



(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2013 00362

(22) Data de depozit: 15.11.2010

(41) Data publicării cererii:
30.01.2014 BOPI nr. 1/2014

(86) Cerere internațională PCT:
Nr. IB 2010/002915 15.11.2010

(87) Publicare internațională:
Nr. WO 2012/066368 24.05.2012

(71) Solicitant:
• ATOMIC ENERGY OF CANADA LIMITED,
2251 SPEAKMAN DRIVE, MISSISSAUGA,
ONTARIO, CA

(72) Inventatori:
• KURAN SERMET, 946 PORCUPINE
AVENUE, MISSISSAUGA, ONTARIO, CA;

• BOUBCHER MUSTAPHA,
4680 BRACKNELL ROAD, BURLINGTON,
ONTARIO, CA;
• COTTRELL CATHY, 79 THOROUGHbred
BOULEVARD, ANCASTER, ONTARIO, CA,
CA

(74) Mandatar:
NESTOR NESTOR DICULESCU KINGSTON
PETERSEN - CONSILIERE ÎN P.I. S.R.L.,
ȘOS. BUCUREȘTI PLOIEȘTI NR. 1A,
BUCHAREST BUSINESS PARK, CORP A,
ET. 1, CAMERELE 9 ȘI 10, BUCUREȘTI

(54) COMBUSTIBIL NUCLEAR CONȚINÂND URANIU RECICLAT
ȘI SĂRĂCIT, ȘI FASCICUL DE COMBUSTIBIL NUCLEAR ȘI
REACTOR NUCLEAR CUPRINZÂND UN ASTFEL DE
FASCICUL

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un combustibil nuclear cu conținut de uraniu natural și sărăcit. Combustibilul nuclear, conform invenției, cuprinde o primă componentă de combustibil de uraniu reciclat, și o a doua componentă de combustibil de uraniu sărăcit sau de uraniu natural, amestecată cu prima componentă de combustibil, în

care prima și a doua componentă de combustibil, amestecate, au un conținut fisionabil de mai puțin de 1,2% în greutate ²³⁵U.

Revendicări: 26



COMBUSTIBIL NUCLEAR CU CONȚINUT DE URANIU RECICLAT ȘI SĂRĂCIT, ȘI FASCICUL DE COMBUSTIBIL NUCLEAR ȘI REACTOR NUCLEAR CONȚINÂND UN ASTFEL DE FASCICUL.

GENERALITĂȚI PRIVIND INVENȚIA

Reactoarele nucleare generează energie printr-o reacție nucleară în lanț (i.e., fisiune nucleară) prin care un neutron liber este absorbit de nucleul unui atom fisionabil, precum Uranium-235 (^{235}U). Când neutronul liber este absorbit, atomul fisionabil se scindează în atomi mai ușori și eliberează mai mulți neutroni liberi care se absorb de către alți atomi fisionabili, generând o reacție nucleară în lanț, după cum este bine înțeles din stadiul tehnicii. Energia termică eliberată prin reacția nucleară în lanț este convertită în energie electrică prin intermediul unei serii de alte procese, de asemenea, cunoscute specialiștilor în domeniu.

Apariția reactoarelor cu putere nucleară adaptate să ardă combustibil nuclear având niveluri cu conținut fisionabil scăzut (ex., atât de scăzut cât cel al uraniului natural) a generat multe noi surse de combustibil nuclear inflamabil. Aceste surse includ deșeuri de uraniu sau uraniu reciclat din alte reactoare. Acest lucru nu este numai atractiv din punct de vedere al costurilor, dar și din punct de vedere al capacității de a recicla, în esență, uraniul uzat, reintroducându-l în ciclul combustibilului. Reciclarea combustibilului nuclear uzat reprezintă un contrast puternic față de stocarea acestuia în instalații scumpe și cu contaminare limitată cu deșeuri nucleare.

Pentru aceste motive, precum și pentru orice alte motive, combustibilul nuclear și tehnologiile de procesare a combustibilului nuclear care susțin practicile de reciclare a combustibilului nuclear și de ardere a respectivului combustibil în reactoare nucleare continuă să reprezinte o dezvoltare binevenită a stadiului tehnicii.

REZUMAT

În unele moduri de realizare a prezentei invenții, se asigură un combustibil pentru un reactor nuclear, care cuprinde o primă componentă de combustibil de uraniu reciclat; și o a doua componentă de combustibil de uraniu sărăcit amestecat cu prima componentă de combustibil, în care prima și a doua componentă de combustibil amestecat au un conținut fisionabil de mai puțin de 1,2% în greutate ^{235}U .

Unele moduri de realizare a prezentei invenții asigură un combustibil pentru un reactor nuclear, în care combustibilul conține o primă componentă de combustibil de uraniu reciclat; și o a doua componentă de combustibil de uraniu natural amestecat cu prima componentă de combustibil, în care prima și a doua componentă de combustibil amestecate au conținut fisionabil de mai puțin de 1,2% în greutate ^{235}U .

Alte aspecte ale prezentei invenții vor rezulta în urma analizării descrierii detaliate și a desenelor care însoțesc descrierea.

DESCRIERE DETALIATĂ

Înainte ca fiecare dintre modurile de realizare a invenției să fie explicate în detaliu, trebuie să se înțeleagă că invenția nu este limitată în aplicarea sa la detaliile modului de realizare și a aranjamentelor prezentate în descrierea următoare sau ilustrate în desenele însoțitoare. Invenția se poate realiza și în alte moduri de realizare și poate să fie practică și să fie realizată în diferite feluri.

În prezenta este dezvăluit un număr de combustibili nucleari conform diferitelor moduri de realizare a prezentei invenții. Acești combustibili pot fi utilizați într-o varietate de reactoare nucleare și sunt descriși aici prin referință la reactoarele cu apă grea sub presiune. Astfel de reactoare pot avea, spre exemplu, tuburi orizontale sau verticale sub presiune în care este poziționat combustibilul. Un exemplu de un astfel de reactor este un reactor nuclear Canadian Deuterium Uranium (CANDU). Alte tipuri de reactoare pot avea tuburi orizontale sau verticale nepresurizate cu găuri în ele.

Reactoarele nucleare cu apă grea sub presiune sunt doar un tip de reactoare nucleare în care se pot arde diferiții combustibili nucleari ai prezentei invenții. În consecință, astfel de reactoare sunt descrise aici doar pentru exemplificare, înțelegându-se că diferiții combustibili ai prezentei invenții pot fi arși în alte tipuri de reactoare nucleare.

În mod similar, diferiții combustibili ai prezentei invenții descriși aici pot fi poziționați în orice formă într-un reactor nuclear pentru a fi arși. Doar pentru exemplificare, combustibilul poate fi încărcat în tuburi sau poate fi conținut în alte forme alungite (fiecare dintre acestea fiind în mod obișnuit denumită ca „piciorușe” sau „elemente”). În cazul combustibilului conținut în tuburi, tuburile pot fi făcute sau pot

include zirconiu, un aliaj de zirconiu sau un alt material convenabil sau o combinație de materiale care, în unele cazuri, este caracterizată prin absorbție joasă de neutroni.

Împreună, o multitudine de elemente poate defini un fascicul de combustibil într-un reactor nuclear. Elementele fiecărui fascicul se pot întinde paralel unul cu altul în fascicul. Dacă reactorul include o multitudine de fascicule de combustibil, fasciculele pot fi plasate cap la cap în interiorul unui tub de presiune. În alte tipuri de reactoare, fasciculele de combustibil pot fi aranjate în alte moduri, după cum se dorește.

Când reactorul este în funcțiune, peste fasciculele de combustibil curge un agent de răcire de tip apă grea pentru a răci elementele de combustibil și pentru a îndepărta căldura din procesul de fisiune. Combustibilii nucleari ai prezentei invenții pot fi, de asemenea, aplicați și reactoarelor cu tuburi sub presiune cu diferite combinații de lichide/gaze în sistemele lor de moderare și transport de căldură. În orice caz, agentul de răcire care absoarbe căldura combustibilului nuclear poate transfera căldura către echipamentul din aval în vederea producerii de energie (ex. energie electrică).

Cererea de brevet de invenție canadiană nr. 2 174 983, depusă pe 25 aprilie 1996, descrie exemple de fascicule de combustibil pentru un reactor nuclear care pot cuprinde oricare dintre combustibilii nucleari descriși aici. Conținutul cererii de brevet de invenție canadiene nr. 2 174 983 este inclus aici prin referință.

Diferenții combustibili nucleari ai prezentei invenții pot fi utilizați (ex. amestecați) în combinație cu unul sau mai multe alte materiale. Fie că este utilizat singur sau în combinație cu alte materiale, combustibilul nuclear poate fi sub formă de pelete, sub formă de pulbere sau în oricare altă formă convenabilă sau într-o combinație de forme. În alte moduri de realizare, combustibilii prezentei invenții iau forma unei tije, cum ar fi o tijă de combustibil presată în forma dorită, o tijă de combustibil conținută într-o matrice a unui alt material și altele. De asemenea, elementele de combustibil făcute din combustibilii conform prezentei invenții pot include o combinație de tuburi și tije și/sau alte tipuri de elemente.

După cum este descris mai în detaliu în continuare, combustibilii conform diferitelor moduri de realizare a prezentei invenții pot include diferite combinații de combustibili nucleari, cum ar fi uraniu sărăcit (DU), uraniu natural (NU) și uraniu reprocessat sau reciclat (RU). Așa cum se utilizează aici și în revendicările anexate,

referirile la „procente” de componente constituente de material incluse în combustibilul nuclear se referă la procente în greutate, dacă nu este specificat altfel. De asemenea, după cum se definește aici, DU are un conținut fisionabil de aproximativ 0,2% în greutate la aproximativ 0,5% în greutate de ^{235}U (incluzând aproximativ 0,2% în greutate și aproximativ 0,5% în greutate), NU are un conținut fisionabil de aproximativ 0,71% în greutate de ^{235}U , și RU are un conținut fisionabil de aproximativ 0,72% în greutate la aproximativ 1,2% în greutate de ^{235}U (incluzând aproximativ 0,72% în greutate și aproximativ 1,2% în greutate).

Uraniu reciclat

Uraniul reprocessat sau reciclat (RU) este fabricat din combustibil uzat, creat din producerea de putere nucleară utilizând reactoare cu apă ușoară (LWRs). O fracție de combustibil uzat este fabricată din uraniu. De aceea, o reprocessare chimică a combustibilului uzat lasă în urmă uraniu separat, la care se face referire în industrie ca uraniu reprocessat sau reciclat. Uraniul natural (NU) conține doar cei trei izotopi ^{234}U , ^{235}U și ^{238}U . Cu toate acestea, după iradiere într-un LWR și răcire, RU rezultat are o compoziție izotopică diferită de aceea a uraniului natural. În special, RU include patru tipuri suplimentare de izotopi de uraniu care nu sunt prezenți în uraniul natural: ^{236}U și ^{232}U , ^{233}U și ^{237}U (în general considerate impurități). Astfel, prezența acestor patru tipuri suplimentare de izotopi poate fi considerată ca marcă pentru RU.

De asemenea, trebuie înțeles faptul că compoziția de izotopi a RU depinde de mulți factori, cum ar fi conținutul inițial de ^{235}U în combustibil înainte de iradiere (ex. combustibil proaspăt), originea(ile) combustibilului, tipul reactorului în care a fost ars combustibilul, istoricul iradierii combustibilului în reactor (ex. incluzând consumul) și perioadele de răcire și stocare a combustibilului după iradiere. Spre exemplu, combustibilii cei mai iradiați sunt răciți timp de cel puțin cinci ani în bazine special proiectate pentru a asigura siguranța radiologică. Cu toate acestea, perioada de răcire poate fi extinsă la 10 sau 15 ani sau mai mult.

RU include adesea impurități chimice (ex. gadolinium) cauzate de placarea combustibilului, doparea combustibilului și metodele de separare și purificare utilizate pe RU. Aceste impurități chimice pot include cantități foarte mici de izotopi transuranici, cum ar fi plutoniu-238 (^{238}Pu), ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Pu , ^{242}Pu , neptuniu-237 (^{237}Np), americium-

241 (^{241}Am), curiu-242 (^{242}Cm) și produși de fisiune, cum ar fi zirconiu-95/niobiu-95 ($^{95}\text{Zr}/^{95}\text{Nb}$), ruteniu-103 (^{103}Ru), ^{106}Ru , cesiu-134 (^{134}Cs), ^{137}Cs și tehnecițiu-99 (^{99}Tc). Alte impurități prezente adesea în RU includ: aluminiu (Al), bor (B), cadmiu (Cd), calciu (Ca), carbon (C), clor (Cl), crom (Cr), cupru (Cu), disprosiu (Dy), fluor (F), fier (Fe), magneziu (Mg), mangan (Mn), molibden (Mo), nichel (Ni), azot (N), fosfor (P), potasiu (K), siliciu (Si), sodiu (Na), sulf (S) și toriu (Th).

Uraniu sărăcit

Așa cum s-a arătat mai sus, uraniul sărăcit (DU) are un conținut fisionabil de aproximativ 0,2% în greutate la aproximativ 0,5% în greutate de ^{235}U (incluzând aproximativ 0,2% în greutate și aproximativ 0,5% în greutate). DU este uraniu compus în principal din izotopi de uraniu-238 (^{238}U) și uraniu-235 (^{235}U). Prin comparație, uraniul natural (NU) este aproximativ 99,28% în greutate ^{238}U , aproximativ 0,71% în greutate ^{235}U și aproximativ 0,0054% în greutate ^{234}U . DU este un produs secundar al îmbogățirii uraniului și conține, în general, mai puțin de o treime de ^{235}U și ^{234}U față de uraniul natural. DU include, de asemenea, diferite impurități, cum ar fi: aluminiu (Al), bor (B), cadmiu (Cd), calciu (Ca), carbon (C), clor (Cl), crom (Cr), cupru (Cu), disprosiu (Dy), fluor (F), gadolinu (Gd), fier (Fe), magneziu (Mg), mangan (Mn), molibden (Mo), nichel (Ni), azot (N), fosfor (P), potasiu (K), siliciu (Si), sodiu (Na), sulf (S) și toriu (Th).

Combustibil amestecat

Se va aprecia că, în multe aplicații, conținutul de uraniu al multor combustibili nucleari este prea mare sau prea scăzut pentru a permite acestor combustibili să fie arși într-un număr de reactoare nucleare. În același mod, componentele RU (^{234}U , ^{235}U , ^{236}U , și ^{238}U) precum și impuritățile descrise mai sus (^{232}U , ^{233}U , și ^{237}U) care se găsesc în mod obișnuit în RU pot împiedica RU să devină un combustibil viabil în multe reactoare. Cu toate acestea, inventatorii au descoperit că prin amestecarea RU cu DU, conținutul fisionabil al ^{235}U din combustibilul nuclear rezultat poate fi adus la un punct acceptabil, care-i permite să fie ars ca combustibil proaspăt în multe reactoare nucleare, incluzând fără limitare reactoarele nucleare cu apă grea sub presiune (ex. reactoarele nucleare cu apă grea sub presiune având tuburi orizontale cu combustibil, precum cele din reactoarele CANDU). Rezultate similare pot fi obținute prin amestecarea RU cu NU

pentru a reduce conținutul fisionabil de ^{235}U din combustibilul nuclear rezultat, adus la un punct acceptabil, care-i permite să fie ars ca combustibil proaspăt.

Indiferent dacă este amestecat cu DU sau NU, RU poate fi amestecat cu ajutorul oricărei metodei cunoscute din stadiul tehnicii, cum ar fi, dar fără a se limita la aceasta, utilizarea unei soluții acide sau amestecarea uscată.

În unele moduri de realizare, combustibilul pentru reactorul nuclear al prezentei invenții include o primă componentă de combustibil de RU și o a doua componentă de combustibil de DU care au fost amestecate pentru a avea un conținut fisionabil combinat de mai puțin de 1,2% în greutate ^{235}U . În astfel de combustibili, RU poate avea un conținut fisionabil de la aproximativ 0,72% în greutate ^{235}U la aproximativ 1,2% în greutate ^{235}U . În alte moduri de realizare, RU în astfel de combustibili poate avea un conținut fisionabil de la aproximativ 0,8% în greutate ^{235}U la aproximativ 1,1% în greutate ^{235}U . În alte moduri de realizare, RU în astfel de combustibili poate avea un conținut fisionabil de aproximativ 0,9% în greutate ^{235}U la aproximativ 1,0% în greutate ^{235}U . Și în alte moduri de realizare, RU în astfel de combustibili poate avea un conținut fisionabil de aproximativ 0,9% în greutate ^{235}U . În fiecare din aceste moduri de realizare, DU al unor astfel de combustibili poate avea un conținut fisionabil of aproximativ 0,2% în greutate ^{235}U la aproximativ 0,5% în greutate ^{235}U .

Prin urmare, în unele moduri de realizare, prin amestecarea DU cu conținut fisionabil de ^{235}U mai scăzut cu RU cu conținut fisionabil de ^{235}U mai ridicat, combustibilul nuclear RU/DU amestecat rezultat poate avea un conținut fisionabil de mai puțin de 1,0% în greutate ^{235}U . În alte moduri de realizare, combustibilul nuclear amestecat de RU/DU rezultat poate avea un conținut fisionabil de mai puțin de 0,8% în greutate ^{235}U . În alte moduri de realizare, combustibilul nuclear RU/DU rezultat poate avea un conținut fisionabil de mai puțin de 0,72% în greutate de ^{235}U . De asemenea, în alte moduri de realizare, combustibilul nuclear RU/DU rezultat poate avea un conținut fisionabil de aproximativ 0,71% în greutate ^{235}U , rezultând astfel un combustibil echivalent cu uraniul natural, generat prin amestecarea RU cu DU.

În unele moduri de realizare, combustibilul pentru reactorul nuclear al prezentei invenții include o primă componentă de combustibil de RU și o a doua componentă de combustibil de NU care au fost amestecate pentru a avea un conținut fisionabil combinat

de mai puțin de 1,2% în greutate ^{235}U . În astfel de combustibili, RU poate avea un conținut fisionabil de la aproximativ 0,72% în greutate ^{235}U până la aproximativ 1,2% în greutate ^{235}U . În alte moduri de realizare, RU în acești combustibili poate avea un conținut fisionabil de la aproximativ 0,8% în greutate ^{235}U până la aproximativ 1,1% în greutate ^{235}U . În alte moduri de realizare, RU în acești combustibili poate avea un conținut fisionabil de la aproximativ 0,9% în greutate ^{235}U până la aproximativ 1,0% în greutate de ^{235}U . În alte moduri de realizare, RU în acești combustibili poate avea un conținut fisionabil de aproximativ 0,9% în greutate ^{235}U .

Prin urmare, prin amestecarea NU cu conținut fisionabil de ^{235}U mai scăzut cu RU cu conținut fisionabil de ^{235}U mai ridicat, în unele moduri de realizare, combustibilul nuclear RU/NU amestecat rezultat poate avea un conținut fisionabil de mai puțin de 1,0% în greutate ^{235}U . În alte moduri de realizare, combustibilul nuclear RU/NU amestecat rezultat poate avea un conținut fisionabil de mai puțin de 0,8% în greutate ^{235}U . În alte moduri de realizare, combustibilul nuclear RU/NU rezultat poate avea un conținut fisionabil de mai puțin de 0,72% în greutate ^{235}U . De asemenea, în alte moduri de realizare, combustibilul nuclear RU/NU rezultat poate avea un conținut fisionabil de aproximativ 0,71% în greutate ^{235}U , rezultând, așadar, într-un combustibil echivalent cu uraniul natural generat prin amestecarea RU și NU.

În anumite moduri de realizare, RU se amestecă atât cu DU cât și cu NU pentru a produce combustibili având aceleași conținuturi sau intervale de conținut fisionabile de ^{235}U cu cele descrise mai sus, în legătură cu combustibilii nucleari RU/DU amestecat și cu RU/NU amestecat. În astfel de cazuri, conținuturile și intervalele de conținut fisionabil de ^{235}U ale RU și conținuturile și intervalele de conținut fisionabil de ^{235}U ale DU pot fi aceleași cu cele descrise mai sus

Combustibilii nucleari potrivit diferitelor moduri de realizare ale prezentei invenții pot include o otravă inflamabilă (BP). De exemplu, oricare dintre combustibilii nucleari descriși în prezenta poate include un amestec de RU și DU cu o otravă inflamabilă (BP), sau un amestec de RU și NU cu o otravă inflamabilă (BP). Otrava inflamabilă se poate amesteca cu diferite amestecuri de RU/DU, amestecuri de RU/NU, precum și cu amestecurile de RU/DU/NU descrise în prezenta.

În reactoarele răcite cu apă grea, viteza de multiplicare a neutronilor crește când apar goluri în agentul de răcire. Goluri în agentul de răcire apar, spre exemplu, când agentul de răcire începe să fiarbă. Coeficientul de vid al reactivității agentului de răcire este o măsură a abilității unui reactor de a multiplica neutronii. Acest fenomen este datorat coeficientului de vid pozitiv al reactivității agentului de răcire și se poate produce în toate reactoarele, pentru diferite situații. Prezenta invenție poate asigura o reducere semnificativă a coeficientului de vid al reactivității agentului de răcire și poate, de asemenea, asigura un coeficient de temperatură negativ al combustibilului și/sau un coeficient negativ de putere.

Modurile de realizare descrise mai sus și ilustrate în figuri sunt prezentate doar în scopul exemplificării și nu sunt prevăzute ca o limitare a conceptelor și a principiilor prezentei invenții. Astfel, se va aprecia de un specialist în domeniu că diferite schimbări ale elementelor și ale configurațiilor acestora sunt posibile fără a se îndepărta de la spiritul și scopul prezentei invenții. Spre exemplu, în diferite moduri de realizare descrise și/sau ilustrate în prezenta, se amestecă RU și DU cu diferite tipuri de combustibil nuclear sau cu alte materiale pentru a produce combustibili nucleari având conținutul fisionabil dorit. De exemplu, RU și DU se pot amesteca (separat sau ca un amestec RU/DU) cu oxid de toriu (ThO_2), cu un uraniu ușor îmbogățit (SEU) și cu un uraniu slab îmbogățit (LEU). Potrivit definiției din prezenta, SEU are un conținut fisionabil de la aproximativ 0,9% până la aproximativ 3% în greutate de ^{235}U (incluzând aproximativ 0,9% și aproximativ 3%), iar LEU are un conținut fisionabil de la aproximativ 3% până la aproximativ 20% în greutate de ^{235}U (incluzând aproximativ 3% și aproximativ 20%).

REVEDICĂRI

1. Combustibil pentru un reactor nuclear, combustibilul cuprinzând:
o primă componentă de combustibil de uraniu reciclat; și
o a doua componentă de combustibil de uraniu sărăcit amestecată cu prima componentă de combustibil,
în care prima și a doua componentă de combustibil amestecate au un conținut fisionabil de mai puțin de 1,2% în greutate ^{235}U .
2. Combustibil conform revendicării 1, în care uraniul reciclat are un conținut fisionabil de la aproximativ 0,72% în greutate ^{235}U până la aproximativ 1,2% în greutate ^{235}U .
3. Combustibil conform revendicării 1, în care uraniul reciclat are un conținut fisionabil de la aproximativ 0,8% în greutate ^{235}U până la aproximativ 1,1% în greutate ^{235}U .
4. Combustibil conform revendicării 1, în care uraniul reciclat are un conținut fisionabil de la aproximativ 0,9% în greutate ^{235}U până la aproximativ 1,0% în greutate ^{235}U .
5. Combustibil conform revendicării 1, în care uraniul reciclat are un conținut fisionabil de aproximativ 0,9% în greutate ^{235}U .
6. Combustibil conform revendicării 1, în care uraniul sărăcit are un conținut fisionabil de la aproximativ 0,2% în greutate ^{235}U până la aproximativ 0,5% în greutate ^{235}U .
7. Combustibil conform oricăreia dintre revendicările 1-6, în care combustibilul mai cuprinde o otravă inflamabilă.
8. Combustibil conform revendicării 7, în care otrava inflamabilă este amestecată cu prima și cu a doua componentă de combustibil.

9. Combustibil conform oricăreia dintre revendicările 1-8, în care prima și a doua componentă de combustibil amestecate au un conținut fisionabil de mai puțin 1,0% în greutate ^{235}U .
10. Combustibil conform oricăreia dintre revendicările 1-8, în care prima și a doua componentă de combustibil amestecate au un conținut fisionabil de mai puțin de 0,8% în greutate ^{235}U .
11. Combustibil conform oricăreia dintre revendicările 1-8, în care prima și a doua componentă de combustibil amestecate au un conținut fisionabil de mai puțin de 0,72% în greutate ^{235}U .
12. Combustibil conform oricăreia dintre revendicările 1-8, în care prima și a doua componentă de combustibil amestecate au un conținut fisionabil de aproximativ 0,71% în greutate ^{235}U .
13. Combustibil pentru un reactor nuclear, combustibilul cuprinzând:
o primă componentă de combustibil de uraniu reciclat; și
o a doua componentă de combustibil de uraniu natural amestecat cu prima componentă de combustibil,
în care prima și a doua componentă de combustibil au un conținut fisionabil de mai puțin de 1,2% în greutate ^{235}U .
14. Combustibil conform revendicării 13, în care uraniul reciclat are un conținut fisionabil de la aproximativ 0,72% în greutate ^{235}U până la aproximativ 1,2% în greutate ^{235}U .
15. Combustibil conform revendicării 13, în care uraniul reciclat are un conținut fisionabil de la aproximativ 0,8% în greutate ^{235}U până la aproximativ 1,1% în greutate ^{235}U .
16. Combustibil conform revendicării 13, în care uraniul reciclat are un conținut fisionabil de la aproximativ 0,9% în greutate ^{235}U până la aproximativ 1,0% în greutate ^{235}U .

17. Combustibil conform revendicării 13, în care uraniul reciclat are un conținut fisionabil de aproximativ 0,9% în greutate ^{235}U .

18. Combustibil conform oricăreia dintre revendicările 13-17, în care combustibilul cuprinde în continuare o otravă inflamabilă.

19. Combustibil conform revendicării 18, în care otrava inflamabilă este amestecată cu prima și cu a doua componentă de combustibil.

20. Combustibil conform revendicării 13, cuprinzând în continuare o a treia componentă de uraniu sărăcit amestecat cu prima și cu a doua componentă de combustibil.

21. Combustibil conform oricăreia dintre revendicările 13-20, în care prima și a doua componentă de combustibil amestecate au un conținut fisionabil de mai puțin de 1,0% în greutate ^{235}U .

22. Combustibil conform oricăreia dintre revendicările 13-20, în care prima și a doua componentă de combustibil amestecate au un conținut fisionabil de mai puțin de 0,8% în greutate ^{235}U .

23. Combustibil conform oricăreia dintre revendicările 13-20, în care prima și a doua componentă de combustibil amestecate au un conținut fisionabil de mai puțin de 0,72% în greutate ^{235}U .

24. Combustibil conform oricăreia dintre revendicările 13-20, în care prima și a doua componentă de combustibil amestecate au un conținut fisionabil de aproximativ 0,71% în greutate ^{235}U .

25. Combustibil conform revendicării 20, în care prima, a doua și a treia componentă de combustibil amestecate au un conținut fisionabil de mai puțin de 1,2% în greutate ^{235}U .

26. Reactor nuclear cuprinzând:

un tub de fluid sub presiune; și

combustibilul conform oricăreia dintre revendicările 1-25.