

(19) OFICIUL DE STAT  
PENTRU INVENȚII ȘI MĂRCI  
București

ROMÂNIA



(11) **RO 129854 B1**

(51) **Int.Cl.**  
**B01D 59/22** (2006.01);  
**G21C 19/00** (2006.01);  
**G21C 1/03** (2006.01)

(12)

## BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2013 00272**

(22) Data de depozit: **03/04/2013**

(45) Data publicării mențiunii acordării brevetului: **28/06/2019** BOPI nr. **6/2019**

(41) Data publicării cererii:  
**30/10/2014** BOPI nr. **10/2014**

(73) Titular:  
• **CRISTESCU ION, STR. SPIRU HARET  
NR. 1, ROMAN, NT, RO**

(72) Inventatori:  
• **CRISTESCU ION, STR. SPIRU HARET  
NR. 1, ROMAN, NT, RO**

(56) Documente din stadiul tehnicii:  
**GB 1220441 A; GB 846861 A**

(54) **REACTOR CHIMIC DE REPROCESARE A IZOTOPILOR  
COMBUSTIBILILOR NUCLEARI**

Examinator: ing. ARGHIRESCU MARIUS



Orice persoană are dreptul să formuleze în scris și motivat, la OSIM, o cerere de revocare a brevetului de invenție, în termen de 6 luni de la publicarea mențiunii hotărârii de acordare a acesteia

RO 129854 B1

# RO 129854 B1

1           Invenția se referă la un reactor chimic reprocesor de izotopi de combustibil nuclear, tip sistem modular heterogen continuu, cu recircularea maselor radiochimice de reacție.

3           Sunt cunoscute reactoare chimice solid-lichid, în model tip vas de dizolvare în formă de coș perforat rotativ, pentru faza solidă, și recircularea fazei lichide de reactant la realizarea reacției chimice. Sunt cunoscute reactoare chimice lichid-lichid heterogene, în model tip extractor cu amestecare-liniștire și agitatoare mecanice pentru circulația fazelor nemiscibile în echicurent sau contracurent. Sunt cunoscute și reactoare chimice lichid-lichid, în model tip autoclavă, cu corpuri cilindrice verticale, cu manta termică sau serpentine interioare pentru transferul termic, și având agitatoare interioare cu palete montate pe axe de rotație. De asemenea, sunt cunoscute reactoare lichid-lichid în model tip coloană cu umplutură sau talere, precum și modele centrifugale cu discuri rotative, pentru contactarea fazelor de reactanți. Sunt cunoscute și vaporizatoare cilindrice verticale cu tuburi/țevi fierbătoare cu circulație forțată a masei lichide în film descendent, și efect simplu sau multiplu la presiune sau depresiune (vid). Sunt cunoscute și condensatoare de suprafață tubulare, cu injectoare sau cu elemente spirale, precum și condensatoare de amestec, respectiv, de contactare vapori-lichid.

15           Din documentul **GB1220441 A/1971** este cunoscut un procedeu de separare a unor izotopi de uraniu prin concentrarea soluției ce conține acești izotopi în mai multe etape succesive, cu un solvent nemiscibil, astfel încât distribuția unui izotop de uraniu între soluție și solvent să fie diferită de cea a altui izotop, soluția fiind în particular de azotat de uraniu conținând U235 și U238, iar solventul fiind în acest caz metil-izobutil-ketona sau dibutoxidietilen-glicolul, instalația de aplicare a procedurii fiind compusă din mai multe reactoare de separare izotopică înseriate în cascadă, soluția sau/și solventul având concentrație mărită de la un stadiu de reacție la altul, uraniul fiind în final separat din soluția finală, și reintrodus în soluția inițială.

25           Un alt document, **GB 846861 A/1960**, prezintă un procedeu și o instalație de separare a unor izotopi de uraniu în module de separare electromagnetice tip calutron, prin spălare cu un solvent care dizolvă impuritățile, inclusiv fierul, și răcire ulterioară, pentru cristalizarea apei și tratare cu peroxid de hidrogen, pentru precipitarea peroxidului de uraniu care, după alte faze de reacție, este retransformat în tetraclorură de uraniu, care este recirculată în calutron; în altă alternativă, trioxidul de uraniu este redus cu gaz metan la dioxid de uraniu, care este reactat cu tetraclorură de calciu, pentru obținerea tetraclorurii de uraniu. Soluția derivată din spălare sau tratare cu acid este tratată cu hidroxid de amoniu sau amoniac gazos, pentru precipitarea diuranatului de amoniu, soluția fiind apoi răcită pentru formarea unor cristale de gheață, soluția fiind apoi filtrată, peroxidul de uraniu precipitat fiind spălat cu soluție apoasă de nitrat de amoniu și peroxid de hidrogen.

37           Principalele dezavantaje ale reactoarelor și aparatelor cunoscute sunt următoarele:

39           - transfer termic mai puțin eficient în cazul reactoarelor în model tip coloană, cu efecte negative asupra stabilității și performanței aparatelor;

41           - productivitate redusă la modelele de reactoare centrifugale, deoarece factorul de amplificare prin transfer de masă este mic;

43           - productivitate redusă a vaporizatoarelor cu tuburi/țevi, din cauza formării crustelor care micșorează viteza transferului termic;

45           - etanșări greu de realizat la condensatoare spirale, și accesibilitate dificilă pentru îndepărtarea depunerilor și crustelor din spațiul de răcire.

47           Scopul invenției este producția de radioizotopi fisionabili ai uraniului și plutoniului [(<sup>A=235</sup>U<sub>Z=92</sub>), (<sup>A=238</sup>U<sub>Z=92</sub>), (<sup>A=238</sup>Pu<sub>Z=94</sub>), (<sup>A=239</sup>Pu<sub>Z=94</sub>), (<sup>A=240</sup>Pu<sub>Z=94</sub>), (<sup>A=241</sup>Pu<sub>Z=94</sub>), (<sup>A=242</sup>Pu<sub>Z=94</sub>)], prin reprocesarea chimică izotopică a combustibililor nucleari CANDU iradiați la un grad de 7500 MWzi/t...9500 MWzi/t, și reproducția unei generații noi de combustibil nuclear CANDU în ciclul <sup>235</sup>U, <sup>238</sup>U-<sup>238</sup>Pu, <sup>239</sup>Pu, <sup>240</sup>Pu, <sup>241</sup>Pu, <sup>242</sup>Pu sau alte cicluri combustibile.

# RO 129854 B1

Problema tehnică este dimensionarea, proiectarea și construcția unui reactor chimic nuclear reprocesor izotopic al combustibilului CANDU iradiat, ca sistem modular heterogen și continuu, în care procesele chimice și procesele nucleare (dezintegrări radioactive, fisiuni spontane) evoluează paralel, cu viteze diferite, cu evaluarea criticității izotopilor fisili ( $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Pu}$ ), respectiv, a masei critice, a concentrației critice a acestor izotopi în modulele reactorului, și dimensionarea, construcția acestor module la geometrii, volume pentru regimul subcritic.

De asemenea, o problemă tehnică este dimensionarea riguroasă a masei de combustibil CANDU iradiat pe baza compoziției radiochimice, masă ce intră în reactor la reprocesare, astfel încât masele de izotopi purificați sub formă de compuși radiochimici să fie subcritice în stare solidă și în soluție cu solvenți apă, compuși organici care acționează ca moderatori și medii neutronice multiplicative pentru neutronii rapizi ai fisiunilor spontane generate de izotopii pari.

De asemenea, o problemă tehnică este proiectarea componentelor, aparatelor de control și blocare a reactivității chimice și nucleare a reactorului, pentru realizarea securității, protecției radiologice a personalului și a mediului.

Reactorul chimic reprocesor de izotopi de combustibil nuclear, conform invenției, este format dintr-un modul reactor radiochimic generator de azotați izotopici uranil [U(VI)] și plutoniu [Pu(IV)], produși de fisiune, ce comunică cu niște module succesive: un reactor extractor de complecși azotați izotopici U(VI), Pu(IV) cu tributilfosfat (TBP), un scrubber de spălare cu apă distilată a complecșilor azotați izotopici U(VI) Pu(IV), un reactor reextractor de azotați izotopici Pu(III) în soluție apoasă azotică și extractor de complecși azotați izotopici U(VI) cu TBP, un reactor reextractor de azotați izotopici U(VI) din fază organică în apă distilată, și un reactor cristalizor de oxalați izotopici U(VI), acest reactor reextractor de azotați izotopici Pu(III) comunicând cu module succesive, un reactor extractor de complecși azotați izotopici Pu(IV) cu trioctilamină (TOA) și reextractor de complecși azotați izotopici de Pu(IV) cu TOA în soluție apoasă azotică  $2\text{M HNO}_3$ , și un reactor cristalizor de oxalați izotopici Pu(IV), aceste reactoare extractoare, cristalizoare, și scrubberul comunicând cu un distilator format din vaporizator de apă și acid azotic și colector de săruri radioactive, precum și cu un condensor de vapori.

Reactorul chimic nuclear (de reprocesare a unor izotopi nucleari), conform invenției, prezintă următoarele avantaje:

- realizează productivitatea prin reprocesarea izotopică a combustibililor nucleari CANDU iradiați, mai mare cu 40% față de aparatele și instalațiile cunoscute;

- are o viteză de reprocesare izotopică dublă față de aparatele și sistemele cunoscute, datorită intensificării proceselor;

- realizează un grad avansat de puritate nucleară a izotopilor uraniului, plutoniului în compușii lor radiochimici utilizați în tehnologia combustibililor nucleari, eventualii izotopi impurificatori fiind exprimați în unități de părți de masă pe milion părți masă;

- realizează reciclarea zirconului, respectiv, a aliajului zircaloy pentru producția și reproducția de tuburi/teci cilindrice pentru fasciculele/elementele combustibile CANDU în ciclul combustibil de oxizi izotopici micști ( $\text{UO}_2 + \text{PuO}_2$ ), precum și în ciclul uraniului natural, sub formă de  $\text{UO}_2$ ;

- realizează securitatea nucleară și protecția radiologică a personalului operator și a mediului, deoarece posedă componente modulare etajate, și este amplasat într-un bloc cilindric vertical subteran, construit din beton nuclear; în caz accidental de criticitate nucleară, datorită izotopilor plutoniului, se injectează automat soluții apoase de acid boric ( $10\% \text{H}_3\text{BO}_3$ ) în modulele reactor G, H, I, pentru absorbția neutronilor rapizi în izotopul  $(10/5)\text{B}$  în proces chimic nuclear, conform ecuației de reacție:



# RO 129854 B1

- 1 - realizează reprocesarea și a altor tipuri de combustibili nucleari oxidici iradiați în  
condiția existenței specificației tehnice de compoziție izotopică;
- 3 - poate fi automatizat și robotizat complet.
- Invenția este prezentată pe larg în continuare, printr-un exemplu de realizare a  
5 reactorului chimic reprocesor de izotopi nucleari, în legătură și cu fig.1...21, ce reprezintă:
- 7 - fig. 1, vedere în secțiune longitudinală a reactorului chimic nuclear reprocesor  
izotopic;
- 9 - fig. 2, vedere în secțiune longitudinală și transversală a modulului reactor **A** radio-  
chimic generator de azotați izotopici U(VI), Pu(IV), produși de fisiune;
- 11 - fig. 3, vedere în secțiune longitudinală și transversală a rotorului cilindric de turbină  
din modulul reactor radiochimic generator de azotați izotopici;
- 13 - fig. 4, vedere în secțiune longitudinală și transversală a tubului cilindric colector  
perforat, aferent rotorului cilindric de turbină, din modulul reactor radiochimic;
- 15 - fig. 5, vedere în secțiune transversală a modulului reactor **B** extractor de complecși  
azotați izotopici U(VI), Pu(IV) cu tributilfosfat (TBP);
- 17 - fig. 6, vedere în secțiune longitudinală a unei unități de transfer de masă (ameste-  
cător/decantor);
- 19 - fig. 7, vedere în secțiune transversală a scruberului de spălare cu apă distilată a  
complecșilor azotați izotopici U(VI), Pu(IV), modul **C**;
- 21 - fig. 8, vedere în secțiune transversală a modulului reactor **D** reextractor de azotați  
izotopici de Pu(III) în soluție apoasă azotică, și extractor de complecși azotați izotopici de  
U(VI) cu TBP;
- 23 - fig. 9, vedere în secțiune transversală a modulului **E** reextractor de azotați izotopici  
U(VI) din fază organică în apă distilată;
- 25 - fig. 10, vedere în secțiune longitudinală a agitatorului de turbină cu alimentare axială  
dublă și refulare/pompare radială;
- 27 - fig. 11, vedere în secțiune longitudinală a rotorului de turbină de pompare a fazei  
organice în decantoare și amestecătoare (scruber, reactor reextractor, reextractor, reactor  
29 extractor);
- 31 - fig. 12, vedere în secțiune longitudinală și transversală a modulului reactor **F**  
cristalizor de oxalați izotopici de U(VI);
- 33 - fig. 13, vedere în secțiune longitudinală și transversală a rotorului cilindric de recir-  
culare ascendentă și descendent elicoidală a soluției apoase de azotați și oxalați izotopici  
de uraniu [U(VI)], aferent modulului reactor cristalizor de oxalați U(VI);
- 35 - fig. 14, vedere în secțiune transversală a modulului **G** reactor extractor de complecși  
azotați izotopici de Pu(IV) cu trioctilamină (TOA);
- 37 - fig. 15, vedere în secțiune transversală a modulului **H** reextractor de complecși  
azotați izotopici Pu(IV) cu TOA din fază organică, în soluție apoasă azotică 2M HNO<sub>3</sub>;
- 39 - fig. 16, vedere în secțiune longitudinală și transversală a modulului reactor **I** crista-  
lizor de oxalați izotopici de Pu(IV);
- 41 - fig. 17, vedere în secțiune longitudinală și transversală a rotorului cilindric de  
recirculare ascendentă și descendent elicoidală a soluției apoase de azotați și oxalați izo-  
43 topici de Pu(IV), aferent modulului reactor cristalizor de oxalați de Pu(IV);
- 45 - fig. 18, vedere în secțiune longitudinală a distilatorului, modul **J**;
- 47 - fig. 19, vedere în secțiune transversală a vaporizatorului apă și acid azotic, concen-  
trarea soluției azotice și separarea sărurilor radioactive metalice cristalizate (azotați izotopici  
ai produșilor de fisiune, sulfamați, sulfați);

# RO 129854 B1

- fig. 20, vedere în secțiune longitudinală a condensatorului de vapori de apă și acid azotic, și de recirculare a soluției pentru concentrarea în vaporizator;	1
- fig. 21, vedere în secțiune longitudinală și transversală a rotorului cilindric de recirculare ascendentă-descendentă elicoidală a soluției apoase de acid azotic și săruri radioactive metalice (azotați, sulfamați, sulfăți), precum și a rotorului de recirculație în plan orizontal a agentului caloportor prin mantaua vaporizatorului.	3 5
Conform invenției, reactorul chimic nuclear reprocesor izotopic este format dintr-un modul reactor radiochimic solid-lichid <b>A</b> generator de azotați izotopici de uraniu [U(VI)], plutoniu [Pu(IV)] și produși de fisiune, construit din oțel inoxidabil, cu manta termică cilindrică de încălzire de masă radiochimică de reacție la temperatura de proces, în care este asamblat demontabil, pe rulmenți axiali și ghidaje radiale, un rotor tip turbină <b>1</b> de recirculație prin pompare a fazei lichide de soluție apoasă de acid azotic prin faza solidă (combustibil nuclear CANDU iradiat și tăiat în bucăți cilindrice), în mod ascendent și descendent rotațional. Acest rotor tip turbină <b>1</b> este format din două tuburi cilindrice concentrice, de oțel inox, asamblate nedemontabil, consolidate la partea superioară, și care conțin între tuburi două rânduri a opt palete elicoidale <b>1a</b> , <b>1b</b> metalice, cu rol de pompare ascendentă a fazei lichide de soluție apoasă de acid azotic și azotați izotopici U(VI), Pu(IV), produși de fisiune și recirculare descendentă rotațională, prin patru fante/orificii dreptunghiulare <b>1c</b> existente la partea superioară a rotorului <b>1</b> , și recirculație prin tubul cilindric interior, iar acest rotor <b>1</b> este acționat în rotație prin angrenaj cilindric de un motor <b>1f</b> , ca mijloc tehnic. În acest tub cilindric interior al rotorului tip turbină <b>1</b> este asamblat demontabil un tub colector cilindric <b>2</b> , din oțel inox, cu scop funcțional de container pentru combustibilul nuclear iradiat tăiat în bucăți, și de reținere a tecilor cilindrice de aliaj zircaloy după reacția radiochimică a oxizilor izotopici U(IV), Pu(IV), produși de fisiune, cu acid azotic. Acest colector cilindric <b>2</b> este format dintr-o tubulatură cilindrică <b>2a</b> de oțel inox, închisă de două capace circulare perforate <b>2b</b> , demontabile și asamblate pe un ax cilindric central <b>2c</b> , care posedă la partea superioară o placă circulară <b>2d</b> din oțel inox, cu rol funcțional de suport tub colector <b>2</b> , și fixarea, ghidarea acestuia în tubul cilindric interior al rotorului turbină <b>1</b> . Tubul cilindric colector <b>2</b> este asamblat demontabil în rotorul tip turbină <b>1</b> , și închis în timpul reprocesării radiochimice cu ajutorul unui capac cilindric filetat. Modulul reactor radiochimic <b>A</b> , tip solid-lichid, posedă la partea inferioară o conductă metalică <b>1d</b> cilindrică, cu robinet/vană de alimentare cu soluție apoasă de reactiv tip acid azotic, și de golire/evacuare a fazei lichide a masei de reacție și soluției apoase de acid azotic, azotați izotopici de U(VI), Pu(IV), produși de fisiune, precum și o conductă metalică <b>1e</b> de alimentare a modulului reactor <b>A</b> cu oxigen molecular gazos/aer atmosferic necesar reacțiilor radiochimice. Acest modul reactor radiochimic <b>A</b> comunică printr-o conductă cu robinet/vană <b>1d</b> cu modulul reactor extractor <b>B</b> de complecși azotați izotopici U(VI), Pu(IV) cu tributilfosfat (TBP), cu rol funcțional de complexare și extracție a acestor complecși în fază organică. Acest modul reactor extractor <b>B</b> este format din 8 unități de transfer de masă în contracurent de faze lichid-lichid (faza 1 - soluție apoasă de acid azotic, azotați izotopici U(VI), Pu(IV), produși de fisiune; faza 2 - fază organică extractantă de complecși azotați izotopici U(VI), Pu(IV) cu TBP în kerosen/dodecan ca solvent), și fiecare unitate de transfer este formată dintr-un amestecător de faze <b>3</b> tip corp cubic din oțel inoxidabil, prin recirculație energetică și complexare, precum și dintr-un decantor separator gravitațional de faze <b>4</b> tip corp cubic, din oțel inoxidabil, în care complecșii azotați izotopici U(VI), Pu(IV) cu TBP sunt separați/extrași în fază organică, iar azotații izotopici ai produșilor de fisiune neextractibili rămân în soluție apoasă. În fiecare amestecător de faze <b>3</b> este asamblat demontabil, pe rulmenți axiali și radiali, un agitator tip turbină <b>5</b> , cu alimentare axială dublă și reflux/pompare	7 9 11 13 15 17 19 21 23 25 27 29 31 33 35 37 39 41 43 45 47

# RO 129854 B1

1 radială a fazelor de amestec heterogen lichid-lichid, acționat în mișcarea de rotație de un  
motor electric **6**, ca mijloc tehnic. Fiecare amestecător de faze **3** posedă o conductă circulară  
3 **3a** din oțel inoxidabil, asamblată nedemontabil la partea superioară, pentru alimentare/intrare  
de fază organică extractantă de complecși azotați izotopici de U(VI), Pu(IV), cu TBP în kero-  
5 sen/dodecan solvent din decantor separator gravitațional **4**, precum și o conductă circulară  
**3b** din oțel inoxidabil, asamblată nedemontabil la partea inferioară, pentru alimentare/intrare  
7 de soluție apoasă de acid azotic și azotați izotopici din decantor separator gravitațional **4**,  
în contracurent cu faza organică. La amestecare energetică, amestecul heterogen lichid-lichid  
9 este pompat radial de agitatorul tip turbină **5** în decantor separator gravitațional de faze **4**  
prin 25 de conducte circulare **3c** din oțel inoxidabil, cu diametru de 0,02 m, și asamblate  
11 nedemontabil în partea de mijloc a amestecătorului **3** și decantorului separator **4**, pe cinci  
rânduri. Fiecare decantor separator gravitațional de faze **4** posedă o conductă circulară cu  
13 robinet/vană **4a** din oțel inoxidabil, asamblată nedemontabil la partea inferioară, pentru  
colectare de soluții apoase de acid azotic și azotați izotopici ai produșilor de fisiune  
15 neextractibili, într-un decantor colector **4** ce posedă o conductă circulară cu robinet/vană **4b**  
din oțel inoxidabil, asamblată nedemontabil la partea inferioară, pentru evacuare soluție  
17 apoasă în vaporizatorul modului distilator **J**. Fiecare decantor separator gravitațional de  
faze **4** posedă un indicator de nivel amestec heterogen lichid-lichid **4c**, cu tub vertical gradat,  
19 construit din sticlă termorezistentă, pentru măsurarea volumului amestecului bifazic. Acest  
decantor colector **4** al modului reactor **B** posedă un rotor tip turbină **7** de pompare de fază  
21 organică extractantă de complecși azotați izotopici de U(VI), Pu(IV) cu TBP în kerosen/dode-  
can solvent, din decantor **4** în modulul scrubber de spălare **C**. Acest agitator tip turbină **5**, din  
23 oțel inoxidabil, este format dintr-un ax central **5a** pe care sunt asamblate nedemontabil, pe  
două rânduri (superior/inferior), 8 palete de turbină **5b** înclinate la 30...45° față de orizontală,  
25 cu rol funcțional de pompare ascendentă axială, de jos în sus, a soluției apoase de azotați  
izotopici U(VI), Pu(IV), produși de fisiune și pompare descendentă axială, de sus în jos, a  
27 extractantului tributilfosfat (TBP) în kerosen/dodecan solvent. Pe aceste palete de turbină  
**5b** este asamblată nedemontabil o tubulatură cilindrică **5c** din oțel inoxidabil, cu rol de direc-  
29 ționare a masei radiochimice heterogene de reacție, tubulatură **5c** ce posedă la partea de  
mijloc 209 orificii circulare **5d** cu diametru de 0,01 m, executate pe cinci rânduri, pentru pom-  
31 pare radială/ejectare a masei heterogene lichid-lichid ce conține complecșii azotați izotopici  
U(VI), Pu(IV) cu TBP în kerosen/dodecan solvent. Acest rotor tip turbină de pompare a fazei  
33 organice de extracție **7**, din oțel inoxidabil, este format dintr-un ax rotor **7a**, acționat în  
rotație de un motor electric **7b**, și care, prin angrenaj cilindric de roți dințate **7c**, **7d**, transmite  
35 mișcarea de rotație la un ax rotor **7e** ce posedă 8 palete turbină **7f** înclinate ascendent la  
30...45° față de orizontală, și asamblate nedemontabil pe ax rotor **7e**, și pompează ascen-  
37 dent vertical faza organică de complecși azotați izotopici U(VI), Pu(IV) cu TBP în kero-  
sen/dodecan solvent, prin conducta circulară verticală **7g**, în primul decantor al modului  
39 scrubber de spălare **C**. Aceste componente **7a**, **7b**, **7c**, **7d**, **7e**, **7f**, **7g** sunt consolidate în  
suporturi din placă de oțel inoxidabil, cu rulmenți, și asamblate demontabil într-un bazin para-  
41 lelipedic **7h**, cu rol de stocare intermediară a fazei organice. Acest modul scrubber **C** de  
spălare cu apă distilată a fazei organice de complecși azotați izotopici U(VI), Pu(IV) cu TBP  
43 în kerosen/dodecan solvent, în scop de purificare prin eliminare totală a azotaților izotopici  
produși de fisiune cu solubilitate foarte mare în apă, este format din 6 unități de transfer de  
45 masă în contracurent de faze lichid-lichid (faza 1 este faza organică; faza 2 este apa distilată  
cu densitate mai mare), și fiecare unitate de transfer de masă este formată dintr-un ameste-  
47 cător de faze 8 tip corp cubic, din oțel inoxidabil, pentru recirculare/contactare energetică,

# RO 129854 B1

precum și dintr-un decantor separator gravitațional de faze **9**, tip corp cubic, din oțel inoxidabil, în care azotații izotopici ai produșilor de fisiune sunt separați total de faza organică. În fiecare amestecător de faze **8** este asamblat demontabil, pe rulmenți axiali și radiali, un agitator tip turbină **10**, cu alimentare axială dublă și refulare/pompare radială a fazelor, ca amestec heterogen lichid-lichid, acționat în mișcarea de rotație de un motor electric **11**, ca mijloc tehnic. Fiecare amestecător de faze **8** posedă o conductă circulară **8a** din oțel inoxidabil, asamblată nedemontabil la partea superioară, pentru alimentare/intrare faza organică de complecși azotați izotopici U(VI), Pu(IV), concentrații foarte mici de azotați ai izotopilor produși de fisiune (radioactivitatea  $\beta$  și  $\gamma$ ) cu TBP în kerosen/dodecan solvent, din decantor separator gravitațional **9**, precum și conducta circulară **8b** din oțel inoxidabil, asamblată nedemontabil la partea inferioară, pentru alimentare/intrare apă distilată și azotați izotopici produși de fisiune extrași, din decantor separator gravitațional de faze **9**, în contracurent cu faza organică. La amestecarea energetică, amestecul heterogen lichid-lichid este pompat radial de agitator turbină **10** în decantor separator gravitațional de faze **9** prin 25 conducte circulare **8c**, din oțel inoxidabil, cu diametru 0,02 m, și asamblate nedemontabil la partea de mijloc a amestecătorului **8** și decantorului separator faze **9** pe cinci rânduri. Fiecare decantor separator gravitațional de faze **9** posedă conducta circulară cu robinet/vană **9a**, din oțel inoxidabil, asamblată nedemontabil la partea inferioară, pentru colectare de soluție apoasă de azotați izotopici ai produșilor de fisiune într-un decantor colector **9** ce posedă o conductă circulară cu robinet/vană **9b** din oțel inoxidabil, asamblată nedemontabil la partea inferioară, pentru evacuare de soluție apoasă de azotați izotopici produși de fisiune în vaporizatorul modului distilator **J**.

Acest decantor colector **9** al modului scrubber de spălare **C** posedă un rotor tip turbină **12**, de pompare de fază organică cu complecși azotați izotopici purificați U(VI), Pu(IV) cu TBP în kerosen/dodecan solvent, din decantorul colector **9** în modulul reactor reextractor de azotați izotopici de Pu(III), și extractor de complecși azotați izotopici U(VI) cu TBP în kerosen/dodecan solvent, respectiv, în modulul **D**. Acest rotor tip turbină posedă aceleași componente materiale funcționale ca rotorul tip turbină **7** al modului reactor **B**. Acest modul **D** reactor reextractor de azotați izotopici de Pu(III) și extractor de complecși azotați izotopici U(VI) cu TBP în kerosen/dodecan solvent este format din 8 unități de transfer de masă cu reacție chimică de reducere a azotaților izotopici de Pu(IV) la azotați izotopici de Pu(III) cu reactant reducător (sulfamat de fer II și hidrazină în soluție apoasă de acid azotic), reextracție în soluție apoasă și extracție de complecși azotați izotopici de U(VI) cu TBP în kerosen/dodecan solvent, în contracurent de faze lichid-lichid. Fiecare unitate de transfer de masă cu reacție chimică de reducere este formată din amestecător faze tip corp cubic din oțel inoxidabil, pentru recirculare/contactare energetică a fazelor și reacție chimică, precum și dintr-un decantor separator gravitațional de faze **14**, tip corp cubic, din oțel inoxidabil, în care azotații izotopici de Pu(III) sunt reextrași în soluția apoasă de acid azotic (faza cu densitate mai mare), și azotații izotopici de U(VI) sunt extrași în faza organică având densitate mai mică (strat superior). În fiecare amestecător de faze **13** este asamblat demontabil, pe rulmenți axiali și radiali, un agitator tip turbină **15**, cu alimentare axială dublă și refulare/pompare radială a fazelor ca amestec heterogen lichid-lichid, acționat în mișcarea de rotație de un motor electric **16**, ca mijloc tehnic. Fiecare amestecător de faze **13** posedă o conductă circulară **13a**, din oțel inoxidabil, asamblată nedemontabil la partea superioară, pentru alimentare/intrare de fază organică de complecși azotați izotopici de U(VI) cu TBP în kerosen/dodecan solvent, din decantor separator gravitațional **14**, precum și o conductă circulară **13b**, din oțel inoxidabil, asamblată nedemontabil la partea inferioară, pentru alimentare/intrare de soluție apoasă de acid azotic, azotați izotopici

# RO 129854 B1

1 de Pu(III) reextrași, sulfamați de Fe(II), Fe(III) și hidrazină din decantor separator gravitațional  
2 **14**, în contracurent cu faza organică. La amestecarea energetică, amestecul heterogen  
3 lichid-lichid este pompat radial de agitator turbină **15** în decantor separator gravitațional de  
4 faze **14** prin 25 conducte circulare **13c**, din oțel inoxidabil, cu diametrul de 0,02 m, și asamblate  
5 nedemontabil la partea de mijloc a amestecătorului **13** și decantorului **14** pe cinci rânduri.  
6 Fiecare decantor separator gravitațional **14** posedă o conductă circulară cu robinet/vană **14a**  
7 din oțel inoxidabil, asamblată nedemontabil la partea inferioară, pentru colectare de faze  
8 separate în decantor colector **14**, care posedă un rotor tip turbină **17** de pompă ascendentă  
9 verticală a fazei de soluție apoasă de acid azotic, azotați izotopici de Pu(III) și sulfamați de  
10 fer în decantorul modulului reactor **G** extractor de complecși azotați izotopici de Pu(IV) cu  
11 trioctilamină (TOA), și pompă ascendentă verticală a fazei organice de complecși azotați  
12 izotopici U(VI) cu TBP în kerosen/dodecan solvent în decantorul modulului **E** reextractor de  
13 azotați izotopici de U(VI), din faza organică în apă distilată, prin deschiderea periodică automată  
14 a vanelor conductei rotorului tip turbină **17**, care posedă aceleași componente materiale funcțio-  
15 nale ca rotoarele tip turbină **7**, **12** ale modulelor **B**, **C**. Acest modul **E** reextractor de azotați  
16 izotopici U(VI), din faza organică în apă distilată, este format din 4 unități de transfer de masă  
17 în contracurent de faze lichid-lichid (faza 1 este faza organică; faza 2 - apa distilată), și fiecare  
18 unitate de transfer de masă este formată din amestecător de faze **18** tip corp cubic, din oțel  
19 inoxidabil, pentru recirculare/contactare energetică a fazelor, și dintr-un decantor separator  
20 gravitațional de faze **19** tip corp cubic, din oțel inoxidabil, în care azotații izotopici de U(VI)  
21 sunt separați total de faza organică ce se recirculă într-un decantor **4** al modulului **B**. În fiecare  
22 amestecător de faze **18** este asamblat demontabil, pe rulmenți axiali și radiali, un agitator tip  
23 turbină **20** cu alimentare axială dublă și refulare/pompă radială a fazelor de amestec hetero-  
24 gen lichid-lichid, acționat în mișcarea de rotație de un motor electric **21** ca mijloc tehnic. Fiecare  
25 amestecător de faze **18** posedă o conductă circulară **18a**, din oțel inoxidabil, asamblată nede-  
26 montabil la partea superioară, pentru alimentare/intrare de fază organică de complecși azotați  
27 izotopici de U(VI) cu TBP în kerosen/dodecan solvent, din decantor separator gravitațional  
28 **19**, precum și o conductă circulară **18b**, din oțel inoxidabil, asamblată nedemontabil la partea  
29 inferioară, pentru alimentare/intrare de apă distilată și azotați izotopici de U(VI) parțial reextrași  
30 în apa din decantorul separator **19**, în contracurent cu faza organică. La amestecarea energetică,  
31 amestecul heterogen lichid-lichid este pompat radial de agitatorul tip turbină **20** în decantor  
32 separator gravitațional de faze **19** prin 25 conducte circulare **18c**, din oțel inoxidabil, cu diametrul  
33 de 0,02 m, și asamblate nedemontabil la partea de mijloc a amestecătorului **18** și a decantorului  
34 **19** pe cinci rânduri. Fiecare decantor separator gravitațional de faze **19** posedă o conductă  
35 circulară cu robinet/vană **19a** din oțel inoxidabil, asamblată nedemontabil la partea inferioară,  
36 pentru colectarea soluției apoase de azotați izotopici U(VI) total reextrași într-un decantor  
37 colector **19** ce posedă o conductă circulară cu robinet/vană **19b**, din oțel inoxidabil, asamblată  
38 nedemontabil la partea inferioară, pentru evacuare descendentă gravitațională a soluției apoase  
39 de azotați izotopici U(VI) în modul **F** reactor cristalizor de oxalați izotopici U(VI), prin deschiderea  
40 periodică automată a vanei conductei **19b**. De asemenea, acest decantor colector **19** posedă  
41 o conductă circulară cu robinet/vană **19c** din oțel inoxidabil, asamblată nedemontabil la partea  
42 inferioară, pentru evacuare descendentă gravitațională a fazei organice tributilfosfat (TBP)  
43 în kerosen/dodecan solvent, respectiv, pentru recircularea fazei organice prin deschiderea  
44 periodică automată a vanei conductei **19c** în decantor **4** al modulului reactor **B** extractor de  
45 complecși azotați izotopici U(VI), Pu(IV) cu TBP pentru reprocesarea izotopică continuă. În  
46 acest modul **F** reactor generator de oxalați izotopici de U(VI) prin reacția chimică a azotaților  
47 izotopici de U(VI) cu acid oxalic, și cristalizarea oxalaților prin vaporizarea apei și acidului azotic



# RO 129854 B1

produs de reacție, tip corp cilindric vertical, din oțel inoxidabil, cu manta termică de încălzire a masei radiochimice de reacție la temperatura de proces, este asamblat demontabil pe rulmenți axiali și radiali cu labirinturi un rotor cilindric **22** de recirculare ascendentă și descendentă, elicoidal, a soluției apoase de acid azotic, azotați și oxalați izotopici de U(VI). Acest rotor cilindric **22**, din oțel inoxidabil, este format dintr-un ax rotoric **22a**, pe care sunt asamblate nedemontabil patru rânduri a 8 palete de turbină **22b** înclinate ascendent sub unghiuri de 30...45° față de orizontală, în interiorul unei tubulaturi cilindrice verticale **22c**, pentru pomparea ascendentă verticală a masei radiochimice de reacție, și ejectarea acesteia prin patru orificii dreptunghiulare **22d**, distanțate sub unghi de 90° la partea superioară a tubulaturii **22c**, pe circumferința acesteia. De asemenea, pe circumferința exterioară a tubulaturii **22c** sunt asamblate nedemontabil patru palete dreptunghiulare verticale **22e**, din oțel inoxidabil, consolidate sub unghiuri de 90°, cu rol funcțional de rotație descendentă elicoidală a masei de reacție pe suprafața de transfer termic a modului **F**, și recircularea continuă la vaporizarea completă a apei și acidului azotic, respectiv, cristalizarea oxalaților izotopici de U(VI). Acest rotor **22** este acționat în mișcarea de rotație de un motor **23** prevăzut ca mijloc tehnic, iar modulul reactor **F** posedă în interior, la partea inferioară, un colector cilindric **24** de oxalați izotopici de U(VI) și săruri cristalizate. Acest modul **G** reactor extractor de complecși azotați izotopici de Pu(IV) cu rol funcțional, pentru reacția de oxidare de azotați izotopici de Pu(III) la azotați izotopici de Pu(IV), cu reactant oxidant tip azotit de sodiu în mediu de acid azotic, reacția de complexare a azotaților de Pu(IV) și extracția acestora în faza organică complexantă-extractantă de trioctilamină (TOA) în dodecan solvent, este format din 8 unități transfer de masă în contracurent de faze lichid-lichid (faza 1 - soluție apoasă de acid azotic, sulfamați de Fe(II), Fe(III), azotați izotopici de Pu(III); faza 2 - faza organică complexantă-extractantă de TOA în dodecan solvent), și fiecare unitate de transfer este formată dintr-un amestecător faze **25** tip corp cubic, din oțel inoxidabil, pentru recirculare energetică, reacție de oxidare și complexare, precum și dintr-un decantor separator gravitațional de faze **26**, în care complecșii azotați izotopici de Pu(IV) sunt separați/extrași total în faza organică de TOA în dodecan solvent. În fiecare amestecător de faze **25** este asamblat demontabil, pe rulmenți axiali și radiali, un agitator tip turbină **27**, cu alimentare axială dublă și refulare/pompare radială a fazelor, ca amestec heterogen lichid-lichid, și acționat în mișcarea de rotație de un motor electric **28**, ca mijloc tehnic. Fiecare amestecător de faze **25** posedă o conductă circulară **25a**, din oțel inoxidabil, asamblată nedemontabil la partea superioară, pentru alimentare/intrare de fază organică extractantă de complecși azotați izotopici de Pu(IV) cu TOA în dodecan solvent din decantor separator gravitațional de faze **26**, precum și o conductă circulară **25b**, de oțel inoxidabil, asamblată nedemontabil la partea inferioară, pentru alimentare/intrare de soluție apoasă de acid azotic, sulfamați de Fe(II), Fe(III), azotit de sodiu, acid azotic, azotați izotopici de Pu(III), Pu(IV) din decantor separator **26** în contracurent cu faza organică. La amestecarea energetică, amestecul heterogen lichid-lichid este pompat radial de un agitator tip turbină **27** în decantor separator gravitațional de faze **26** prin 25 de conducte circulare **25c**, din oțel inoxidabil, cu diametrul de 0,02 m, și asamblate nedemontabil la partea de mijloc a amestecătorului **25** și a decantorului **26** pe cinci rânduri. Fiecare decantor separator gravitațional de faze **26** posedă o conductă circulară cu robinet/vană **26a**, din oțel inoxidabil, asamblată nedemontabil la partea inferioară, pentru colectare de soluție apoasă de acid azotic, sulfamați și sulfati de Fe(II), Fe(III) reziduali, într-un decantor colector **26**, și evacuarea acestei soluții reziduale prin conducta circulară **9b**, în vaporizatorul modulului distilator **J**, la deschiderea periodică automată a vanei decantorului **26**. Acest decantor colector **26** al modulului reactor **G** posedă un rotor tip turbină **29** de pompare de fază organică extractantă de complecși azotați izotopici Pu(IV) cu TOA în dodecan solvent din decantor **26** în

# RO 129854 B1

1 decantorul modulului **H** reextractor de complecși azotați izotopici de Pu(IV) cu TOA din faza  
2 organică în soluție apoasă de acid azotic 2M. Acest rotor tip turbină **29** posedă aceleași compo-  
3 nente materiale funcționale ca rotoarele **7**, **12**, **17** ale modulelor **B**, **C**, **E**. Acest modul **H**  
4 reextractor este format din 4 unități de transfer de masă în contracurent de faze lichid-lichid  
5 (faza 1 este faza organică; faza 2 este soluția apoasă de acid azotic 2M), și fiecare unitate  
6 de transfer este formată dintr-un amestecător de faze **30** tip corp cubic, din oțel inoxidabil,  
7 pentru recirculare/contactare energetică a fazelor, și dintr-un decantor separator gravitațional  
8 de faze **31**, tip corp cubic, din oțel inoxidabil, în care azotații izotopici de Pu(IV) sunt separați  
9 total de faza organică ce se recirculă într-un decantor **26** al modulului reactor **G**. În fiecare  
10 amestecător de faze **30** este asamblat demontabil pe rulmenți axiali și radiali un agitator tip  
11 turbină **32**, cu alimentare axială dublă și refluxare/pompare radială a fazelor ca amestec  
12 heterogen lichid-lichid acționat în mișcarea de rotație de un motor electric **33**, ca mijloc tehnic.

13 Fiecare amestecător de faze **30** posedă o conductă circulară **30a**, din oțel inoxidabil,  
14 asamblată nedemontabil la partea superioară, pentru alimentare/intrare în faza organică de  
15 complecși azotați izotopici Pu(IV) cu TOA în dodecan solvent din decantor separator gravita-  
16 țional de faze **31**, precum și o conductă circulară **30b**, din oțel inoxidabil, asamblată nede-  
17 montabil la partea inferioară, pentru alimentare/intrare de soluție apoasă de acid azotic și  
18 azotați izotopici Pu(IV) parțiali extrași din decantor separator **31** în contracurent cu faza  
19 organică. La amestecarea energetică, amestecul heterogen lichid-lichid este pompat radial de  
20 un agitator tip turbină **32** într-un decantor separator de faze **31** prin 25 de conducte circulare  
21 **30c**, din oțel inoxidabil, cu diametrul de 0,02 m, și asamblate nedemontabil la partea de  
22 mijloc a amestecătorului **30** și a decantorului **31** pe cinci rânduri. Fiecare decantor separator  
23 gravitațional de faze **31** posedă o conductă circulară cu robinet/vană **31a**, din oțel inoxidabil,  
24 asamblată nedemontabil la partea inferioară, pentru colectare de soluție apoasă de azotați  
25 izotopici de Pu(IV) și acid azotic, componenți total reextrași într-un decantor colector **31** ce  
26 posedă o conductă circulară cu robinet/vană **31b**, din oțel inoxidabil, asamblată nedemon-  
27 tabil la partea inferioară, pentru evacuare descendentă gravitațională a soluției apoase de  
28 azotați izotopici Pu(IV) și acid azotic în modulul I reactor cristalizor de oxalați izotopici de  
29 Pu(IV), prin deschiderea periodică automată a vanei conductei **31b**. De asemenea, acest  
30 decantor colector **31** posedă o conductă circulară cu robinet/vană **31c** din oțel inoxidabil,  
31 asamblată nedemontabil la partea inferioară, pentru evacuare descendentă gravitațională  
32 a fazei organice TOA în dodecan solvent, într-un decantor **26** al modulului **G**, prin deschide-  
33 rea periodică automată a vanei conductei **31c** în scopul complexării și extracției continue a  
34 azotaților izotopici de Pu(IV). Acest modul I reactor, generator de oxalați izotopici de Pu(IV)  
35 prin reacția chimică a azotaților izotopici de Pu(IV) cu reactant tip acid oxalic, și cristalizarea  
36 oxalaților produși ai reacției prin vaporizarea în vid a apei și acidului azotic produs de reacție,  
37 are un corp cilindric vertical, din oțel inoxidabil, cu manta termică de încălzire a masei radio-  
38 chimice de reacție la temperatura de proces, în care este asamblat demontabil, pe rulmenți  
39 axiali și radiali cu labirinturi, un rotor cilindric **34** de recirculare ascendentă și descendentă,  
40 elicoidală, a soluției apoase de acid azotic, azotați și oxalați izotopici de Pu(IV). Acest rotor  
41 cilindric **34**, din oțel inoxidabil, este format dintr-un ax rotor **34a**, pe care sunt asamblate  
42 nedemontabil 8 palete de turbină **34b**, înclinate ascendent sub unghiuri de 30...45° față de  
43 orizontală, în interiorul unei tubulaturi cilindrice verticale **34c**, pentru pomparea ascendentă  
44 verticală a masei radiochimice de reacție, și ejectarea acesteia prin patru orificii dreptunghiu-  
45 lare **34d**, distanțate sub unghi de 90° la partea superioară a tubulaturii **34c**, pe circumferința  
46 acesteia. De asemenea, pe circumferința exterioară a tubulaturii **34c** sunt asamblate  
47 nedemontabil patru palete dreptunghiulare verticale **34e**, din oțel inoxidabil, sub unghiuri de

# RO 129854 B1

90°, cu rol funcțional de rotație descendentă elicoidală a masei de reacție pe suprafața de transfer termic a modulului reactor I, și recircularea continuă la vaporizarea completă a apei și acidului azotic și, respectiv, cristalizarea oxalaților de Pu(IV). Acest rotor **34** este acționat în mișcare de rotație de un motor electric **35**, prevăzut ca mijloc tehnic, iar modulul reactor I posedă în interior, la partea inferioară, un colector cilindric **36** de oxalați izotopici de Pu(IV) și săruri cristalizate cu masa nucleară subcritică. Acest modul distilator J este format dintr-un vaporizator **37**, pentru vaporizarea în vid (depresiune) a apei și acidului azotic, concentrarea soluției azotice și separarea sărurilor radioactive metalice cristalizate (azotați izotopici ai produșilor de fisiune, sulfamați, sulfati), și dintr-un condensator **42** de vapori apă, acid azotic, vidarea fiind realizată în module reactor F, I, cu recircularea soluției azotice pentru concentrare în vaporizatorul **37**. În acest vaporizator **37** tip corp cilindric vertical, cu manta termică cilindro-paralelipipedică, de încălzire a soluției apoase azotice la temperatura de vaporizare, construit din oțel inoxidabil, sunt asamblate demontabil, pe rulmenți axiali și radiali cu labirinturi, un rotor cilindric vertical **38** de recirculație ascendentă-descendentă rotațional, de soluție apoasă de acid azotic cu săruri radioactive, un rotor **39** de recirculație de agent termic caloportor în plan orizontal, prin mantaua vaporizatorului **37**, și aceste rotoare **38**, **39** sunt acționate în mișcarea de rotație de un motor electric ca mijloc tehnic, prin intermediul unui angrenaj cilindric de roți cu curele trapezoidale. De asemenea, acest vaporizator **37** posedă în interior, la partea inferioară, un colector cilindric **41**, din oțel inoxidabil, cu rol funcțional de container pentru sărurile radioactive obținute la reprocesarea izotopică a combustibilului CANDU iradiat, precum și două rânduri de conducte **37a** de recirculare a agentului termic caloportor într-un generator termic. Acest rotor cilindric vertical **38**, din oțel inoxidabil, este format dintr-un ax rotoric **38a**, pe care sunt asamblate nedemontabil 8 palete turbină **38b**, înclinate ascendent sub unghiuri de 30...45° față de orizontală, și pe aceste palete **38b** și pe axul **38a** este asamblată nedemontabil o tubulatură cilindrică verticală **38c**, din oțel inoxidabil, pentru pomparea ascendentă verticală a soluției apoase azotice de săruri radioactive (pompare efectuată de paletele **38b**), și ejectarea soluției prin patru orificii dreptunghiulare **38d**, distanțate sub unghi de 90° la partea superioară a tubulaturii **38c**, pe circumferința acesteia. Acest rotor **39**, de recirculație de agent termic caloportor prin mantaua vaporizatorului **37** și conducte circulare orizontale **37a** într-un generator termic, este format dintr-un ax rotoric **39a**, din oțel, pe care sunt asamblate nedemontabil patru palete dreptunghiulare metalice și verticale **39b**, sub unghi de 90° pe axul rotor, cu scop de recirculare în plan orizontal prin manta a agentului caloportor. Acest condensator **42**, din oțel inoxidabil, este format dintr-o cameră de amestec lichid-vapori cu ajutorul **42a**, cu corp paralelipipedic, ce posedă o conductă circulară **42b**, de aspirație de vapori (apă, acid azotic) generați în modulul reactor I cristalizor de oxalați izotopici de Pu(IV), conducta circulară **42c**, de aspirație de vapori (apă, acid azotic) generați în modulul reactor F cristalizor de oxalați izotopici de U(VI), conducta circulară **42d**, de aspirație de vapori (apă, acid azotic) generați în vaporizator **37**, și, în continuare, acest condensator **42** posedă un ejector cilindro-conic vertical **42e**, pentru ejectare de soluție apoasă azotică într-un bazin condensor **42f**, cu corp paralelipipedic, din oțel inoxidabil, cu manta de răcire și cu rol funcțional de recirculare de soluție apoasă azotică, cu o electropompă **43**, prin conducta circulară verticală **44**, în camera de amestec cu ajutorul **42a** și ejector **42e**, cu rol de concentrare de soluție apoasă azotică în vaporizatorul **37**, la recirculare prin conducta circulară cu robinet/vană **42g**, și de alimentare a modulului A reactor radiochimic cu soluție reactivă prin conductele circulare cu robinet/vane **42h**, **1d**. Prin conducta de alimentare se introduce în bazinul condensor **42f** soluția apoasă reactantă de concentrație 6M HNO<sub>3</sub>(378 g HNO<sub>3</sub>/l) la un consum specific CS = 3,8 kg soluție 6M HNO<sub>3</sub>/kg combustibil nuclear CANDU iradiat la un grad mediu de iradiere 7900 MW zi/t. Prin

# RO 129854 B1

1 deschiderea automată a vanelor conductelor **42h, 1d**, soluția reactantă de 6M HNO<sub>3</sub> intră  
 2 în modulul reactor **A** la recirculația ascendent-descendentă efectuată de rotorul **1** acționat  
 3 în rotație de motorul **1f**, prin intermediul angrenajului cilindric de roți cu curele trapezoidale.  
 4 Puterea mecanică P(W) de acționare în rotație a rotorului **1** dată de motor **1f** se determină  
 5 conform ecuației dimensionale:  $P = \omega^3 \cdot J$ ;  $\omega$  - viteza unghiulară a rotorului **1** (radiani/s) ce  
 6 se determină conform ecuației dimensionale:  $\omega = 2 \cdot \pi \cdot N = 6,28 \cdot N$  (N - turația rotorului **1**  
 7 (rot/s); J - moment total de inerție al rotorului **1** (kg · m<sup>2</sup>)) ce se determină conform ecuației  
 8 dimensionale:  $J = m \cdot R^2$ ; cu m - masa totală a rotorului **1** (kg); R - raza maximă de rotație  
 9 a rotorului **1** (m). După transportul masei de soluție reactantă, se închid automat vanele con-  
 10 ductelor **42h, 1d** și prin recirculația soluției efectuată de rotorul **1** cu paletele elicoidale **1a,**  
 11 **1b** în cele patru orificii dreptunghiulare **1c**, în tubul cilindric colector **2** are loc încălzirea  
 12 soluției la temperatura de proces 90°C, ca urmare a transferului termic de la mantaua cilin-  
 13 drică a modului reactor **A**, la o viteză periferică  $V = \omega \cdot R$  crescătoare, respectiv, creșterea  
 14 treptată a turației N a rotorului **1** cu ajutorul unui variator de viteză al grupului motor **1f**. Masa  
 15 de combustibil nuclear CANDU iradiat, tăiată în bucăți cilindrice, se încarcă sub apă în tubul  
 16 colector cilindric **2**, prin închiderea capacelor circulare perforate **2b** în tubulatura **2a**, și se  
 17 introduce în tubul cilindric interior al rotorului **1** fixat de placa circulară **2d**, ca suport, și acest  
 18 tub cilindric colector **2** este închis în rotorul **1** cu ajutorul unui capac cilindric, prin înfiletare.  
 19 Compoziția izotopică a combustibilului CANDU iradiat la un flux neutronic variabil  $\Phi =$   
 20  $= (1, 6...2,2) \cdot 10^{21}$  neutroni/m<sup>2</sup> · s și grade de iradiere de 6715...9150 MW zi/tonă U este  
 21 specificată în tabelul 1, fiind raportată la 1 kg combustibil.

Tabelul 1

Izotopi	Concentrație maximă	Concentrație minimă	Concentrație medie
<sup>A=235</sup> <sub>Z=92</sub> U	2,564 g/kg	0,762 g/kg	1,66325 g/kg
<sup>A=236</sup> <sub>Z=92</sub> U	0,8032 g/kg	0,6095 g/kg	0,729575 g/kg
<sup>A=238</sup> <sub>Z=92</sub> U	870,2348 g/kg	868,6265 g/kg	869,407575 g/kg
<sup>A=237</sup> <sub>Z=93</sub> Np	0,03544 g/kg	0,02332 g/kg	0,0293875 g/kg
<sup>A=238</sup> <sub>Z=94</sub> Pu	0,00505 g/kg	0,002467 g/kg	0,00371925 g/kg
<sup>A=239</sup> <sub>Z=94</sub> Pu	2,668 g/kg	2,513 g/kg	2,59875 g/kg
<sup>A=240</sup> <sub>Z=94</sub> Pu	1,319 g/kg	0,9168 g/kg	1,12095 g/kg
<sup>A=241</sup> <sub>Z=94</sub> Pu	0,2623 g/kg	0,1674 g/kg	0,215225 g/kg
<sup>A=242</sup> <sub>Z=94</sub> Pu	0,1014 g/kg	0,04379 g/kg	0,0712875 g/kg
Pu(total)	4,356 g/kg	3,544 g/kg	4,000 g/kg
Pu(fisionabil cu neutroni termici)	2,93 g/kg	2,68 g/kg	2,814 g/kg
<sup>A=241</sup> <sub>Z=95</sub> Am	2,152 mg/kg	1,064 mg/kg	1,59675 mg/kg
<sup>A=242</sup> <sub>Z=96</sub> Cm	0,6911 mg/kg	0,2397 mg/kg	0,4507 mg/kg
Produși de fisiune			5,62 g/kg

41 Izotopii produși de fisiune, existenți în combustibilul CANDU iradiat, sunt specificați  
 în tabelul 2.

Izotop produs de fisiune	Proprietate nucleară	Oxid izotopic format în combustibil	Denumirea	
${}^{81}_{31}\text{Ga}$	Izotop stabil. Număr magic 50	${}^{81}\text{Ga}_2\text{O}_3$	Trioxid izotopic de galiu - 81	3
${}^{82}_{31}\text{Ga}$	Izotop stabil	${}^{82}\text{Ga}_2\text{O}_3$	Trioxid izotopic de galiu - 82	5
${}^{82}_{32}\text{Ge}$	Izotop stabil. Număr magic 50	${}^{82}\text{GeO}_2$	Dioxid izotopic de germaniu - 82	7
${}^{84}_{34}\text{Se}$	Izotop stabil. Număr magic 50	${}^{84}\text{SeO}_2$	Dioxid izotopic de seleniu - 84	9
${}^{90}_{38}\text{Sr}$	Izotop radioactiv	${}^{90}\text{SrO}$	Oxid izotopic de stronțiu - 90	11
${}^{91}_{38}\text{Sr}$	Izotop radioactiv	${}^{91}\text{SrO}$	Oxid izotopic de stronțiu - 91	13
${}^{94}_{38}\text{Sr}$	Izotop radioactiv	${}^{94}\text{SrO}$	Oxid izotopic de stronțiu - 94	15
${}^{90}_{40}\text{Zr}$	Izotop stabil. Număr magic 50	${}^{90}\text{ZrO}_2$	Dioxid izotopic de zirconiu - 90	17
${}^{95}_{42}\text{Mo}$	Izotop stabil	${}^{95}\text{MoO}_2$	Dioxid izotopic de molibden - 95	19
${}^{99}_{43}\text{Tc}$	Izotop stabil. Timp de înjumătățire $t_{1/2} = 210000$ ani	${}^{99}\text{Tc}_2\text{O}_7$	Heptaoxid izotopic de tecnețiu - 99	21
${}^{105}_{46}\text{Pd}$	Izotop stabil	${}^{105}\text{PdO}$	Oxid izotopic de paladiu - 105	23
${}^{131}_{48}\text{Cd}$	Izotop stabil	${}^{131}\text{CdO}$	Oxid izotopic de cadmiu - 131	25
${}^{132}_{50}\text{Sn}$	Izotop stabil. Număr magic 82	${}^{132}\text{SnO}$	Oxid izotopic de staniu - 132	27
${}^{134}_{52}\text{Te}$	Izotop stabil. Număr magic 82	${}^{134}\text{TeO}$	Oxid izotopic de telur - 134	29
${}^{133}_{55}\text{Cs}$	Izotop stabil	${}^{133}\text{Cs}_2\text{O}$	Oxid izotopic de cesiu - 133	31
${}^{135}_{55}\text{Cs}$	Izotop stabil	${}^{135}\text{Cs}_2\text{O}$	Oxid izotopic de cesiu - 135	33
${}^{138}_{56}\text{Ba}$	Izotop stabil	${}^{138}\text{BaO}$	Oxid izotopic de bariu - 138	35
${}^{140}_{58}\text{Ce}$	Izotop stabil. Număr magic 82	${}^{140}\text{CeO}_2$	Dioxid izotopic de ceriu - 140	37
${}^{142}_{60}\text{Nd}$	Izotop stabil	${}^{142}\text{NdO}$	Oxid izotopic de neodim - 142	39
${}^{143}_{60}\text{Nd}$	Izotop stabil	${}^{143}\text{NdO}$	Oxid izotopic de neodim - 143	
${}^{144}_{60}\text{Nd}$	Izotop stabil	${}^{144}\text{NdO}$	Oxid izotopic de neodim - 144	
${}^{149}_{62}\text{Sm}$	Izotop stabil	${}^{149}\text{SmO}$	Oxid izotopic de samariu - 149	
${}^{151}_{62}\text{Sm}$	Izotop radioactiv. Timp de înjumătățire $t_{1/2} = 80$ ani	${}^{151}\text{SmO}$	Oxid izotopic de samariu - 151	
${}^{153}_{63}\text{Eu}$	Izotop stabil	${}^{153}\text{EuO}$	Oxid izotopic de europiu - 153	
${}^{155}_{63}\text{Eu}$	Izotop stabil	${}^{155}\text{EuO}$	Oxid izotopic de europiu - 155	

# RO 129854 B1

1 Masa maximă de combustibil nuclear CANDU iradiat [ $m_{\text{cni}}$ (kg)] ce se încarcă în tubul  
cilindric colector **2** se determină conform ecuației dimensionale:

$$3 \quad m_{\text{cni}} = (m_{\text{pu}}^* \cdot M) / [M(\text{III}) \cdot m^*] = 1472 \text{ kg}$$

4  $m_{\text{pu}}^*$  - masa de azotați izotopici de plutoniu trivalent Pu(III) ce realizează criticitatea nucleară  
5 în apă distilată ca moderator-solvent la modulele reactor **D, E**;

$$6 \quad m_{\text{pu}}^* = 9,229522 \text{ kg Pu(NO}_3)_3;$$

7 M - masa molară medie a dioxizilor izotopici de plutoniu tetravalent de [Pu(IV)], respectiv,  
PuO<sub>2</sub>, în combustibilul nuclear CANDU iradiat;

9 M = 271,45 kg/kmol · M(III) - masa molară medie a azotaților izotopici de plutoniu trivalent  
[Pu(III)], respectiv, Pu(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>; M(III) - 425,491 kg/kmol · m\* - masa medie a dioxizilor izotopici  
11 de plutoniu tetravalent (PuO<sub>2</sub>) în combustibilul CANDU iradiat;

$$12 \quad m^* = 4 \text{ g PuO}_2/\text{kg} = 0,004 \text{ kg PuO}_2/\text{kg combustibil CANDU iradiat.}$$

13 Recircularea soluției reactant ascendent și descendent prin combustibilul nuclear  
CANDU iradiat și tăiat în bucăți/granule cilindrice la temperatura de proces determină  
15 activarea reacțiilor chimice ale dioxizilor izotopici de U(IV) [235-UO<sub>2</sub>, 236-UO<sub>2</sub>, 238-UO<sub>2</sub>],  
dioxizilor izotopici de Pu(IV)[238-PuO<sub>2</sub>, 239-PuO<sub>2</sub>, 240-PuO<sub>2</sub>, 241-PuO<sub>2</sub>, 242-PuO<sub>2</sub>] și oxizilor  
17 izotopici ai produșilor de fisiune cu acid azotic timp de 3,7...3,8 h, în prezență de oxigen  
molecular gazos/aer atmosferic comprimat și introdus sub presiune prin deschiderea  
19 automată a robinetului/vanei conductei **1e** a modulului reactor **A**. Ecuațiile reacțiilor chimice  
principale sunt specificate în tabelul 3.

Tabelul 3

Ecuația reacției chimice	Denumirea produșilor izotopici principali de reacție
2UO <sub>2</sub> + 4HNO <sub>3</sub> + O <sub>2</sub> → 2UO <sub>2</sub> (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> + 2H <sub>2</sub> O	UO <sub>2</sub> (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> - azotați izotopici de uraniu [U(VI)]
PuO <sub>2</sub> + 4HNO <sub>3</sub> → Pu(NO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> + 2H <sub>2</sub> O	Pu(NO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> - azotați izotopici de plutoniu (IV)
Cs <sub>2</sub> O + 2HNO <sub>3</sub> → 2CsNO <sub>3</sub> + H <sub>2</sub> O	CsNO <sub>3</sub> - azotați izotopici de cesiu
SrO + 2HNO <sub>3</sub> → Sr(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O	Sr(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> - azotați izotopici de stronțiu
ZrO <sub>2</sub> + 4HNO <sub>3</sub> → Zr(NO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> + 2H <sub>2</sub> O	Zr(NO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> - azotat izotopic de zirconiu
MoO <sub>2</sub> + 4HNO <sub>3</sub> + O <sub>2</sub> → MoO <sub>2</sub> (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> + 2H <sub>2</sub> O	MoO <sub>2</sub> (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> - azotat izotopic de molibden (VI)
Tc <sub>2</sub> O <sub>7</sub> + 6HNO <sub>3</sub> → 2TcO <sub>2</sub> (NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> + 3H <sub>2</sub> O	TcO <sub>2</sub> (NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> - azotat izotopic de tecnetiu
PdO + 2HNO <sub>3</sub> → Pd(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O	Pd(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> - azotat izotopic de paladiu
CdO + 2HNO <sub>3</sub> → Cd(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O	Cd(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> - azotat izotopic de cadmiu
Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 6HNO <sub>3</sub> → 2Ga(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> + 3H <sub>2</sub> O	Ga(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> - azotați izotopici de galiu
GeO <sub>2</sub> + 4HNO <sub>3</sub> → Ge(NO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> + 2H <sub>2</sub> O	Ge(NO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> - azotat izotopic de germaniu
CeO <sub>2</sub> + 4HNO <sub>3</sub> → Ce(NO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> + 2H <sub>2</sub> O	Ce(NO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> - azotat izotopic de ceriu
NdO + 2HNO <sub>3</sub> → Nd(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O	Nd(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> - azotați izotopici de neodim
SmO + 2HNO <sub>3</sub> → Sm(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O	Sm(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> - azotați izotopici de samariu
EuO + 2HNO <sub>3</sub> → Eu(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O	Eu(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> - azotați izotopici de europiu
BaO + 2HNO <sub>3</sub> → Ba(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O	Ba(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> - azotat izotopic de bariu

# RO 129854 B1

Masa de reacție în modulul reactor **A** este formată din faza lichidă de soluție apoasă 6M HNO<sub>3</sub> reactant și faza solidă de granule cilindrice de combustibil nuclear iradiat, în care reacții principale sunt dioxizii izotopici ai uraniului tetravalent (UO<sub>2</sub>), iar procesul radiochimic heterogen solid-lichid este un proces de dizolvare a fazei solide de reactanți (UO<sub>2</sub>, PuO<sub>2</sub>, oxizi izotopici ai produșilor de fisiune), concomitent cu reacția chimică rapidă, deoarece oxizii izotopici ai uraniului, plutoniului și produșilor de fisiune sunt oxizi bazici în reacție cu un oxiacid puternic, respectiv, acidul azotic din faza lichidă. Etapa determinantă de viteză este procesul de dizolvare ce are loc cu o viteză constantă. Gradul de transformare (conversia C) pentru reactantul de referință (dioxizii izotopici ai uraniului tetravalent: <sup>235</sup>UO<sub>2</sub>, <sup>236</sup>UO<sub>2</sub>, <sup>238</sup>UO<sub>2</sub>) este determinat conform ecuației dimensionale:

$$C = (n^{\circ} - n)/n^{\circ} \rightarrow n = n^{\circ} \cdot (1 - C); \quad 11$$

$n^{\circ}$  - număr moli UO<sub>2</sub> inițial în faza solidă, la începutul procesului;

$n$  - număr moli UO<sub>2</sub> în faza solidă la un anumit moment de timp. 13

Ecuația diferențială de bilanț molar pentru reactantul de referință raportat la suprafața circulară plană dublă a granulei cilindrice de combustibil nuclear iradiat: 15

$$[dn/(S \cdot dt)] + V_p = 0 \rightarrow -[n^{\circ} \cdot dC/(S \cdot dt)] + V_p = 0$$

$S$  - suprafața de reacție a granulei (m<sup>2</sup>), determinată conform expresiei:  $S = 2 \cdot \pi \cdot r^2$ ; 17

$r$  - raza granulei cilindrice (m);

$d/dt$  - operator derivată în raport cu variabila timp  $t$ (s<sup>-1</sup>); 19

$V_p$  - viteza procesului (moli/m<sup>2</sup> · s);

$V_p = n^{\circ} \cdot [dC/(S \cdot dt)] = 0,01131$  moli UO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> · s. 21

Viteza procesului heterogen, raportată la volumul granulelor cilindrice de combustibil nuclear iradiat: 23

$$V_p = 0,0833 \text{ moli UO}_2/\text{m}^3 \cdot \text{s} = 81 \text{ kg UO}_2/\text{m}^3 \cdot \text{ora.}$$

Numărul de moli reactant UO<sub>2</sub> existenți la un moment dat în granula cilindrică se exprimă în funcție de înălțimea granulei, conform ecuației dimensionale: 25

$$n = (m/M) = [(mg \cdot x)/M] = [(\rho \cdot x \cdot V_g)/M] = (\pi \cdot r^2 \cdot h) \cdot [(\rho \cdot x)/M] \quad 27$$

în care:  $m$  - masa de dioxizi izotopici de U(IV) (kg);

$M$  - masa molară medie a dioxizilor izotopici de U(IV).  $M = 270$  kg/kmol; 29

$m_g$  - masa granulei cilindrice de combustibil nuclear iradiat, fără tubul cilindric de zircaloy care nu reacționează cu acid azotic (kg); 31

$x$  - fracția de masă a dioxizilor izotopici de U(IV) în granulele cilindrice de combustibil nuclear iradiat (adimensională); 33

$\rho$  - densitatea granulelor de combustibil nuclear iradiat (kg/m<sup>3</sup>);

$h$  - înălțimea/grosimea granulelor cilindrice de combustibil nuclear iradiat (m) ( $h = 0,02$  m). 35

Ecuația diferențială de bilanț molar pentru reactantul de referință la suprafața plană dublă a granulei cilindrice de combustibil nuclear iradiat este: 37

$$[(\rho \cdot x)/(2 \cdot M)] \cdot (dh/dt) + V_p = 0.$$

Durata medie de staționare a fazei solide  $t$ (s) se determină conform ecuației integrale dimensionale:  $t = [(\rho \cdot x \cdot h)/(4 \cdot M \cdot V_p)] = 13356$  s = 3,71 ore. 39

Volumul  $V_r$ (m<sup>3</sup>) al reactorului **A** se determină conform ecuației dimensionale: 41

$$V_r = (V_u/\phi) = [(V_l + V_s)/\phi] = [(m_s^{\circ}/\rho_s) + (m_l^{\circ}/\rho_l)] \cdot (1/\phi)$$

$V_u$  - volumul util al reactorului **A** (m<sup>3</sup>); 43

$\phi$  - coeficient de umplere (0,7...0,85);

$V_s$  - volumul fazei solide (m<sup>3</sup>); 45

$V_l$  - volumul fazei lichide (m<sup>3</sup>);

$m_s^{\circ}$  - masa inițială de fază solidă la alimentarea reactorului **A** (kg); 47

$m_l^{\circ}$  - masa inițială de fază lichidă tip soluție 6M HNO<sub>3</sub> ca reactant (kg);

# RO 129854 B1

1  $\rho_s$  - densitatea fazei solide ( $\text{kg/m}^3$ );

$\rho_l$  - densitatea fazei lichide ( $\text{kg/m}^3$ ).

3 Ecuația dimensională de bilanț termic a procesului heterogen solid-lichid de dizolvare concomitent cu reacția chimică exotermă este:

5 
$$Q_s^\circ + Q_l^\circ + Q_e + Q_t = Q_s + Q_l + Q_p$$

7  $Q_s^\circ$  - debit caloric intrat cu faza solidă ( $\text{kcal/s}$ ), și se determină conform ecuației dimensionale:  $Q_s^\circ = D_{ms}^\circ \cdot C_{ps}^\circ \cdot T_s^\circ$ , în care:

$D_{ms}^\circ$  - debit de masă a fazei solide inițiale la alimentarea reactorului **A** ( $\text{kg/s}$ );

9  $C_{ps}^\circ$  - căldura specifică masică a fazei solide la presiune constantă ( $\text{kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ );

$T_s^\circ$  - temperatura fazei solide la intrare ( $^\circ\text{C}$ );

11  $Q_l^\circ$  - debit caloric intrat cu faza lichidă ( $\text{kcal/s}$ ), care se determină conform ecuației dimensionale:

13 
$$Q_l^\circ = D_{ml}^\circ \cdot C_{pl}^\circ \cdot T_l^\circ;$$

$D_{ml}^\circ$  - debit de masă fază lichidă de soluție apoasă 6M  $\text{HNO}_3$  ( $\text{kg/s}$ );

15  $C_{pl}^\circ$  - căldura specifică masică a fazei lichide la presiune constantă ( $\text{kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ );

$T_l^\circ$  - temperatura fazei lichide la intrare ( $^\circ\text{C}$ );

17  $Q_e$  - efectul termic al procesului ( $\text{kcal/s}$ ), determinat conform ecuației dimensionale:

$$Q_e = [-\Delta H] \cdot V_p \cdot V_u;$$

19  $[-\Delta H]$  - variația entalpie de reacție exotermă ( $\text{kcal/mol}$ );

$V_p$  - viteza procesului heterogen în raport cu volumul ( $\text{moli/m}^3 \cdot \text{s}$ );

21  $V_u$  - volumul util al reactorului **A**, respectiv, volumul corespunzător fazelor solidă și lichidă ( $\text{m}^3$ );

23  $Q_t$  - debit caloric transferat procesului de la agentul caloportor ( $\text{kcal/s}$ ) determinat conform ecuației dimensionale:  $Q_t = K \cdot A \cdot \Delta T_m$ ;

25  $K$  - coeficient total/global de transfer termic ( $\text{kcal/m}^2 \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}$ );

$A$  - suprafața cilindrică de transfer termic a reactorului **A** ( $\text{m}^2$ );

27  $\Delta T_m$  - diferența medie logaritmică de temperatură între agentul termic caloportor lichid care circulă prin mantaua reactorului **A** și masa de reacție ( $^\circ\text{C}$ );

29  $Q_s$  - debit caloric ieșit cu faza solidă (tuburi cilindrice de zircaloy)( $\text{kcal/s}$ ) determinat conform ecuației dimensionale:

31 
$$Q_s = D_{ms} \cdot C_{ps} \cdot T_s$$

$D_{ms}$  - debit de masă faza solidă la ieșire din proces ( $\text{kg/s}$ );

33  $C_{ps}$  - căldura specifică masică a fazei solide la presiune constantă și la ieșire din proces( $\text{kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ );

35  $T_s$  - temperatura fazei solide la ieșire ( $^\circ\text{C}$ );

$Q_l$  - debit caloric ieșit cu faza lichidă ( $\text{kcal/s}$ ) determinat conform ecuației dimensionale:

37 
$$Q_l = D_{ml} \cdot C_{pl} \cdot T_l;$$

$D_{ml}$  - debit de masă fază lichidă la ieșire din proces ( $\text{kg/s}$ );

39  $C_{pl}$  - căldura specifică masică a fazei lichide la presiune constantă și la ieșirea din proces ( $\text{kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ );

41  $T_l$  - temperatura fazei lichide la ieșirea din proces ( $^\circ\text{C}$ );

$Q_p$  - debit caloric pierdut în mediul extern prin conducție, convecție, radiație ( $\text{kcal/s}$ ).

43 Suprafața cilindrică de transfer termic  $A(\text{m}^2)$  a reactorului **A** se determină conform ecuației dimensionale:

45 
$$A = (1/K) \cdot \{(D_{ma} \cdot C_{pa} \cdot m_r \cdot C_{pr}) / [(m_r \cdot C_{pr}) + (D_{ma} \cdot C_{pa} \cdot t)]\} \cdot \ln[(T_{ai} - T_l^\circ) / (T_{ai} - T_l)]$$

$D_{ma}$  - debit de masă agent caloportor lichid în circulație prin mantaua reactorului **A** ( $\text{kg/s}$ );

47  $C_{pa}$  - căldura specifică a agentului caloportor lichid la presiune constantă ( $\text{kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ );

$C_{pr}$  - căldura specifică a masei de reacție la presiune constantă ( $\text{kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ );



# RO 129854 B1

- $m_r$  - masa bifazică solid-lichid de reacție (kg); 1
- $t$  - durata de staționare a masei de reacție în proces (s);
- $T_{ai}$  - temperatura agentului caloportor lichid la intrare în mantaua cilindrică a reactorului **A** (°C); 3
- $T_1^\circ$  - temperatura fazei lichide la intrare în reactor **A** (°C); 5
- $T_1$  - temperatura fazei lichide la ieșire din proces (°C);
- $\ln$  - funcția logaritm natural; 7
- $K$  - coeficient total de transfer termic ( $\text{kcal/m}^2 \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}$ ).

La expirarea duratei de staționare, se injectează aer comprimat în reactor **A** prin conducta **1e**, se deschid automat vanele conductelor **1d**, vana conductei **42h** fiind închisă, și masa de reacție se transferă sub presiune în modulul reactor **B** extractor de complecși azotați izotopici de U(VI), Pu(IV), respectiv, amestecătoarele **3** și decantoarele **4**, prin conductele **3a, 3b, 3c**, robinetele/vanele conductelor **4a, 4b, 19c** fiind închise. Se oprește motorul **1f** și se extrage magnetic tubul cilindric colector **2**, pentru golirea tuburilor cilindrice de zircaloy și reîncărcarea cu granule cilindrice de combustibil nuclear CANDU iradiat. În amestecătoarele **3** se introduce extractant organic [tributilfosfat (TBP) în concentrație de 40% în solvent kerosen/dodecan, cu densitate mai mică față de masa de reacție, la un consum specific volumic  $CS_v = 7,775 \text{ l/kg}$  combustibil nuclear iradiat și reprocessat. Volumul total de extractant organic [ $V_{eo}(\text{m}^3)$ ] se determină conform ecuației dimensionale:  $V_{eo} = CS_v \cdot m_{cni} = 11445 \text{ l} = 11,445 \text{ m}^3$ , din care volum kerosen/dodecan:  $V_k = 6,867 \text{ m}^3$  corespunzător masei  $m_k = 5494 \text{ kg}$ , și volum extractant:  $V_{tbp} = 4,578 \text{ m}^3$ . Se adaugă acid azotic concentrat, pentru a regla concentrația la 4M  $\text{HNO}_3$  necesară extracției. Masa de reacție finală ca masă specifică  $m_f = 5,4 \text{ kg}$  fază lichidă/kg combustibil nuclear reprocessat și compoziția chimică în produși izotopici raportată la 1 kg combustibil sunt conform tabelului 4.

Tabelul 4

Produși izotopici	Masă	Concentrație (%)	Concentrație (g/l)
$\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$	1,44321 kg	26,729 %	31,8744 g/l
$\text{Pu}(\text{NO}_3)_4$	0,006673 kg	0,1236 %	1,4738 g/l
Azotați prod. fis.	0,010537 kg	0,195 %	2,3272 g/l
$\text{HNO}_3$	1,260924 kg	23,35 %	278,487 g/l
$\text{H}_2\text{O}$	2,678 kg	49,6 %	591,468 g/l

Volumul specific final de fază lichidă rezultată din reactorul **A**:  $V_f = 5,32 \text{ l/kg}$ , de combustibil nuclear reprocessat, și volumul total corespunzător masei de reacție sunt:

$$V_r = V_f \cdot m_{cni} = 7826 \text{ l} = 7,826 \text{ m}^3.$$

Volumul total [ $V_t(\text{m}^3)$ ] corespunzător masei de reacție:

$$V_t = V_r + V_{eo} = 19,271 \text{ m}^3 \text{ pentru } 8 \text{ unități de transfer.}$$

Volumul unui aparat cubic [ $V_a(\text{m}^3)$ ] (decantor, amestecător) se determină conform ecuației dimensionale:

$$V_a = [V_t / (2 \cdot n \cdot C_u)] = [(V_r + V_{eo}) / (2 \cdot n \cdot C_u)];$$

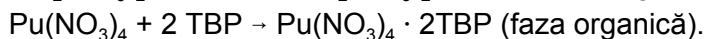
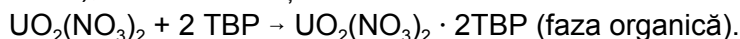
$n$  - număr unități de transfer ( $n = 8$ );

$C_u$  - coeficient de umplere al unui aparat ( $C_u = 0,85$ ).

Reactantul organic de complexare și extracție este tributilfosfat (TBP), cu stabilitate chimică ridicată față de acid azotic la o concentrație molară 4M  $\text{HNO}_3$ , și are formula chimică  $(\text{H}_9\text{C}_4\text{-O})_3\text{P} = \text{O}$  și masa molară  $M = 266 \text{ kg/kmol}$ . Acest reactant extractant se dizolvă în concentrație 40% în solvent organic inert (alcani normali cu catena liniară C12: kerosen

# RO 129854 B1

1 (dodecan)), dizolvarea fiind obligatorie, deoarece TBP are o densitate apropiată de apă, și  
folosirea directă ca extractant nu este posibilă deoarece cele două faze se separă foarte  
3 greu, fapt ce justifică utilizarea ca solvent a kerosenului ce are o densitate mult mai mică față  
de apă, și mărește viteza de separare a fazelor prin decantare. Faza organică extractantă  
5 se introduce în amestecătoarele **3** printr-o conductă de alimentare. Se pornesc motoarele  
electrice **6** ale amestecătoarelor **3** și agitatoarele tip turbină **5**, și are loc recirculația în contra-  
7 curent, amestecarea și decantarea fazelor prin conductele **3a**, **3b**, **3c**, între amestecătoarele  
**3** și decantoarele **4**. Procesul chimic de extracție reactivă are loc în contracurent de faze, cu  
9 complexarea și extracția simultană a azotaților izotopici de U(VI), Pu(IV) din faza apoasă,  
respectiv, soluția finală rezultată din reactorul **A** în faza organică (40% TBP în kero-  
11 sen/dodecan), conform ecuațiilor chimice:



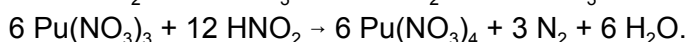
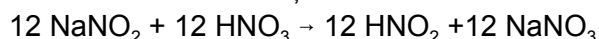
Azotații izotopici de plutoniu trivalent [Pu(III)] sunt și ei extrași în faza organică, con-  
15 form ecuației chimice:  $\text{Pu}(\text{NO}_3)_3 + 3 \text{TBP} \rightarrow \text{Pu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 3\text{TBP}$  (fază organică). Coordinanța este  
6 - pentru uraniu și plutoniu. Coeficientul de distribuție D este un raport al concentrațiilor  
17 azotaților izotopici de U(VI), Pu(IV) între faze:

$$D = [\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{TBP}](\text{faza organică}) / [\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2](\text{fază apoasă})$$

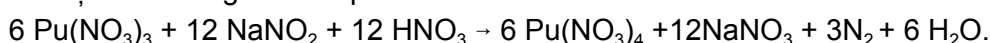
$$D = [\text{Pu}(\text{NO}_3)_4 \cdot 2\text{TBP}](\text{faza organică}) / [\text{Pu}(\text{NO}_3)_4](\text{fază apoasă})$$

$$D = [\text{Pu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 3\text{TBP}](\text{faza organică}) / [\text{Pu}(\text{NO}_3)_3](\text{fază apoasă})$$

21 Valorile maxime ale coeficientului de distribuție D, numit și coeficient de extracție  
influențat de temperatură, sunt aproximativ  $D = 60$  pentru 40% TBP în kerosen, și practic o  
23 extracție totală a complexilor azotați izotopici de uraniu [U(VI)] în fază organică, o extracție  
de 99,8% a complexilor azotați izotopici de plutoniu tetravalent [Pu(IV)], și, pentru mărirea  
25 coeficientului de distribuție (extracție), se oxidează azotații izotopici de Pu(III) la azotați  
izotopici de Pu(IV) în fază apoasă cu acid azotos ( $\text{HNO}_2$ ), prin introducerea de azotit de  
27 sodiu ( $\text{NaNO}_2$ ) în cantități mici, cu dizolvare directă în amestecătoarele **3**, și reacția de  
oxidare are loc conform ecuațiilor chimice:



31 Ecuația chimică globală a procesului redox:



33 Azotații izotopici ai produșilor de fisiune se extrag în faza organică în concentrație  
maximă de 6% din masa lor totală (radioactivitatea  $\beta$ ,  $\gamma$ ). Creșterea apreciabilă a coeficientului  
35 de distribuție D are loc cu respectarea condiției tehnologice: raportul între masă/debit de masă  
de fază organică (40% TBP în kerosen) și masă/debit de masă a fazei apoase (soluția finală  
37 rezultată de la reactor **A**) să fie subunitar. Bilanțul de materiale al reactorului extractor **B** pentru  
unitățile de transfer 1 și n se determină conform ecuației dimensionale:  $(F \cdot X_{n+1}) + (E \cdot Y_o) =$   
39  $(F \cdot X_1) + (E \cdot Y_n)$ . Dacă faza organică (40% TBP în kerosen) intră în unitatea de transfer  
1 de complexare-extracție fără să conțină azotați izotopici de U(VI), Pu(IV) sub formă de  
41 complecși, atunci  $Y_o = 0$ . Ecuația bilanțului de materiale devine:  $(F \cdot X_{n+1}) = (F \cdot X_1) + (E \cdot Y_n)$ .

Raportul molar/raportul de masă  $[Y_n]$  al azotaților izotopici U(VI), Pu(IV) în faza  
43 organică pentru unitatea n de complexare și extracție, se determină conform ecuației  
dimensionale (ecuația de operație):  $Y_n = [(F/E) \cdot (X_{n+1} - X_1)]$ .

45 F - debit molar/debit de masă al fazei de soluție apoasă azotică ce conține azotați izo-  
topici de U(VI), Pu(IV), Pu(III), produși de fisiune (moli/s)/(kg/s), și intră în reactorul extractor  
47 **B**, respectiv, în decantorul **4** al unității **1** de transfer; E - debit molar/debit de masă al fazei  
organice extractante (40% TBP în kerosen) care intră în reactorul extractor **B**, respectiv, în

# RO 129854 B1

amestecătorul **3** al ultimei unități de transfer (moli/s)(kg/s);  $X_1$  - raport molar/raport de masă al azotaților izotopici U(VI), Pu(IV) în fază de soluție apoasă epuizată, care intră în unitatea de transfer **1** după ce a ieșit din unitatea de transfer **2** (mol/mol)(kg/kg);  $X_{n+1}$  - raport molar/raport de masă al azotaților izotopici U(VI), Pu(IV) în faza de soluție apoasă care intră în unitatea n de transfer după ce a ieșit din unitatea n+1 de transfer (mol/mol)(kg/kg);  $Y_n$  - raport molar/raport de masă al complexilor azotați izotopici de U(VI), Pu(IV) în fază organică ce iese din unitatea n de transfer în contracurent, și intră în unitatea n+1 de transfer (mol/mol)(kg/kg).

Ecuția de echilibru a extracției:  $D = (Y/X) \rightarrow Y = (D \cdot X)$ ;

$Y$  - raport molar/raport de masă al complexilor azotați izotopici U(VI), Pu(IV) în faza organică (mol/mol)(kg/kg);  $X$  - raport molar/raport de masă al azotaților izotopici U(VI), Pu(IV) în fază de soluție apoasă azotică (mol/mol)(kg/kg);  $X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8$  - rapoarte molare/rapoarte de masă ale azotaților izotopici de U(VI), Pu(IV) în faza de soluție apoasă ce intră în contracurent în unitățile de transfer 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 (mol/mol)(kg/kg);  $Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5, Y_6, Y_7, Y_8$  - rapoarte molare/rapoarte de masă ale complexilor azotați izotopici de U(VI), Pu(IV) în fază organică, ieșiți din unitățile de transfer 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 în contracurent cu faza de soluție apoasă azotică (mol/mol)(kg/kg). Prin raportare la 1 kg combustibil nuclear reprocessat, raportul de masă [ $X_f$ (kg/kg)] al azotaților izotopici U(VI), Pu(IV) în faza de soluție apoasă azotică inițială de alimentare a unității 1 de transfer a reactorului extractor **B** după ce a ieșit din reactorul **A** se determină conform expresiei:

$X_f = [(masa \text{ UO}_2(\text{NO}_3)_2 + masa \text{ Pu}(\text{NO}_3)_4) / (masa \text{ azotați izotopici produși de fisiune} + masa \text{ HNO}_3 + masa \text{ H}_2\text{O})] = 0,3671 \text{ kg/kg}$ . Consumul specific [ $q$ (kg/kg)] de extractant (40% TBP în kerosen) se determină conform ecuației dimensionale:  $q = (E/F) = 0,9816 \text{ kg extractant/kg fază de soluție apoasă azotică inițială de alimentare a reactorului extractor B}$ . Modelul matematic de proces al unităților de transfer:

Unitatea 1 de transfer ( $n = 1$ ):

$$Y_1 = (D \cdot X_1) = [(F/E) \cdot (X_2 - X_1)] = [(1/q) \cdot (X_2 - X_1)] = [(X_2/q) - (X_1/q)]$$

$$X_1 = X_2 / [1 + (q \cdot D)]$$

Unitatea 2 de transfer ( $n = 2$ ):

$$Y_2 = (D \cdot X_2) = [(F/E) \cdot (X_3 - X_1)] = [(1/q) \cdot (X_3 - X_1)] = [(X_3/q) - (X_1/q)]$$

$$X_2 = X_1 \cdot [1 + (q \cdot D)]$$

Unitatea 3 de transfer ( $n = 3$ ):

$$Y_3 = (D \cdot X_3) = [(F/E) \cdot (X_4 - X_1)] - [(1/q) \cdot (X_4 - X_1)] = [(X_4/q) - (X_1/q)]$$

$$X_3 = X_1 \cdot [1 + (q \cdot D) + (q^2 \cdot D^2)]$$

Unitatea 4 de transfer ( $n = 4$ ):

$$Y_4 = (D \cdot X_4) = [(F/E) \cdot (X_5 - X_1)] = [(1/q) \cdot (X_5 - X_1)] = [(X_5/q) - (X_1/q)]$$

$$X_4 = X_1 \cdot [1 + (q \cdot D) + (q^2 \cdot D^2) + (q^3 \cdot D^3)]$$

Unitatea n de transfer:

$$Y_n = (D \cdot X_n) = [(F/E) \cdot (X_{n+1} - X_1)] = [(1/q) \cdot (X_{n+1} - X_1)] = [(X_{n+1}/q) - (X_1/q)]$$

$$X_n = X_1 \cdot [1 + (q \cdot D) + (q^2 \cdot D^2) + (q^3 \cdot D^3) + \dots + (q^{n-1} \cdot D^{n-1})]$$

Pentru 5 unități de transfer și coeficient de distribuție (extracție)  $D = 60$  al complexilor azotați izotopici U(VI), Pu(IV) în faza organică extractantă (40% TBP în kerosen) și condiția tehnică  $X_{n+1} = X_f = 0,3671 \text{ kg/kg}$ , valorile rapoartelor de masă  $X, Y$  sunt specificate în tabelul 5.

Tabelul 5

$X_5 = 0,0165 \text{ kg/kg}$	$Y_5 = 0,99 \text{ kg/kg}$
$X_4 = 0,006233 \text{ kg/kg}$	$Y_4 = 0,374 \text{ kg/kg}$
$X_3 = 0,000106 \text{ kg/kg}$	$Y_3 = 0,00635 \text{ kg/kg}$
$X_2 = 0,0000018 \text{ kg/kg}$	$Y_2 = 0,000108 \text{ kg/kg}$
$X_1 = 0,00000003 \text{ kg/kg}$	$Y_1 = 0,0000018 \text{ kg/kg}$

# RO 129854 B1

Pentru 8 unități de transfer și coeficienți de distribuție (extracție)  $D = 10$  pentru complecși azotați izotopici U(VI),  $D = 1,7$  pentru complecși azotați izotopici de Pu(IV) în fază organică extractantă (40% TBP în kerosen), și în condiția tehnică  $X_{n+1} = X_r = 0,3671$  kg/kg, valorile rapoartelor de masă X, Y sunt specificate în tabelul 6.

Tabelul 6

$X_8 = 0,099$ kg/kg	$Y_8 = 0,99$ kg/kg
$X_7 = 0,0374$ kg/kg	$Y_7 = 0,374$ kg/kg
$X_6 = 0,0038$ kg/kg	$Y_6 = 0,038$ kg/kg
$X_5 = 0,000386$ kg/kg	$Y_5 = 0,003865$ kg/kg
$X_4 = 0,0000394$ kg/kg	$Y_4 = 0,000394$ kg/kg
$X_3 = 0,000004$ kg/kg	$Y_3 = 0,000394$ kg/kg
$X_2 = 0,0000004$ kg/kg	$Y_2 = 0,000004$ kg/kg
$X_1 = 0,0000000374$ kg/kg	$Y_1 = 0,0000004$ kg/kg

Procesul poate fi considerat omogen deoarece reacția de complexare, respectiv, formarea complecșilor azotați izotopici de U(VI), Pu(IV) are loc într-o singură fază, respectiv, în faza organică în care se extrag produșii izotopici de reacție. Ecuația cinetică diferențială de formare a complecșilor azotați izotopici de U(VI), Pu(IV):

$$-dC^*/dt = k \cdot C^* \cdot C_{\text{tbp}}^2 = 4 \cdot k \cdot C^{*3};$$

$C^*$  - concentrația molară a azotaților izotopici  $[\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2, \text{Pu}(\text{NO}_3)_4]$  (moli/m<sup>3</sup>);

$C_{\text{tbp}}$  - concentrația molară a extractantului tributilfosfat (TBP) în faza organică (moli/m<sup>3</sup>).

Avansul elementar al reacției de complexare:  $(C^*/1) = (C_{\text{tbp}}/2) \rightarrow C_{\text{tbp}} = 2 \cdot C^*$

$k$  - constanta cinetică pentru reacția de complexare de ordinul 3 în raport cu azotații izotopici U(VI), Pu(IV) [m<sup>9</sup>/moli<sup>2</sup> · s];

$d/dt$  - operator derivată în raport cu variabila timp  $t$  (s<sup>-1</sup>).

Timpul reacției de complexare  $t$ (s) se determină conform ecuației integrale dimensionale:  $t = [1/(8 \cdot k \cdot C_i^{*2} \cdot C_f^{*2})] \cdot (C_i^{*2} - C_f^{*2})$ ;

$C_i^*$  - concentrația molară inițială (la începutul procesului) a azotaților izotopici U(VI), Pu(IV) (moli/m<sup>3</sup>);

$C_f^*$  - concentrația molară finală a azotaților izotopici U(VI), Pu(IV) considerată neglijabilă (moli/m<sup>3</sup>).

După durata totală de amestecare, complexare, decantare, extracție (1500 s, 25 min), se scot din funcțiune motoarele electrice **6** ale amestecătoarelor **3**, în scopul separării fazelor vizualizate pe indicatoarele de nivel **4c** ale decantoarelor **4** cu camere speciale de vizualizare, și se deschid automat vanele conductelor **4a**, **4b** și faza lichidă cu densitate mai mare, epuizată total în azotații izotopici de U(VI), Pu(IV) fiind o soluție apoasă azotică a azotaților izotopici produși de fisiune, este evacuată gravitațional în vaporizatorul **37** al modulului distilator **J**. Prin închiderea automată a vanei conductei **4b** și pornirea rotorului tip turbină **7**, faza organică extractantă, ce conține complecșii azotaților izotopici de U(VI), Pu(IV), este pompată din decantorul colector **4** în decantorul **9** al modulului tip scrubber **C**, la deschiderea automată a vanei conductei circulare **7g**, și faza organică se distribuie în cele 6 unități de transfer formate din amestecătoare **8** și decantoare **9**, prin conductele **8a**, **8b**, **8c**, cu egalizarea maselor în aparatele modulului scrubber **C**, cu rol de purificare prin eliminarea totală a azotaților izotopici produși de fisiune, care au o solubilitate foarte mare în apă distilată, ce

# RO 129854 B1

se introduc în amestecătoarele **8** printr-o conductă de alimentare. La închiderea automată a vanei conductei **7g** și scoaterea concomitentă din funcțiune a rotorului tip turbină **7**, se pornesc motoarele electrice **11**, intră în funcțiune agitatoarele tip turbină **10** ale amestecătoarelor **8**, și are loc recircularea, amestecarea, decantarea fazelor în contracurent prin conductele **8a**, **8b**, **8c**, între amestecătoarele **8** și decantoarele **9**. Procesul scrubbing este o spălare a fazei organice de complecși azotați izotopici de U(VI), Pu(IV) cu apa distilată în condiția tehnică a menținerii complecșilor în faza organică. Concomitent cu extracția complecșilor azotați izotopici U(VI), Pu(IV) în modulul reactor extractor **B** se extrag maximum 6% azotați izotopici ai produșilor de fisiune din masa lor totală, sub formă de complecși, și impurifică faza organică cu izotopi nedorțiți (radioactivitatea ( $\beta$ ,  $\gamma$ )). Prin raportare la 1 kg combustibil nuclear reprocessat, masa inițială de azotați izotopici produși de fisiune este  $m = 0,010537$  kg, din care extrași în faza organică sub formă de complecși  $m^* = 0,001729$  kg, și cu un raport de masă inițial în faza organică:  $Y_f = 0,000256$  kg/kg, corespunzător unui coeficient de distribuție în raport cu faza organică  $D^* = 0,003$ , și în raport cu extractantul (apa distilată)  $D = (X/Y) = 333$ . Ecuația de echilibru:  $X = (D \cdot Y)$ ;  $X$  - raport molar/raport de masă al azotaților izotopici produși de fisiune, în extractantul apă distilată (mol/mol)(kg/kg);  $Y$  - raport molar/raport de masă al complecșilor azotați izotopici produși de fisiune, cu TBP în faza organică (mol/mol)(kg/kg). Ecuația de bilanț material a scrubbingului pentru unitățile 1 și n de transfer:  $(F \cdot Y_{n+1}) + (E \cdot X_0) = (F \cdot Y_1) + (E \cdot X_n)$ .

Extractantul apă distilată nu conține azotați izotopici ai produșilor de fisiune ( $X_0=0$ ), și ecuația operației scrubbing devine:

$$(F \cdot Y_{n+1}) = (F \cdot Y_1) + (E \cdot X_n) \rightarrow X_n = [(F/E) \cdot (Y_{n+1} - Y_1)];$$

$F$  - masă/debit de masă fază organică în alimentarea modului scruber **C** (kg)(kg/s);

$E$  - masă/debit de masă extractant apă distilată în alimentarea scruberului **C** și în contracurent cu faza organică ce conține complecșii azotați izotopici ai produșilor de fisiune ca impurificatori (kg)(kg/s).

În condiția tehnologică:  $F = E \rightarrow F/E = 1$ , ecuația operației scrubbing devine:  $X_n = (Y_{n+1} - Y_1) = (D \cdot Y_n)$ ;  $X_n$  - raport de masă al azotaților izotopici produși de fisiune în extractantul apă distilată (kg/kg) care intră în unitatea n de transfer în contracurent cu faza organică;  $Y_{n+1}$  - raport de masă al complecșilor azotați izotopici produși de fisiune în faza organică, ce intră în unitatea n de transfer după ce au ieșit din unitatea n+1 de transfer (kg/kg);  $Y_1$  - raport de masă al complecșilor azotați izotopici produși de fisiune în faza organică, ieșiți din unitatea 1 de transfer de masă (kg/kg);  $Y_n$  - raport de masă al complecșilor azotați izotopici produși de fisiune în faza organică, ieșiți din unitatea n de transfer de masă (kg/kg).

Modelul matematic de proces scrubbing este:

Unitatea 1 de transfer ( $n = 1$ ):

$$X_1 = (D \cdot Y_1) = (Y_2 - Y_1); Y_1 = Y_2 / (1 + D)$$

Unitatea 2 de transfer ( $n = 2$ ):

$$X_2 = (D \cdot Y_2) = (Y_3 - Y_1); Y_2 = Y_1 \cdot (1 + D)$$

Unitatea 3 de transfer ( $n = 3$ ):

$$X_3 = (D \cdot Y_3) = (Y_4 - Y_1); Y_3 = Y_1 \cdot (1 + D + D^2)$$

Unitatea 4 de transfer ( $n = 4$ ):

$$X_4 = (D \cdot Y_4) = (Y_5 - Y_1); Y_4 = Y_1 \cdot (1 + D + D^2 + D^3)$$

Unitatea n de transfer de masă:

$$X_n = (D \cdot Y_n) = (Y_{n+1} - Y_1); Y_n = Y_1 \cdot (1 + D + D^2 + D^3 + \dots + D^{n-1})$$

Pentru 6 unități de transfer de masă și condiția tehnică  $Y_f = Y_n = 0,000256$  kg/kg, valorile rapoartelor de masă  $Y$ ,  $X$  sunt specificate în tabelul 7:

$Y_6 = 0,0000007686 \text{ kg/kg}$	$X_6 = 0,000256 \text{ kg/kg}$
$Y_5 = 0,000000023 \text{ kg/kg}$	$X_5 = 0,000000768 \text{ kg/kg}$
$Y_4 = 0,00000000002 \text{ kg/kg}$	$X_4 = 0,000000023 \text{ kg/kg}$
$Y_3 = 0,0000000000002 \text{ kg/kg}$	$X_3 = 0,00000000002 \text{ kg/kg}$
$Y_2 = 0,000000000000006 \text{ kg/kg}$	$X_2 = 0,0000000000002 \text{ kg/kg}$
$Y_1 = 0,0000000000000002 \text{ kg/kg}$	$X_1 = 0,000000000000006 \text{ kg/kg}$

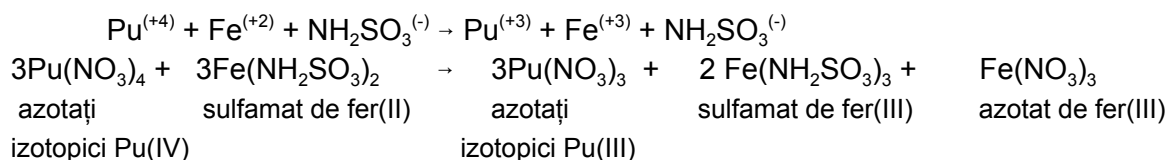
Masa totală de azotați izotopici produși de fisiune:  $m_{pf} = (m \cdot m_{cni}) = 15,51 \text{ kg}$ .

Masa de azotați izotopici produși de fisiune, extrași în fază organică:  $m_e = 0,9306 \text{ kg}$ .

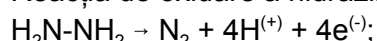
Masa de complecși azotați izotopici, produși de fisiune, formați cu TBP în faza organică:

$$m_{cpf} = (m^* \cdot m_{cni}) = 2,545 \text{ kg}.$$

După durata totală a procesului scrubbing (30 min) se scot din funcțiune motoarele electrice **11** cu agitatoarele tip turbină **10** ale amestecătoarelor **8**, în scopul separării fazelor vizualizate pe indicatoarele de nivel ale decantoarelor **9** cu camere speciale de vizualizare, și se deschid automat vanele conductelor **9a** și faza organică de complecși azotați izotopici U(VI), Pu(IV) este pompată în decantor **14** al modulului reactor reextractor **D**, prin intrarea în funcțiune a rotorului tip turbină **12**, și deschiderea automată a vanei conductei verticale aferentă rotorului **12**. La scoaterea din funcțiune a rotorului tip turbină **12** și deschiderea automată a vanei conductei **9b**, este evacuată gravitațional soluția apoasă a azotaților izotopici produși de fisiune în vaporizatorul **37** al modulului distilator **J**. Faza organică se distribuie în cele 8 unități de transfer prin conductele **13a**, **13b**, **13c** ale amestecătoarelor **13** în decantoarele **14**, la egalizarea de masă lichidă în modulul reactor reextractor **D**, cu scop funcțional de reextracție în contracurent a azotaților izotopici de Pu(IV) din faza organică, în soluție apoasă 0,1 M HNO<sub>3</sub> (6,3 g HNO<sub>3</sub>/l), reacția radiochimică de reducere a azotaților izotopici Pu(IV) la azotați izotopici Pu(III) cu soluție apoasă formată din 0,3 N hidrazină (N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>), 0,03 M sulfamat de fer(II) [Fe(H<sub>2</sub>NSO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>], 0,2...0,5 M acid azotic(HNO<sub>3</sub>), și separarea U(VI)-lui de Pu(III) prin extracția în contracurent a azotaților izotopici de uraniu [U(VI)] cu extractant TBP în kerosen, respectiv, în fază organică. Se pornesc motoarele electrice **16**, intră în funcțiune agitatoarele tip turbină **15** ale amestecătoarelor **13**, și are loc recircularea în contracurent, amestecarea, reextracția, reacția de reducere, extracția complecșilor azotați izotopici U(VI), decantarea fazelor prin conductele **13a**, **13b**, **13c** între amestecătoarele **13** și decantoarele **14**. Procesul redox are loc conform ecuațiilor chimice următoare:



Reacția de oxidare a hidrazinei ca reducător bazic este:



N<sub>2</sub> - azot molecular gazos;

H<sup>(+)</sup> - proton (ion pozitiv de hidrogen);

e<sup>(-)</sup> - electron cedat în procesul de reducere al Pu(IV) la Pu(III).

Azotații izotopici de Pu(III) sunt complet neextractibili în reactantul extractant tributilfosfat (TBP), deoarece coeficientul de distribuție este foarte mic (D = 0,01), și rămân în soluția apoasă ca specii radiochimice. Raportul maxim între soluția apoasă și faza organică este: E/F = 0,1 kg soluție apoasă/kg faza organică, cu: E - masa de soluție apoasă ce

# RO 129854 B1

conține hidrazină, sulfamat de fer(II), acid azotic(kg) ce se introduce în reactorul **D**, respectiv, în amestecătoarele **13**; F - masa de fază organică ce conține complecșii azotați izotopici de U(VI), Pu(IV) (kg);

$$F = m_{\text{aup}} + m_k = 11381 \text{ kg.}$$

Masa totală [ $m_{\text{aup}}$ (kg)] a complecșilor azotați izotopici U(VI), Pu(IV) în faza organică ce intră în modulul reactor reextractor **D**:  $m_{\text{aup}} = 5887 \text{ kg}$ , din care:  $5860 \text{ kg } \text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{TBP}$  și  $27 \text{ kg } \text{Pu}(\text{NO}_3)_4 \cdot 2\text{TBP}$ . Masa solvent kerosen:

$$m_k = 5494 \text{ kg.}$$

Masa totală a amestecului bifazic ce intră în reactorul reextractor **D**:

$$m = E + F = 0,1 \cdot F + F = 1,1 \cdot F = 12519 \text{ kg.}$$

Reacția chimică cu transfer de electroni (reacție ionică) între  $\text{Pu}(\text{NO}_3)_4$  și  $\text{N}_2\text{H}_4$ ,  $\text{Fe}(\text{H}_2\text{NSO}_3)_2$  în mediu acid, are loc rapid și la interfața formată din picături sferice heterogene de fază organică și soluție apoasă, picături generate de agitatoarele tip turbină **15**, din aparatele amestecătoare **13**. Etapa limitativă a procesului chimic heterogen este transferul de masă al complecșilor între cele două faze prin interfață. Viteza procesului chimic heterogen bazat pe transferul de masă interfazic este determinat conform ecuației dimensionale:  $V_p = K_t \cdot C_c$ ;  $V_p$  - viteza procesului heterogen ( $\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ );  $C_c$  - concentrația de complecși azotați izotopici de Pu(IV) în fază organică:  $C_c = 2,109 \dots 2,118 \text{ kg}/\text{m}^3$ ;  $K_t$  - coeficientul transferului de masă al complecșilor azotați izotopici U(VI), Pu(IV) din faza organică în soluția apoasă reactivă (m/s), determinat conform ecuației dimensionale:  $K_t = [(D \cdot \text{Sh})/L]$ , în care:

D - coeficient de difuzie al complecșilor prin interfață ( $\text{m}^2/\text{s}$ );

L - dimensiunea caracteristică a unui aparat cubic al reactorului **D** ( $L = 1,0 \dots 1,25 \text{ m}$ );

Sh - ecuația criterială Sherwood ( $\text{Sh} = 28681$ ) - funcție adimensională de criteriile Schmidt ( $\text{Sc}$ ) și Reynolds ( $\text{Re}$ ).

Debitul de masă [ $D_m$ (kg/s)] de complecși azotați izotopici Pu(IV) transferat și reacționat se determină conform ecuației dimensionale:

$D_m = V_p \cdot S_t = 0,0061 \text{ kg/s}$ ;  $S_t$  - suprafața de transfer de masă interfazică a picăturilor sferice heterogene generate de agitatoarele tip turbină **15** ( $\text{m}^2$ ).

Durata de staționare a masei bifazice [ $t$ (s)] în reextracția reactivă și extracția azotaților izotopici U(VI) în faza organică, pe baza transferului de masă cu reacții chimice (redox, complexare), se determină conform ecuației dimensionale:

$t = (m_c/D_m) = 3934 \text{ s}$ ; cu:  $m_c$  - masa complecși azotați izotopici Pu(IV) în faza organică, [ $m_c = 27 \text{ kg } \text{Pu}(\text{NO}_3)_4 \cdot 2\text{TBP}$ ].

La terminarea procesului heterogen de extracție-reextracție reactivă, masa soluției apoase de reacție ( $m_r = 1008 \text{ kg}$ ) are următoarea compoziție chimică procentuală, conform tabelului 8:

Tabelul 8

Sulfamat de fer(II) nereacționat:	0,156%	39
Sulfamat de fer(III) produs de reacție:	0,538%	41
Azotat de fer(III) produs de reacție:	0,189%	
Azotați izotopici de Pu(III) produși:	0,853%	43
Acid azotic în exces:	3,126%	
Apă solvent:	95,137%	45

Concentrația azotaților izotopici de plutoniu trivalent [Pu(III)] este mai mică față de concentrația critică ( $C_c^* = 3,205\%$ ), corespunzătoare fisiunii nucleare a izotopilor plutoniului cu neutroni termici în mediu multiplicativ apă distilată ca moderator și solvent. După durata de staționare a masei bifazice, se scot din funcțiune motoarele electrice **16** ale amestecătoarelor

# RO 129854 B1

1 **13** în scopul separării fazelor vizualizată pe indicatoarele de nivel aferente decantoarelor **14**  
cu camere speciale de vizualizare, și se deschid automat vanele conductelor **14a**, și faza  
3 organică cu densitate mai mare este pompată în decantorul **19** al modulului reextractor **E**,  
la pornirea în funcțiune a rotorului turbină **17** și deschiderea automată a vanei conductei  
5 verticale aferentă rotorului turbină **17**, iar soluția apoasă azotică de azotați izotopici Pu(III)  
este pompată în decantorul **26** al modulului reactor extractor **G**, prin deschiderea automată  
7 a vanei conductei verticale aferentă rotorului **17** și decantorului **26**. Faza organică se distribuie  
în cele 4 unități de transfer, formate din amestecătoare **18**, decantoare **19**, prin conductele  
9 **18a**, **18b**, **18c**, și egalizare mase în aparatele modulului reextractor **E** în scop funcțional de  
reextracție în contracurent a complexșilor azotați izotopici de uranil [U(VI)], din faza organică  
11 în soluție apoasă 0,1M HNO<sub>3</sub> (6,3 g HNO<sub>3</sub>/l) ce se introduce în reextractorul **E** printr-o conductă  
de alimentare în amestecătoare **18**, rezultând o soluție apoasă concentrată de azotați izotopici  
13 de uranil [U(VI)], lipsită de radioactivitatea β a izotopilor produși de fisiune, și eliminarea  
radioactivității γ prin trecerea soluției apoase azotice de azotați izotopici U(VI) printr-o coloană  
15 de silicagel (SiO<sub>2</sub>), pentru reținerea completă a microcantităților de izotopi radioactivi. La  
închiderea automată a vanei conductei verticale și scoaterea concomitentă din funcțiune a  
17 rotorului turbină **17**, se pornesc motoarele electrice **21**, intră în funcțiune agitatoarele turbină  
**20** ale amestecătoarelor **18**, și are loc recircularea în contracurent, amestecarea și decantarea  
19 fazelor prin conductele **18a**, **18b**, **18c**, între amestecătoarele **18** și decantoarele **19**. Coeficientul  
de distribuție al azotaților izotopici U(VI) în faza soluție apoasă azotică diluată 0,1M HNO<sub>3</sub>  
21 este D = 10.

Ecuția de echilibru a reextracției în contracurent este:  $(X/Y) = D \rightarrow X = (D \cdot Y)$ ; în  
23 care: X - raport de masă al azotaților izotopici U(VI) în faza soluție apoasă azotică 0,1M  
HNO<sub>3</sub>(kg/kg); Y - raport de masă al complexșilor azotați izotopici U(VI) în faza organică (40%  
25 TBP inkerosen) (kg/kg). Raportul de masă inițial al complexșilor azotați izotopici de U(VI) în  
faza organică este:  $Y_f = 0,986$ .

Ecuția bilanțului material al modulului reextractor **E** pentru unitățile 1 și n de transfer  
27 masic:  $(F \cdot Y_{n+1}) + (E \cdot X_0) = (F \cdot Y_1) + (E \cdot X_n)$ . Faza de soluție diluată azotică de reextracție  
(0,1 M HNO<sub>3</sub>) nu conține azotați izotopici U(VI) și  $X_0 = 0$ . Ecuția bilanțului material:  $(F \cdot Y_{n+1})$   
29  $= (F \cdot Y_1) + (E \cdot X_n)$  - masă/debit de masă faza organică în alimentarea reextractor **E**  
(kg)(kg/s); E - masa/debit de masă soluție apoasă diluată de reextracție (0,1 M HNO<sub>3</sub>) și  
31 alimentare reextractor **E** în contracurent cu faza organică (kg)(kg/s);  $Y_{n+1}$  - raport de masă  
al complexșilor azotați izotopici U(VI) în faza organică ce au ieșit din unitatea n+1 de  
33 transfer, și au intrat în unitatea n de transfer (kg/kg);  $X_n$  - raport de masă al complexșilor  
azotați izotopici U(VI) în faza organică, care au ieșit din unitatea 1 de transfer (kg/kg);  
35  $X_n$  - raport de masă al azotaților izotopici U(VI) în faza de soluție apoasă azotică diluată de  
reextracție (0,1 M HNO<sub>3</sub>), care intră în unitatea n de transfer (kg/kg). Consumul specific de  
37 soluție apoasă azotică diluată [q(kg/kg)](0,1 M HNO<sub>3</sub>) în condiția tehnică F = E și (F/E) = 1  
va fi: q = 1 kg soluție apoasă 0,1 M HNO<sub>3</sub> de reextracție/kg din faza organică. Ecuția dimen-  
39 sională a procesului de reextracție:

$$41 \quad X_n = (Y_{n+1} - Y_1) = (D \cdot Y_n).$$

Model matematic al procesului de reextracție:

43 Unitatea 1 de transfer (n=1):

$$X_1(D \cdot Y_1); Y_1 = Y_2/(1+D)$$

45 Unitatea 2 de transfer (n=2):

$$X_2 = (D \cdot Y_2); Y_2 = Y_3 \cdot [(1 + D)/(1 + D + D^2)]$$

47 Unitatea 3 de transfer (n=3):

$$X_3 = (D \cdot Y_3); Y_3 = Y_4 \cdot [1 + D + D^2]/(1 + D + D^2 + D^3)]$$



# RO 129854 B1

Unitatea n de transfer:

$$X_n = (D \cdot Y_n); Y_n = Y_{n+1} \cdot [(1+D+D^2+D^3+\dots+D^{n-1})/(1+D+D^2+D^3+\dots+D^{n-1}+D^n)]$$

Valorile X, Y pentru 4 unități de transfer,  $q = 1$  kg soluție 0,1M HNO<sub>3</sub>/kg faza organică, și în condiția tehnică  $Y_f = 0,986$ , sunt specificate în tabelul 9.

Tabelul 9

$Y_4 = 0,0986$ kg/kg	$X_4 = 0,986$ kg/kg
$Y_3 = 0,00985$ kg/kg	$X_3 = 0,0985$ kg/kg
$Y_2 = 0,00976$ kg/kg	$X_2 = 0,0976$ kg/kg
$Y_1 = 0,000887$ kg/kg	$X_1 = 0,00887$ kg/kg

Compoziția procentuală a fazei organice la intrarea în modulul reextractor **E** este specificată în tabelul 10.

Tabelul 10

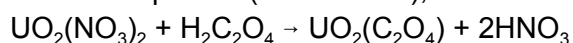
Azotați izotopici U(VI) fără TBP	21,96% UO <sub>2</sub> (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
Tributilfosfat (TBP)	29,65% (H <sub>9</sub> C <sub>4</sub> -O-) <sub>3</sub> P → O
Kerosen/dodecan	48,39% C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>

Compoziția procentuală a soluției apoase de reextracție la ieșire din modul reextractor **E** este specificată în tabelul 11.

Tabelul 11

Azotați izotopici U(VI)	32,2% UO <sub>2</sub> (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
Apa	67,8% H <sub>2</sub> O

După durata totală a reextracției, se scot din funcțiune motoarele electrice **21** și agitatoarele turbină **20** ale amestecătoarelor **18**, în scopul separării fazelor vizualizate pe indicatoarele de nivel aferente decantoarelor **19**, și se deschid automat vanele conductelor **19a**, **19b**, și soluția apoasă cu densitate mai mare rezultată la reextractorul **E** este evacuată gravitațional în modulul reactor **F** cristalizor, în care are loc procesul chimic de transformare a azotaților izotopici de uraniu [U(VI)] în oxalați izotopici U(VI) cristalizați [UO<sub>2</sub>(C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) · 3H<sub>2</sub>O] de înaltă puritate, prin vaporizarea totală în vid (depresiune) a apei și acidului azotic în reactorul **F** în care s-a introdus anterior masa de reactant acid oxalic (H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) solid cristalizat, respectiv, în colectorul cilindric **24**. Se pornește circulația de agent termic prin mantaua cilindrică a modulului reactor cristalizor **F**. Se pornește motorul electric **23**, intră în mișcare de rotație rotorul **22** care pompează ascendent vertical reactanții azotați izotopici U(VI) și de acid oxalic dizolvat în soluția apoasă, cu paletetele tip turbină **22b** - prin tubulatura cilindrică **22c** și prin orificiile dreptunghiulare verticale **22e**, în procesul recirculației masei de reacție la temperatura de proces (80°C...90°C), conform ecuației chimice:



Consumul specific de masă acid oxalic [C<sub>sm</sub>(kg/kg)] în reacția chimică este determinat conform ecuației dimensionale:  $C_{sm} = (m_{ao}/m_{ouc}) = 0,21845$  kg H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/kg UO<sub>2</sub>(C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) · 3H<sub>2</sub>O; m<sub>ao</sub> - masa de acid oxalic reactant pur consumată în reacție (kg), și se determină conform ecuației dimensionale:  $m_{ao} = [m_{au} \cdot (M_{ao}^*/M_{au}^*)]$ ; m<sub>au</sub> - masa de azotați izotopici U(VI) în

# RO 129854 B1

1 soluția apoasă care intră în modul reactor **F** (kg), și se determină conform ecuației dimensio-  
nale:  $m_{au} = (V_{au} \cdot C_{au}) = 2493,35 \text{ kg UO}_2(\text{NO}_3)_2$ ;  $V_{au}$  - volumul soluției apoase de azotați izo-  
3 topici U(VI) care intră în reactorul **F** ( $\text{m}^3$ ) ( $V_{au} = 5,541 \text{ m}^3$ );  $C_{au}$  - concentrația volumetrică de  
azotați izotopici U(VI) în soluția apoasă ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) [ $C_{au} = 450 \text{ kg UO}_2(\text{NO}_3)_2 / \text{m}^3$ ];  $M_{ao}^*$  - masa  
5 molară a acidului oxalic ( $\text{kg}/\text{kmol}$ ) ( $M_{ao}^* = 99 \text{ kg}/\text{kmol}$ );  $M_{au}^*$  - masa molară medie a azotaților  
izotopici U(VI) ( $\text{kg}/\text{kmol}$ ) [ $M_{au}^* = 394 \text{ kg}/\text{kmol}$ ]. Viteza procesului chimic [ $V_p$  ( $\text{moli}/\text{m}^3$ )] în masa  
7 omogenă de reacție și în raport cu reactantul de referință - azotați izotopici U(VI) este speci-  
ficată conform ecuației cinetice diferențiale:  $-[dC^*/dt] = k \cdot C^* \cdot C_{ao} = k \cdot C^{*2} = V_p$ ; în care:  $C^*$  -  
9 concentrația molară de azotați izotopici uranil [U(VI)] ( $\text{moli}/\text{m}^3$ );  $C_{ao}$  - concentrația molară de  
acid oxalic ( $\text{moli}/\text{m}^3$ );  $k$  - constanta cinetică pentru reacția chimică de ordinul 2 [ $\text{m}^3/\text{moli} \cdot \text{s}$ ].

11 Avansul elementar de reacție este:  $(C^*/1) = (C_{ao}/1) \rightarrow C_{ao} = C^*$ . Durata de staționare  
[ $t^*$  (s)] în reacția de precipitare. cu formarea oxalaților izotopici U(VI), se determină conform  
13 ecuației integrale dimensionale:  $t^* = (1/k) \cdot [(1/C_f^*) - (1/C_i^*)]$ ;  $C_i^*$  - concentrația molară inițială  
a azotaților izotopici U(VI) la intrare în modul reactor **F** ( $\text{moli}/\text{m}^3$ );  $C_f^*$  - concentrația molară  
15 finală neglijabilă a azotaților izotopici U(VI) ( $\text{moli}/\text{m}^3$ ).

Masa de oxalați izotopici U(VI) cristalizați [ $m_{ouc}$  (kg)] se determină conform ecuației  
17 dimensionale:  $m_{ouc} = [m_{au} \cdot (M_{ouc}^*/M_{au}^*)] = 2607,2 \text{ kg} \cdot M_{ouc}^*$  - masa molară medie a oxalaților  
izotopici U(VI) cristalizați ( $\text{kg}/\text{kmol}$ ) [ $M_{ouc}^* = 412 \text{ kg}/\text{kmol}$ ].

19 Masa de apă și acid azotic produs de reacție [ $m_{av}$  (kg)] ce se îndepărtează prin vapo-  
rizare în vid se determină conform ecuației de bilanț:  $m_{av} = (m - m_{ouc}) = 5150,2 \text{ kg}$  ( $\text{H}_2\text{O} +$   
21  $+ \text{HNO}_3$ ) m, (kg) - masa soluției apoase de azotați izotopici de U(VI) care intră în reactorul  
cristalizor **F**, ( $m = 7757,4 \text{ kg}$ ) și se determină conform expresiei:  $m = (\rho \cdot V_{au})$ ;  $\rho$  - densitatea  
23 aproximativă a soluției apoase ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) de azotați izotopici U(VI) ( $\rho = 1214 \text{ kg}/\text{m}^3$ ).

25 Debitul de masă [ $D_m$  (kg/s)] al oxalaților izotopici U(VI) cristalizați se determină  
conform ecuației dimensionale:  $D_m = (V_p \cdot V_{au} \cdot M_{ouc}^*) = (k \cdot C^{*2} \cdot V_{au} \cdot M_{ouc}^*)$ .

Conform invenției, se pornește electropompa **43** a condensatorului **42** din modulul  
27 distilator **J**, și soluția apoasă de acid azotic reactant din bazin condensator **42f** se pompează  
prin conducta verticală **44** în camera de amestec cu ajutorul **42a**, în ejector cilindro-conic **42e**,  
29 în bazin **42f** și cu recirculare, efectuându-se în vid (depresiune  $\Delta P = 0,1 \text{ atm} = 76 \text{ mm col. Hg}$ .  
 $= 10135 \text{ Pascali}$ ) în reactorul cristalizor **F** prin conducta verticală de vapori **42c**, având loc  
31 vaporizarea apei și acidului azotic la temperatura de vaporizare corespunzătoare depresiunii  
 $\Delta P$  (Pascali), în scopul cristalizării oxalaților izotopici U(VI) [ $\text{UO}_2(\text{C}_2\text{O}_4) \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ]. Vaporii de apă  
33 și acid azotic sunt condensați în soluția apoasă din bazinul **42f** prin răcire, ca urmare a circu-  
lației agentului de răcire prin mantaua bazinului.

35 Debitul caloric [ $Q_v$  (kcal/s)] de vaporizare apă, acid azotic, se determină conform  
ecuației dimensionale:

$$Q_v = (H_v \cdot D_a) = K_t \cdot S_{tr} \cdot (T_a - T_v);$$

37  $H_v$  - entalpia vaporilor de apă, acid azotic la temperatura de vaporizare ( $\text{kcal}/\text{kg}$ );  $D_a$  - debit  
39 de masă apă, acid azotic sub formă de vapori ( $\text{kg}/\text{s}$ );  $K_t$  - coeficient total de transfer termic  
( $\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}$ );  $S_{tr}$  - suprafața cilindrică de transfer termic a reactorului cristalizor **F** ( $\text{m}^2$ );  
41  $T_a$  - temperatura medie a agentului termic în circulație forțată prin mantaua reactorului **F** ( $^\circ\text{C}$ );  
 $T_v$  - temperatura de vaporizare dependentă de depresiunea  $dP$  ( $^\circ\text{C}$ ).

43 Viteza de vaporizare [ $V_v$  ( $\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ )] a apei și acidului azotic se determină conform  
ecuației dimensionale:

$$V_v = (D_a/S_{tr}) = [Q_v/(H_v \cdot S_{tr})] = [K_t \cdot (T_a - T_v)/H_v].$$

45 Debitul de masă de vapori [ $D_a$  (kg/s)] apă, acid azotic se determină conform ecuației  
47 dimensionale:

$$D_a = (V_v \cdot S_{tr}) = [K_t \cdot S_{tr} \cdot (T_a - T_v)/H_v].$$

# RO 129854 B1

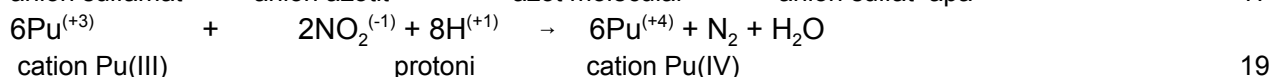
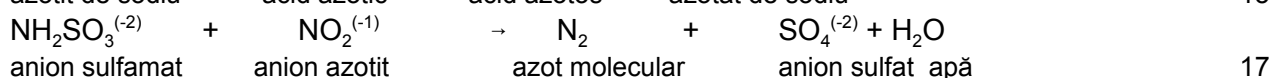
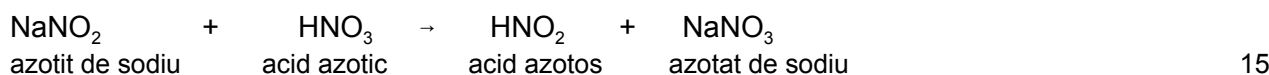
Durata de vaporizare [t(s)] a apei și acidului azotic se determină conform ecuației dimensionale: 1

$$t = (m_{av}/D_a) = [m_{av}(V_v \cdot S_{tr})] = \{(m_{av} \cdot H_v) / [K_t \cdot (T_a - T_v)]\} = 4100 \text{ s.} \quad 3$$

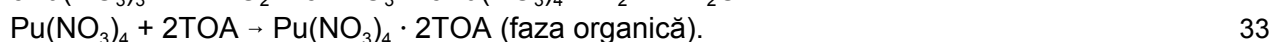
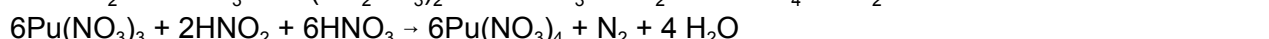
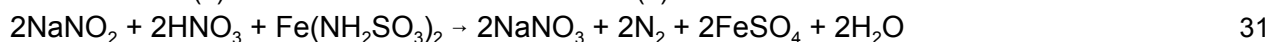
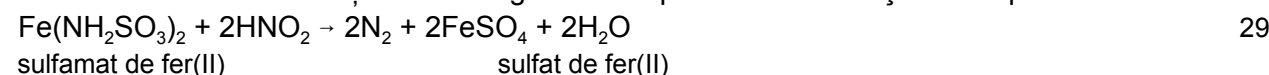
Masa de oxalați izotopici U(VI) cristalizați staționează în colectorul **24**, care este evacuat din reactorul **F** în mod periodic, prin procedee magnetice. Oxalații izotopici de U(VI) se descompun termic la temperatura de 400°C, obținându-se dioxizi izotopici de uraniu tetravalent (UO<sub>2</sub>) de puritate nucleară, conform ecuației chimice: 5



În modulul reactor extractor **G** are loc reacția chimică de oxidare a azotaților izotopici Pu(III) la azotați izotopici Pu(IV) cu reactant oxidant tip azotit de sodiu (NaNO<sub>2</sub>) în soluție apoasă, care se introduce în niște amestecătoare **25** printr-o conductă de alimentare, procesul ionic având loc rapid conform ecuațiilor chimice: 9



Se pornesc motoarele electrice **28**, intră în funcțiune agitatoarele turbină **27** ale amestecătoarelor **25**, și are loc recircularea în contracurent, amestecarea, procesul ionic redox, complexarea, extracția, decantarea fazelor, prin conductele **25a**, **25b**, **25c** între amestecătoare **25** și decantoare **26**. În urma procesului ionic redox, sulfamatul de fer(II) este distrus și, prin creșterea concentrației de acid azotic (3M...4M HNO<sub>3</sub>), azotații izotopici de Pu(IV) sunt complexați și extrași în contracurent cu faza organică extractantă trioctilamina (TOA), cu formula chimică (H<sub>17</sub>C<sub>8</sub>)<sub>3</sub>N, ce se introduce în amestecătoarele **25** printr-o conductă de alimentare. Ecuațiile chimice globale ale procesului redox și de complexare sunt: 21



Coordinanța este 6 la plutoniu tetravalent [Pu(IV)]. Modulul reactor **G** are 8 unități de transfer de masă în contracurent cu faza organică în soluție apoasă, formate din amestecătoarele **25** și decantoarele **26**, și fiecare unitate de transfer este formată din amestecătorul **25** și decantorul **26**. Solventul utilizat pentru trioctilamină (TOA) este kerosen/dodecan în concentrație 20% în faza organică. Masa de soluție apoasă azotați izotopici Pu(III): F= 1000 kg, și are compoziția chimică procentuală conform tabelului 12. 31

Tabelul 12 41

Componenți/compuși	Masă	Concentrație (%)
Azotați izotopici Pu(III)	11,391273 kg	1,14
Acid azotic	252 kg	25,2
Apă	736,608 kg	73,77

Masa de soluție apoasă, la finalizarea procesului ionic redox (F = 1011,5 kg), are compoziția chimică procentuală conform tabelului 13. 43

Tabelul 13

Componenți	Masă	Concentrație (%)
Azotați izotopici Pu(IV)	13,051145 kg	1,29
Azotat de sodiu	1,0793 kg	0,107
Sulfat de fer(II)	1,93 kg	0,19
Azotat de fer(III)	1,9078 kg	0,108
Sulfamat de fer(III)	5,424 kg	0,536
Acid azotic	249,71 kg	24,687
Apă	739,177 kg	73,077

Raportul de masă inițial [ $X_i$ (kg/kg)] al azotaților izotopici Pu(IV) în soluția apoasă rezultată din procesul redox este:  $X_i = 0,0154$  kg Pu(NO<sub>3</sub>)<sub>4</sub>/kg soluție apoasă azotică. Raportul de masă [ $q$ (kg/kg)] între faza organică TOA și soluția apoasă este:

$$q = (E/F) = 0,1 \text{ kg TOA/kg soluție apoasă azotică.}$$

Masa de complecși organici [ $m_{co}$ (kg)] ai azotaților izotopici Pu(IV) cu TOA se determină conform ecuației dimensionale:

$$m_{co} = [m_{ap} \cdot (M_{co}^*/M_{ap}^*)] = 31,952 \text{ kg Pu(NO}_3)_4 \cdot 2\text{TOA;}$$

$m_{ap}$  - masă azotați izotopici Pu(IV)[ $m_{ap} = 13,051145$  kg Pu(NO<sub>3</sub>)<sub>4</sub>];

$M_{co}^*$  - masa molară medie a complecșilor organici ai azotaților izotopici Pu(IV) cu TOA [ $M_{co}^* = 1193,5$  kg/kmol];

$M_{ap}^*$  - masa molară medie a azotaților izotopici de Pu(IV)[ $M_{ap}^* = 487,5$  kg/kmol].

Pentru 8 unități de transfer ale modulului reactor extractor **G** și consum specific de masă:  $CS_m = 3,54$  kg TOA extractant/kg complecși azotați izotopici Pu(IV) cu TOA la un coeficient de distribuție (extracție)  $D = 25$ , valorile rapoartelor de masă  $Y$ ,  $X$  sunt specificate în tabelul 14.

Tabelul 14

$Y_8 = 0,2733$ kg/kg	$X_8 = 0,0109$ kg/kg
$Y_7 = 0,111714$ kg/kg	$X_7 = 0,004468$ kg/kg
$Y_6 = 0,044576$ kg/kg	$X_6 = 0,001783$ kg/kg
$Y_5 = 0,01772$ kg/kg	$X_5 = 0,00071$ kg/kg
$Y_4 = 0,007$ kg/kg	$X_4 = 0,000279$ kg/kg
$Y_3 = 0,00268$ kg/kg	$X_3 = 0,000107$ kg/kg
$Y_2 = 0,0009625$ kg/kg	$X_2 = 0,0000385$ kg/kg
$Y_1 = 0,000268$ kg/kg	$X_1 = 0,000011$ kg/kg

Viteza procesului chimic heterogen [ $V_p$ (kg/m<sup>2</sup> · s)] de complexare bazat pe transferul de masă interfațic se determină conform ecuației dimensionale:

$$V_p = (K_t \cdot C_c) = 1,045 \cdot 1^{-3} \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s;}$$

$K_t$  - coeficientul transferului de masă interfațic al azotaților izotopici de Pu(IV) din soluția apoasă în faza organică (m/s);

$C_c$  - concentrația de complecși azotați izotopici Pu(IV) cu TOA (kg/m<sup>3</sup>).

# RO 129854 B1

Debitul de masă complecși azotați izotopici de Pu(IV)[ $D_{mc}$ (kg/s)] se determină conform ecuației dimensionale:

$$D_{mc} = (V_p \cdot S_i) = 0,01 \text{ kg/s;}$$

$S_i$  - suprafața de transfer de masă interfazic a particulelor sferice heterogene generate de agitatoarele tip turbină **27** ( $m^2$ ).

Durata de staționare a masei de reacție [ $t$ (s)] în extracția reactivă se determină conform ecuației dimensionale:

$$t = (m_{co}/D_{mc}) = 2820 \text{ s.}$$

După durata de staționare a masei de reacție, se scot din funcțiune motoarele electrice **28** și agitatoarele tip turbină **27** ale amestecătoarelor **25**, în scopul separării fazelor, vizualizată pe indicatoarele de nivel aferente decantoarelor **26**, și se deschid automat vanele conductelor **26a**, apoi intră în funcțiune rotorul tip turbină **29**, și masa de fază organică a complecșilor izotopici de Pu(IV) cu TOA în dodecan solvent este pompată în decantorul **31** al modulului reextractor **H**, și se distribuie în 4 unități de transfer, formate din amestecătoarele **30** și decantoarele **31**, prin conductele **30a**, **30b**, **30c**, fiind realizată egalizarea maselor în aparatele modulului reextractor **H**, cu scop funcțional de reextracție în contracurent a complecșilor azotați izotopici de Pu(IV) cu TOA din faza organică în soluție apoasă 2M  $HNO_3$ . La închiderea automată a vanei conductei verticale, concomitent cu scoaterea din funcțiune a rotorului tip turbină **29**, se deschid automat vanele conductelor **26a**, **9b**, și soluția apoasă epuizată total în complecșii organici ai azotaților izotopici de Pu(IV) este evacuată gravitațional în vaporizatorul **37** al modulului distilator **J**. La închiderea automată a vanelor conductelor **26a**, **9b**, intră în funcțiune motoarele electrice **33** și agitatoarele tip turbină **32**, și are loc recircularea fazelor în contracurent, amestecarea, reextracția și decantarea fazelor, prin intermediul conductelor **30a**, **30b**, **30c**, între amestecătoarele **30** și decantoarele **31**. Masa de fază organică ( $F = 210,312 \text{ kg}$ ) ce intră în reextractorul **H** are următoarea compoziție și compoziție procentuală, conform tabelului 15.

Tabelul 15

Componenți	Masă	Concentrație (%)
Azotați izotopici Pu(IV)	13,051 kg	6,20
Trioctilamină (TOA)	156,0 kg	74,17
Dodecan solvent	41,26 kg	19,62
Complecși azotați Pu(IV) cu TOA	31,95 kg	15,19
Trioctilamină (TOA) necomplexată	137,10 kg	65,19
Dodecan solvent	41,26 kg	19,62

Modelul matematic Ion Cristescu al reactorului chimic nuclear omogen termic cu geometrie cubică oferă date chimice și nucleare ale azotaților izotopici Pu(III), Pu(IV), dodecan, trioctilamină, conform tabelului 16.

Tabelul 16

Azotat izotopic Pu(III):  $^{238}Pu(NO_3)_3$ . Masa molară:  $M^* = 424 \text{ kg/kmol}$

Izotop/element	Fracția de masă (F)	Secțiune microscopică de absorbție cu neutroni termici	Secțiune microscopică de fisiune cu neutroni termici
238-Pu	$F_{pu} = (A^*/M^*) = 0,56132$	$\sigma_1 = 468 \text{ barn}$	$\sigma_1^* = 18 \text{ barn}$
Azot(N)	$F_n = [(3 \cdot A_n)/M^*] = 0,099$	$\sigma_2 = 1,88 \text{ barn}$	-
Oxigen(O)	$F_o = [(9 \cdot A_o)/M^*] = 0,3396226$	$\sigma_3 = 0,00019 \text{ barn}$	-

# RO 129854 B1

1 Secțiunea macroscopică raportată la masă, pentru absorbția neutronilor termici, este:

$$\Sigma_{a238} = N \cdot \{[(F_{pu} \cdot \sigma_1)/A^*] + [(F_n \cdot \sigma_2)/A_n] + [(F_o \cdot \sigma_3)/A_o]\} = 0,06728 \text{ m}^2/\text{kg}.$$

3 Secțiunea macroscopică de fisiune cu neutroni termici, raportată la masă, este:

$$\Sigma_{f238} = N \cdot [(F_{pu} \cdot \sigma_1^*)/A^*] = 0,0025569 \text{ m}^2/\text{kg} \cdot A^*, A_n, A_o \text{ mase atomice molare pentru izotopi Pu, N, O (kg/kmol); } N - \text{numărul lui Avogadro: } N = 6,022 \cdot 10^{26} \text{ molecule/kmol; } 1 \text{ barn secțiune microscopică} = 10^{-28} \text{ m}^2.$$

7 Neutronii termici au energia  $\epsilon = 0,0253 \text{ eV} \dots 0,03 \text{ eV}$  în echilibru cu temperatura mediului.

9

Tabelul 17

11

*Azotat izotopic de Pu(III):  $^{239}\text{Pu}(\text{NO}_3)_3$ ; Masă molară:  $M^* = 425 \text{ kg/kmol}$*

Izotop/element	Fracția de masă (F)	Secțiune microscopică de absorbție cu neutroni termici	Secțiune microscopică de fisiune cu neutroni termici
239-Pu	$F_{pu} = (A^*/M^*) = 0,5623529$	$\sigma_1 = 941,66 \text{ barn}$	$\sigma_1^* = 654,1 \text{ barn}$
N	$F_n = [(3 \cdot A_n)/M^*] = 0,0988$	$\sigma_2 = 1,88 \text{ barn}$	-
O	$F_o = [(9 \cdot A_o)/M^*] = 0,3388$	$\sigma_3 = 0,00019 \text{ barn}$	-

19

Secțiunea macroscopică raportată la masă, pentru absorbția neutronilor termici, este:

$$\Sigma_{a239} = N \cdot \{[(F_{pu} \cdot \sigma_1)/A^*] + [(F_n \cdot \sigma_2)/A_n] + [(F_o \cdot \sigma_3)/A_o]\} = 0,134249 \text{ m}^2/\text{kg}.$$

21

Secțiunea macroscopică de fisiune cu neutroni termici, raportată la masă, este:

$$\Sigma_{f239} = N \cdot [(F_{pu} \cdot \sigma_1^*)/A^*] = 0,092697 \text{ m}^2/\text{kg}.$$

23

Tabelul 18

25

*Azotat izotopic Pu(III):  $^{240}\text{Pu}(\text{NO}_3)_3$ . Masa molară:  $M^* = 426 \text{ kg/kmol}$*

Izotop/element	Fracția de masă (F)	Secțiune microscopică de absorbție cu neutroni termici	Secțiune microscopică de fisiune cu neutroni termici
240-Pu	$F_{pu} = (A^*/M^*) = 0,56338$	$\sigma_1 = 248 \text{ barn}$	$\sigma_1^* = 4 \text{ barn}$
N	$F_n = [(3 \cdot A_n)/M^*] = 0,0985915$	$\sigma_2 = 1,88 \text{ barn}$	-
O	$F_o = [(9 \cdot A_o)/M^*] = 0,338$	$\sigma_3 = 0,00019 \text{ barn}$	-

33

Secțiune microscopică raportată la masă, pentru absorbția neutronilor termici, este:

$$\Sigma_{a240} = N \cdot \{[(F_{pu} \cdot \sigma_1)/A^*] + [(F_n \cdot \sigma_2)/A_n] + [(F_o \cdot \sigma_3)/A_o]\} = 0,035861 \text{ m}^2/\text{kg}.$$

35

Secțiunea macroscopică de fisiune cu neutroni termici, raportată la masă, este:

$$\Sigma_{f240} = N \cdot [(F_{pu} \cdot \sigma_1^*)/A^*] = 0,000565 \text{ m}^2/\text{kg}.$$

37

Tabelul 19

39

*Azotat izotopic de Pu(III):  $^{241}\text{Pu}(\text{NO}_3)_3$ ; Masa molară:  $M^* = 427 \text{ kg/kmol}$*

Izotop/element	Fracția de masă (F)	Secțiune microscopică de absorbție cu neutroni termici	Secțiune microscopică de fisiune cu neutroni termici
241-Pu	$F_{pu} = (A^*/M^*) = 0,5644$	$\sigma_1 = 1336 \text{ barn}$	$\sigma_1^* = 971 \text{ barn}$
N	$F_n = [(3 \cdot A_n)/M^*] = 0,09836$	$\sigma_2 = 1,88 \text{ barn}$	-
O	$F_o = [(9 \cdot A_o)/M^*] = 0,337236$	$\sigma_3 = 0,00019 \text{ barn}$	-

45

# RO 129854 B1

Secțiunea macroscopică raportată la masă, pentru absorbția neutronilor termici, este: 1

$$\Sigma_{a241} = N \cdot \{[(F_{pu} \cdot \sigma_1)/A^*] + [(F_n \cdot \sigma_2)/A_n] + [(F_o \cdot \sigma_3)/A_o]\} = 0,189243 \text{ m}^2/\text{kg}.$$

Secțiunea macroscopică de fisiune cu neutroni termici, raportată la masă, este: 3

$$\Sigma_{f241} = N \cdot [(F_{pu} \cdot \sigma_1^*)/A^*] = 0,136962 \text{ m}^2/\text{kg}.$$

Tabelul 20

Azotat izotopic Pu(III):  $^{242}\text{Pu}(\text{NO}_3)_3$ , Masa molară:  $M^* = 428 \text{ kg/kmol}$

Izotop/element	Fracție de masă (F)	Secțiune microscopică de absorbție cu neutroni termici
242-Pu	$F_{pu} = (A^*/M^*) = 0,56542$	$\sigma_1 = 3 \text{ barn}$
N	$F_n = [(3 \cdot A_n)/M^*] = 0,09813$	$\sigma_2 = 1,88 \text{ barn}$
O	$F_o = [(9 \cdot A_o)/M^*] = 0,3364486$	$\sigma_3 = 0,00019 \text{ barn}$

Secțiunea macroscopică raportată la masă, pentru absorbția neutronilor termici, este:

$$\Sigma_{a242} = N \cdot \{[(F_{pu} \cdot \sigma_1)/A^*] + [(F_n \cdot \sigma_2)/A_n] + [(F_o \cdot \sigma_3)/A_o]\} = 0,0012155 \text{ m}^2/\text{kg}.$$

Tabelul 21

Azotat izotonic Pu(IV):  $^{238}\text{Pu}(\text{NO}_3)_4$ , Masa molară:  $M^* = 486 \text{ kg/kmol}$

Izotop/element	Fracție de masă (F)	Secțiunea microscopică de absorbție cu neutroni termici	Secțiunea microscopică de fisiune cu neutroni termici
238-Pu	$F_{pu} = (A^*/M^*) = 0,489712$	$\sigma_1 = 468 \text{ barn}$	$\sigma_1^* = 18 \text{ barn}$
N	$F_n = [(4 \cdot A_n)/M^*] = 0,115226$	$\sigma_2 = 1,88 \text{ barn}$	-
O	$F_o = [(12 \cdot A_o)/M^*] = 0,39506$	$\sigma_3 = 0,00019 \text{ barn}$	-

Secțiunea macroscopică raportată la masă, pentru absorbția neutronilor termici, este:

$$\Sigma_{a238} = N \cdot \{[(F_{pu} \cdot \sigma_1)/A^*] + [(F_n \cdot \sigma_2)/A_n] + [(F_o \cdot \sigma_3)/A_o]\} = 0,05893 \text{ m}^2/\text{kg}.$$

Secțiunea macroscopică raportată la masă, pentru fisiunea cu neutroni termici, este:

$$\Sigma_{f238} = N \cdot [(F_{pu} \cdot \sigma_1^*)/A^*] = 0,0022307 \text{ m}^2/\text{kg}.$$

Tabelul 22

Azotat izotopic Pu(IV):  $^{239}\text{Pu}(\text{NO}_3)_4$ , Masa molară:  $M^* = 487 \text{ kg/kmol}$

Izotop/element	Fracție de masă (F)	Secțiunea microscopică de absorbție cu neutroni termici	Secțiunea microscopică de fisiune cu neutroni termici
239-Pu	$F_{pu} = (A^*/M^*) = 0,49076$	$\sigma_1 = 941,66 \text{ barn}$	$\sigma_1^* = 654,1 \text{ barn}$
N	$F_n = [(4 \cdot A_n)/M^*] = 0,114989$	$\sigma_2 = 1,88 \text{ barn}$	-
O	$F_o = [(12 \cdot A_o)/M^*] = 0,39425$	$\sigma_3 = 0,00019 \text{ barn}$	-

Secțiunea macroscopică raportată la masă, pentru absorbția neutronilor termici, este:

$$\Sigma_{a239} = N \cdot \{[(F_{pu} \cdot \sigma_1)/A^*] + [(F_n \cdot \sigma_2)/A_n] + [(F_o \cdot \sigma_3)/A_o]\} = 0,11739 \text{ m}^2/\text{kg}.$$

Secțiunea macroscopică raportată la masă, pentru fisiunea cu neutroni termici, este:

$$\Sigma_{f239} = N \cdot [(F_{pu} \cdot \sigma_1^*)/A^*] = 0,080896 \text{ m}^2/\text{kg}.$$

# RO 129854 B1

Tabelul 23

Azotat izotopic Pu(IV):  $^{240}\text{Pu}(\text{NO}_3)_4$ , Masa molară:  $M^* = 488 \text{ kg/kmol}$

Izotop/element	Fracția de masă (F)	Secțiunea microscopică de absorbție a neutronilor termici	Secțiunea microscopică de fisiune cu neutroni termici
240-Pu	$F_{\text{pu}} = (A^*/M^*) = 0,4918$	$\sigma_1 = 248 \text{ barn}$	$\sigma_1^* = 4 \text{ barn}$
N	$F_n = [(4 \cdot A_n)/M^*] = 0,114754$	$\sigma_2 = 1,88 \text{ barn}$	-
O	$F_o = [(12 \cdot A_o)/M^*] = 0,393443$	$\sigma_3 = 0,00019 \text{ barn}$	-

Secțiunea macroscopică raportată la masă, pentru absorbția neutronilor termici, este:

$$\Sigma_{a240} = N \cdot \{[(F_{\text{pu}} \cdot \sigma_1)/A^*] + [(F_n \cdot \sigma_2)/A_n] + [(F_o \cdot \sigma_3)/A_o]\} = 0,031537 \text{ m}^2/\text{kg}.$$

Secțiunea macroscopică raportată la masă, pentru fisiunea cu neutroni termici, este:

$$\Sigma_{f240} = N \cdot [(F_{\text{pu}} \cdot \sigma_1^*)/A^*] = 0,00049368 \text{ m}^2/\text{kg}.$$

Tabelul 24

Azotat izotopic Pu(IV):  $^{241}\text{Pu}(\text{NO}_3)_4$ , Masa molară:  $M^* = 489 \text{ kg/kmol}$

Izotop/element	Fracția de masă (F)	Secțiunea microscopică de absorbție a neutronilor termici	Secțiunea microscopică de fisiune cu neutroni termici
241-Pu	$F_{\text{pu}} = (A^*/M^*) = 0,4928425$	$\sigma_1 = 1336 \text{ barn}$	$\sigma_1^* = 071 \text{ barn}$
N	$F_n = [(4 \cdot A_n)/M^*] = 0,11452$	$\sigma_2 = 1,88 \text{ barn}$	-
O	$F_o = [(12 \cdot A_o)/M^*] = 0,392638$	$\sigma_3 = 0,00019 \text{ barn}$	-

Secțiunea macroscopică raportată la masă, pentru absorbția neutronilor termici, este:

$$\Sigma_{a241} = N \cdot \{[(F_{\text{pu}} \cdot \sigma_1)/A^*] + [(F_n \cdot \sigma_2)/A_n] + [(F_o \cdot \sigma_3)/A_o]\} = 0,16548 \text{ m}^2/\text{kg}.$$

Secțiunea macroscopică raportată la masă, pentru fisiunea cu neutroni termici, este:

$$\Sigma_{f241} = N \cdot [(F_{\text{pu}} \cdot \sigma_1^*)/A^*] = 0,1195978 \text{ m}^2/\text{kg}.$$

Tabelul 25

Azotat izotopi Pu(IV):  $^{242}\text{Pu}(\text{NO}_3)_4$ , Masa molară:  $M^* = 490 \text{ kg/kmol}$

Izotop/element	Fracția de masă (F)	Secțiunea microscopică de absorbție a neutronilor termici
242-Pu	$F_{\text{pu}} = (A^*/M^*) = 0,493877$	$\sigma_1 = 3 \text{ barn}$
N	$F_n = [(4 \cdot A_n)/M^*] = 0,114286$	$\sigma_2 = 1,88 \text{ barn}$
O	$F_o = [(12 \cdot A_o)/M^*] = 0,391837$	$\sigma_3 = 0,00019 \text{ barn}$

Secțiunea macroscopică raportată la masă, pentru absorbția neutronilor termici, este:

$$\Sigma_{a242} = N \cdot \{[(F_{\text{pu}} \cdot \sigma_1)/A^*] + [(F_n \cdot \sigma_2)/A_n] + [(F_o \cdot \sigma_3)/A_o]\} = 0,00129336 \text{ m}^2/\text{kg}.$$

Tabelul 26

Triocetilamina (TOA):  $(\text{H}_{17}\text{C}_8)_3\text{N}$ , Masa molară:  $M = 353 \text{ kg/kmol}$

Element	Fracția de masă (F)	Secțiunea microscopică de absorbție a neutronilor termici
N	$F_n = (A_n/M) = 0,03966$	$\sigma_1 = 1,88 \text{ barn}$
C	$F_c = [(24 \cdot A_c)/M] = 0,815864$	$\sigma_2 = 0,0032 \text{ barn}$
H	$F_h = [(51 \cdot A_h)/M] = 0,144476$	$\sigma_3 = 0,332 \text{ barn}$



# RO 129854 B1

Secțiunea macroscopică raportată la masă, pentru absorbția neutronilor termici, este:

$$\Sigma_{\text{atota}} = N \cdot \{[(F_n \cdot \sigma_1)/A_n] + [(F_c \cdot \sigma_2)/A_c] + [(F_h \cdot \sigma_3)/A_h]\} = 0,00322859 \text{ m}^2/\text{kg}.$$

Tabelul 27

Dodecan (kerosen):  $C_{12}H_{26}$ , Masa molară:  $M = 170 \text{ kg/kmol}$

Element	Fracția de masă (F)	Secțiunea microscopică de absorbție a neutronilor termici
C	$F_c = [(12 \cdot A_c)/M] = 0,847059$	$\sigma_1 = 0,0032 \text{ barn}$
H	$F_h = [(26 \cdot A_h)/M] = 0,152941$	$\sigma_2 = 0,332 \text{ barn}$

Secțiunea macroscopică raportată la masă, pentru absorbția neutronilor termici, este:

$$\Sigma_{\text{ak}} = N \cdot \{[(F_c \cdot \sigma_1)/A_c] + [(F_h \cdot \sigma_2)/A_h]\} = 0,00307186 \text{ m}^2/\text{kg};$$

$A_n, A_c, A_h$  - mase molare atomice ale elementelor azot, carbon, hidrogen (kg/kmol).

Productivitățile maxime [P(kg)] ale compușilor izotopici azotați Pu(III), Pu(IV) obținute prin reprocessarea combustibilului nuclear CANDU iradiat și reprocessat, se determină conform ecuației dimensionale:

$$P = [(C_m^* \cdot m_{\text{cni}} \cdot M^*)/A^*];$$

$C_m^*$  - concentrația maximă a unui izotop plutoniu în combustibilul iradiat (kg izotop/kg combustibil nuclear iradiat);

$m_{\text{cni}}$  - masa de combustibil nuclear CANDU iradiat și reprocessat (kg) [ $m_{\text{cni}} = 1472 \text{ kg}$ ];

$M^*$  - masa molară a azotatului izotopic Pu(III), Pu(IV) (kg/kmol);

$A^*$  - masa molară atomică a izotopului plutoniu (kg/kmol).

Valorile concentrațiilor izotopice maxime și productivitățile acestora sunt specificate în tabelul 28.

Tabelul 28

Izotop plutoniu	$C_m^*$ (kg/kg)	$P[\text{Pu}(\text{NO}_3)_3]$	$P[\text{Pu}(\text{NO}_3)_4]$
$A = 238$ $Z = 94$ Pu	0,00000505 kg/kg	0,013243 kg	0,015179 kg
$A = 239$ $Z = 94$ Pu	0,002668 kg/kg	6,983685 kg	8,002482 kg
$A = 240$ $Z = 94$ Pu	0,001319 kg/kg	3,446269 kg	3,947838 kg
$A = 241$ $Z = 94$ Pu	0,0002623 kg/kg	0,684096 kg	0,783425 kg
$A = 242$ $Z = 94$ Pu	0,0001014 kg/kg	0,26398 kg	0,302221 kg
Productivitate totală [Pt(kg)]		11,391273 kg	13,051145 kg

Pe baza productivităților maxime [P(kg)], secțiunea eficace macroscopică totală pentru fisiunea cu neutroni termici [ $\Sigma_{\text{ft}}(\text{m}^2)$ ] a compușilor izotopici azotați Pu(III), Pu(IV) se determină pe baza ecuației dimensionale:

$$\Sigma_{\text{ft}} = [(P_{238} \cdot \Sigma_{f238}) + (P_{239} \cdot \Sigma_{f239}) + (P_{240} \cdot \Sigma_{f240}) + (P_{241} \cdot \Sigma_{f241})],$$

cu  $P_{238}, P_{239}, P_{240}, P_{241}$  - productivități ale azotaților izotopici Pu(III), Pu(IV).

Secțiunea eficace macroscopică totală pentru absorbția de neutroni termici în compușii azotați izotopici Pu(III), Pu(IV) se determină pe baza ecuației dimensionale:

$$\Sigma_{\text{at}} = [(P_{238} \cdot \Sigma_{a238}) + (P_{239} \cdot \Sigma_{a239}) + (P_{240} \cdot \Sigma_{a240}) + (P_{241} \cdot \Sigma_{a241}) + (P_{242} \cdot \Sigma_{a242})] = (\Sigma_{a238}^* + \Sigma_{a239}^* + \Sigma_{a240}^* + \Sigma_{a241}^* + \Sigma_{a242}^*) = \Sigma_a^*.$$

# RO 129854 B1

1 Probabilitatea de fisiune (Pf) cu neutroni termici a izotopilor de plutoniu din compușii  
 2 azotați izotopici de Pu(III), Pu(IV) se determină conform expresiei:

$$3 P_f = (\Sigma_f / \Sigma_a).$$

4 Pe baza randamentului neutronic mediu pe fisiune cu neutroni termici [ $\nu$ (neutroni  
 5 rapizi generați/fisiune)], randamentul neutronic pe absorbție de neutroni termici [ $\eta$ (neutroni  
 6 rapizi generați/neutron termic absorbit)] (factor de regenerare) în izotopii de plutoniu din  
 7 compușii azotați izotopici Pu(III), Pu(IV) se determină pe baza ecuațiilor dimensionale:  $\eta_{238}$

$$= \{[(\nu_{238} \cdot (\Sigma_{f238} / \Sigma_{a238}))] = (\nu_{238} \cdot P_{f238});$$

$$9 \eta_{239} \cdot (\nu_{239} \cdot P_{f239}) = [\nu_{239} \cdot (\Sigma_{f239} / \Sigma_{a239})];$$

$$\eta_{240} = (\nu_{240} \cdot P_{f240}) = [\nu_{240} \cdot (\Sigma_{f240} / \Sigma_{a240})];$$

$$11 \eta_{241} = (\nu_{241} \cdot P_{f241}) = [\nu_{241} \cdot (\Sigma_{f241} / \Sigma_{a241})].$$

Pu(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>:  $\Sigma_{at} = 1,19181217 \text{ m}^2$ ; Pu(NO<sub>3</sub>)<sub>4</sub>:  $\Sigma_{at} = 1,194605 \text{ m}^2$ ;

13 Valoare medie:  $\Sigma_{at} = 1,19321 \text{ m}^2$ .

14 Valorile randamentelor neutronice de fisiune [ $\nu$ ] și randamentelor de absorbție [ $\eta$ ]  
 15 pentru izotopii plutoniului în compușii azotați izotopici Pu(III), Pu(IV) sunt specificate în  
 16 tabelul 29.

Tabelul 29

19	Compuși azotați izotopici	Randament neutronic pe fisiune [ $\nu$ ]	Probabilitate de fisiune [ $P_f$ ]	Randament neutronic pe absorbție [ $\eta$ ]
21	<sup>238</sup> Pu(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	2,8 neutroni/fisiune	0,038	0,1064167
	<sup>239</sup> Pu(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	2,92 neutroni/fisiune	0,69	2,016202
23	<sup>240</sup> Pu(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	3,0 neutroni/fisiune	0,0157	0,047319
	<sup>241</sup> Pu(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	3,0 neutroni/fisiune	0,7234	2,171219
25	<sup>238</sup> Pu(NO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub>	2,8 neutroni/fisiune	0,03785	0,105987
	<sup>239</sup> Pu(NO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub>	2,92 neutroni/fisiune	0,68912	2,012235
27	<sup>240</sup> Pu(NO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub>	3,0 neutroni/fisiune	0,015654	0,046962
	<sup>241</sup> Pu(NO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub>	3,0 neutroni/fisiune	0,722728	2,168181

29 Valoarea randamentului neutronic [ $\eta$ ] se determină conform expresiei:

$$31 \eta = \{[(\eta_{238} \cdot \Sigma_{a238}^*) + (\eta_{239} \cdot \Sigma_{a239}^*) + (\eta_{240} \cdot \Sigma_{a240}^*) + (\eta_{241} \cdot \Sigma_{a241}^*)] / \Sigma_{at}\};$$

Pu(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>:  $\eta = 1,826$  - neutroni rapizi/neutron termic absorbit.

33 Pu(NO<sub>3</sub>)<sub>4</sub>:  $\eta = 1,82258$  - neutroni rapizi/neutron termic absorbit.

34 Coeficientul de multiplicare al neutronilor, ca raport între numărul neutronilor rapizi  
 35 produși într-o generație și numărul neutronilor termici absorbiți în generația anterioară în  
 36 mediu material finit, se determină conform ecuației:

$$37 K = \eta \cdot f \cdot P_{nt} \cdot P_{nr} = K^* \cdot P_{nt} \cdot P_{nr};$$

$K^* = (\eta \cdot f)$  - coeficient de multiplicare al neutronilor în mediu material infinit;

39  $P_{nt}$  - probabilitatea de evitare a scurgerii neutronilor termici în afara reactorului chimic  
 40 nuclear;

41  $P_{nr}$  - probabilitatea de evitare a scurgerii neutronilor rapizi în afara reactorului chimic  
 42 nuclear;

43  $f$  - factor de utilizare termică a izotopilor fisionabili ai plutoniului sub formă de azotați  
 44 izotopici Pu(III), Pu(IV) dizolvați în apă ca moderator-solvent, și se determină conform  
 45 expresiei:

$$46 f = \{ \Sigma_{at} / [\Sigma_{at} + (\Sigma_{am} \cdot m)] \};$$

47  $m$  - masa de apă distilată ca moderator solvent (kg);

# RO 129854 B1

$\Sigma_{am}$ - secțiunea eficace macroscopică raportată la masă, pentru absorbția neutronilor termici în apă ca moderator-solvent ( $m^2/kg$ ), și se determină conform expresiei:	1
$\Sigma_{am} = (\Sigma_a/\rho) = 0,00222886 m^2/kg$ ;	3
$\Sigma_a$ - secțiunea macroscopică de absorbție a neutronilor termici în apă distilată ( $\Sigma_a = 2,2244 m^{-1}$ );	5
$\rho$ - densitatea apei distilate ca moderator solvent la temperatura de 20°C ( $\rho = 998 kg/m^3$ ).	7
Proces nuclear critic (fisiune): $K = 1 \rightarrow f = (K/\eta) = 0,548$ .	
Proces nuclear subcritic: $K < 1 \rightarrow f < 0,548$ .	9
Masa minimă de apă distilată necesară procesului subcritic se determină conform ecuației dimensionale:	11
$m = [(1/f) - 1] \cdot (\Sigma_{at}/\Sigma_{am}) = 535,3 kg H_2O$ .	
Masa de apă necesară procesului critic: $m^* = 344 kg H_2O$ .	13
Concentrația critică [ $C_c^*$ ] pentru azotații izotopici de Pu(III) în apă distilată:	
$C_c^* = [(100 \cdot P_t)/(P_t + m^*)] = 3,205\%$ .	15
Concentrația critică pentru azotații izotopici Pu(IV) în apa distilată:	
$C_c^* = [(100 \cdot P_t)/(P_t + m^*)] = 3,665\%$ .	17
$P_t$ - productivități totale pentru azotații izotopici de Pu(III), Pu(IV) (kg).	
Azotații izotopici Pu(IV) complecși cu trioctilamina (TOA) în dodecan solvent și moderator organic împreună cu TOA. Randament neutronic ( $\eta$ ) la absorbție neutronilor termici: $\eta = 1,82258$ neutroni rapizi/neutron termic absorbit.	19
Proces nuclear critic(fisiune):	
$K = 1 \rightarrow f = (K/\eta) = 0,548$ ; $K < 1 \rightarrow f < 0,548$ .	23
Factorul de utilizare termică ( $f$ ) a izotopilor Pu(IV) în complecșii azotați izotopici Pu(IV) cu TOA în dodecan se determină conform expresiei:	25
$f = \{\Sigma_{at}/[\Sigma_{at} + (\Sigma_{atoa} \cdot m_{toa}) + (\Sigma_{ak} \cdot m_k)]\}$ ;	
$m_{toa}$ - masa de moderator organic trioctilamină și complexant (kg);	27
$m_k$ - masa de moderator organic dodecan și solvent (kg), ce se determină conform expresiei:	29
$m_k = \{m_{toa}/[(1/F_k) - 1]\} = 0,25 \cdot m_{toa}$ ;	
$F_k$ - fracția de masă a dodecan moderator-solvent în faza organică (trioctilamină și dodecan), ce se determină conform expresiei:	31
$F_k = [m_k/(m_k + m_{toa})] = 0,2$ .	33
Factorul de utilizare a izotopilor Pu(IV) din complecși:	
$f = \Sigma_{at}/[\Sigma_{at} + [\Sigma_{atoa} + (0,25 \cdot \Sigma_{ak})] \cdot m_{toa}] \cdot \Sigma_{at}$ - secțiunea macroscopică raportată la masă, pentru absorbția neutronilor termici în azotații izotopici Pu(IV)( $\Sigma_{at} = 1,194605 m^2$ );	35
$\Sigma_{ak}$ - secțiunea macroscopică raportată la masă, pentru absorbția neutronilor termici în dodecan moderator organic și solvent ( $\Sigma_{ak} = 0,00307186 m^2/kg$ ).	37
Masa de trioctilamină (TOA) necesară pentru $f < 0,548$ este determinată conform ecuației dimensionale: $m_{toa} = [(1/f) - 1] \cdot \Sigma_{at}/[\Sigma_{atoa} + (0,25 \cdot \Sigma_{ak})] = 276 kg TOA$ .	39
Masa de dodecan (kerosen) necesară pentru $f < 0,548$ se determină conform ecuației dimensionale:	41
$m_k = \{0,25 \cdot \Sigma_{at} \cdot [(1/f) - 1]/\Sigma_{atoa} + (0,25 \cdot \Sigma_{ak})\} = 69 kg C_{12}H_{26}$ .	43
Concentrația critică [ $C_c^*$ ] pentru azotații izotopici Pu(IV) în TOA și dodecan:	
$C_c^* = [(100 \cdot P_t)/(P_t + m_{toa} + m_k)] = 3,72\%$ .	45
Aria de migrație a neutronilor [ $M^2(m^2)$ ] generați prin fisiunea nucleară a izotopilor ${}^{A=238}_{Z=94}Pu$ , ${}^{A=239}_{Z=94}Pu$ , ${}^{A=240}_{Z=94}Pu$ , ${}^{A=241}_{Z=94}Pu$ se determină conform ecuației dimensionale:	47
$M^2 = (L^2 + \tau) = 0,0035488 m^2$ ;	
$\tau$ - vârsta neutronilor rapizi cu dimensiunea unei arii în moderator tip apă distilată ( $\tau = 0,0033 m^2$ );	49

# RO 129854 B1

1  $L^2$  - aria de difuzie a neutronilor termici în soluția apoasă a azotaților izotopici de Pu(III),  
Pu(IV)( $m^2$ ), și se determină conform expresiei:

3 
$$L^2 = L_m^2 \cdot (1 - f) = 0,00037491 \text{ m}^2;$$

5  $L_m^2$  - aria de difuzie a neutronilor termici în moderator solvent 1 apă distilată ( $L_m^2 =$   
 $= 0,00082944 \text{ m}^2$ ).

Ecuția diferențială generală a reactorului nuclear omogen:

7 
$$\Delta\Phi(x, y, z) + B^2\Phi(x, y, z) = 0;$$

9  $\Delta$  - operator tridimensional Laplace ca o sumă de derivate parțiale de ordin 2 în  
coordonatele  $x, y, z$  ( $m^{-2}$ );

11  $\Phi(x, y, z)$  - flux neutronic funcție de coordonatele spațiale  $x, y, z$  (neutroni/ $m^2 \cdot s$ ):  $\Phi(x, y,$   
 $z) = X(x) \cdot Y(y) \cdot Z(z)$ ;  $X(x), Y(y), Z(z)$  - funcții de flux neutronic pentru fiecare variabilă  
spațială (neutroni/ $m^2 \cdot s$ );

13  $B^2$  - laplacianul geometric ca valoare proprie a operatorului  $\Delta$ ( $m^{-2}$ ).

Ecuția diferențială a reactorului chimic nuclear cubic:

15 
$$Y(y) \cdot Z(z) \cdot [\partial^2 X(x) / \partial x^2] + X(x) \cdot Z(z) \cdot [\partial^2 Y(y) / \partial y^2] + X(x) \cdot Y(y) \cdot [\partial^2 Z(z) / \partial z^2] + B^2 \cdot X(x) \cdot Y(y) \cdot Z(z) = 0;$$
  
17 
$$[1/X(x)] \cdot [\partial^2 X(x) / \partial x^2] + [1/Y(y)] \cdot [\partial^2 Y(y) / \partial y^2] + [1/Z(z)] \cdot [\partial^2 Z(z) / \partial z^2] + B^2 = 0; [1/X(x)] \cdot [\partial^2 X(x) / \partial x^2] =$$
  
$$= -K_1^2; [1/Y(y)] \cdot [\partial^2 Y(y) / \partial y^2] = -K_2^2; [1/Z(z)] \cdot [\partial^2 Z(z) / \partial z^2] = -K_3^2;$$

$K_1, K_2, K_3$  - coeficienți dimensionali ( $m^{-1}$ ).

19 Ecuțiile diferențiale după coordonate:

21 
$$[\partial^2 X(x) / \partial x^2] + K_1^2 \cdot X(x) = 0; [\partial^2 Y(y) / \partial y^2] + K_2^2 \cdot Y(y) = 0; [\partial^2 Z(z) / \partial z^2] + K_3^2 \cdot Z(z) = 0;$$

23  $\partial^2 / \partial x^2, \partial^2 / \partial y^2, \partial^2 / \partial z^2$  - operatori derivate parțiale de ordin 2 în raport cu variabile dimensionale  
 $x, y, z$  ( $m^{-2}$ ).

Soluțiile analitice sunt date de funcția trigonometrică cosinus (cos):

25 
$$X(x) = X_0 \cdot \cos(K_1 \cdot x); Y(y) = Y_0 \cdot \cos(K_2 \cdot y); Z(z) = Z_0 \cdot \cos(K_3 \cdot z).$$

Condiții la limită:

27 1. Flux neutronic finit în centrul reactorului ( $x = y = z = 0$ )  $\rightarrow \Phi_0 = X_0 \cdot Y_0 \cdot Z_0$ .

2. Anularea fluxului neutronic la frontiera extrapolată (finită) a reactorului:  $\Phi = 0$ ;  
 $x \rightarrow +a/2, x \rightarrow -a/2; y \rightarrow +b/2, y \rightarrow -b/2; z \rightarrow +c/2, z \rightarrow -c/2$ ;

29  $a, b, c$  - distanțele/dimensiunile extrapolate (finite) ale reactorului chimic nuclear omogen  
termic (m)  $\cdot K_1 \cdot (a/2) = (\pi/2) \rightarrow K_1 = (\pi/a); K_2 \cdot (b/2) = (\pi/2) \rightarrow K_2 = (\pi/b); K_3 \cdot (c/2) = (\pi/2) \rightarrow$   
31  $K_3 = (\pi/c)$ .

Ecuția fluxului neutronic:

33 
$$\Phi(x, y, z) = \Phi_0 \cdot \cos[(\pi \cdot x)/a] \cdot \cos[(\pi \cdot y)/b] \cdot \cos[(\pi \cdot z)/c].$$

35 În cazul reactorului cubic ( $a = b = c$ ), laplacianul geometric [ $B^2(m^{-2})$ ] se determină  
conform expresiei:

37 
$$B^2 = (K_1^2 + K_2^2 + K_3^2) = [(\pi/a)^2 + (\pi/b)^2 + (\pi/c)^2] = 3 \cdot (\pi/a)^2.$$

39 Dimensiunea extrapolată [ $a(m)$ ], ca dimensiune finită a reactorului cubic, se  
determină conform ecuației dimensionale:

41 
$$a = 1,732 \cdot (\pi/B) = (5,43864/B);$$

Volumul critic minim al reactorului cubic:  $V^* = a^3 = (161/B^3)$ ;

43 Masa critică minimă a reactorului chimic nuclear omogen termic:  $M_c^* = (\rho \cdot V^*) = [(161 \cdot$   
 $\rho)/B^3]$ ;

45  $\rho$  - densitatea masei de reacție în reactorul chimic nuclear omogen termic cu geometrie  
cubică [azotați izotopici Pu(III), Pu(IV)] ( $kg/m^3$ ).

Ecuția diferențială a difuziei neutronilor monoenergetici:

47 
$$D \cdot \Delta\Phi(x, y, z) - [\Sigma_{at} + (\Sigma_{am} \cdot m)] \cdot \Phi(x, y, z) + K^* \cdot [\Sigma_{at} + (\Sigma_{am} \cdot m)] \cdot \Phi(x, y, z) \cdot \exp(-B^2 \cdot \tau) =$$
  
49  $= 0;$

$D$  - coeficient de difuzie al neutronilor(m);

$\exp$  - funcția exponențială în baza  $e$ .

# RO 129854 B1

$D \cdot \Delta\Phi(x,y,z) - \Sigma_a^* \cdot \Phi(x,y,z) + K^* \cdot \Sigma_a^* \cdot \Phi(x,y,z) \cdot \exp(-B^2 \cdot \tau) = 0;$	1
$\Sigma_a^*$ - secțiunea macroscopică totală a neutronilor în izotopii plutoniului, azotații izotopici de Pu(III), Pu(IV) și moderator solvent apă distilată ( $m^{-1}$ ).	3
Ecuția diferențială a difuziei neutronilor monoenergetici:	
$\Delta\Phi(x,y,z) + \Phi(x,y,z) \cdot \{[K^* \cdot \exp(-B^2 \cdot \tau) - 1]/L^2\} = 0.$	5
Prin identificare cu ecuația diferențială generală:	
$B^2 = [K^* \cdot \exp(-B^2 \cdot \tau) - 1]/L^2 \rightarrow [1+(B^2 \cdot L^2)] = K^* \cdot \exp(-B^2 \cdot \tau).$	7
Ecuția de criticitate:	
$K^* \cdot \exp(-B^2 \cdot \tau)/[1+(B^2 \cdot L^2)] = 1$ și $B^2 = B_m^2$ ; $B_m^2$ - laplacian material pentru reactorul chimic nuclear omogen termic ( $m^{-2}$ ).	9
$K^* \cdot \exp(-B_m^2 \cdot \tau)/[1 + (B_m^2 \cdot L^2)] = K^*/\{[1 + (B_m^2 \cdot \tau)] \cdot [1 + (B_m^2 \cdot L^2)]\} = K^*/[1 + B_m^2 \cdot (L^2 + \tau)] = K^*/\{1 + (B_m^2 \cdot M^2)\} = 1.$	11
Laplacianul material [ $B_m^2(m^{-2})$ ], se determină pe baza ecuației de criticitate:	13
$B^2 = B_m^2 \rightarrow B_m^2 = [(K^* - 1)/M^2] = 3 \cdot (\pi/a)^2.$	
Dimensiunea extrapolată (finită) a reactorului cubic se determină pe baza ecuației dimensionale:	15
$a = (5,43864 \cdot M)/(K^* - 1)^{1/2};$	17
Volumul critic: $V^* = a^3 = (161 \cdot M^3)/(K^* - 1)^{3/2}.$	
Masa critică $M_c^* = (\rho \cdot V^*) = (161 \cdot \rho \cdot M^3)/(K^* - 1)^{3/2}.$	19
Date dimensionale:	
$K^* = 1,105;$	21
$M = 0,059572 \text{ m} \rightarrow a = 1\text{m}; B^2 = 29,5788 \text{ m}^{-2};$	
Volumul critic corespunzător unui reactor cubic (decantor, amestecător): $V^* = 1 \text{ m}^3.$	23
Probabilitatea de evitare a scurgerilor neutronilor termici din reactorul chimic nuclear ( $P_{nt}$ ) se determină conform expresiei:	25
$P_{nt} = 1/[1+(B^2 \cdot L^2)] = 0,989.$	
Probabilitatea de evitare a scurgerilor neutronilor rapizi din reactor chimic nuclear ( $P_{nr}$ ) se determină conform expresiei:	27
$P_{nr} = \exp(-B^2 \cdot \tau) = 0,907.$	29
Coeficientul de multiplicare: $K = K^* \cdot P_{nt} \cdot P_{nr} = \eta \cdot f \cdot P_{nt} \cdot P_{nr} = 0,896 < 1$ (proces nuclear subcritic, respectiv, reactor subcritic).	31
Masa de soluție apoasă azotică ce intră în amestecătoarele <b>30</b> ale modulului reextractor <b>H</b> este: $E = 743 \text{ kg}$ soluție 2M $\text{HNO}_3$ .	33
Ecuția bilanțului material pentru unitățile de transfer 1 și n ale modulului reextractor <b>H</b> :	35
$(F \cdot Y_{n+1}) = (F \cdot Y_1) + (E \cdot X_n);$	
ecuația de echilibru a reextractei:	37
$(X/Y) = D \rightarrow X = (D \cdot Y);$	
D - coeficient de distribuție (reextracție);	39
F - masă/debit de masă faza organică în alimentarea reextractorului <b>H</b> (kg)(kg/s)( $F = 353,84 \text{ kg}$ );	41
E - masă/debit de masă soluție apoasă azotică (2M $\text{HNO}_3$ ) care intră în reextractor <b>H</b> în contracurent cu faza organică (kg)(kg/s).	43
Consumul specific [ $q(\text{kg/kg})$ ] de soluție apoasă azotică: $q = (E/F) = 2,1 \text{ kg}$ soluție 2M $\text{HNO}_3/\text{kg}$ fază organică.	45
X - raport de masă al azotaților izotopici Pu(IV) în faza soluție apoasă azotică 2M $\text{HNO}_3$ (kg/kg);	47
Y - raport de masă al complexilor azotați izotopici Pu(IV) cu TOA în faza organică (kg/kg).	

# RO 129854 B1

1 Raportul de masă inițial al complexșilor azotați izotopici Pu(IV) cu TOA în faza  
organică este:  $Y_f = 0,2169$ .

3 Ecuația dimensională a procesului de reextracție:

$$X_n = (1/q) \cdot (Y_{n+1} - Y_1) = (D \cdot Y_n);$$

5  $Y_{n+1}$  - raport de masă al complexșilor azotați izotopici Pu(IV) cu TOA în faza organică, ce au  
ieșit din unitatea (n+1) și au intrat în unitatea n de transfer (kg/kg);

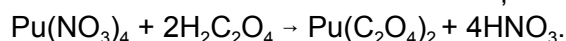
7  $Y_1$  - raport de masă al complexșilor azotați izotopici de Pu(IV) în fază organică, ce au ieșit  
din unitatea 1 de transfer (kg/kg);

9  $Y_n$  - raport de masă al complexșilor azotați izotopici Pu(IV) în faza organică, ce au ieșit din  
unitatea n de transfer (kg/kg);

11  $X_n$  - raport de masă al azotaților izotopici de Pu(IV) în faza de soluție apoasă azotică de  
reextracție (2M HNO<sub>3</sub>), care intră în unitatea n de transfer de masă (kg/kg).

13 Prin pornirea motoarelor **33**, intră în funcțiune agitatoarele **32**, și faza organică de  
15 complexși azotați izotopici Pu(IV) cu TOA în dodecan se distribuie în cele 4 unități de transfer  
prin conductele **30a**, **30b**, **30c** ale amestecătoarelor **30** în decantoarele **31**, la egalizare de  
17 masă lichidă în modul reextractor **H**, cu scop funcțional de reextracție în contracurent a  
azotaților izotopici de Pu(IV) din faza organică, prin 4 unități de transfer în soluție apoasă  
19 azotică (2M HNO<sub>3</sub>), ce se introduce în amestecătoarele **30** prin conducte de alimentare.  
După durata de staționare a masei bifazice, se scot din funcțiune motoarele electrice **33** și  
21 agitatoarele tip turbină **32** ale amestecătoarelor **30**, în scopul separării fazelor, vizualizată  
pe indicatoarele de nivel aferente decantoarelor **31** cu camere speciale de vizualizare, și se  
23 deschid automat vanele conductelor **31a**, **31b**, și soluția apoasă azotică ce conține azotații  
izotopici de Pu(IV) reextrași este evacuată gravitațional în modulul reactor **I** cristalizor de  
25 oxalați izotopici de Pu(IV). Prin închiderea automată a vanei conductei **31b**, și deschiderea  
automată a vanei conductei **31c**, faza organică de TOA în dodecan este evacuată gravita-  
27 țional în modulul **G** reactor extractor, respectiv, în amestecătoarele **25** ale decantoarelor **26**,  
respectiv, are loc recirculare în proces. Acest reactor cristalizor **I** are ca scop funcțional  
29 reacția chimică a azotaților izotopici Pu(IV) cu reactiv solid acid oxalic (H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>), conversia  
la oxalați izotopici de Pu(IV)[Pu(C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>)<sub>2</sub>], vaporizarea totală a apei și acidului azotic, pentru  
31 obținerea oxalaților izotopici Pu(IV) cristalizați de formă <sup>238</sup>Pu(C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>)<sub>2</sub> · 6H<sub>2</sub>O, <sup>239</sup>Pu(C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>)<sub>2</sub> ·  
6H<sub>2</sub>O, <sup>240</sup>Pu(C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>)<sub>2</sub> · 6H<sub>2</sub>O, <sup>241</sup>Pu(C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>)<sub>2</sub> · 6H<sub>2</sub>O, <sup>242</sup>Pu(C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>)<sub>2</sub> · 6H<sub>2</sub>O de înaltă puritate.

Procesul chimic are loc conform ecuației de reacție:



33 Consumul specific de masă [CS<sub>m</sub>(kg/kg)] de acid oxalic în reacția chimică este  
35 determinat conform ecuației dimensionale:

$$CS_m = (m_{ao}/m_{op}) = [(2 \cdot M_{ao}^*)/M_{op}^*] = 0,4332 \text{ kg H}_2\text{C}_2\text{O}_4/\text{kg Pu(C}_2\text{O}_4)_2,$$

37 în care  $m_{ao}$  - masa de acid oxalic reactant solid pulverulent consumată în reacție (kg), și se  
determină conform ecuației dimensionale:

$$m_{ao} = [(2 \cdot P_t \cdot M_{ao}^*)/M_{ap}^*];$$

39  $P_t$  - productivitatea totală a azotaților izotopici de Pu(IV)[ $P_t = 13,051145 \text{ kg Pu(NO}_3)_4$ ];

41  $M_{ao}^*$  - masa molară a acidului oxalic ( $M_{ao}^* = 90 \text{ kg/kmol}$ );

$M_{ap}^*$  - masa molară medie a azotaților izotopici de Pu(IV)( $M_{ap}^* = 487,5 \text{ kg/kmol}$ );

43  $m_{op}$  - masa de oxalați izotopici puri de Pu(IV) produși de reacție (kg)

și se determină conform ecuației dimensionale:

$$m_{op} = [(P_t \cdot M_{op}^*)/M_{ap}^*];$$

45  $M_{op}^*$  - masa molară medie a oxalaților izotopici de Pu(IV) ( $M_{op}^* = 415,5 \text{ kg/kmol}$ ).

47 Înainte de introducerea soluției apoase azotice de azotați izotopici de Pu(IV), se  
introduce în colector **36** masa de acid oxalic necesară procesului chimic, determinată sto-  
49 echiometric, în modulul reactor **I**. Se pornește circulația de agent termic în manta și motorul

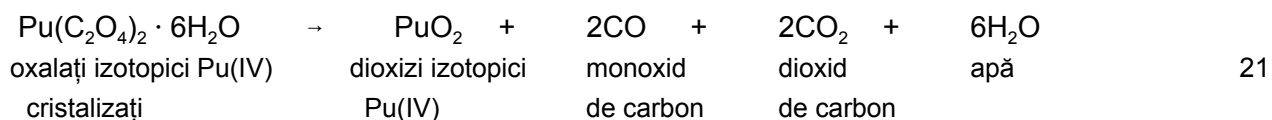
# RO 129854 B1

electric **35**, intră în funcțiune rotorul **34** de recirculație ascendentă a masei de reacție, respectiv, de pompare cu paletetele de turbină **34b** prin tubulatura cilindrică **34c** și cele 4 orificii dreptunghiulare **34d**, cu circulație descendentă elicoidală a masei de reacție pe mantaua termică a reactorului **I**, cu ajutorul celor 4 palete dreptunghiulare verticale **34e**, și recirculație continuă la terminarea reacției chimice cu cinetică de ordinul 2 față de reactantul de referință tip acid oxalic, la temperatura de proces de 80°C...90°C. Modulul distilator **J** fiind în funcțiune, se efectuează vid (depresiune  $\Delta P = 0,1$  atm) în reactorul cristalizor **I**, prin conducta verticală de vapori **42b** având loc vaporizarea apei și acidului azotic la temperatura de vaporizare corespunzătoare depresiunii, în scopul cristalizării oxalaților izotopici de Pu(IV)[Pu(C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>)<sub>2</sub> · 6H<sub>2</sub>O]. Vaporii de apă și acid azotic sunt condensați în soluția apoasă din bazin **42f** prin răcire, ca urmare a circulației agentului de răcire prin mantaua bazinului. Masa de oxalați izotopici de Pu(IV) cristalizați [m<sub>opc</sub>(kg)] se determină conform ecuației dimensionale:

$$m_{opc} = [(P_t \cdot M_{opc}^*)/M_{ap}^*] = 16,443 \text{ kg Pu(C}_2\text{O}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}; \quad 13$$

M<sub>opc</sub>\* - masa molară medie a oxalaților izotopici de Pu(IV) cristalizați [M<sub>opc</sub>\* = 523,5 kg/kmol].

Această masă de oxalați izotopici de Pu(IV) cristalizați staționează în colectorul **36** și este evacuată din reactorul **I** în mod periodic, prin procedee magnetice. Oxalații izotopici de Pu(IV) cristalizați se descompun termic la temperatura de 400°C...500°C, obținându-se dioxizi izotopici de plutoniu tetravalent [PuO<sub>2</sub>] de puritate nucleară, conform ecuației chimice:



În bazinul condensator **42f** al modulului distilator **J**, cu ajutorul electropompei **43**, se recirculă lichid motor rece de soluție apoasă azotică prin conducta **44**, și descendent, cu viteză mare, prin camera de amestec lichid-vapori cu ajutoraj **42a** și ejectorul cilindro-conic **42e** în circuit închis, efectuându-se vid (depresiune) în vaporizatorul **37** și modulele reactoare **I**, **F**, prin conductele **42d**, **42b**, **42c**, circuitul fiind conform ecuației de conservare a energiei:

$$[\rho \cdot W_1^2]/2 + P_1 + (\rho \cdot g \cdot H_1) = [(\rho \cdot W_2^2)/2] + P_2 + (\rho \cdot g \cdot H_2). \quad 29$$

$\rho$  - densitatea lichidului motor rece, de soluție apoasă azotică (kg/m<sup>3</sup>);

W<sub>1</sub> - viteza de injectare a lichidului motor rece în ajutorajul camerei de amestec **42a** (m/s);

W<sub>2</sub> - viteza de ejectare a lichidului motor rece din tubulatura ejectorului cilindro-conic **42e** (m/s);

P<sub>1</sub> - presiunea dinamică în camera de amestec lichid-vapori cu ajutoraj **42a** (Pascali);

P<sub>2</sub> - presiunea dinamică a lichidului motor rece în bazinul condensator **42f** la ieșire din ejectorul cilindro-conic **42e** (Pascali);

g - accelerația gravitațională (9,81 m/s<sup>2</sup>);

H<sub>1</sub> - înălțimea cea mai mare a ejectorului cilindro-conic **42e** (m);

H<sub>2</sub> - înălțimea cea mai mică a ejectorului cilindro-conic **42e** la nivelul bazinului condensator **42f** (m).

În condiția tehnică: P<sub>2</sub> >> P<sub>1</sub> și H<sub>1</sub> > H<sub>2</sub>, P<sub>1</sub> reprezintă depresiunea (vid) în camera de amestec lichid-vapori cu ajutoraj **42a**, egală cu presiunea de vaporizare P<sub>v</sub> = P<sub>1</sub> = 0,1 atm = 10135 Pascali. Viteza de injectare [W<sub>1</sub>(m/s)] a lichidului motor rece, în camera de amestec cu ajutoraj **42a**, se determină conform ecuației dimensionale a debitului:

$$W_1 = (4 \cdot D_{v1})/(\pi \cdot D_1^2); \quad 45$$

D<sub>v1</sub> - debit volumetric de lichid motor rece pompat de electropompa **43** în circuit închis (m<sup>3</sup>/s);

D<sub>1</sub> - diametrul mic al ajutorajului camerei de amestec lichid-vapori **42a** (m).

# RO 129854 B1

1 Viteza de ejectare [ $W_2$ (m/s)] a lichidului motor rece, din tubulatura conică a ejectorului  
cilindro-conic **42e**, se determină conform ecuației dimensionale a debitului:

$$3 \quad W_2 = (4 \cdot D_{v1}) / (\pi \cdot D_2^2);$$

4  $D_2$  - diametrul mare al ejectorului cilindro-conic **42e**, respectiv, la ieșire din tubulatura  
5 conică (m).

6 Pătratele vitezelor  $W_1$  și  $W_2$  variază invers proporțional cu puterea a patra a diame-  
7 trelor  $D_1$  și  $D_2$ , și în condiția tehnică în care  $D_2 > (5 \cdot D_1) \rightarrow W_2^2 \ll W_1^2 - (W_1^2 - W_2^2)$  aproxi-  
mativ egală cu  $W_1^2$ , și variația de presiune dinamică [ $\Delta P$  (Pascali)] se determină conform  
9 ecuației dimensionale:

$$\Delta P = [(\rho \cdot W_1^2)/2] + (\rho \cdot g \cdot \Delta H).$$

11 Variația de înălțime [ $\Delta H = (H_1 - H_2)$ ] a ejectorului cilindro-conic **42e** se determină  
conform ecuației dimensionale:

$$13 \quad \Delta H = [(2 \cdot \Delta P) - (\rho \cdot W_1^2)] / (2 \cdot \rho \cdot g).$$

14 Lungimea tubulaturii conice [ $L_c$ (m)] a ejectorului **42e** se determină conform ecuației  
15 dimensionale:

$$L_c = (D_2 - D_1) / (2 \cdot \operatorname{tg} \alpha);$$

17  $\alpha$  - unghi de evazare al tubulaturii conice;

18  $\operatorname{tg}$  - funcția tangentă.

19 Soluțiile apoase azotice rezultate de la modulele **B**, **C**, **G** sunt evacuate descendent  
gravitațional prin deschiderea automată a vanelor conductelor **4b**, **9b** în vaporizator **37** al  
21 modulului distilator **J**, cu scop funcțional de vaporizare a apei și acidului azotic, separarea  
de sărurile radioactive ale izotopilor produși de fisiune (azotați, sulfamați, sulfați), precum și  
23 creșterea concentrației soluției apoase azotice de la 8%  $\text{HNO}_3$  la 32%  $\text{HNO}_3$ , prin vaporizarea  
în vid (0,1 atm), la temperatura de 80°C, a acidului azotic. Se pornește motorul electric **40**,  
25 intră în funcțiune rotorul **38** de recirculație ascendent-descendentă a soluției apoase azotice  
de săruri radioactive și, prin intermediul angrenajului cilindric de roți cu curele trapezoidale,  
27 intră în rotație un rotor **39** de recirculație agent termic caloportor. Acest rotor **38** pompează  
soluția apoasă azotică cu paletele **38b** asamblate nedemontabil pe ax rotoric **39a**, în mod  
29 ascendent, prin tubulatura cilindrică **38c** și prin cele 4 orificii dreptunghiulare **38d**, precum  
și descendent-rotational pe suprafața cilindrică de transfer termic a vaporizatorului **37**, în  
31 scopul încălzirii și vaporizării soluției la temperatura agentului termic de 100°C...120°C,  
agentul caloportor (apa presurizată sau glicerina) fiind recirculat în plan orizontal prin  
33 mantaua vaporizatorului **37** și conductele **37a** ale generatorului termic, de un rotor **39**, cu  
ajutorul celor 4 palete dreptunghiulare verticale **39b** asamblate nedemontabil pe axul rotoric  
35 **39a**. Vaporii de apă și acid azotic aspirați prin depresiune urcă ascendent prin conducta **42d**  
în camera de amestec **42a**, fiind condensați prin amestecare și răcire în ejectorul **42e** și  
37 bazinul condensator **42f**, ca urmare a recirculării de lichid motor rece (soluție apoasă azotică)  
de către electropompa **43**, prin conducta verticală **44**, în circuit închis. Sărurile radioactive  
39 cristalizate ale izotopilor produși de fisiune, cu masa  $m_{\text{sr}} = 30,1$  19 kg, sunt staționate în colec-  
torul **41**, pentru a fi evacuate periodic din vaporizatorul **37** prin procedee speciale. Se reduce  
41 temperatura agentului termic caloportor în recirculație orizontală prin mantaua vaporizatorului  
**37** la 75°C...80°C, se deschide automat vana conductei **42g**, și soluția apoasă azotică din  
43 bazinul condensator **42f** este recirculată gravitațional în vaporizatorul **37** vidat pentru  
încălzire și vaporizare azeotrop hidrat ( $\text{HNO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{HNO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), cu concentrație de 68%  
45  $\text{HNO}_3$ , care la depresiunea  $\Delta P = 0,1$  atm = 10135 Pascali, are punct de fierbere 75°C.  
Vaporii azeotropici sunt condensați în bazinul **42f**, și recircularea soluției are loc pentru con-  
47 centrare la 32%  $\text{HNO}_3$ , respectiv, concentrație de proces pentru modul reactor **A**. Debitul  
caloric [ $D_c$ (kcal/s)] al generatorului termic, ce se transferă în proces de vaporizare, se deter-  
49 mină conform ecuațiilor dimensionale:



# RO 129854 B1

$D_c=(D_m \cdot \Delta H_a)=(\rho \cdot D_v \cdot \Delta H_a) = (\rho \cdot w \cdot S_c \cdot \Delta H_a)=(2 \cdot \pi \cdot N \cdot R \cdot \rho \cdot S_c \cdot \Delta H_a) = (K_t \cdot S_t \cdot \Delta T)$	1
cu: $D_m$ - debit de masă agent caloportor în circulație prin manta vaporizator <b>37</b> și generator termic (kg/s);	3
$\Delta H_a$ - diferența de entalpie a agentului caloportor (kcal/kg) și se determină conform expresiei:	5
$\Delta H_a = (H_i - H_f);$	
$H_i$ - entalpia inițială a agentului caloportor, respectiv, la ieșire din generator (kcal/kg);	7
$H_f$ - entalpia finală a agentului caloportor, respectiv, la intrare în generator termic (kcal/kg);	
$\rho$ - densitatea agentului caloportor (kg/m <sup>3</sup> );	9
$D_v$ - debit volumetric de agent caloportor pompat de rotor <b>39</b> prin mantaua vaporizatorului <b>37</b> și generatorul termic (m <sup>3</sup> /s);	11
$w$ - viteza de circulație a agentului caloportor prin mantaua vaporizatorului <b>37</b> (m/s);	
$S_c$ - secțiunea de curgere a agentului caloportor în plan orizontal, prin mantaua vaporizator <b>37</b> (m <sup>2</sup> );	13
$N$ - turația rotorului <b>39</b> (rot/s);	15
$R$ - raza mare de rotație a paletelor <b>39b</b> aferente rotorului <b>39</b> (m);	
$K_t$ - coeficient total de transfer termic prin peretele cilindric vertical (suprafața de transfer termic) (kcal/m <sup>2</sup> · s · °C);	17
$S_t$ - suprafața cilindrică interioară de transfer termic a vaporizatorului <b>37</b> (m <sup>2</sup> );	19
$\Delta T$ - diferența de temperatură (°C) între agentul caloportor și soluția apoasă azotică, ce se determină conform expresiei:	21
$\Delta T = (T_a - T_v);$	
cu: $T_a$ - temperatura agentului caloportor în circulație prin manta vaporizator <b>37</b> (°C);	23
$T_v$ - temperatura de vaporizare a soluției apoase azotice (°C).	
Durata de vaporizare [t(s)] se determină conform ecuației dimensionale:	25
$t = [(m_{sa} \cdot H_{sa})]/(K_t \cdot S_t \cdot \Delta T);$	
$m_{sa}$ - masa apei și acidului azotic, respectiv, masa soluției azotice din vaporizator <b>37</b> (kg);	27
$H_{sa}$ - entalpia medie a vaporilor de apă și acid azotic la temperatura de vaporizare (kcal/kg).	
La scoaterea din funcțiune a electropompei <b>43</b> și egalizarea de presiune cu presiunea atmosferică în vaporizatorul <b>37</b> , prin deschiderea unui robinet de aerisire, se elimină apa printr-o conductă de evacuare a aparatului, apa fiind stocată în bazine speciale, pentru recirculare.	29 31

## Revendicări

1  
3  
5  
7  
9  
11  
13  
15  
17  
19  
21  
23  
25  
27  
29  
31  
33  
35  
37  
39  
41  
43  
45  
47

1. Reactor chimic de reprocesare a izotopilor combustibililor nucleari, format din mai multe reactoare de separare izotopică, înseriate în cascadă, soluția sau/și solventul având concentrație mărită de la un stadiu de reacție la altul, materialul radiochimic fiind introdus într-un reactor radiochimic (**A**) generator de azotați izotopici de U(VI), Pu(IV), prin contactarea materialului radiochimic cu soluție apoasă de acid azotic, azotații formați fiind separați într-un reactor extractor (**B**) cu un solvent organic, **caracterizat prin aceea că** modulul reactor extractor (**B**) pentru extragere de complecși azotați izotopici de U(VI), Pu(IV) utilizează tributil fosfat în dodecan ca solvent, și este conectat de un modul tip scrubber (**C**), de spălare a complecșilor azotați izotopici, prin intermediul unui rotor de turbină (**7**) de pompare a fazei organice extractante, un alt rotor tip turbină (**12**) fiind prevăzut pentru pomparea fazei organice purificate de complecși azotați izotopici într-un modul reactor (**D**) reextractor de azotați izotopici de Pu(III), în soluție apoasă azotică reducătoare, și extractor de complecși azotați izotopici de U(VI) cu tributil fosfat în dodecan solvent, iar un alt rotor tip turbină (**17**) este prevăzut pentru pomparea fazei organice de azotați izotopici de U(VI), cu tributil-fosfat într-un modul (**E**) reextractor de azotați izotopici de U(VI) în apă distilată, și pentru pomparea soluției apoase de azotați izotopici de Pu(III) într-un modul reactor (**G**) extractor de complecși azotați izotopici de Pu(IV), format din unități de transfer de masă compuse fiecare dintr-un amestecător de faze (**25**) și un separator gravitațional de faze (**26**), modulul (**E**) comunicând printr-o conductă cu robinet/vană (**19b**) cu un modul reactor cristalizor (**F**), generator de oxalați izotopici U(VI) cristalizați prin vaporizarea în vid a apei și acidului azotic, pentru circularea vaporilor produși fiind prevăzută o conductă (**42c**) ascendentă, utilizată și pentru condensarea acestora într-un bazin condensor (**42f**) al unui modul distilator (**J**), iar modulul reactor (**G**) având un rotor de turbină (**29**) de pompare a fazei organice extractante de complecși azotați izotopici de Pu(IV) în decantorul unui modul (**H**) re-extractor de complecși azotați izotopici de Pu(IV), format din niște unități de transfer de masă, compuse fiecare dintr-un amestecător de faze (**30**) și un separator gravitațional de faze (**31**), soluția apoasă de azotați izotopici de Pu(IV) și acid azotic separată în modulul (**H**) fiind evacuată printr-o conductă cu robinet/vană (**31b**) într-un modul reactor (**I**) cristalizor de oxalați izotopici de Pu(IV).

2. Reactor chimic, conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** modulul reactor radiochimic (**A**) are corp cilindric vertical, cu manta termică de încălzire a masei radiochimice de reacție la temperatura de proces, care posedă la partea inferioară o conductă cu robinet/vană (**1d**) de alimentare cu soluție apoasă de acid azotic, și de golire/evacuare a fazei lichide a masei de reacție: soluție apoasă de acid azotic, azotați izotopici de U(VI), Pu(IV) și produși de fisiune, precum și o conductă (**1e**) de alimentare cu oxigen molecular gazos/aer atmosferic, necesar reacțiilor radiochimice, în modulul reactor (**A**) fiind asamblat demontabil un rotor tip turbină (**1**) de recirculare prin pompare a fazei lichide de soluție apoasă de acid azotic, prin faza solidă de combustibil nuclear iradiat, tăiat în bucăți cilindrice, în mod ascendent și descendent-rotational, rotorul tip turbină (**1**), acționat de un mijloc tehnic (**1f**), fiind format din două tuburi cilindrice concentrice, asamblate nedemontabil, consolidate la partea superioară, și conținând între tuburi două rânduri a opt palete elicoidale (**1a**, **1b**), cu rol de pompare ascendentă a fazei lichide de soluție apoasă de acid azotic, azotați izotopici de U(VI), Pu(IV) și produși de fisiune, și de recirculare descendentă rotațională prin patru orificii dreptunghiulare (**1c**), poziționate la partea superioară a rotorului (**1**), sub unghi de 90° pe circumferința tubului interior al rotorului (**1**), și printr-un tub colector cilindric (**2**) conectat de acesta.

# RO 129854 B1

3. Reactor chimic, conform revendicării 2, **caracterizat prin aceea că** tubul cilindric colector (2), cu scop de container pentru combustibil nuclear iradiat, tăiat în bucăți cilindrice, și de reținere a unor teci/tuburi cilindrice de aliaj zircaloy sau oțel inoxidabil, este format dintr-o tubulatură cilindrică (2a) închisă de două capace circulare perforate (2b), asamblate demontabil pe un ax cilindric central (2c) care posedă, la partea superioară, o placă circulară (2d) cu rol de suport de tub colector (2), și de fixare și ghidare a acestuia în tubul cilindric interior al rotorului (1) în care este asamblat demontabil și închis în timpul reprocesării, cu un capac cilindric filetat. 1  
3  
5  
7

4. Reactor chimic, conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** modulul reactor extractor (B) este format din opt unități de transfer de masă în contracurent de faze lichid-lichid nemiscibile în jurul modulului reactor (A), și fiecare unitate de transfer este formată dintr-un amestecător de faze (3) cubic, cu rol de recirculare energetică și complexare a fazelor, precum și dintr-un decantor separator gravitațional de faze (4), cubic, în care complexii azotați izotopici de U(VI), Pu(IV) cu tributilfosfat sunt separați/extrași în fază organică, azotații izotopici ai produșilor de fisiune neextractibili rămânând în soluția apoasă, în fiecare amestecător de faze (3) fiind asamblat demontabil un agitator tip turbină (5) cu alimentare axială dublă și refulare/pompare radială a fazelor de amestec heterogen lichid-lichid, acționat în mișcare de rotație de un mijloc tehnic (6), agitatorul tip turbină (5) fiind format dintr-un ax central (5a) pe care sunt asamblate nedemontabil, pe două rânduri: superior/inferior, opt palete de turbină (5b) înclinate la 30...45° față de orizontală, cu rol funcțional de pompare ascendentă axială de jos în sus a soluției apoase de azotați izotopici de U(VI), Pu(IV), și produși de fisiune și de pompare descendentă axială de sus în jos a extractantului tributilfosfat în dodecan solvent, pe paletele de turbină (5b) fiind asamblată nedemontabil o tubulatură cilindrică (5c), având rol de direcționare a masei radiochimice heterogene de reacție, și care posedă la partea de mijloc niște orificii circulare (5d), pentru pompare radială/ejectare a masei heterogene lichid-lichid ce conține complexii azotați izotopici de U(VI), Pu(IV) cu tributilfosfat. 9  
11  
13  
15  
17  
19  
21  
23  
25  
27

5. Reactor chimic, conform revendicării 4, **caracterizat prin aceea că** amestecătoarele de faze (3) au niște conducte circulare (3a) asamblate la partea superioară, pentru alimentarea fazei organice extractantă de complecși azotați izotopici U(VI), Pu(IV) cu tributilfosfat din decantoarele separatoare gravitaționale (4), precum și conducte circulare (3b) asamblate nedemontabil la partea inferioară, pentru alimentarea fazei de soluție apoasă azotică cu azotați izotopici din decantoarele separatoare gravitaționale (4) în contracurent cu faza organică, amestecul heterogen lichid-lichid, format după amestecarea energetică, fiind pompat radial de niște agitatoare tip turbină (5) în decantoare (4), prin conducte circulare (3c) asamblate nedemontabil la partea de mijloc între amestecătoarele de faze (3) și decantoarele (4) pe cinci rânduri, fiecare decantor (4) având o conductă circulară cu robinet/vană (4a) asamblată nedemontabil la partea inferioară, pentru colectarea soluției apoase de acid azotic, azotați izotopici și produși de fisiune într-un decantor colector (4), precum și un mijloc tehnic (4c) pentru măsurarea volumului de amestec bifazic decantat, decantorul colector (4) având și o conductă circulară cu robinet/vană (4b) asamblată nedemontabil la partea inferioară, pentru evacuarea soluției apoase în vaporizator (37) al modulului distilator (J). 29  
31  
33  
35  
37  
39  
41

6. Reactor chimic, conform revendicării 1, 4 sau 5, **caracterizat prin aceea că** rotorul de turbină (7) de pompare a fazei organice extractantă de complecși azotați izotopici U(VI), Pu(IV) cu tributil fosfat este format dintr-un ax rotoric (7a) acționat în rotație de un mijloc tehnic (7b) care, printr-un angrenaj cilindric de roți dințate (7c, 7d), transmite mișcarea de rotație la un ax rotoric (7e), și pompează ascendent vertical faza organică extractantă printr-o 43  
45  
47

# RO 129854 B1

1 conductă circulară verticală (7g) în primul decantor al modulului scruber (C), toate aceste  
componente fiind consolidate și asamblate într-un bazin paralelipipedic (7h) cu rol de stocare  
3 intermediară a fazei organice.

5 7. Reactor chimic, conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** modulul  
scruber (C) de spălare cu apă distilată a fazei organice de complecși azotați izotopici U(VI),  
Pu(IV) cu tributilfosfat, cu rol de purificare prin eliminarea totală a azotaților izotopici produși  
7 de fisiune cu solubilitate foarte mare în apă, este format din șase unități de transfer de masă  
în contracurent de faze lichid-lichid în jurul modulului reactor (A), și fiecare unitate de transfer  
9 masic este formată dintr-un amestecător de faze (8) cubic, și un decantor (9) separator gra-  
vitațional de faze, cubic, în care azotații izotopici ai produșilor de fisiune sunt separați total  
11 de faza organică, în fiecare amestecător de faze (8) fiind asamblat demontabil un agitator  
tip turbină (10), cu rol și componență similare agitatorului tip turbină (5), acționat în rotație  
13 de un mijloc tehnic (11), aceste amestecătoare (8) având niște conducte circulare (8a, 8b)  
asamblate nedemontabil la partea superioară, pentru intrarea fazei organice la partea inferi-  
15 oară și, respectiv, pentru intrarea apei distilate și a azotaților izotopici produși de fisiune din  
decantoarele (9) separatoare de faze, iar niște agitatoare tip turbină (10) sunt prevăzute  
17 pentru pomparea radială a amestecului heterogen rezultat prin amestecarea fazelor în  
decantoare (9) prin niște conducte circulare (8c), asamblate nedemontabil la partea de  
19 mijloc, între amestecătoare (8) și decantoarele (9) pe cinci rânduri, decantoarele (19) având  
fiecare o conductă cu robinet/vană (9a) asamblată nedemontabil la partea inferioară, pentru  
21 colectarea soluției apoase de azotați izotopici produși de fisiune, și o conductă cu  
robinet/vană (9b) asamblată nedemontabil la partea inferioară, pentru evacuarea gravita-  
23 țională a soluției apoase în vaporizatorul (37) modulului distilator (J), decantorul colector (9)  
având și un rotor tip turbină (12), pentru pomparea fazei organice de complecși purificați ai  
25 azotaților izotopici U(VI), Pu(IV) cu tributilfosfat în modulul reactor (D), rotorul tip turbină (12)  
având aceleași componență și funcționalitate ca rotorul de turbină (7).

27 8. Reactor chimic, conform revendicării 1 sau 2, **caracterizat prin aceea că** modulul  
(D) reactor reextractor de azotați izotopici Pu(III) și extractor de complecși azotați izotopici  
29 de U(VI) cu tributil fosfat în dodecan solvent este format din opt unități de transfer de masă  
în jurul modulului reactor (A) cu reacție chimică de reducere a azotaților de Pu(IV) la azotați  
31 izotopici de Pu(III) cu reactant reducător, reextracție în soluție apoasă, și extracție de  
complecși azotați izotopici U(VI) cu tributilfosfat în contracurent de faze lichid-lichid, cu fie-  
33 care unitate de transfer masic formată dintr-un amestecător de faze (13) cubic, și un decan-  
tor separator gravitațional de faze (14), cubic, în care azotații izotopici de Pu(III) sunt  
35 reextrași în soluție apoasă de acid azotic, azotații izotopici de U(VI) fiind complexați și extrași  
în fază organică, și fiecare amestecător de faze (13) are asamblat demontabil un agitator tip  
37 turbină (15), cu rol și componente asemănătoare agitatorului tip turbină (5), care este acțio-  
nat în rotație de un mijloc tehnic (16), amestecătoarele (13) având niște conducte circulare  
39 (13a, 13b) asamblate nedemontabil la partea superioară, pentru intrarea fazei organice, și  
la partea inferioară, pentru intrarea soluției apoase azotice de azotați izotopici de Pu(III)  
41 reextrași, și a reducătorilor chimici din decantoarele separatoare de faze (14), pomparea  
amestecului heterogen format prin amestecare energetică fiind realizată radial de agitatoarele  
43 tip turbină (15) în decantoare (14) prin niște conducte circulare (13c), asamblate nedemonta-  
bil la partea de mijloc, între amestecătoare (13) și decantoarele (14) pe cinci rânduri, fiecare  
45 decantor (14) având o conductă cu robinet/vană (14a) asamblată nedemontabil la partea  
inferioară, pentru colectare de faze separate într-un decantor colector (14) care posedă un  
47 rotor tip turbină (17), pentru pomparea ascendentă verticală a fazei de soluție

# RO 129854 B1

apoasă azotică de azotați izotopici de Pu(III) cu reducător chimic în modulul reactor (**G**), și pomparea ascendentă verticală a fazei organice de azotați izotopici de U(VI) cu tributilfosfat în modulul reextractor (**E**), rotorul tip turbină (**17**) având aceleași componente funcționale ca rotorul tip turbină (**7**). 1  
3

9. Reactor chimic, conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** modulul reextractor (**E**) de azotați izotopici de U(VI) din fază organică în apă distilată este format din patru unități de transfer de masă în contracurent de faze lichid-lichid în jurul modulului reactor (**A**), fiecare unitate de transfer fiind formată din câte un amestecător de faze (**18**) cubic și decantor cubic separator gravitațional de faze (**19**), în care azotații izotopici de U(VI) sunt separați total de faza organică, în fiecare amestecător de faze (**18**) fiind asamblat demontabil un agitator tip turbină (**20**), cu rol și componente asemănătoare agitatorului tip turbină (**5**), acționat în rotație de un mijloc tehnic (**21**), aceste amestecătoare (**18**) având niște conducte circulare (**18a**, **18b**) asamblate nedemontabil la partea superioară, pentru intrare faza organică, și la partea inferioară, pentru intrare apă distilată din decantoarele separatoare gravitațional de faze (**19**), pomparea amestecului heterogen format prin amestecare energetică în decantoarele (**19**) fiind realizată radial de agitatoarele tip turbină (**20**), prin niște conducte circulare (**18c**), asamblate nedemontabil la partea de mijloc, între amestecătoare (**18**) și decantoarele (**19**) pe cinci rânduri, fiecare decantor (**19**) având o conductă cu robinet/vană (**19a**) asamblată nedemontabil la partea inferioară, pentru colectarea de faze separate în decantorul colector (**19**) care posedă la partea inferioară și o conductă circulară cu robinet/vană (**19b**) pentru evacuare descendentă gravitațională a soluției apoase azotice de azotați izotopici de U(VI) în modulul reactor (**F**) cristalizor, precum și o conductă circulară cu robinet/vană (**19c**) pentru evacuarea descendentă gravitațională a fazei organice de tributilfosfat cu dodecan solvent în modulul (**B**) pentru reprocesare izotopică prin recirculare. 5  
7  
9  
11  
13  
15  
17  
19  
21  
23

10. Reactor chimic, conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** în modulul (**F**) reactor generator de oxalați izotopici de U(VI) prin reacția chimică a azotaților izotopici de U(VI) cu acid oxalic reactant, și cristalizarea oxalaților izotopici prin vaporizarea în vid a apei și acidului azotic produs de reacție, ce are manta termică cilindrică de încălzire la temperatura de proces, este asamblat demontabil un rotor cilindric (**22**) de recirculare ascendentă și descendentă elicoidală a soluției apoase azotice de azotați și oxalați izotopici de U(VI), acționat în rotație de un mijloc tehnic (**23**), rotorul (**22**) fiind format dintr-un ax rotoric (**22a**) pe care sunt asamblate nedemontabil patru rânduri de câte opt palete de turbină (**22b**) înclinate ascendent sub unghiuri 30...45° față de orizontală, în interiorul unei tubulaturii cilindrice verticale (**22c**), pentru pomparea ascendentă verticală a masei radiochimice de reacție, și ejectarea acesteia prin patru orificii dreptunghiulare (**22d**) de la partea superioară a tubulaturii (**22c**), urmând curgerea descendentă elicoidală pe suprafața de transfer termic a reactorului (**F**), iar patru palete dreptunghiulare verticale (**22e**), asamblate nedemontabil pe circumferința exterioară a tubulaturii (**22c**), sub unghi de 90°, realizează recircularea continuă, pentru vaporizarea completă a apei și acidului azotic, vaporii urcând ascendent prin conducta de vapori (**42c**), și condensând într-un bazin condensator (**42f**) al modulului distilator (**J**), modulul reactor (**F**) având în interior, la partea inferioară, un colector cilindric (**24**) pentru introducerea în proces de reactant solid și acid oxalic, și stocarea periodică a oxalaților izotopici de U(VI) cristalizați. 25  
27  
29  
31  
33  
35  
37  
39  
41  
43

11. Reactor chimic, conform revendicării 2, **caracterizat prin aceea că** modulul reactor (**G**) extractor de complecși azotați izotopici de Pu(IV) cu rol funcțional de oxidare a azotați izotopici Pu(III) la azotați izotopici Pu(IV) cu reactant oxidant, complexarea azotaților Pu(IV) și extracția în fază organică de trioctilamină cu dodecan solvent, este format din opt 45  
47

# RO 129854 B1

1 unități de transfer de masă în contracurent de faze lichid-lichid, în jurul modulului reactor (**A**),  
și fiecare unitate de transfer este formată dintr-un amestecător de faze (**25**) cubic, cu reacție  
3 de oxidare și complexare, și decantor separator gravitațional de faze (**26**), cubic, în care  
complecșii azotați izotopici Pu(IV) sunt extrași total în fază organică, în fiecare amestecător  
5 de faze (**25**) fiind asamblat demontabil un agitator tip turbină (**27**), cu rol și componență  
similare agitatorului tip turbină (**5**), acționat în rotație de către un mijloc tehnic (**28**), ameste-  
7 cătoarele (**25**) având niște conducte circulare (**25a**, **25b**) asamblate nedemontabil la partea  
superioară, pentru intrarea fazei organice, și, respectiv, la partea inferioară, pentru intrarea  
9 fazei de soluție apoasă azotică oxidantă a azotaților izotopici de Pu(III), Pu(IV), din decan-  
toarele separatoare de faze (**26**), la amestecul heterogen format prin amestecare energetică  
11 fiind pompat radial de agitatoarele tip turbină (**27**) în decantoare (**26**), prin conducte circulare  
(**25c**), asamblate nedemontabil la partea de mijloc, între amestecătoare (**25**), decantoarele  
13 (**26**) fiind dispuse pe cinci rânduri, fiecare decantor (**26**) având o conductă cu robinet/vană  
(**26a**) asamblată nedemontabil la partea inferioară, pentru colectarea de soluție apoasă  
15 azotică reziduală într-un decantor colector (**26**) ce posedă o conductă cu robinet/vană (**9b**)  
comună cu modulul (**C**), asamblată nedemontabil la partea inferioară, pentru evacuarea  
17 soluției apoase într-un vaporizator (**37**) al modulului distilator (**J**), decantorul colector (**26**)  
având și un rotor tip turbină (**29**), pentru pomparea fazei organice de complecși purificați ai  
19 azotaților izotopici de Pu(IV) cu trioctilamină în modulul reextractor (**H**), ce are aceleași  
componente funcționale ca rotorul tip turbină (**7**).

21 12. Reactor chimic, conform revendicării 2, **caracterizat prin aceea că** modulul  
reextractor (**H**) de azotați izotopici de Pu(IV) din fază organică în soluție apoasă azotică este  
23 format din patru unități de transfer de masă în contracurent de faze lichid-lichid în jurul  
modulului reactor (**A**), fiecare unitate de transfer masic fiind formată dintr-un amestecător de  
25 faze (**30**) cubic, și un decantor separator gravitațional de faze (**31**), cubic, în care azotații  
izotopici Pu(IV) sunt separați total de faza organică, și în fiecare amestecător de faze (**30**)  
27 este asamblat demontabil un agitator tip turbină (**32**), cu rol și componente asemănătoare  
agitatorului tip turbină (**5**), acționat în rotație de un mijloc tehnic (**33**), amestecătoarele (**30**)  
29 având niște conducte circulare (**30a**, **30b**) asamblate nedemontabil, la partea superioară,  
pentru intrarea fazei organice, și, respectiv, la partea inferioară, pentru intrarea fazei de solu-  
31 ție apoasă azotică de azotați izotopici de Pu(IV) din decantoarele separatoare gravitațional  
(**31**), amestecul heterogen format prin amestecare energetică fiind pompat radial de niște  
33 agitatoare tip turbină (**32**), în decantoare (**31**), prin niște conducte circulare (**30c**), asamblate  
nedemontabil la partea de mijloc între amestecătoare (**30**) și decantoarele (**31**) dispuse pe  
35 cinci rânduri, fiecare decantor (**31**) având o conductă cu robinet/vană (**31a**) asamblată  
nedemontabil la partea inferioară, pentru colectarea fazei separate într-un alt decantor  
37 colector (**31**) ce posedă, la partea inferioară, o conductă circulară cu robinet/vană (**31b**)  
pentru evacuarea descendentă gravitațională a soluției apoase azotice de azotați izotopici  
39 de Pu(IV) în modulul reactor (**I**) cristalizor, precum și o conductă circulară cu robinet/vană  
(**31c**) pentru evacuare descendentă gravitațională a fazei organice de trioctilamină cu  
41 dodecan solvent în modulul (**G**) de reprocesare izotopică prin recirculare.

13. Reactor chimic, conform revendicării 2, **caracterizat prin aceea că** în modulul  
43 reactor (**I**) generator de oxalați izotopici de Pu(IV) prin reacția chimică a azotaților izotopici  
de Pu(IV) cu acid oxalic reactant, și cristalizarea oxalaților prin vaporizarea în vid a apei  
45 acidului azotic produs de reacție, având manta termică cilindrică de încălzire a masei radio-  
chimice de reacție la temperatura de proces, este asamblat demontabil un rotor cilindric (**34**)  
47 de recirculare ascendentă și descendentă, elicoidală, a soluției apoase azotice de azotați și

# RO 129854 B1

oxalați izotopici de Pu(IV), acționat în rotație de un mijloc tehnic (35), rotorul cilindric (34) fiind format dintr-un ax rotor (34a) pe care sunt asamblate nedemontabil opt palete de turbină (34b) înclinate ascendent sub unghiuri de 30...45° față de orizontală, în interiorul unei tubulaturi cilindrice verticale (34c), pentru pomparea ascendentă verticală a masei radiochimice de reacție, și ejectarea acesteia prin patru orificii dreptunghiulare (34d), de la partea superioară a tubulaturii (34c), pentru curgerea descendentă elicoidală pe suprafața interioară de transfer termic a reactorului (I), alte patru palete dreptunghiulare verticale (34e) fiind asamblate nedemontabil pe circumferința exterioară a tubulaturii (34c), sub unghiuri de 90°, pentru recircularea continuă și vaporizarea completă a apei și acidului azotic, vaporii produși urcând ascendent prin conducta de vapori (42b), condensarea acestora fiind realizată într-un bazin condensator (42f) al modulului distilator (J), modulul reactor (I) având în interior, la partea inferioară, un colector cilindric (36) pentru introducerea în proces de reactant solid tip acid oxalic, și stocarea periodică a oxalaților izotopici de Pu(IV) cristalizați. 1

14. Reactor chimic, conform revendicării 1 sau 2, **caracterizat prin aceea că** modulul distilator (J) are un vaporizator (37) cilindro-paralelipipedic vertical, cu manta termică de încălzire, pentru vaporizarea în vid a apei și acidului azotic, concentrarea soluției azotice și separarea sărurilor radioactive metalice, în vaporizatorul (37) fiind asamblat demontabil un rotor cilindric vertical (38), acționat în rotație de un mijloc tehnic (40) pentru recirculare ascendent-descendentă elicoidală a soluției apoase azotice de săruri radioactive, și format dintr-un ax rotor (38a) pe care sunt asamblate nedemontabil opt palete de turbină (38b) înclinate sub unghiuri de 30...45° față de orizontală, și pe aceste palete (38b) și pe ax (38a) este asamblată nedemontabil o tubulatură cilindrică verticală (38c), pentru pompare ascendentă verticală a soluției cu palete (38b), și ejectarea soluției prin patru orificii dreptunghiulare (38d), distanțate sub unghi de 90° la partea superioară a tubulaturii (38c), pe circumferința acesteia, vaporizatorul (37) având în interior, la partea inferioară, un colector cilindric (41) cu rol de container pentru săruri radioactive obținute la reprocessarea izotopică a combustibilului nuclear iradiat, precum și un rotor (39) de recirculație de agent termic caloportor prin mantaua vaporizatorului (37) și prin niște conducte circulare orizontale (37a), într-un generator termic, rotorul (39) fiind acționat în rotație de un mijloc tehnic (40) prin angrenaj cilindric de roți cu curele trapezoidale, și fiind format dintr-un ax rotor (39a) pe care sunt asamblate nedemontabil patru palete dreptunghiulare verticale (39b), sub unghi de 90°, cu scop de recirculare continuă, în plan orizontal, prin manta, a agentului caloportor. 15

15. Reactor chimic nuclear reprocessor izotopic, conform revendicărilor 1 și 2, **caracterizat prin aceea că** modulul distilator (J) are un condensator (42) format dintr-o cameră paralelipipedică de amestec lichid-vapori cu ajutor (42a) ce posedă niște conducte de vapori de apă și acid azotic și o conductă circulară (42b) de vapori generați în modulul reactor (I), o conductă circulară (42c) de vapori generați în modulul reactor (F), o conductă circulară (42d) de vapori generați în vaporizator (37), condensatorul (42) având și un ejector cilindro-conic (42e) vertical, pentru ejectarea de soluție apoasă azotică într-un bazin paralelipipedic condensator (42f), cu manta de răcire, și cu rol de recirculare de soluție apoasă azotică cu o electropompă (43), printr-o conductă verticală circulară (44), în camera de amestec cu ajutor (42a) și ejector (42e), pentru realizarea de vid în modulele reactor (I, F), vaporizatorul (37) având rol de concentrare de soluție apoasă azotică la recircularea fluidului printr-o conductă circulară cu robinet/vană (42g), și de alimentare a modulului reactor (A) cu soluție apoasă azotică reactivă, prin conductele circulare cu robinete/vane (42h, 1d). 33

(51) Int.Cl.

*B01D 59/22* (2006.01);

*G21C 19/00* (2006.01);

*G21C 1/03* (2006.01)

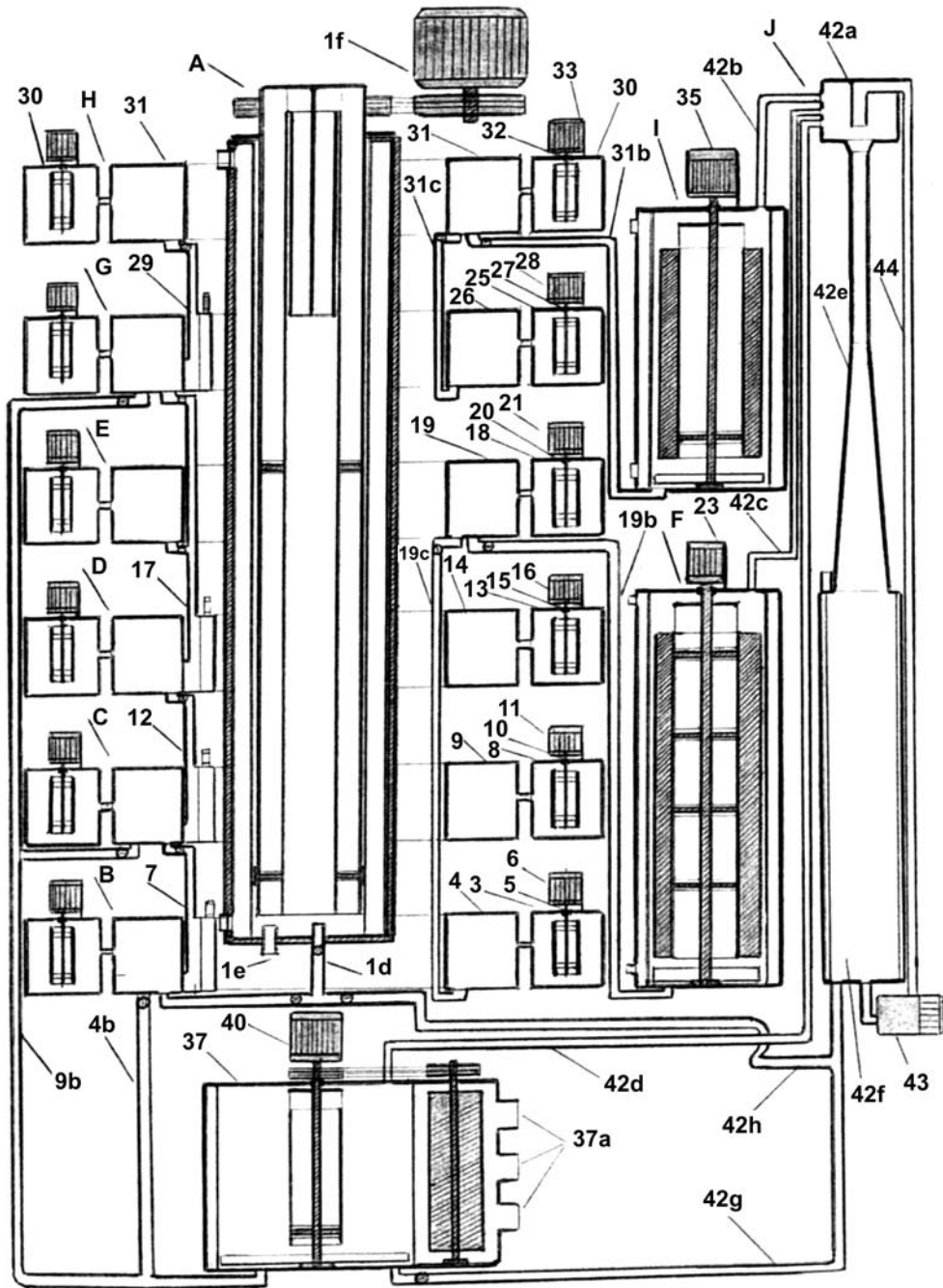


Fig. 1



(51) Int.Cl.

**B01D 59/22** (2006.01);

**G21C 19/00** (2006.01);

**G21C 1/03** (2006.01)

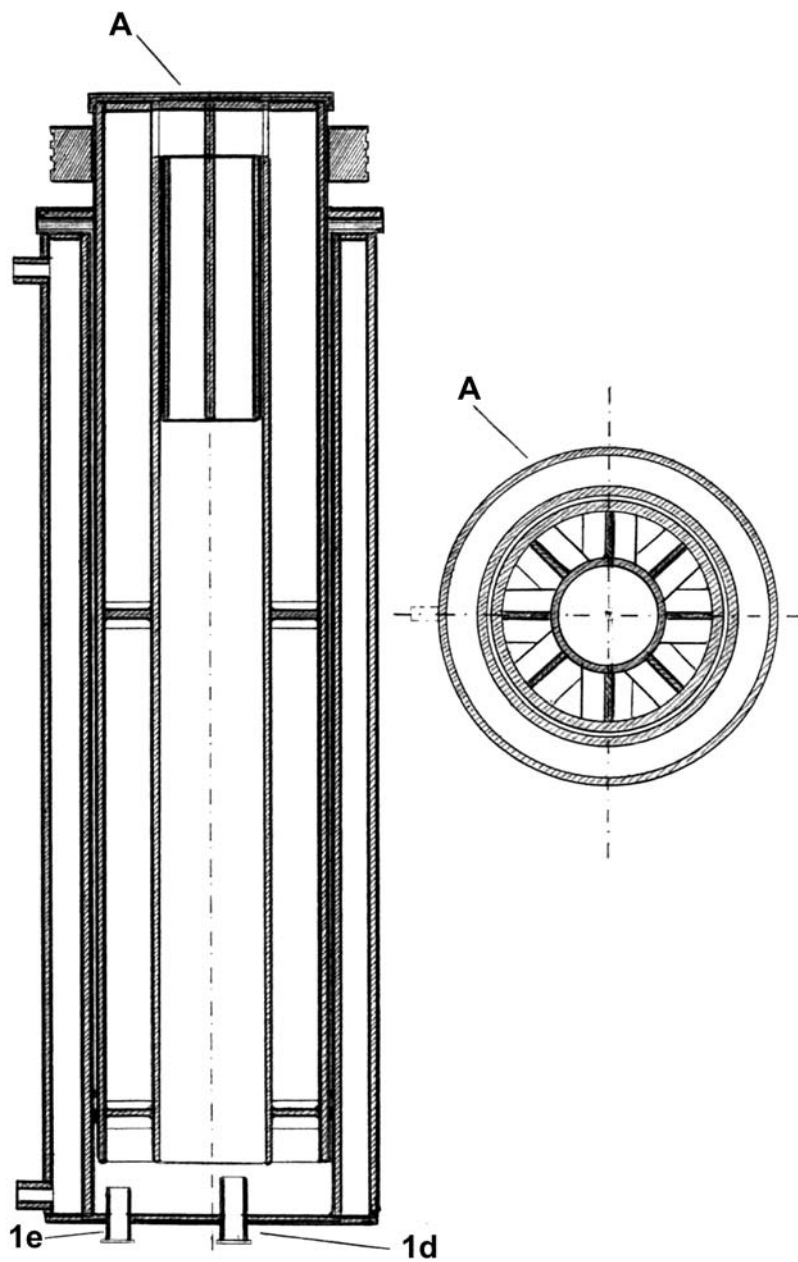


Fig. 2

(51) Int.Cl.

**B01D 59/22** (2006.01);

**G21C 19/00** (2006.01);

**G21C 1/03** (2006.01)

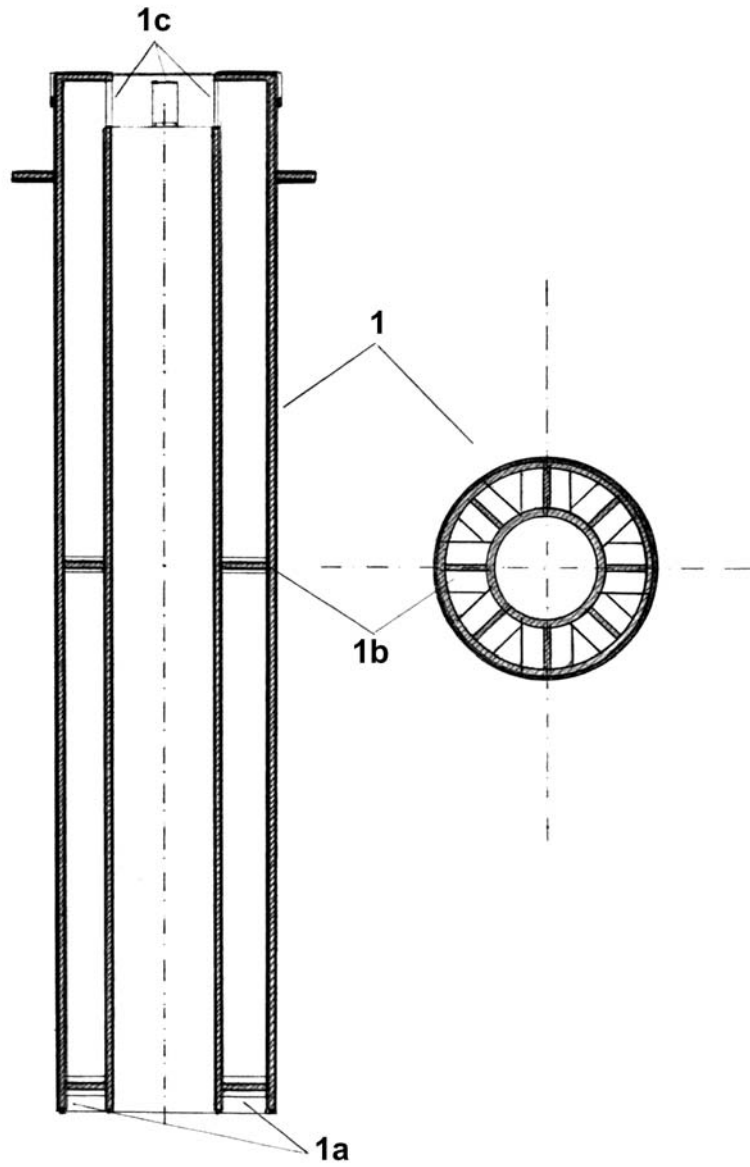


Fig. 3

(51) Int.Cl.

**B01D 59/22** (2006.01);

**G21C 19/00** (2006.01);

**G21C 1/03** (2006.01)

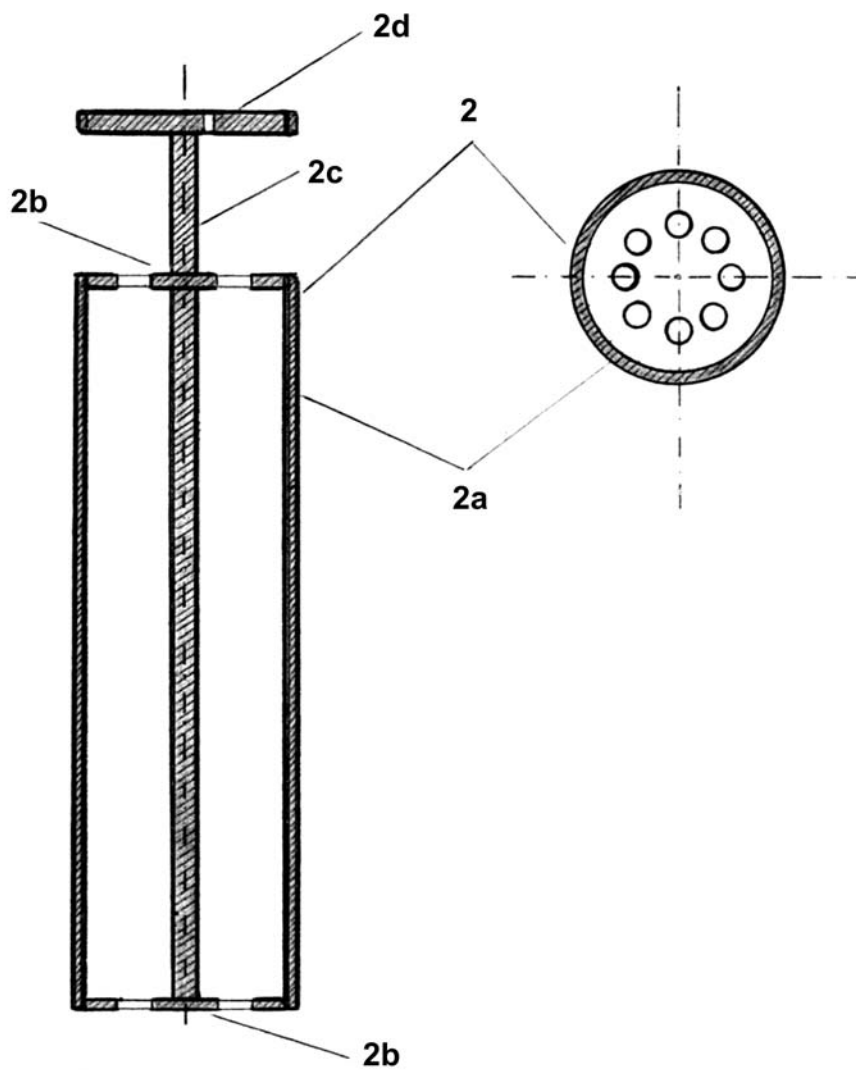


Fig. 4

(51) Int.Cl.

*B01D 59/22* (2006.01);

*G21C 19/00* (2006.01);

*G21C 1/03* (2006.01)

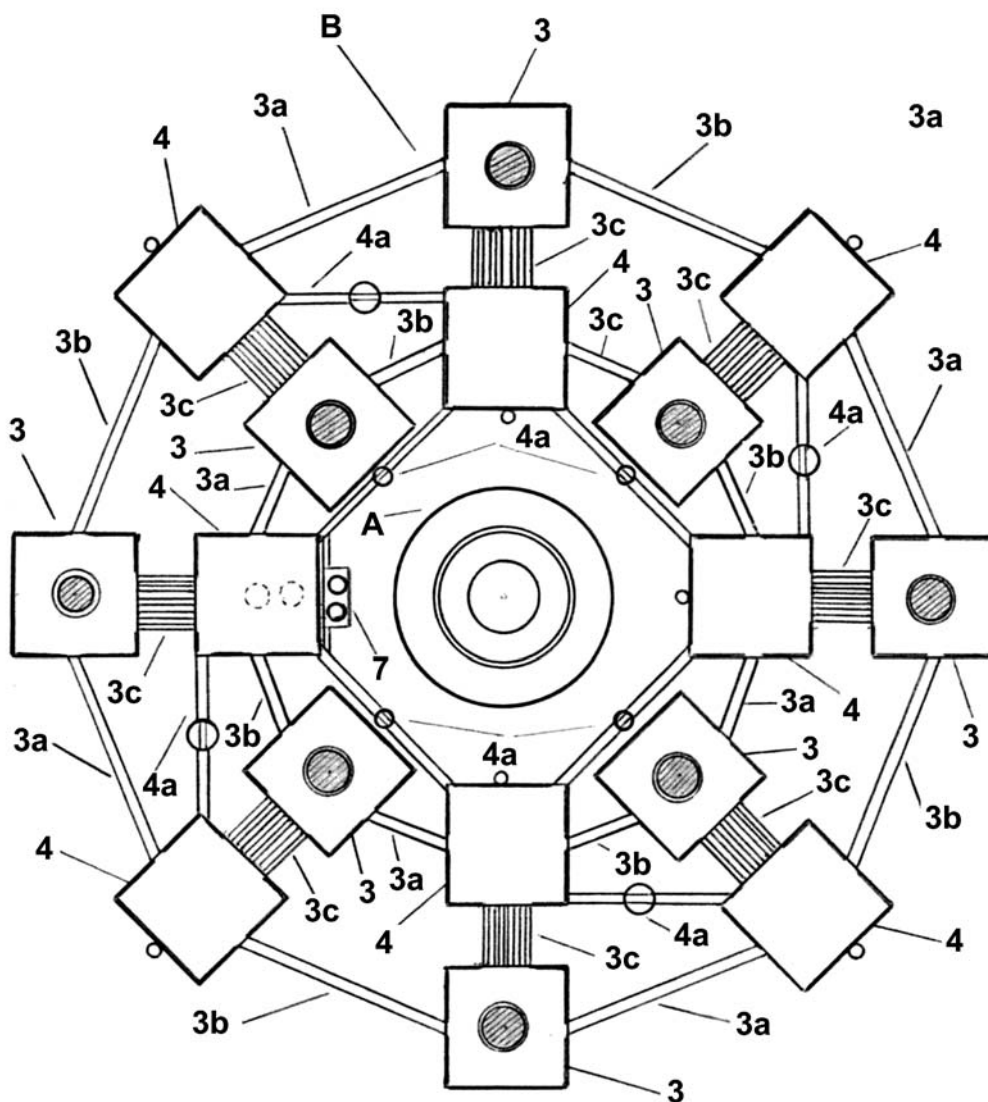


Fig. 5

(51) Int.Cl.

**B01D 59/22** (2006.01);

**G21C 19/00** (2006.01);

**G21C 1/03** (2006.01)

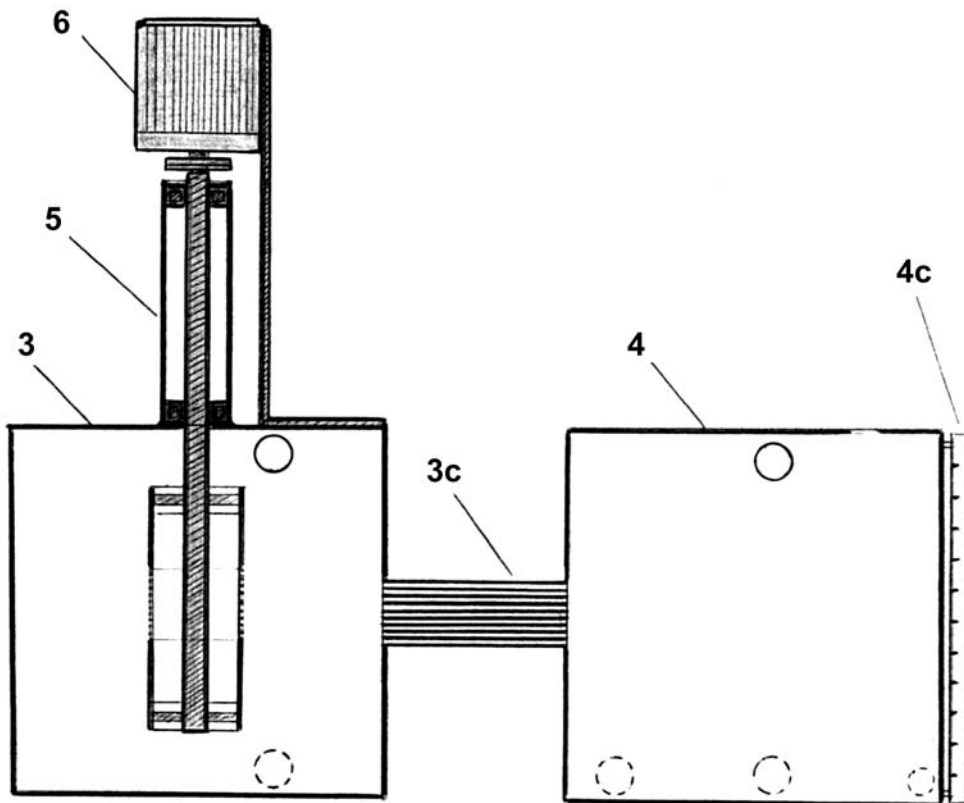


Fig. 6

(51) Int.Cl.

**B01D 59/22** (2006.01);

**G21C 19/00** (2006.01);

**G21C 1/03** (2006.01)

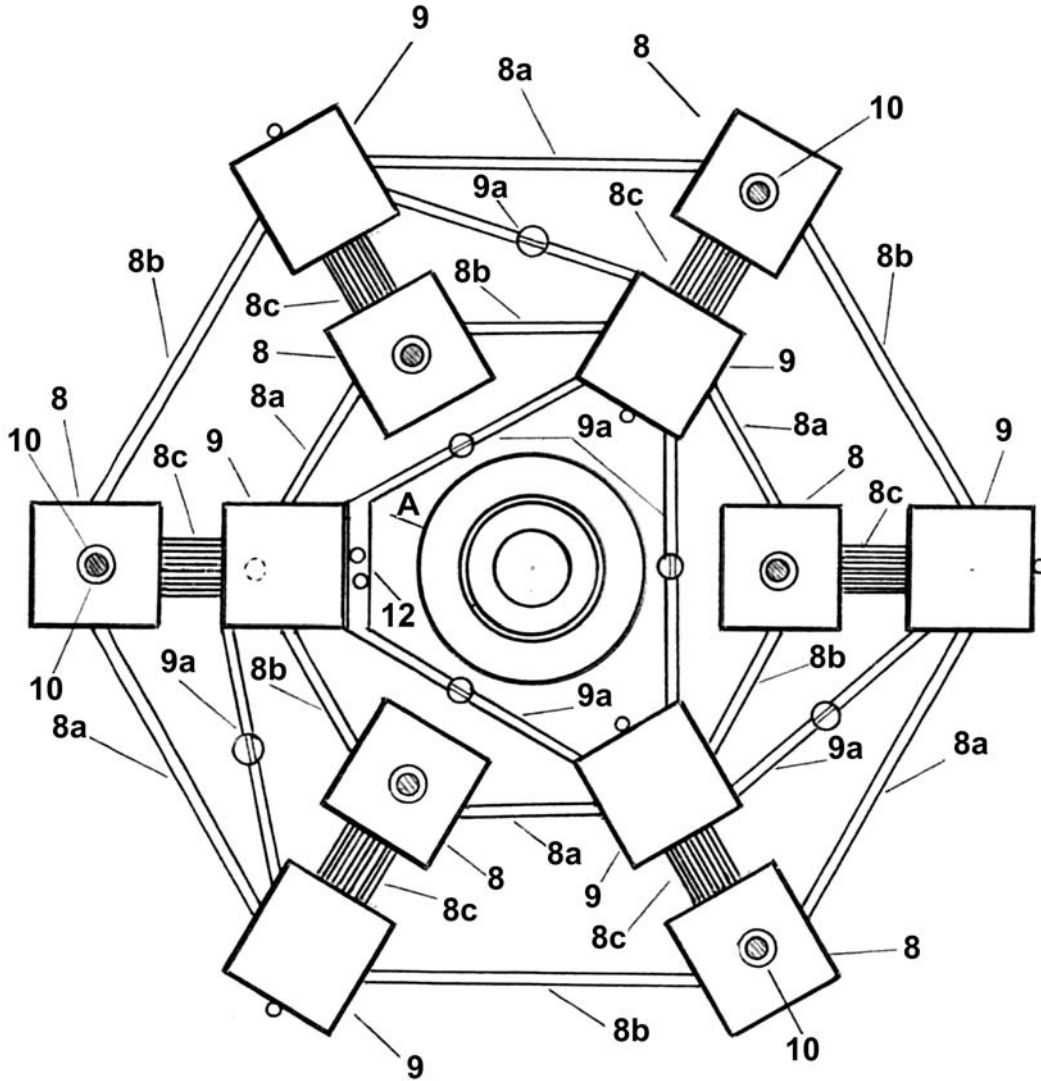


Fig. 7

(51) Int.Cl.

*B01D 59/22* (2006.01);

*G21C 19/00* (2006.01);

*G21C 1/03* (2006.01)

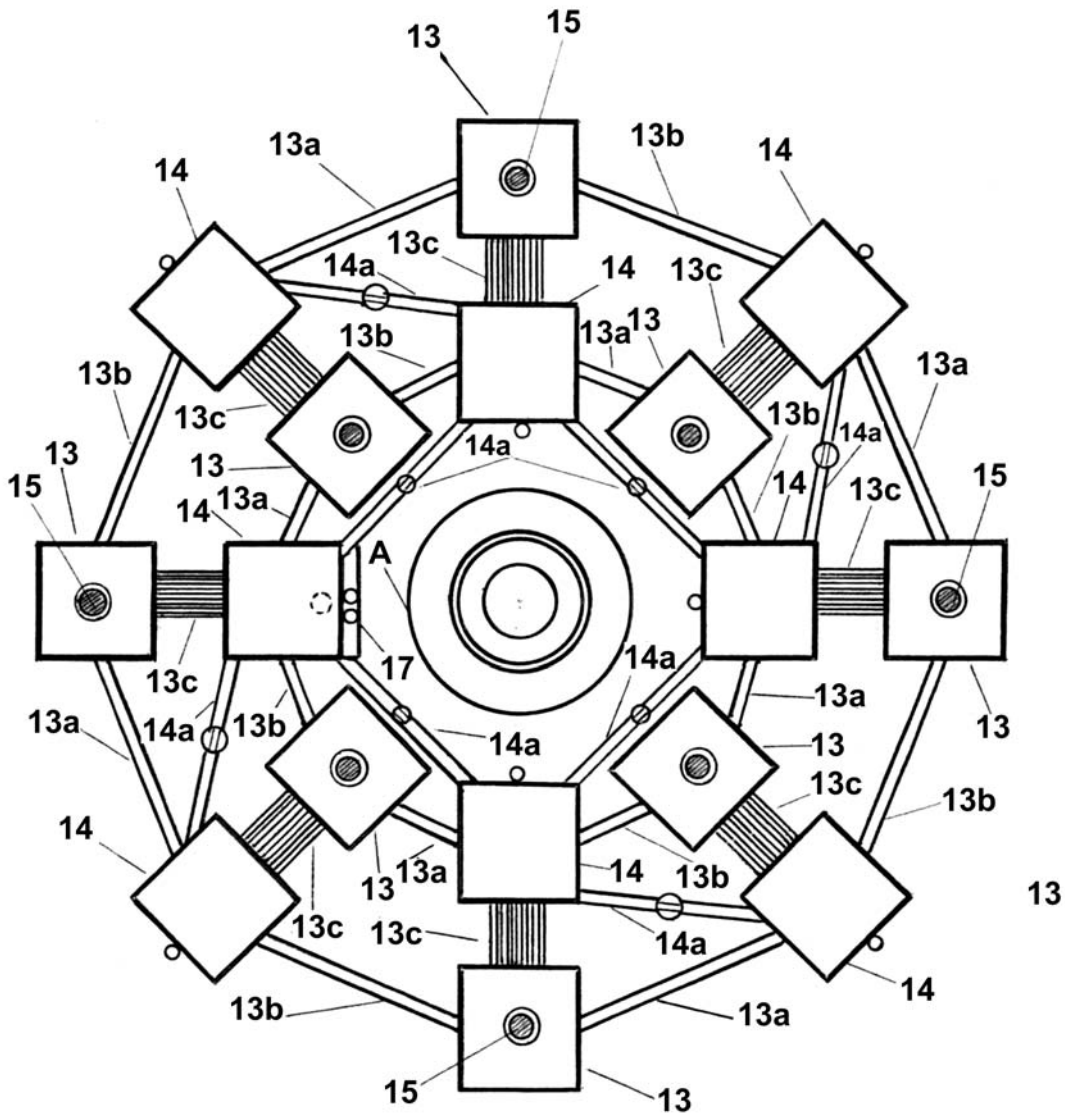


Fig. 8

(51) Int.Cl.

*B01D 59/22* (2006.01);

*G21C 19/00* (2006.01);

*G21C 1/03* (2006.01)

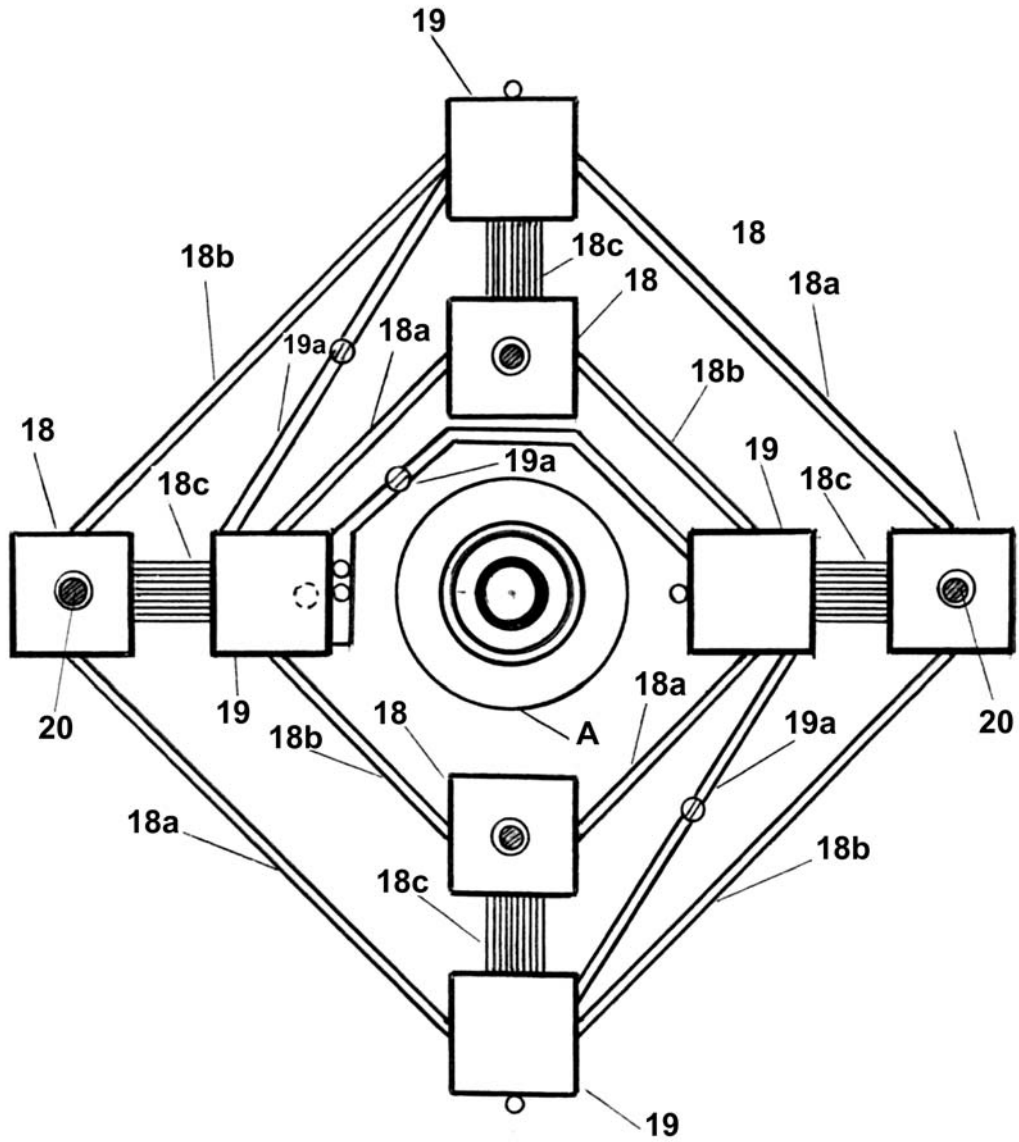


Fig. 9



(51) Int.Cl.

**B01D 59/22** (2006.01);

**G21C 19/00** (2006.01);

**G21C 1/03** (2006.01)

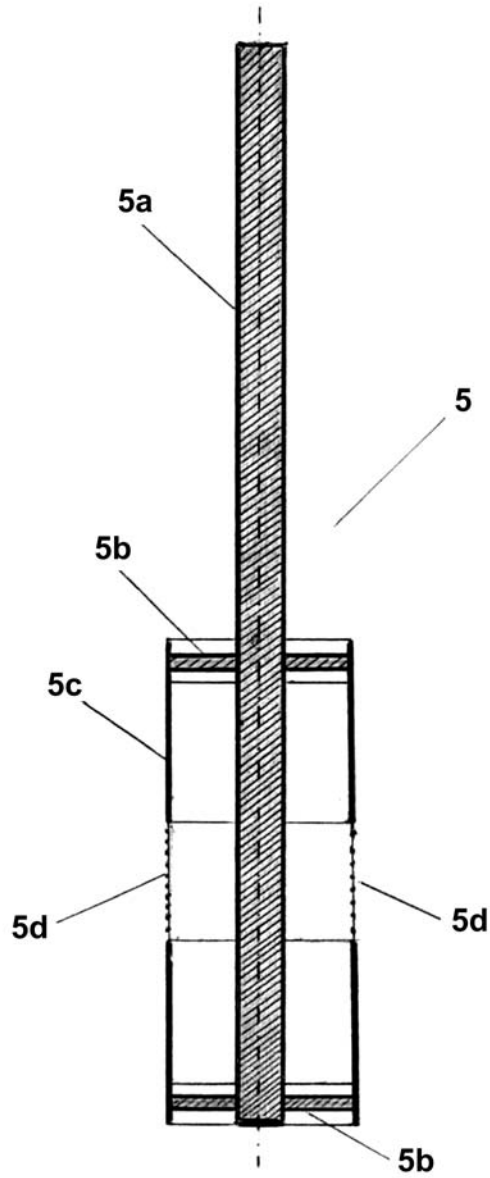


Fig. 10

(51) Int.Cl.

*B01D 59/22* (2006.01);

*G21C 19/00* (2006.01);

*G21C 1/03* (2006.01)

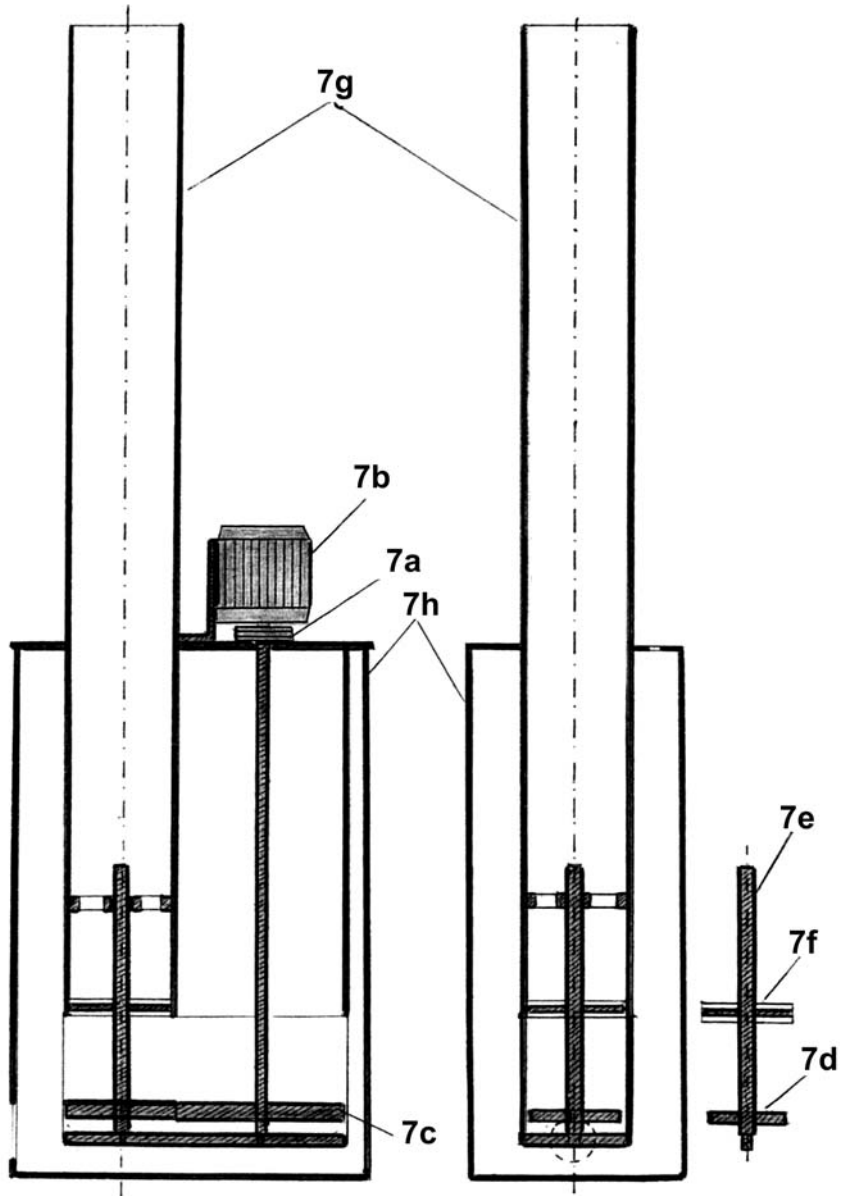


Fig. 11

(51) Int.Cl.

*B01D 59/22* (2006.01);

*G21C 19/00* (2006.01);

*G21C 1/03* (2006.01)

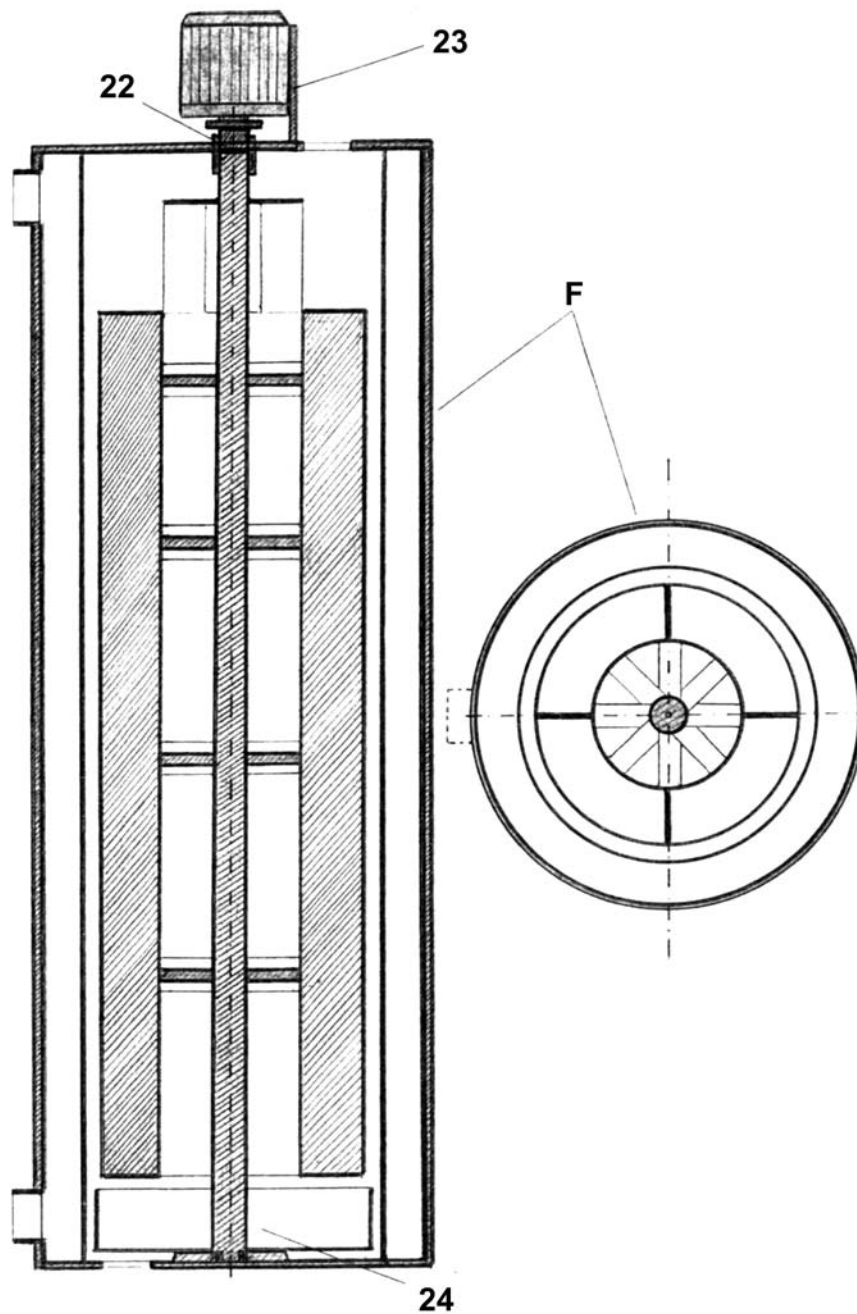


Fig. 12

(51) Int.Cl.

*B01D 59/22* (2006.01);

*G21C 19/00* (2006.01);

*G21C 1/03* (2006.01)

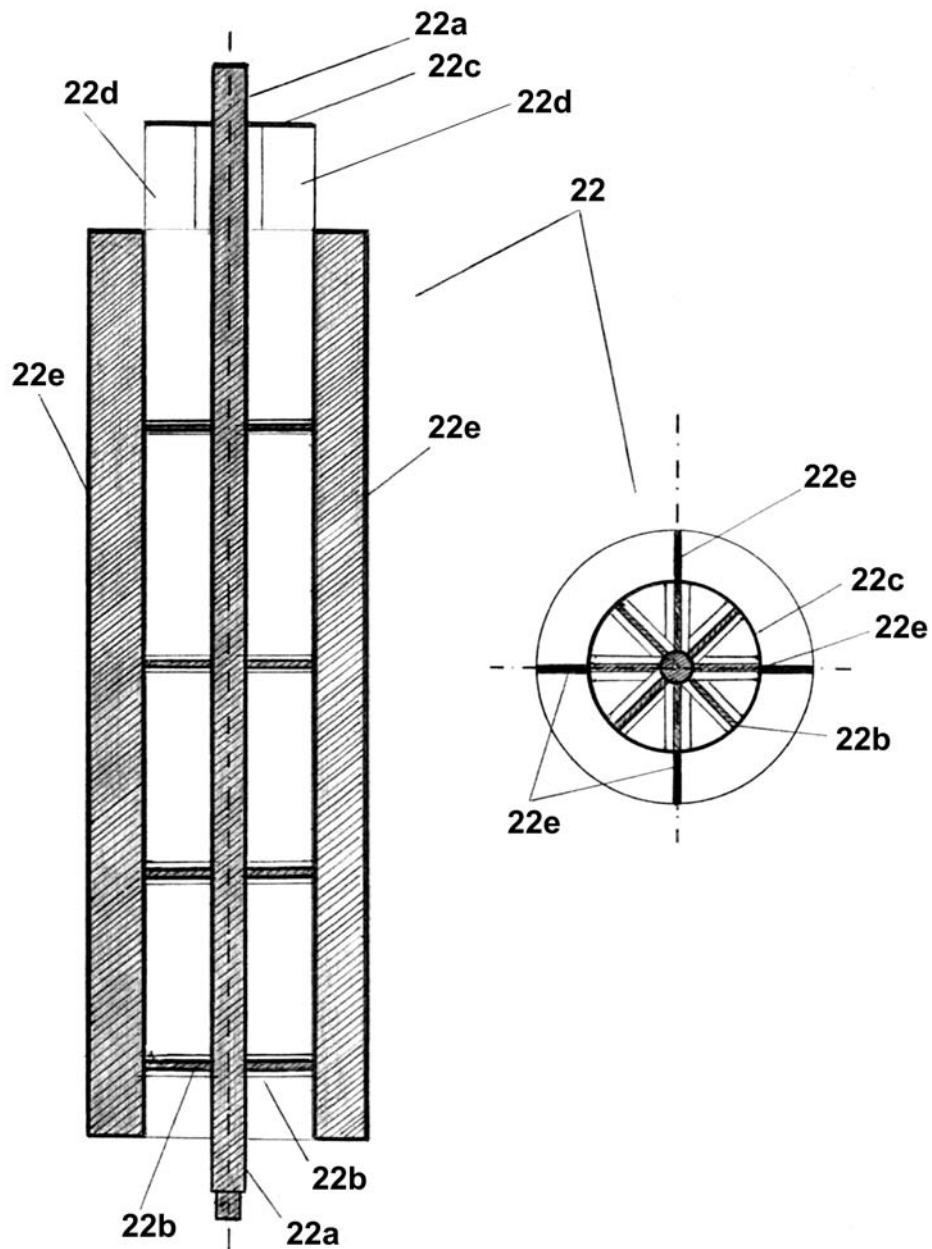


Fig. 13

(51) Int.Cl.

*B01D 59/22* (2006.01);

*G21C 19/00* (2006.01);

*G21C 1/03* (2006.01)

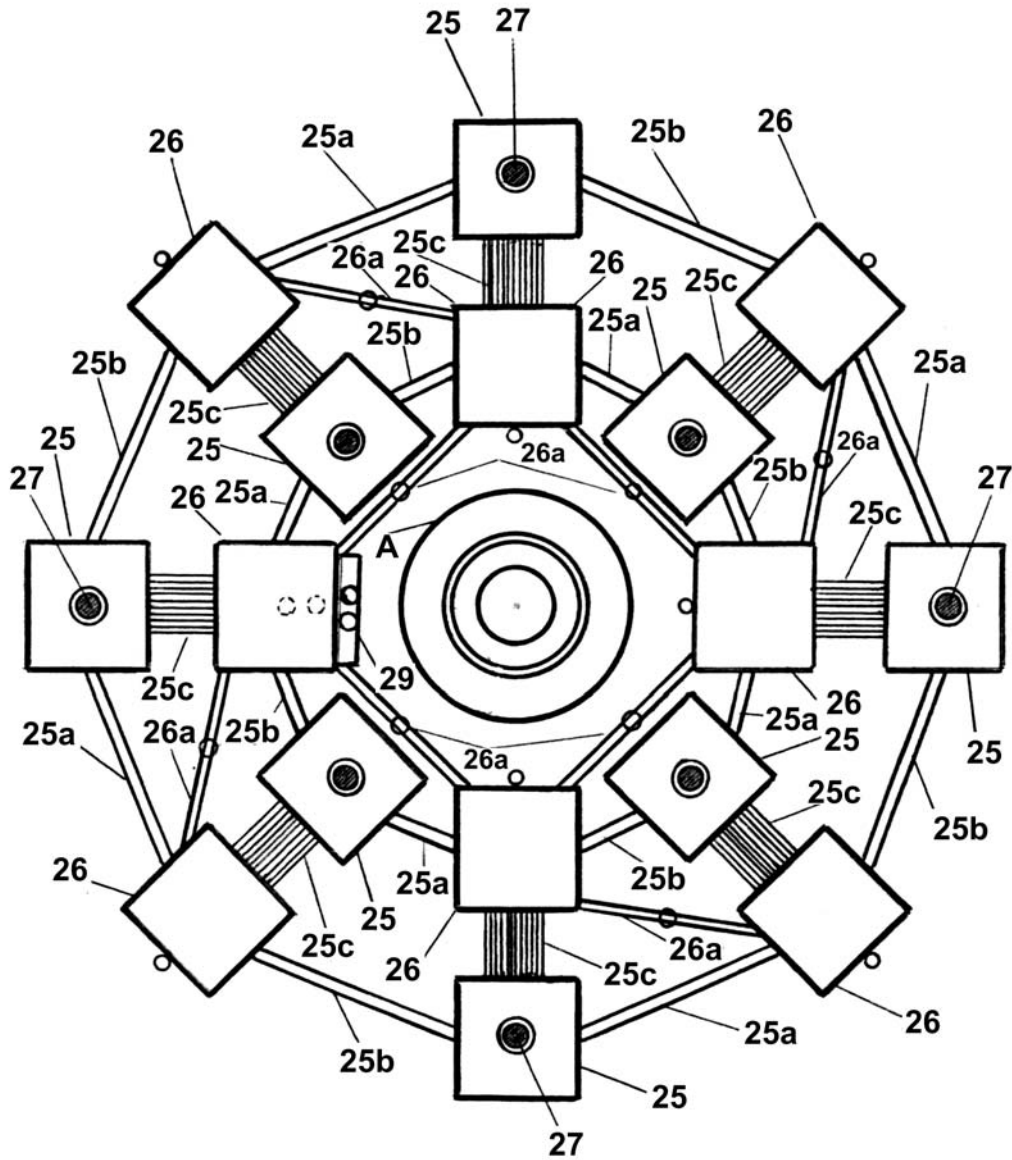


Fig. 14

(51) Int.Cl.

*B01D 59/22* (2006.01);

*G21C 19/00* (2006.01);

*G21C 1/03* (2006.01)

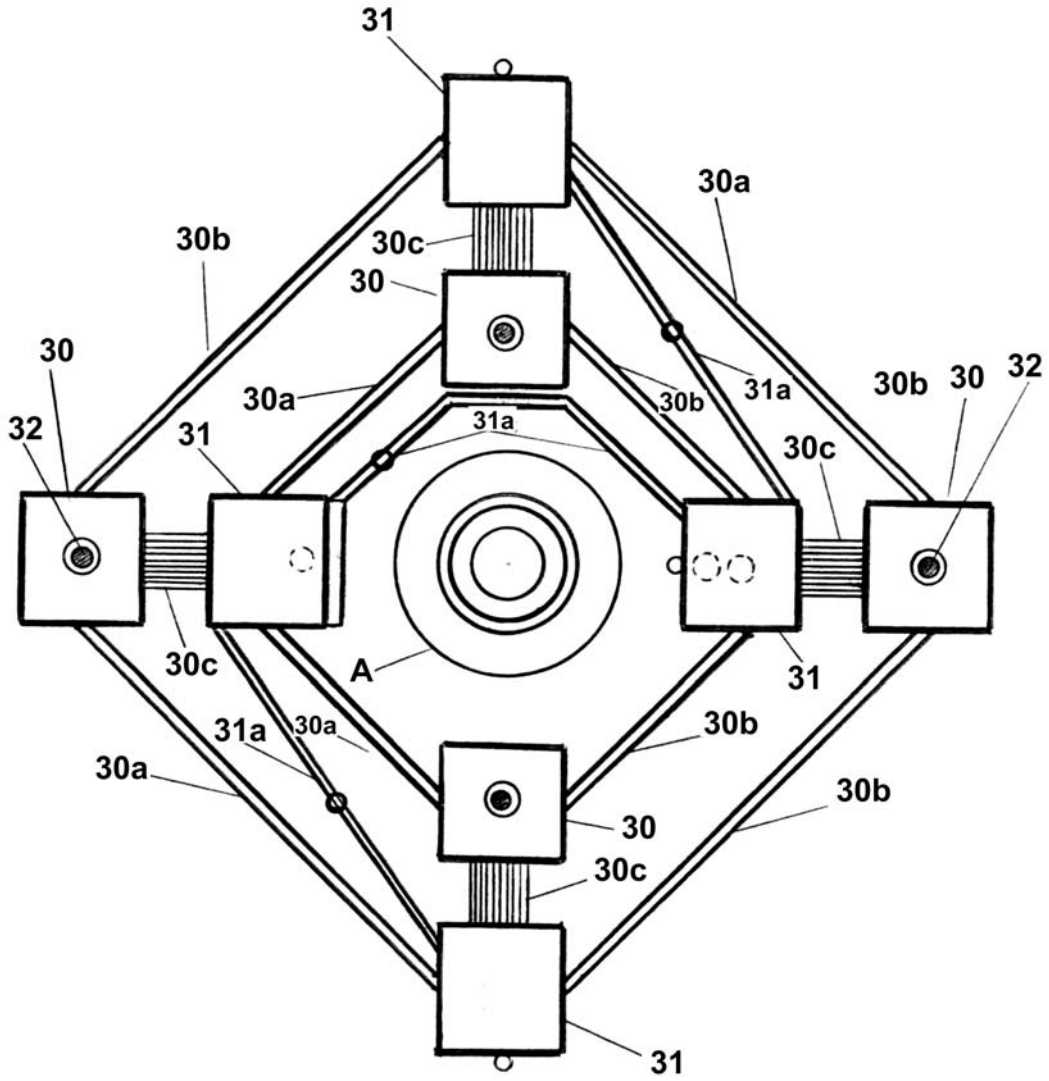


Fig. 15

(51) Int.Cl.

*B01D 59/22* (2006.01);

*G21C 19/00* (2006.01);

*G21C 1/03* (2006.01)

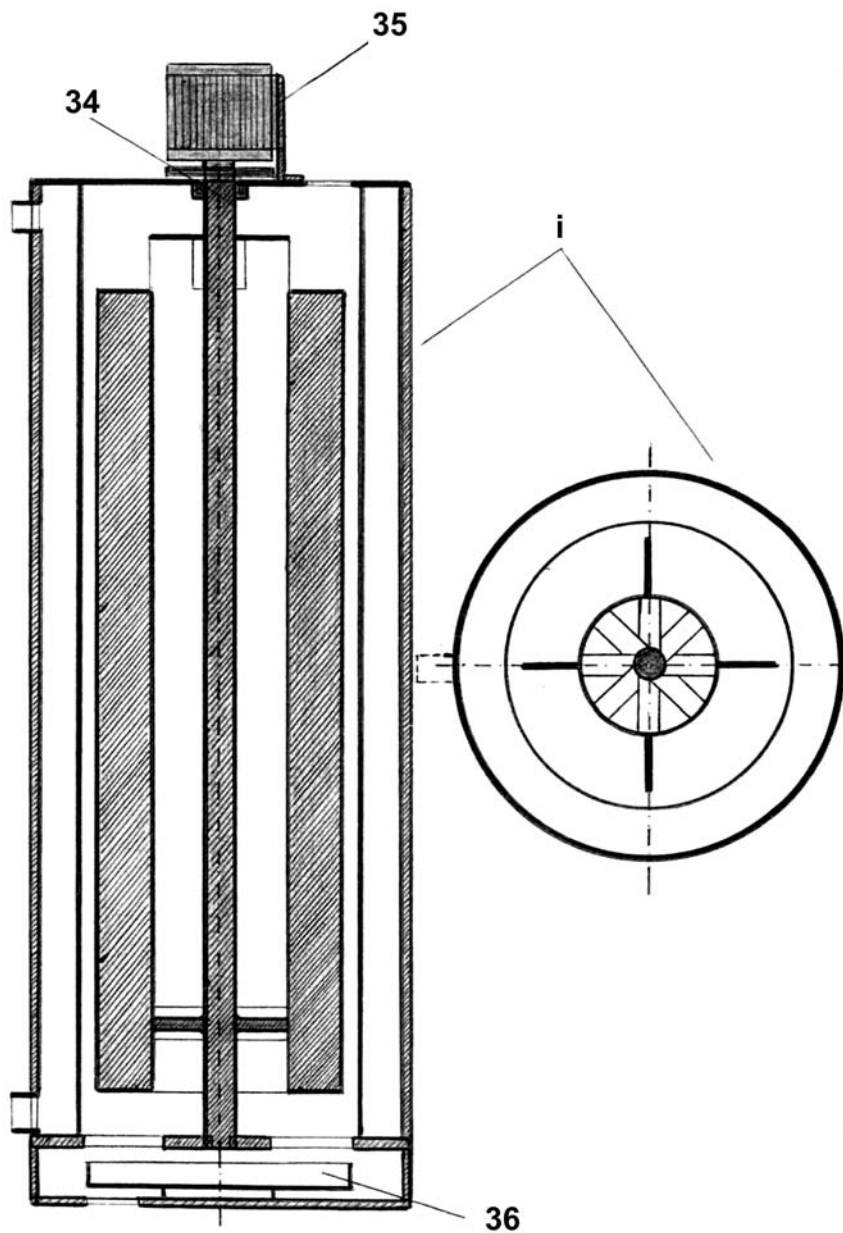


Fig. 16

(51) Int.Cl.

*B01D 59/22* (2006.01);

*G21C 19/00* (2006.01);

*G21C 1/03* (2006.01)

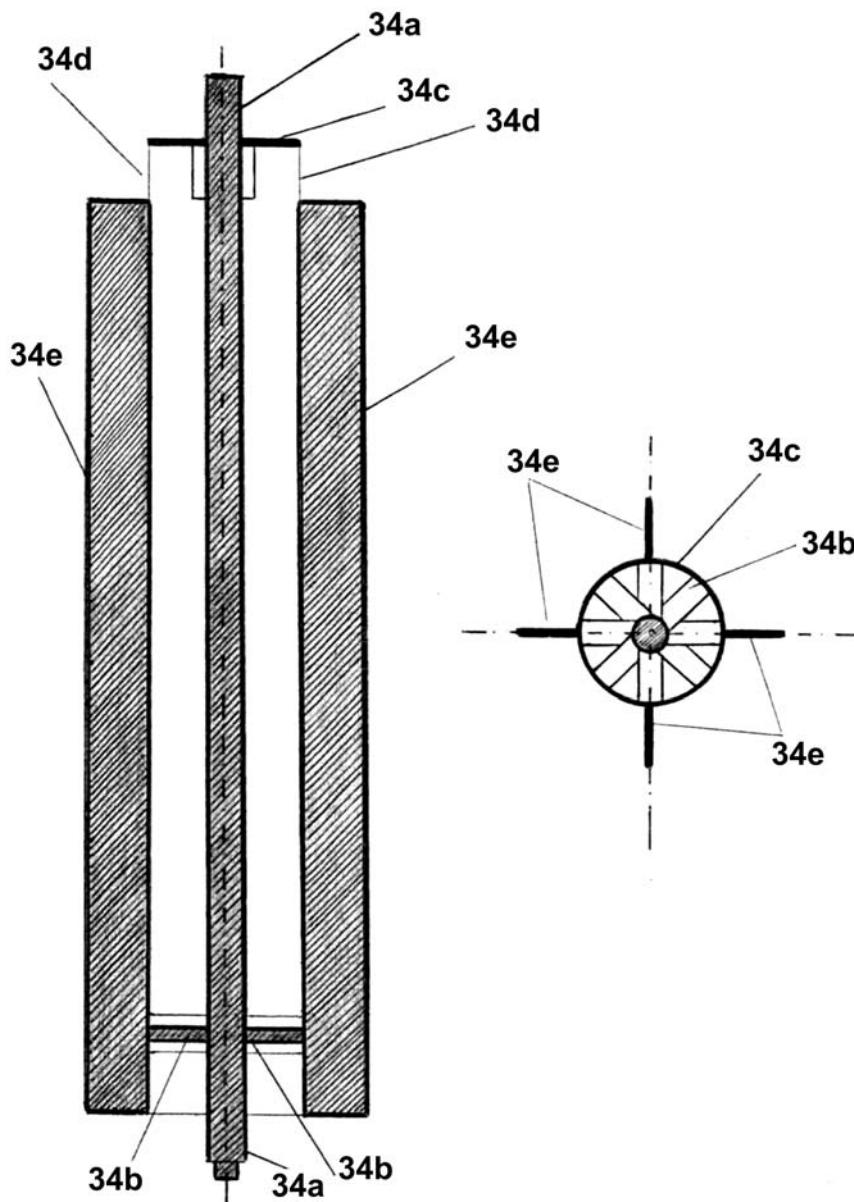


Fig. 17



(51) Int.Cl.

*B01D 59/22* (2006.01);

*G21C 19/00* (2006.01);

*G21C 1/03* (2006.01)

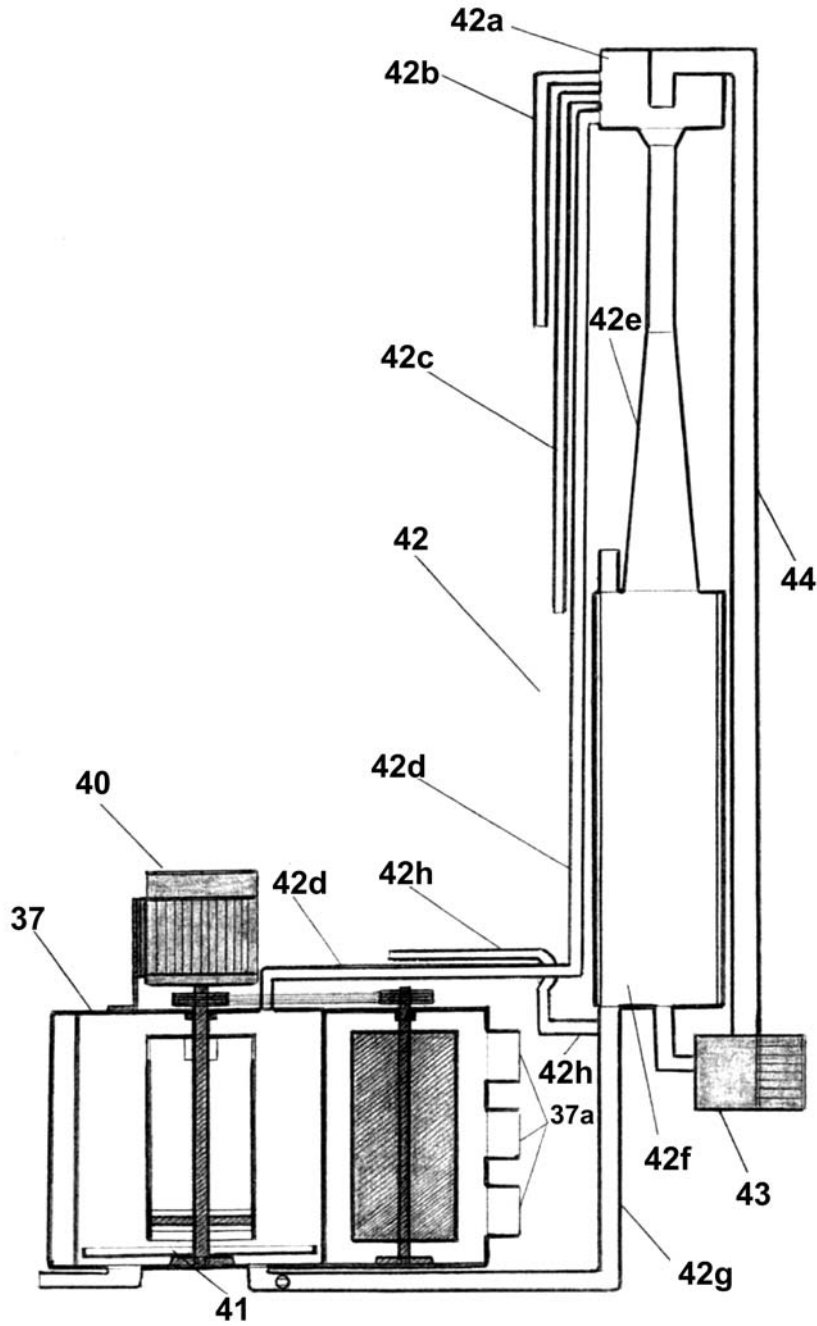


Fig. 18

(51) Int.Cl.

**B01D 59/22** (2006.01);

**G21C 19/00** (2006.01);

**G21C 1/03** (2006.01)

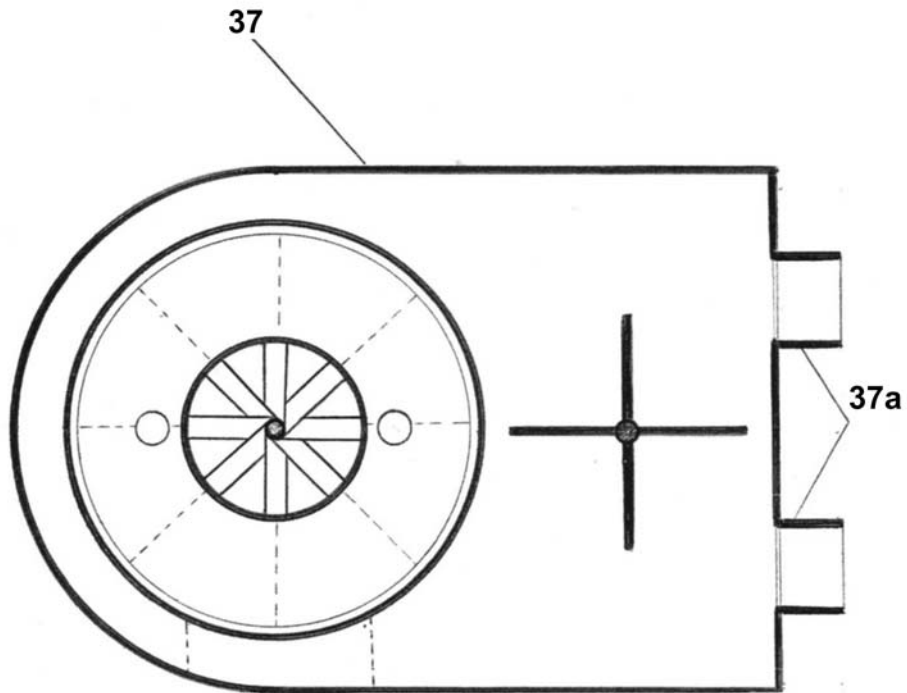


Fig. 19

(51) Int.Cl.

**B01D 59/22** (2006.01);

**G21C 19/00** (2006.01);

**G21C 1/03** (2006.01)

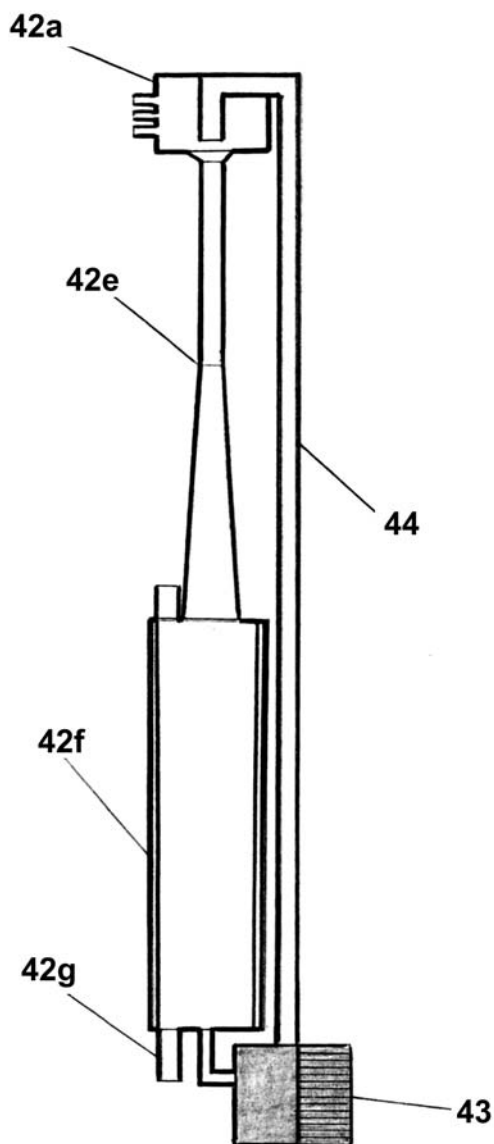


Fig. 20

(51) Int.Cl.

*B01D 59/22* (2006.01);

*G21C 19/00* (2006.01);

*G21C 1/03* (2006.01)

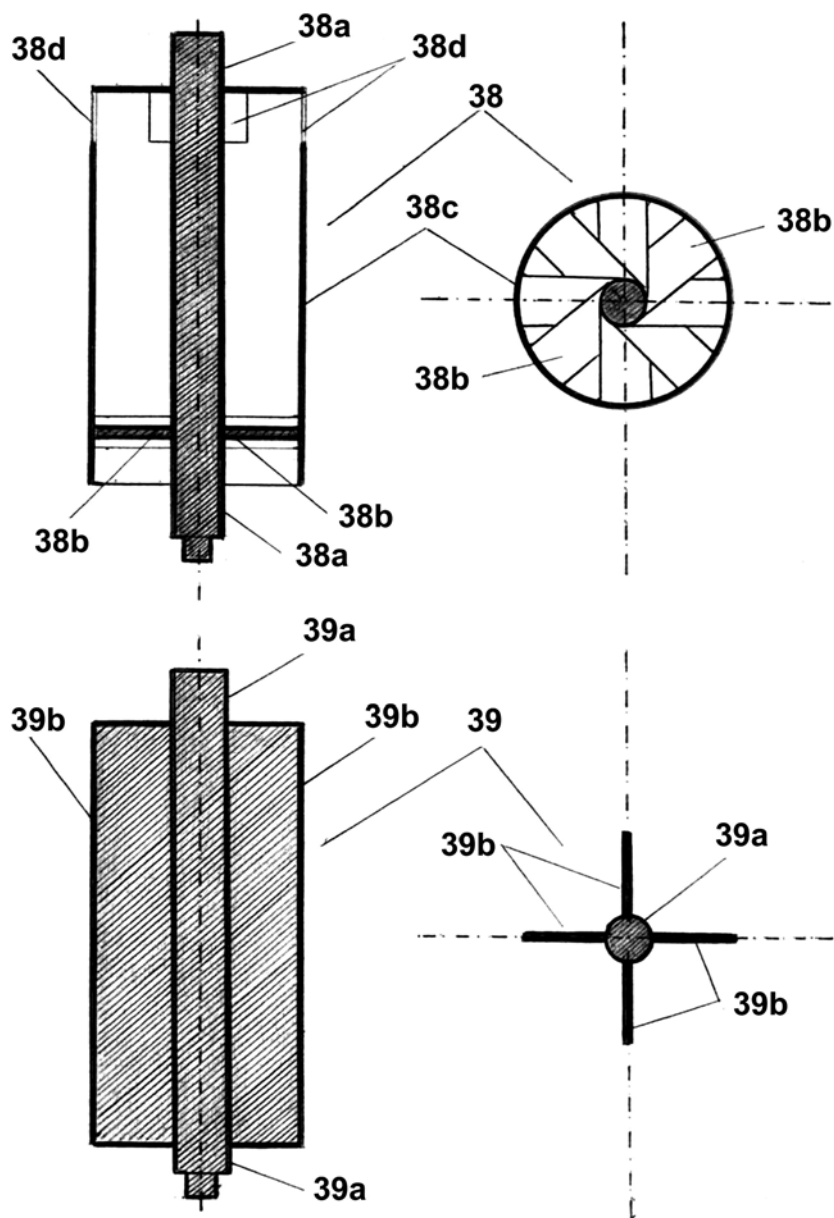


Fig. 21



Editare și tehnoredactare computerizată - OSIM  
Tipărit la: Oficiul de Stat pentru Invenții și Mărci  
sub comanda nr. 216/2019