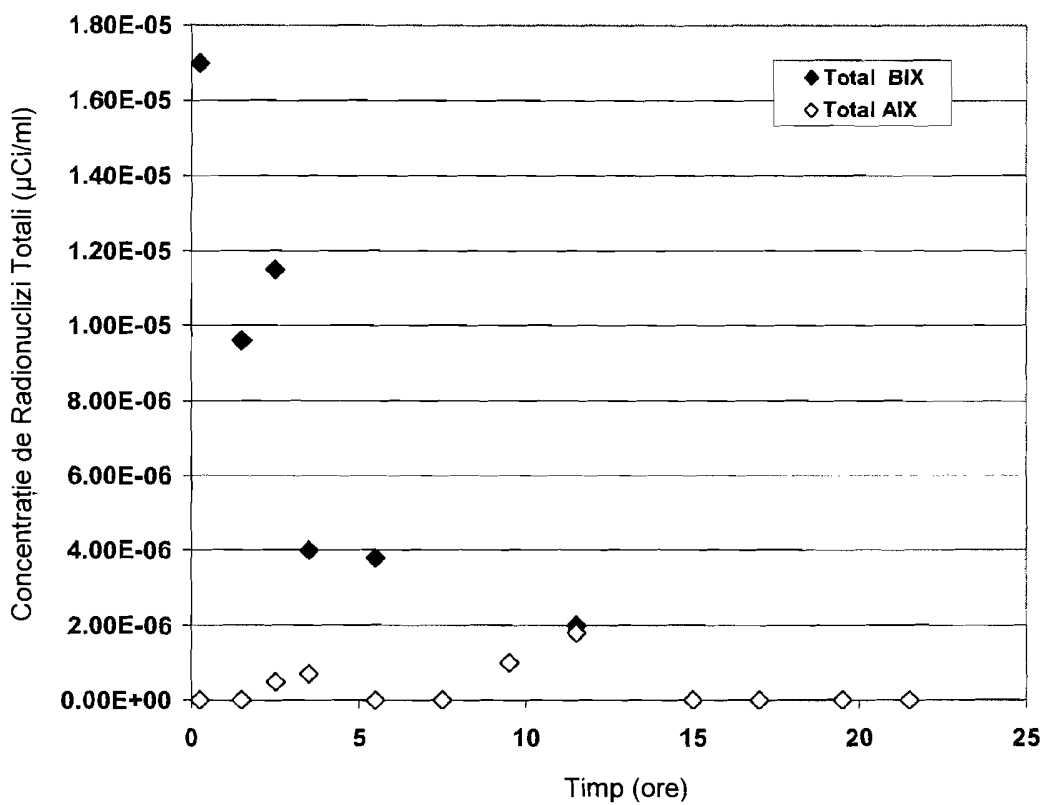


Figura 3

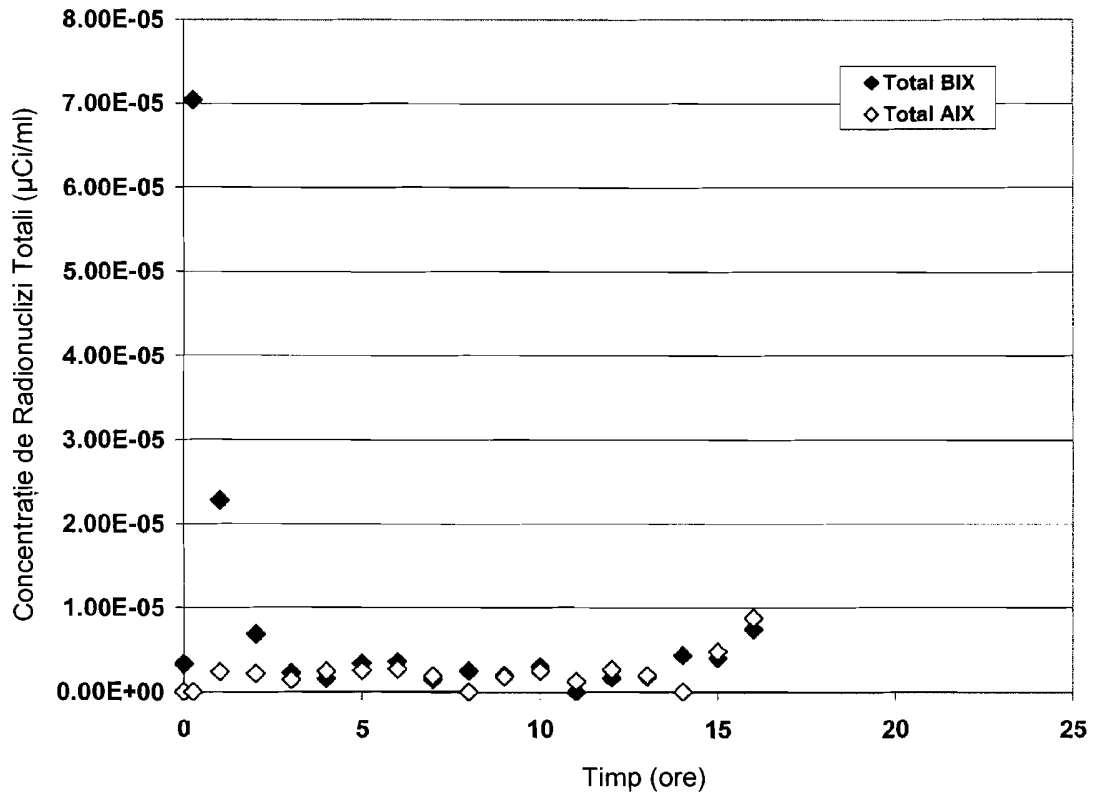


Figura 4