

(19) OFICIUL DE STAT
PENTRU INVENȚII ȘI MĂRCI
București

ROMÂNIA



(11) **RO 131002 B1**

(51) **Int.Cl.**

G21G 1/02 (2006.01);

G21C 19/20 (2006.01);

F22B 1/06 (2006.01)

(12)

BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2014 00722**

(22) Data de depozit: **25/09/2014**

(45) Data publicării mențiunii acordării brevetului: **30/03/2021** BOPI nr. **3/2021**

(41) Data publicării cererii:
30/03/2016 BOPI nr. **3/2016**

(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:
US 4938917 A; RO/EP 2238598 T2

(54) **REACTOR NUCLEAR REGENERATOR DE IZOTOPI**

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 131002 B1

RO 131002 B1

1 Invenția se referă la un reactor nuclear regenerativ de izotopi, cu sistem heterogen
cu recirculație continuă a agentului caloportor, destinat producției izotopului sintetic fisionabil
3 239-plutoniului și unei noi generații de combustibili nucleari.

Sunt cunoscute reactoare nucleare energetice heterogene cu neutroni rapizi tip
5 reproducător ce produc mase mari de izotop $^{239}_{94}\text{Pu}$ și izotopi superiori ai acestuia ($^{240}_{94}\text{Pu}$,
 $^{241}_{94}\text{Pu}$, $^{242}_{94}\text{Pu}$), sisteme care utilizează izotopul natural fertil $^{238}_{92}\text{U}$ și uraniu îmbogățit în
7 $^{235}_{92}\text{U}$ (10%...20%) sub formă de compuși izotopici oxidici ($^{235}\text{UO}_2$, $^{238}\text{UO}_2$), (combustibili
întecuiți). Zona de reacție a acestor sisteme este răcită cu sodiu metalic lichid topit ca agent
9 caloportor în recirculare continuă prin zonă și în schimbător de căldură, cu ajutorul pompelor
centrifugale sau pompelor electromagnetice cu debit mare. Controlul și reglarea reactivității
11 se efectuează cu bare cilindrice de tantal iar pentru oprirea reactorului sau în caz de avarie,
se utilizează bare din carbură de bor întecuită în oțel inoxidabil.

13 Principalele dezavantaje ale acestor sisteme de reactori sunt:

- grad mare de otrăvire izotopică cu produși de fisiune datorită acumulării izotopilor
15 xenonului, kriptonului, izotopi gazoși care micșorează reactivitatea și determină umflarea
barelor de combustibil nuclear și deteriorarea acestora, la un grad ridicat de iradiere;

17 - transfer termic de la combustibilul oxidic la agentul caloportor redus, datorită
circulației cu viteză mică a agentului caloportor.

19 Sistemul CANDU în prim stadiu evolutiv este conceput să dureze în secolul 21 pe
baza ciclului de uraniu natural. Concomitent cu creșterea puterii nucleare instalate în
21 România are loc o scădere a rezervelor de uraniu/fenomen ce va conduce la al doilea stadiu
de dezvoltare al reactorului CANDU ce se va caracteriza prin integrarea combustibilului
23 iradiat într-un sistem complex de reprocesare (C.B.I: **A/2013 00272**). În al treilea stadiu de
dezvoltare al sistemului CANDU, este necesară cercetarea, proiectarea și construcția
25 reactorului supragenerator izotopic la un raport de supragenerare $R_s = 0,68$ pentru
producția de $^{239}_{94}\text{Pu}$ destinat combustibilului MOX.

27 Prin documentul **US 4938917 A/1990** este cunoscut un reactor nuclear generator de
izotopi, având un vas în interiorul căruia se află miezul cu elemente de combustibil nuclear,
29 dispuse paralele într-o structură tip fagure, formând o zonă de reacție cu un bazin cu lichid
de lichid de răcire tip sodiu lichid circulat în circuit închis cu ajutorul unei tubulaturi și al unei
31 pompe în cadrul unui schimbător de căldură primar, care se află în legătură cu un schimbător
de căldură secundar, exterior zonei de reacție, cuprinzând o altă pompă și tubulatură
33 specifică schimbului termic și are înseriat un circuit convențional generator de putere elec-
trică, având un lichid de răcire precum apa, dar izolat de lichidul de răcire a buclei secundare
35 și care transformat în abur acționează o turbină a unui generator electric și un sistem de
control al reactivității cu niște tije de comandă din material absorbant de neutroni.

37 De asemenea, prin documentul **RO/EP 2238598 T2/2013**, este cunoscut un reactor
nuclear cu sodiu lichid, având un miez al unei zone de reacție în care circulă un fluid primar
39 pentru răcirea miezului și minim un schimbător de căldură cuprinzând niște tuburi de schimb
de căldură prin care circulă fluidul secundar, sistemul de recirculare al fluidului primar
41 curinzând o pompă formată dintr-un ax cu un rotor cu pale înclinate față de orizontală, dispus
vertical în centrul zonei de reacție și cuplat cu capătul superior la un motor.

43 Scopul invenției este producția performantă a izotopului sintetic fisionabil $^{239}_{94}\text{Pu}$ la
un raport de supragenerare 0,5...0,7 kg ^{239}Pu /kg izotopi fisionabili ($^{238}_{92}\text{U}$, $^{239}_{94}\text{Pu}$), izotop
45 necesar unei generații noi de combustibil nuclear CANDU avansat.

Problema tehnică pe care o rezolvă invenția este realizarea unui reactor nuclear
47 regenerativ de $^{239}_{94}\text{Pu}$ ca reactor de producție izotopică cu putere termică 115...145 MW_t, cu
un sistem de transfer termic al căldurii din zona de reacție în exteriorul zonei de reacție în
49 mod eficient dar economic și fiabil, în condiții de securitate nucleară și de protecție radio-
logică a personalului și a mediului.

RO 131002 B1

Reactorul nuclear regenerativ de izotopi conform invenției rezolvă această problemă tehnică prin aceea că, este format din o zonă de reacție R compusă din fascicule de combustibil nuclear, zona de reacție R comunicând cu un dispozitiv de încărcare-descărcare de fascicule de combustibil nuclear, un schimbător de căldură axial-radial, un rotor de turbină de recirculație internă a agentului caloportor tip sodiu metalic lichid, o tubulatură de aspirație și recirculare a agentului caloportor tip sodiu metalic lichid, un dispozitiv de control al reactivității, un dispozitiv de oprire a reactorului, un schimbător de căldură exterior prin intermediul unui rotor de recirculație orizontală a agentului caloportor tip sodiu metalic lichid și un adsorber izotopic. Conform invenției, rotorul de turbină de recirculație internă dispus central în zona de reacție R și format dintr-un ax central pe care sunt asamblate nedemontabil, la partea inferioară, opt palete de turbină înclinate ascendent la 30° față de orizontală pentru pomparea ascendentă a agentului caloportor, mai are patru palete dreptunghiulare verticale asamblate nedemontabil pe circumferința axului rotativ sub unghi de 90° pentru pomparea radială a agentului caloportor printre 100...1300 elemente combustibile asamblate în triunghi echilateral cu două plăci verticale laterale și șase plăci trapezoidale orizontale pentru susținerea acestora, printre niște plăci dreptunghiulare verticale pentru controlul reactivității și respectiv pentru oprirea reactorului și descendent prin 36...72 tuburi cilindrice verticale ale schimbătorului de căldură axial-radial de transfer al căldurii în circuit termic secundar, axul rotativ fiind asamblat nedemontabil într-o tubulatură cilindrică concentrică presurizată cu gaz inert tip heliu.

Prin aplicarea invenției, se realizează următoarele avantaje:

- recirculația intensivă a agentului caloportor sodiu metalic lichid în 2 circuite termice, crește viteza transferului termic și se realizează un randament termic mai mare cu 10% la consumatorul endoterm (reactor chimic), față de sistemele cunoscute;

- raport de supraregenerare mai mare față de sistemele cunoscute prin creșterea concentrației izotopului fisionabil $^{239}_{94}\text{Pu}$ în masa de combustibil nuclear;

- grad de otrăvire izotopică mai mic cu 50% față de sistemele cunoscute, procesul de otrăvire fiind dat numai de izotopii lantanidelor (prometiu/samariu/europiu, gadoliniu);

- stabilitate funcțională prin controlul reactivității și reactorul nuclear supraregenerator izotopic poate fi complet automatizat;

- combustibilul nuclear al reactorului supraregenerator este produs din compușii oxidici ai izotopilor $^{238}_{92}\text{U}$, $^{239}_{94}\text{Pu}$, $^{240}_{94}\text{Pu}$, $^{241}_{94}\text{Pu}$, $^{242}_{94}\text{Pu}$ obținuți prin tehnologia de reprocesare a combustibilului CANDU iradiat;

- reactorul nuclear supraregenerează preponderant $^{239}_{94}\text{Pu}$ prin conversia $^{238}_{92}\text{U}$ și prin reprocesarea continuă a combustibilului iradiat determină producția și reproducția combustibilului MOX pentru reactorul nuclear energetic CANDU cu grad mare de iradiere (17000 MW_z/tonă) precum și reducerea rezervelor de uraniu natural cu peste 50%.

Invenția este prezentată pe larg în continuare printr-un exemplu de realizare a reactorului nuclear regenerativ izotopic în legătură cu fig.1...15 care reprezintă:

- fig. 1, vedere în secțiune longitudinală a reactorului nuclear generator izotopic;

- fig. 2, vedere în secțiune transversală a zonei de reacție R și schimbătorului de căldură exterior 8;

- fig. 3, vedere în secțiune longitudinală și transversală a unui fascicol de elemente combustibile nucleare 1 din zona de reacție R;

- fig. 4, vedere în secțiune longitudinală și transversală a schimbătorului de căldură axial-radial 2 aferent zonei de reacție R;

- fig. 5, vedere în secțiune longitudinală și transversală a rotorului turbină de recirculare internă 4 agent caloportor sodiu metalic lichid, aferent zonei de reacție R;

RO 131002 B1

1 - fig. 6, vedere din B și vedere în secțiune longitudinală a tubulaturii de aspirație și
recirculare sodiu metallic lichid 4, aferentă zonei de reacție R;

3 - fig. 7, vederi din B, E, F ale suportului superior aferent fasciculelor combustibile
nucleare 1 din zona de reacție R;

5 - fig. 8, vedere în secțiune longitudinală și în secțiune transversală a unui element
combustibil nuclear din componența fasciculelor 1;

7 - fig. 9, vedere din B a capacului zonei de reacție R;

9 - fig. 10, vedere în secțiune longitudinală și în secțiune transversală a schimbătorului
de căldură agent caloportor sodiu metallic lichid 8 exterior zonei de reacție R;

11 - fig. 11, vedere în secțiune longitudinală și în secțiune transversală a rotorului turbină
de recirculație orizontală a agentului caloportor sodiu metallic lichid 9 aferent schimbătorului
de căldură exterior 8;

13 - fig. 12, vederi de ansamblu din A, C ale dispozitivului de încărcare-descărcare
fascicule de elemente combustibile nucleare 7;

15 - fig. 13, vedere în secțiune longitudinală și în secțiune transversală a dispozitivului
de control reactivitate 5 în zona de reacție R;

17 - fig. 14, vedere în secțiune longitudinală și în secțiune transversală a dispozitivului
de oprire a reactorului 6 aferent zonei de reacție R;

19 - fig. 15, vedere în secțiune longitudinală a adsorberului izotopic 10.

21 Conform invenției, reactorul nuclear regenerativ de izotopi are o zonă de reacție **R**
compusă din fascicule de elemente combustibile nucleare **1**, un schimbător de căldură axial-
radial **2** primar, un rotor de turbină de recirculare internă **3** acționat de un mijloc tehnic **3e**
23 prin intermediul unui variator de turație în trepte, pentru recircularea agentului caloportor tip
sodiu lichid cu ajutorul unei tubulaturi de aspirație și recirculare **4**, un dispozitiv de control al
25 reactivității **5**, un dispozitiv de oprire a reactorului **6**, un dispozitiv de încărcare-descărcare
de fascicule de elemente combustibile nucleare **7**, un schimbător de căldură exterior **8** cu un
27 rotor de recirculație orizontală **9** pentru recircularea agentului caloportor tip sodiu lichid,
acționat de un mijloc tehnic **9d** și un absorber de izotopi **10**.

29 Zona de reacție **R** are carcasa din oțel inoxidabil austenitic (AISI 304,316) sau din
aliaje de zirconiu (zircaloy 2, 3, 4) , cu rol funcțional pentru procesele nucleare (reacții de
31 fisiune, captură neutronică, dezintegrare β) și pentru procesul de transfer termic, carcasa
zonei de reacție **R** cu geometrie cilindrică având în capacul superior 24 penetrații trapezoi-
33 dale pentru fascicule de elemente combustibile nucleare **1**, 12 penetrații dreptunghiulare ale
plăcilor dispozitivului de control al reactivității **5** și 12 penetrații dreptunghiulare ale plăcilor
35 dispozitivului de oprire a reactorului **6**, în centrul capacului fiind orificiul circular pentru
asamblarea demontabilă a rotorului turbinei de recirculare agent caloportor **3**, în jurul
37 rotorului de turbină **3** fiind asamblate aparate destinate detectării de neutroni, respectiv, de
spectru/flux neutronic (cameră de ionizare cu BF_3 sau cu protoni de recul, detector cu
39 semiconductor și depunere de $^{10}_5\text{B}$ sau ^6_3Li , spectrometru cu protoni de recul).

41 Un fascicol de combustibil nuclear **1** cu material structural de învelire tip oțel
inoxidabil austenitic cu geometrie prismatică și secțiune trapezoidală este format din
43 100...1300 elemente combustibile nucleare **1a** asamblate în triunghi echilateral cu latură de
0,029 metri, 2 plăci dreptunghiulare laterale **1b** pentru a susține elementele combustibile **1**,
45 6 plăci trapezoidale orizontale **1c** pentru susținere de elemente combustibile și pentru circu-
lația agentului caloportor tip sodiu metallic lichid și un suport superior **1d** pentru fascicol **1** în
47 ansamblu. Un element combustibil **1a** cu geometrie cilindrică este format din teaca cilindrică
de oțel inoxidabil austenitic de grosime 0,001 metri și combustibil nuclear oxidic cu diametru

RO 131002 B1

0,01 metri în interiorul tecii, format din 10%...20% $^{239}\text{PuO}_2$, 80%...90% $^{238}\text{UO}_2$ și având densitatea de 11000...11100 kg/m³. Partea superioară a elementului combustibil **1a** este închisă de un strat cilindric de metal ușor fuzibil (bismut cu p.t.=271°C) de grosime 0,002...0,004 metri ce devine strat lichid prin topire și permite trecerea izotopilor gazoși ai kriptonului, xenonului (produși de fisiune) în scopul prevenirii umflării elementului combustibil și reducerii reactivității. Suportul superior **1d** din material structural tip oțel inoxidabil posedă orificii circulare pentru evacuarea izotopilor gazoși ai kriptonului și xenonului din elementele combustibile **1a** și are rol funcțional de încărcare a fasciculelor de combustibil nuclear **1** în zona de reacție **R** și de descărcare a acestora la expirarea duratei de iradiere, operații mecanice telecomandate efectuate de dispozitiv **7** precum și de fixare.

Schimbătorul de căldură **2** din oțel inoxidabil aferent zonei de reacție **R**, are geometrie toroidală și rol funcțional de transfer termic al căldurii generate în fasciculele de combustibil nuclear **1** prin intermediul agentului caloportor tip sodiu metalic lichid în recirculație prin zona centrală, energia termică fiind transferată schimbătorului extern **8**, respectiv celui de-al doilea circuit termic cu sodiu metalic lichid în recirculație. Acest schimbător de căldură **2** posedă 36...72 tuburi cilindrice verticale **2a** de transfer al căldurii din zona centrală în al doilea circuit termic cu sodiu recirculat de rotorul de turbină **9** în schimbătorul extern **8** cu ajutorul tubulaturii de curgere **2b**. Rotorul de turbină de recirculație internă **3** a sodiului metalic lichid prin zona centrală cu rol funcțional de intensificare a transferului termic, construit din oțel inoxidabil, este format dintr-un ax central rotativ **3a** pe care sunt asamblate nedemontabil **8** palete turbină **3b** înclinate ascendent la 30° față de orizontală, 4 palete dreptunghiulare verticale **3c** asamblate nedemontabil pe ax **3a** respectiv pe circumferința axului sub unghi de 90 grade și acest ax **3a** este asamblat nedemontabil într-o tubulatură cilindrică concentrică **3d** presurizată cu gaz inert (heliu) pentru a reduce transferul termic de căldură în afara zonei de reacție **R**, acest rotor **3** fiind acționat în rotație de un motor electric **3e**. Rotorul de turbină **3** pompează ascendent sodiu metalic lichid cu paletelile de turbină **3b** și distribuie radial agentul caloportor prin elementele combustibile **1a**, plăcile **1b**, **1c** ale fasciculelor **1**, și descendent prin tuburile cilindrice verticale **2a** ale schimbătorului de căldură **2**, cu recirculare pentru realizarea transferului termic. Tubulatura **4** cu geometrie cilindro-conică construită din oțel inoxidabil are rol funcțional de aspirație a agentului caloportor în rotor **3** și în suportul inferior pentru fasciculele de combustibil nuclear **1** și posedă 4 orificii dreptunghiulare **4a** sub unghi de 90° în partea conică pentru recircularea agentului caloportor, un tub cilindric de aspirație **4b** asamblat nedemontabil și un suport circular **4c** cu 24 canale trapezoidale pentru fasciculele de combustibil **1**.

Dispozitivul de control al reactivității **5**, cu rol funcțional de antireactivitate la creșterea puterii reactorului, este format din 12 plăci dreptunghiulare verticale din tantal [izotop $^{181}_{73}\text{Ta}$ (n,γ) $^{182}_{73}\text{Ta}$] **5a** cu grosimea de 0,01 metri, asamblate demontabil pe un cilindru canelat **5b** din oțel inoxidabil care se deplasează axial sus-jos pe o tubulatură cilindrică dințată **5c** din oțel cu ajutorul unui motor electric cu angrenaj de roți dințate **5d**.

Dispozitivul de oprire a reactorului nuclear **6** are rol funcțional de antireactivitate totală (mai mare de 50 mk) în scopul opririi reacțiilor de fisiune prin captură neutronică radiativă, și este format din 2 grupe de 12 plăci dreptunghiulare verticale de carbură de bor B_4C_3 (izotop $^{10}_5\text{B}$ grad de îmbogățire 90%) întecuite cu oțel inoxidabil sau din oțel inoxidabil cu 20%...30% gadolinu (izotopi $^{155}_{64}\text{Gd}$, $^{157}_{64}\text{Gd}$) **6a** cu grosimea de 0,01 metri, asamblate demontabil pe un cilindru canelat **6b** din oțel inoxidabil care se deplasează axial sus-jos pe tubulatura cilindrică dințată **5c** cu ajutorul unui motor electric cu roată dințată **6c**.

RO 131002 B1

1 Reactorul în ansamblu și implicit și zona de reacție **R** este înconjurat și respectiv
închis cu ecrane de protecție termică și biologică formate din betoane cu bor (7% ciment, 9%
3 aditivi din care 1,2% bor sub forma combinației numită colemanită: $\text{Ca}_2\text{B}_2\text{O}_{11}\cdot 5\text{H}_2\text{O}$ și 81%
5 fer sub formă de oxizi) și grosime 1,5...2,0 metri, sub formă de bloc cilindric al reactorului,
bloc placat în interior cu tablă de oțel inoxidabil, pentru a evita scurgerea gazului inert (heliu)
și a radioizotopilor gazoși produși de fisiune.

7 Dispozitivul de încărcare-descărcare fascicule de combustibil nuclear **7**, teleco-
mandat, este construit din oțel și este format dintr-un ax vertical dințat **7a** pe care se
9 deplasează axial sus-jos un ax orizontal dințat **7b** cu ajutorul unui motor electric cu roată
dințată **7c**, ax **7b** în deplasare radială stânga-dreapta cu ajutorul motorului electric cu roată
11 dințată **7d** pentru poziționare și încărcare-descărcare fascicule de combustibil nuclear **1** în
zona de reacție **R** și întregul dispozitiv **7** se deplasează circular pe circumferința interioară
13 a blocului reactorului prin intermediul unor canale dințate de ghidare cu ajutorul roților de
ghidare **7e** acționate în rotație de motor electric cu roata dințată **7f**.

15 Schimbătorul de căldură exterior **8** aferent la al doilea circuit termic al căldurii pentru
un consumator endoterm, construit din oțel, este format din 36...72 tuburi cilindrice verticale
17 de transfer termic **8a**, o conductă de intrare agent termic secundar **8b** și o conductă de ieșire
de agent termic secundar **8c** cu temperatura mai mare.

19 Rotorul de recirculație orizontală **9** a agentului caloportor sodiu metalic lichid,
construit din oțel inoxidabil, pentru transfer termic al căldurii din zona de reacție **R** în circuitul
21 termic secundar la schimbătorul de căldură **8**, este format din un ax central rotativ **9a** pe care
sunt asamblate nedemontabil 8 palete dreptunghiulare verticale și radiale **9b** (pe circum-
23 ferința axului **9a**) sub unghi de 45° și acest ax **9a** este asamblat nedemontabil într-o tubu-
latură cilindrică axială **9c** presurizată cu gaz inert (heliu) pentru a reduce transferul termic de
25 căldură în afara reactorului, rotorul **9** asamblat pe rulmenți axiali și radiali în interiorul unei
tubulaturi cilindrice suport fiind acționat în rotație de un motor electric **9d**.

27 Adsorberul izotopic **10** cu geometrie cilindrică, construit din oțel și cu rol funcțional
de adsorbție și reținere totală a radioizotopilor gazoși ai kriptonului și xenonului produși de
29 fisiune, este format din 18 unități de transfer de masă **10a** și suport pentru carbon activat,
fiecare unitate de transfer de masă având cel puțin 100 orificii circulare cu diametru 0,005
31 metri și fiind încărcată cu carbon activat prin o conductă cu capac **10b**, intrarea în adsorber
10 fiind realizată prin conducta **10c** iar ieșirea gazului purtător heliu (izotop ^4_2He) având loc
33 prin o conductă **10d**, gazul purtător fiind recirculat de ventilator de putere **10e**.

35 Cu ajutorul unei pompe de vid, se evacuează aerul din zona de reacție **R** și din
spațiul reactorului nuclear și se introduce gaz inert (heliu) prevenindu-se reacția chimică a
37 sodiului metalic lichid cu oxigenul molecular din aer și formarea oxidului de sodiu (Na_2O)
compus ionic cristalizat. În zona de reacție **R** se introduce sodiu metalic, lichid topit de
puritate nucleară (p.t. 90°C, p.f.890°C) la temperatura 600°C...800°C, respectiv având loc
39 încălzirea prin inducție electromagnetică în afara reactorului și la un grad de umplere a zonei
de reacție de 80%...90% din volumul zonei, moment în care se pornește motorul electric **3e**
41 și rotorul turbină **3** intră în rotație la 1200 rotații/minut cu recircularea agentului caloportor în
circuitul termic primar, prin zona de reacție **R**. Dispozitivul de control al reactivității **5**, acționat
43 prin telecomandă de un motor electric cu roată dințată **5d**, are o mișcare axială descendentă
pe tubulatura dințată **5c** și pe plăcile de antireactivitate **5a** și intră în zona de reacție **R** prin
45 cele 12 penetrații ale capacului reactorului. Dispozitivul de oprire a reactorului nuclear **6** este
acționat prin telecomandă de un motor electric cu roată dințată **6c**, are o mișcare axială des-
47 cendentă pe tubulatura dințată **5c** și plăcile de antireactivitate totală **6a** și intră în zona de

RO 131002 B1

reacție **R** prin cele 12 penetrații ale capacului reactorului. Dispozitivul telecomandat **7** cu
deplasare axială, radială și circulară realizată cu ajutorul motoarelor electrice **7c**, **7d**, **7f** și
camera de vizualizare-poziționare, efectuează încărcarea treptată în zona de reacție **R** a
fascicolelor de combustibil nuclear **1** prin cele 24 penetrații ale capacului reactorului și
realizarea masei critice de funcționare a reactorului.

Plăcile de antireactivitate totală **6a** sunt extrase din zona de reacție **R** prin deplasare
axială ascendentă, efectuată de motorul electric cu roata dințată **6c**, fiind activate reacțiile
de fisiune nucleară cu neutroni rapizi (0,01 MeV...2,5 MeV) ale izotopilor fisionabili $^{235}_{92}\text{U}$,
 $^{238}_{92}\text{U}$, $^{239}_{94}\text{Pu}$, $^{240}_{94}\text{Pu}$, $^{241}_{94}\text{Pu}$, $^{242}_{94}\text{Pu}$ în condițiile existenței unei surse externe de neutroni
rapizi (Ra-Be). Reacțiile de fisiune, de captură neutronică radiativă și dezintegrare β , sunt
autoîntreținute prin controlul reactivității pe baza neutronilor rapizi întârziați generați de
izotopii impari $^{87}_{35}\text{Br}$, $^{89}_{35}\text{Br}$, $^{91}_{35}\text{Br}$, $^{137}_{53}\text{I}$, controlul de reactivitate fiind efectuat de plăcile **5a**
prin deplasare ascendentă-descendentă ce stabilizează puterea reactorului și fluxul
neutronic Φ la $(1...2) \cdot 10^{18} \text{ n}^0/\text{m}^2 \cdot \text{s}$.

Sunt exemplificate reacții de fisiune cu neutroni rapizi la energia medie 2MeV, cu
captură neutronică radiativă și dezintegrare β pentru izotopii uraniului, plutoniului cu energia
de fisiune $E_f = 200 \text{ MeV}$, aproximativ $3 \cdot 10^{-11} \text{ W} \cdot \text{s}$:

$^{238}_{92}\text{U} + ^1_0\text{n} \rightarrow ^{239}_{92}\text{U}^* \rightarrow ^{101}_{40}\text{Zr} + ^{135}_{52}\text{Te} + 3^1_0\text{n} + \gamma + E_f$; randament de fisiune: 6,5%

$^{135}_{52}\text{Te} \rightarrow \beta^- \rightarrow ^{135}_{53}\text{I} \rightarrow \beta^- \rightarrow ^{135}_{54}\text{Xe} \rightarrow \beta^- \rightarrow ^{135}_{55}\text{Cs} \rightarrow \beta^- \rightarrow ^{135}_{56}\text{Ba}$ (izotop stabil);

$^{238}_{92}\text{U} + ^1_0\text{n} \rightarrow ^{239}_{92}\text{U}^* \rightarrow ^{149}_{60}\text{Nd} + ^{87}_{32}\text{Ge} + 3^1_0\text{n} + \gamma + E_f$; randament de fisiune: 1,13%;

$^{149}_{60}\text{Nd} \rightarrow \beta^- \rightarrow ^{149}_{61}\text{Pm} \rightarrow \beta^- \rightarrow ^{149}_{62}\text{Sm}$ (izotop stabil);

$t_{1/2} = 2 \text{ ore} (7200 \text{ s})$ $t_{1/2} = 54 \text{ ore} (194400 \text{ s})$; $t_{1/2}$ - timp de înjumătățire izotopică (s);

$^{239}_{94}\text{Pu} + ^1_0\text{n} \rightarrow ^{240}_{94}\text{Pu}^* \rightarrow ^{102}_{40}\text{Zr} + ^{135}_{54}\text{Xe} + 3^1_0\text{n} + \gamma + E_f$;

$^{135}_{54}\text{Xe} \xrightarrow{t_{1/2}=9,17 \text{ ore} (33012 \text{ s})} \beta^- \rightarrow ^{135}_{55}\text{Cs} \rightarrow \beta^- \rightarrow ^{135}_{56}\text{Ba}$ (izotop stabil);

$^{240}_{94}\text{Pu} + ^1_0\text{n} \rightarrow ^{241}_{94}\text{Pu}^* \rightarrow ^{101}_{40}\text{Zr} + ^{137}_{54}\text{Xe} + 3^1_0\text{n} + \gamma + E_f$;

$^{241}_{94}\text{Pu} + ^1_0\text{n} \rightarrow ^{242}_{94}\text{Pu}^* \rightarrow ^{100}_{40}\text{Zr} + ^{139}_{54}\text{Xe} + 3^1_0\text{n} + \gamma + E_f$;

$^{139}_{54}\text{Xe} \rightarrow \beta^- \rightarrow ^{139}_{55}\text{Cs} \rightarrow \beta^- \rightarrow ^{139}_{56}\text{Ba} \rightarrow \beta^- \rightarrow ^{139}_{57}\text{La}$ (izotop stabil);

$^{238}_{92}\text{U}(n, \gamma) \rightarrow ^{239}_{92}\text{U}^* \xrightarrow{t_{1/2}=23,5 \text{ minute} (1410 \text{ s})} \beta^- \rightarrow ^{239}_{93}\text{Np} \xrightarrow{t_{1/2}=2,4 \text{ zile} (207360 \text{ s})} \beta^- \rightarrow ^{239}_{94}\text{Pu}$;

$^{239}_{94}\text{Pu}(n, \gamma) \rightarrow ^{240}_{94}\text{Pu}(n, \gamma) \rightarrow ^{241}_{94}\text{Pu}(n, \gamma) \rightarrow ^{242}_{94}\text{Pu} \xrightarrow{t_{1/2}=130 \text{ ani}} \beta^- \rightarrow ^{242}_{95}\text{Am}$;

$^{241}_{94}\text{Pu} \xrightarrow{t_{1/2}=13,2 \text{ ani}} \beta^- \rightarrow ^{241}_{95}\text{Am}$.

Toți izotopii elementelor plutoniu, americium, fisionează cu neutroni rapizi. Emisia de
neutroni rapizi întârziați și dezintegrarea β^- conduce la o stabilitate nucleară relativă a
radioizotopilor, stabilitate apropiată numerelor magice 50, 82.

Modelul dimensional multigrupal Ion Cristescu pentru reactorul nuclear heterogen
supraregenerator izotopic este:

În baza compoziției izotopice a zonei de reacție **R** formată din izotopi fisionabili
principali ($^{238}_{92}\text{U}$, $^{239}_{94}\text{Pu}$) sub formă de compuși radiochimici $^{238}\text{UO}_2$, $^{239}\text{PuO}_2$ sunt remarcabile
egalitățile: $X_{238} + X_{239} = 1$; $Y_{238} + Y_{239} = 1$; $m_{238} + m_{239} = m_R$; $V_{238} + V_{239} = V_R$; în care:

X_{238} - fracția de masă a $^{238}\text{UO}_2$ în combustibilul nuclear (kg/kg); X_{239} - fracția de masă a
 $^{239}\text{PuO}_2$ în combustibilul nuclear (kg/kg); Y_{238}/Y_{239} - fracții de volum ale $^{238}\text{UO}_2$, PuO_2 în
combustibilul nuclear din zona de reacție (m^3/m^3); m_{238} , m_{239} - masele corespunzătoare

$^{238}\text{UO}_2$, $^{239}\text{PuO}_2$ în combustibilul nuclear (kg); V_{238} , V_{239} - volumele corespunzătoare $^{238}\text{UO}_2$,
 $^{239}\text{PuO}_2$ în combustibilul nuclear (m^3); m_R - masa combustibilului nuclear în zona de reacție

R respectiv masa critică (kg); V_R - volumul combustibilului nuclear în zona de reacție **R**
respectiv volumul critic (m^3).

$X_{238} = (m_{238}/m_R) = (\rho_{238} \cdot V_{238}) / (\rho_R \cdot V_R) = (\rho_{238}/\rho_R) \cdot Y_{238}$;

$X_{239} = (m_{239}/m_R) = (\rho_{239} \cdot V_{239}) / (\rho_R \cdot V_R) = (\rho_{239}/\rho_R) \cdot Y_{239}$; $V_R = (m_R/\rho_R)$; $V_{238} = (m_{238}/\rho_{238})$;

RO 131002 B1

1 $V_{239}=(m_{239}/\rho_{239}); (m_R/\rho_R)=(m_{238}/\rho_{238})+(m_{239}/\rho_{239}); Y_{238}=(\rho_R/\rho_{238}) \cdot X_{238}; Y_{239}=(\rho_R/\rho_{239}) \cdot X_{239}$
 2 $(1/\rho_R)=[(1/\rho_{238}) \cdot (m_{238}/m_R)+(1/\rho_{239}) \cdot (m_{239}/m_R)]=(X_{238}/\rho_{238})+(X_{239}/\rho_{239}); \rho_{238}, \rho_{239}$ - densitățile
 3 corespunzătoare $^{238}\text{UO}_2, ^{239}\text{PuO}_2$ (kg/m³); ρ_R - densitatea medie a combustibilului nuclear
 4 oxidic mixt în zona de reacție **R** (kg/m³). Concentrația de nuclee a izotopilor fisionabili
 5 principali ($^{238}_{92}\text{U}, ^{239}_{94}\text{Pu}$) și a izotopului structural agent caloportor ($^{23}_{11}\text{Na}$) [N(nuclee/m³)] se
 6 determină conform expresiei: $N = (\rho \cdot N_A)/M$; N_A - numărul lui Avogadro ($N_A = 6,023 \cdot 10^{26}$
 7 nuclee/kmol); ρ - densitatea caracteristică substanței (kg/m³); M - masa molară atomică a
 8 izotopului structural agent caloportor ($^{23}_{11}\text{Na}$) respectiv masa molară a compușilor
 9 radiochimici $^{238}\text{UO}_2, ^{239}\text{PuO}_2$ (kg/kmol). Pentru 8 grupe de energie ale neutronilor rapizi (grup
 10 $g = 1:1,4 \text{ MeV} \dots 2,5 \text{ MeV}$; grup $g = 2:0,7 \text{ MeV} \dots 1,4 \text{ MeV}$; grup $g = 3:0,4 \text{ MeV} \dots 0,7 \text{ MeV}$; grup
 11 $g = 4:0,2 \text{ MeV} \dots 0,4 \text{ MeV}$; grup $g = 5:0,1 \text{ MeV} \dots 0,2 \text{ MeV}$; grup $g = 6:0,05 \text{ MeV} \dots 0,1 \text{ MeV}$; grup
 12 $g = 7:0,025 \text{ MeV} \dots 0,05 \text{ MeV}$; grup $g = 8:0,01 \text{ MeV} \dots 0,025 \text{ MeV}$) și izotopul structural agent
 13 caloportor ($^{23}_{11}\text{Na}$), ratele reacțiilor de absorbție (captură neutronică radiativă) [$R_a(\text{n}^\circ/\text{m}^3 \cdot \text{s})$],
 14 ratele proceselor de împrăștiere elastică/inelastică [$R_s(\text{n}^\circ/\text{m}^3 \cdot \text{s})$], ratele proceselor de
 15 evacuare ale neutronilor rapizi dintr-o grupă [$R_{rg}(\text{n}^\circ/\text{m}^3 \cdot \text{s})$], se determină conform ecuațiilor
 16 dimensionale:

$$17 \quad R_a = N \cdot \sum_{g=1}^{g=8} (\sigma_{\gamma g} \cdot \Phi_g) = \sum_{g=1}^{g=8} (\Sigma_{\gamma g} \cdot \Phi_g);$$

$$19 \quad R_s = N \cdot \sum_{g=1}^{g=8} (\sigma_{sg} \cdot \Phi_g) = \sum_{g=1}^{g=8} (\Sigma_{sg} \cdot \Phi_g)$$

$$21 \quad R_{rg} = N \cdot [(\sigma_{\gamma g} + \sigma_{sg}) \cdot \Phi_g] = [(\Sigma_{\gamma g} + \Sigma_{sg}) \cdot \Phi_g] = \Sigma_{rg} \cdot \Phi_g$$

23 Pentru izotopii fisionabili $^{238}\text{U}, ^{239}\text{Pu}$, ratele reacțiilor de fisiune cu neutroni rapizi
 24 [$R_f(\text{n}^\circ/\text{m}^3 \cdot \text{s})$], sursa neutronilor rapizi [$S_f(\text{n}^\circ/\text{m}^3 \cdot \text{s})$] și ratele proceselor de evacuare ale
 25 neutronilor rapizi dintr-un grup energetic g [$R_{fg}(\text{n}^\circ/\text{m}^3 \cdot \text{s})$], se determină conform ecuațiilor
 26 dimensionale:

$$27 \quad R_f = N \cdot \sum_{g=1}^{g=8} (\sigma_{fg} \cdot \Phi_g) = \sum_{g=1}^{g=8} (\Sigma_{fg} \cdot \Phi_g);$$

$$29 \quad S_f = N \cdot \sum_{g=1}^{g=8} (v_g \cdot \sigma_{fg} \cdot \Phi_g) = \sum_{g=1}^{g=8} (v_g \cdot \Sigma_{fg} \cdot \Phi_g);$$

$$31 \quad R_{fg} = [(\sigma_{\gamma g} + \sigma_{sg} + \sigma_{fg}) \cdot \Phi_g N] = [(\Sigma_{\gamma g} + \Sigma_{sg} + \Sigma_{fg}) \cdot \Phi_g] = \Sigma_{fg} \cdot \Phi_g$$

33 Pentru izotopul $^{238}_{92}\text{U}$ grup energetic neutroni rapizi, avem: $g = 1: R_f = N \cdot \sigma_{f1} \cdot \Phi_1$;
 34 $S_f = N \cdot v_1 \cdot \sigma_{f1} \cdot \Phi_1$; $\sum_{g=1}^{g=8}$ - operator însumare pe 8 grupe neutronice; σ_{vg} - secțiunea
 35 microscopică de absorbție (captură radiativă) a neutronilor rapizi din grupul g (m²);
 36 σ_{sg} - secțiunea microscopică de împrăștiere elastică/inelastică a neutronilor grupului g pe
 37 nucleele izotopului structural $^{23}_{11}\text{Na}$ și pe nucleele izotopilor fisionabili $^{238}_{92}\text{U}, ^{239}_{94}\text{Pu}$ (m²);
 38 σ_{fg} - secțiunea microscopică de fisiune a nucleelor izotopilor fisionabili cu neutroni rapizi din
 39 grupul g (m²); v_g - randament neutronic total per fisiune, respectiv numărul mediu de neutroni
 40 rapizi prompti și întârziați generați la fisiunea nucleului izotopului fisionabil pentru un neutron
 41 rapid absorbit din grupul energetic g (n[°]/fisiune); Φ_g - spectru neutronic pentru grupul
 42 energetic g (n[°]/m² · s), ce se determină conform ecuației integrale:

$$43 \quad \Phi_g = (\chi_g \cdot \Phi) = \Phi \cdot \int_{E_g}^{E_{g-1}} [\chi(E) \cdot dE] = \Phi \cdot \int_{E_g}^{E_{g-1}} [0,77 \cdot E^{1/2} \cdot \exp(-0,77 \cdot E) \cdot dE];$$

45 $E_{g-1} > E_g$; χ_g - coeficient spectral pentru fiecare grup energetic g ; Φ - flux neutronic total în
 reactor (n[°]/m² · s) ce se determină conform ecuației dimensionale:

RO 131002 B1

$\Phi = \Phi_0 \cdot \cos(\pi \cdot z / H_e) \cdot J_0(j_0 \cdot r / R_e)$; r, z - coordonate variabile rază, înălțimea (m); Φ_0 - flux
 1
 neutronic în centrul reactorului ($n_0/m^2 \cdot s$); $J_0(j_0 \cdot r / R_e)$ - funcția Bessel dezvoltată în serie de
 3
 puteri în jurul originii, conform expresiei:
 $J_0 = 1 - [(j_0^2 \cdot r^2) / (4 \cdot R_e^2)] + [(j_0^4 \cdot r^4) / (64 \cdot R_e^4)] - [(j_0^6 \cdot r^6) / (2304 \cdot R_e^6)] + \dots$; $j_0 = 2,405$; H_e, R_e - dimensiuni
 5
 extrapolate (înălțimea H_e , raza R_e) ale reactorului nuclear cilindric (m); \cos - funcția cosinus;
 $\chi(E)$ - spectrul neutronilor prompti dependent de energie (MeV^{-1}); dE - element diferențial
 7
 energetic al neutronilor prompti (MeV); E_g - energia neutronilor rapizi din grupul g (MeV); E_{g-1}
 - energia neutronilor rapizi din grupul g-1 (MeV); \exp - funcția exponențială. Rata proceselor
 9
 de transport al neutronilor rapizi dintr-un grup energetic g într-un grup inferior g+1
 $[R_{tg} (n^\circ/m^3 \cdot s)]$ pentru izotopul structural $^{23}_{11}Na$ și izotopii fisionabili $^{238}_{92}U, ^{239}_{94}Pu$, se determină
 11
 conform ecuației dimensionale: $R_{tg} = N \cdot \sigma_{tg} \cdot \Phi_g = \Sigma_{tg} \cdot \Phi_g$; cu σ_{tg} - secțiunea microscopică de
 13
 transport al neutronilor rapizi din grupul g în grupul inferior g+1 (m^2); $\Sigma_{vg}, \Sigma_{sg}, \Sigma_{rg}, \Sigma_{tg}$ - secțiuni
 macroscopice de absorbție a neutronilor rapizi (captură neutronică radiativă) din grupul g,
 15
 împrăștierea elastică /inelastică, evacuarea neutronilor din grupul g, transportul neutronilor
 rapizi din grupul g, aferente nucleelor izotopului structural agent caloportor $^{23}_{11}Na$ și izotopilor
 17
 fisionabili $^{238}_{92}U, ^{239}_{94}Pu$ (m^{-1}); Σ_{fg} - secțiunea macroscopică de fisiune cu neutroni rapizi din
 grupul g aferentă nucleelor izotopilor fisionabili (m^{-1}). Drumul liber mediu [$\lambda_{tg}(m)$] parcurs de
 19
 neutronii rapizi ai grupului energetic g, se determină conform ecuației dimensionale: λ_{tg}
 $= (1/R_{tg}) = [1/(N \cdot \sigma_{tg} \cdot \Phi_g)] = [1/\Sigma_{tg} \cdot \Phi_g]$. Coeficientul de difuzie al neutronilor rapizi [$D_g(m)$] valoare
 21
 medie constantă pe grup energetic g, se determină conform ecuației dimensionale:
 $D_g = (\lambda_{tg}/3) = [1/(3 \cdot R_{tg})] = [1/(3 \cdot N \cdot \sigma_{tg} \cdot \Phi_g)] = [1/(3 \cdot \Sigma_{tg} \cdot \Phi_g)]$. Rata proceselor de difuzie ale neutronilor
 23
 rapizi din grupul g [$R_d(n^\circ/m \cdot s)$], se determină conform ecuației dimensionale:
 $R_d = \Sigma_{g=1}^{9=8} (D_g \cdot \Phi_g)$. Rata proceselor de împrăștiere elastică/inelastică a neutronilor rapizi din
 25
 grupul g în grupul g+1, se determină conform ecuației dimensionale: $N \cdot \sigma_{sg-g+1} \cdot \Phi_g = \Sigma_{sg-g+1} \cdot \Phi_g$,
 σ_{sg-g+1} - secțiunea microscopică de împrăștiere elastică/inelastică a neutronilor rapizi ai
 27
 grupului g în grupul g+1 (m^2); Σ_{sg-g+1} - secțiunea macroscopică de împrăștiere elastică/inelas-
 tică a neutronilor rapizi ai grupului g în grupul g+1 (m^{-1}). Pierderea medie de energie
 29
 [$\xi(eV/ciocnire)$] a neutronului rapid la o ciocnire cu un nucleu de izotop structural, fisionabil,
 se determină conform expresiei: $\xi = [2/(A+2/3)]$; A - număr de masă atomică al nucleului
 31
 izotopului (u). Constantele nucleare pentru opt grupe neutronice ale izotopilor $^{23}_{11}Na, ^{238}_{92}U,$
 $^{239}_{94}Pu$, sunt specificate în tabelele 1, 2, 3:

Tabelul 1

$^{23}_{11}Na$:	$\rho = 760 \text{ kg/m}^3$ ($t = 800^\circ C$)	$N_{23} = 199 \cdot 10^{26}$ nuclee/ m^3	$M = 23$ kg/kmol	$\xi = 0,0845$ eV/ciocnire	$\Phi = 2 \cdot 10^{18}$ $n^\circ/m^2 \cdot s$			
Grup g	1	2	3	4	5	6	7	8
$\sigma_{vg}(m^2)$:	0	$0,0003 \cdot 10^{-28}$	$0,0005 \cdot 10^{-28}$	$0,0006 \cdot 10^{-28}$	$0,0009 \cdot 10^{-28}$	$0,002 \cdot 10^{-28}$	$0,0015 \cdot 10^{-28}$	$0,0015 \cdot 10^{-28}$
$\Sigma_{vg}(m^{-1})$:	0	0,0006	0,001	0,0012	0,0018	0,004	0,003	0,003
Φ_g : ($n^\circ/m^2 \cdot s$)	$1,14 \cdot 10^{18}$	$0,472 \cdot 10^{18}$	$0,2 \cdot 10^{18}$	$0,12 \cdot 10^{18}$	$0,044 \cdot 10^{18}$	$0,018 \cdot 10^{18}$	$0,008 \cdot 10^{18}$	$0,004 \cdot 10^{18}$
$\Sigma_{vg} \cdot \Phi_g$: ($n^\circ/m^3 \cdot s$)	0	$0,0283 \cdot 10^{16}$	$0,03 \cdot 10^{16}$	$0,0144 \cdot 10^{16}$	$0,008 \cdot 10^{16}$	$0,0072 \cdot 10^{16}$	$0,0024 \cdot 10^{16}$	$0,0012 \cdot 10^{16}$
$\sigma_{sg}(m^2)$:	$0,53 \cdot 10^{-28}$	$0,8 \cdot 10^{-28}$	$0,67 \cdot 10^{-28}$	$0,43 \cdot 10^{-28}$	$0,4 \cdot 10^{-28}$	$0,39 \cdot 10^{-28}$	$0,35 \cdot 10^{-28}$	$0,26 \cdot 10^{-28}$
$\Sigma_{sg}(m^{-1})$:	1,0547	1,592	1,333	0,856	0,796	0,776	0,696	0,517
$\Sigma_{rg}(m^{-1})$:	1,0547	1,5926	1,334	0,8572	0,7978	0,78	0,699	0,52
$\sigma_{tg}(m^2)$:	$2,0 \cdot 10^{-28}$	$3,0 \cdot 10^{-28}$	$3,3 \cdot 10^{-28}$	$3,5 \cdot 10^{-28}$	$3,8 \cdot 10^{-28}$	$4,2 \cdot 10^{-28}$	$4,3 \cdot 10^{-28}$	$5,0 \cdot 10^{-28}$
$\Sigma_{tg}(m^{-1})$:	3,98	5,97	6,567	6,965	7,562	8,358	8,557	9,95

RO 131002 B1

Tabelul 1 (continuare)

	$^{23}_{11}\text{Na}$:	$\rho=760\text{kg/m}^3$ ($t=800^\circ\text{C}$)	$N_{23}=199\cdot 10^{26}$ nuclee/ m^3	$M=23$ kg/kmol	$\xi=0,0845$ eV/ciocnire	$\Phi=2\cdot 10^{18}$ $\text{n}^\circ/\text{m}^2\cdot\text{s}$			
1	λ_{g} (m):	0,251	0,167	0,152	0,144	0,132	0,119	0,117	0,10
3	D_{g} (m):	0,084	0,056	0,051	0,048	0,044	0,040	0,039	0,033
5	$D_{\text{g}}\cdot\Phi_{\text{g}}$: ($\text{n}^\circ/\text{m}\cdot\text{s}$)	$9,576\cdot 10^{16}$	$2,643\cdot 10^{16}$	$1,02\cdot 10^{16}$	$0,576\cdot 10^{16}$	$0,1936\cdot 10^{16}$	$0,072\cdot 10^{16}$	$0,0312\cdot 10^{16}$	$0,0132\cdot 10^{16}$
7	$\Sigma_{\text{rg}}\cdot\Phi_{\text{g}}$: ($\text{n}^\circ/\text{m}^3\cdot\text{s}$)	$120,24\cdot 10^{16}$	$75,17\cdot 10^{16}$	$26,68\cdot 10^{16}$	$10,286\cdot 10^{16}$	$3,51\cdot 10^{16}$	$1,404\cdot 10^{16}$	$0,5592\cdot 10^{16}$	$0,208\cdot 10^{16}$
9		$\Sigma_{\text{g}=1}^{\text{g}=8}(\Sigma_{\text{vg}}\cdot\Phi_{\text{g}})=0,0915\cdot 10^{16} \text{ n}^\circ/\text{m}^3\cdot\text{s}$				$\Sigma_{\text{g}=1}^{\text{g}=8}(D_{\text{g}}\cdot\Phi_{\text{g}})=14,125\cdot 10^{16} \text{ n}^\circ/\text{m}\cdot\text{s}$			
11	$\sigma_{\text{s}1-2}$	$=0,46\cdot 10^{-28}\text{m}^2$	$\Sigma_{\text{s}1-2}\cdot\Phi_1=104,35\cdot 10^{16} \text{ n}^\circ/\text{m}^3\cdot\text{s}$	$\sigma_{\text{s}3-5}$	$=0,09\cdot 10^{-28}\text{m}^2$	$\Sigma_{\text{s}3-5}\cdot\Phi_3=3,58\cdot 10^{16} \text{ n}^\circ/\text{m}^3\cdot\text{s}$			
	$\sigma_{\text{s}1-3}$	$=0,04\cdot 10^{-28}\text{m}^2$	$\Sigma_{\text{s}1-3}\cdot\Phi_1=9,074\cdot 10^{16} \text{ n}^\circ/\text{m}^3\cdot\text{s}$	$\sigma_{\text{s}3-6}$	$=0,03\cdot 10^{-28}\text{m}^2$	$\Sigma_{\text{s}3-6}\cdot\Phi_3=1,19\cdot 10^{16} \text{ n}^\circ/\text{m}^3\cdot\text{s}$			
13	$\sigma_{\text{s}1-4}$	$=0,02\cdot 10^{-28}\text{m}^2$	$\Sigma_{\text{s}1-4}\cdot\Phi_1=4,54\cdot 10^{16} \text{ n}^\circ/\text{m}^3\cdot\text{s}$	$\sigma_{\text{s}3-7}$	$=0,01\cdot 10^{-28}\text{m}^2$	$\Sigma_{\text{s}3-7}\cdot\Phi_3=0,4\cdot 10^{16} \text{ n}^\circ/\text{m}^3\cdot\text{s}$			
	$\sigma_{\text{s}1-5}$	$=0,01\cdot 10^{-28}\text{m}^2$	$\Sigma_{\text{s}1-5}\cdot\Phi_1=2,268\cdot 10^{16} \text{ n}^\circ/\text{m}^3\cdot\text{s}$	$\sigma_{\text{s}3-8}$	$=0,01\cdot 10^{-28}\text{m}^2$	$\Sigma_{\text{s}3-8}\cdot\Phi_3=0,4\cdot 10^{16} \text{ n}^\circ/\text{m}^3\cdot\text{s}$			
15	$\sigma_{\text{s}2-3}$	$=0,65\cdot 10^{-28}\text{m}^2$	$\Sigma_{\text{s}2-3}\cdot\Phi_2=61,053\cdot 10^{16} \text{ n}^\circ/\text{m}^3\cdot\text{s}$	$\sigma_{\text{s}4-5}$	$=0,43\cdot 10^{-28}\text{m}^2$	$\Sigma_{\text{s}4-5}\cdot\Phi_4=10,27\cdot 10^{16} \text{ n}^\circ/\text{m}^3\cdot\text{s}$			
	$\sigma_{\text{s}2-4}$	$=0,12\cdot 10^{-28}\text{m}^2$	$\Sigma_{\text{s}2-4}\cdot\Phi_2=11,27\cdot 10^{16} \text{ n}^\circ/\text{m}^3\cdot\text{s}$	$\sigma_{\text{s}5-6}$	$=0,4\cdot 10^{-28}\text{m}^2$	$\Sigma_{\text{s}5-6}\cdot\Phi_5=3,5\cdot 10^{16} \text{ n}^\circ/\text{m}^3\cdot\text{s}$			
17	$\sigma_{\text{s}2-5}$	$=0,02\cdot 10^{-28}\text{m}^2$	$\Sigma_{\text{s}2-5}\cdot\Phi_2=1,878\cdot 10^{16} \text{ n}^\circ/\text{m}^3\cdot\text{s}$	$\sigma_{\text{s}6-7}$	$=0,39\cdot 10^{-28}\text{m}^2$	$\Sigma_{\text{s}6-7}\cdot\Phi_6=1,4\cdot 10^{16} \text{ n}^\circ/\text{m}^3\cdot\text{s}$			
	$\sigma_{\text{s}2-6}$	$=0,01\cdot 10^{-28}\text{m}^2$	$\Sigma_{\text{s}2-6}\cdot\Phi_2=0,939\cdot 10^{16} \text{ n}^\circ/\text{m}^3\cdot\text{s}$	$\sigma_{\text{s}7-8}$	$=0,35\cdot 10^{-28}\text{m}^2$	$\Sigma_{\text{s}7-8}\cdot\Phi_7=0,56\cdot 10^{16} \text{ n}^\circ/\text{m}^3\cdot\text{s}$			
19	$\sigma_{\text{s}3-4}$	$=0,55\cdot 10^{-28}\text{m}^2$	$\Sigma_{\text{s}3-4}\cdot\Phi_3=21,89\cdot 10^{16} \text{ n}^\circ/\text{m}^3\cdot\text{s}$	$\sigma_{\text{s}8-9}$	$=0,26\cdot 10^{-28}\text{m}^2$	$\Sigma_{\text{s}8-9}\cdot\Phi_8=0,207\cdot 10^{16} \text{ n}^\circ/\text{m}^3\cdot\text{s}$			

Tabelul 2

	$^{238}_{92}\text{UO}_2$ ($^{238}_{92}\text{U}$)	$\rho=10960$ kg/ m^3	$N_{238}=244,49\cdot 10^{26}$ nuclee/ m^3	$M=270$ kg/kmol	$\xi=0,00838$ eV/ciocnire	$\Phi=2\cdot 10^{18}$ $\text{n}^\circ/\text{m}^2\cdot\text{s}$			
21	Grup g	1	2	3	4	5	6	7	8
23	σ_{vg} (m^2):	$0,05\cdot 10^{-28}$	$0,13\cdot 10^{-28}$	$0,13\cdot 10^{-28}$	$0,15\cdot 10^{-28}$	$0,22\cdot 10^{-28}$	$0,31\cdot 10^{-28}$	$0,46\cdot 10^{-28}$	$0,6\cdot 10^{-28}$
25	Σ_{vg} (m^{-1}):	0,1222	0,3178	0,3178	0,3667	0,5379	0,758	1,1246	1,467
27	Φ_{g} :($\text{n}^\circ/\text{m}^2\cdot\text{s}$)	$1,14\cdot 10^{18}$	$0,472\cdot 10^{18}$	$0,2\cdot 10^{18}$	$0,12\cdot 10^{18}$	$0,044\cdot 10^{18}$	$0,018\cdot 10^{18}$	$0,008\cdot 10^{18}$	$0,004\cdot 10^{18}$
29	$\Sigma_{\text{vg}}\cdot\Phi_{\text{g}}$: ($\text{n}^\circ/\text{m}^3\cdot\text{s}$)	$13,93\cdot 10^{16}$	$15,0\cdot 10^{16}$	$6,356\cdot 10^{16}$	$4,4\cdot 10^{16}$	$2,267\cdot 10^{16}$	$1,364\cdot 10^{16}$	$0,9\cdot 10^{16}$	$0,587\cdot 10^{16}$
31	σ_{sg} (m^2):	$2,1\cdot 10^{-28}$	$1,0\cdot 10^{-28}$	$0,4\cdot 10^{-28}$	$0,3\cdot 10^{-28}$	$0,23\cdot 10^{-28}$	$0,18\cdot 10^{-28}$	$0,08\cdot 10^{-28}$	$0,07\cdot 10^{-28}$
33	Σ_{sg} (m^{-1}):	5,134	2,449	0,978	0,7335	0,562	0,44	0,1956	0,1711
35	$\sigma_{\text{f}1}$ (m^2):	$0,56\cdot 10^{-28}$	-	-	-	-	-	-	-
37	$\Sigma_{\text{f}1}$ (m^{-1}):	1,369	-	-	-	-	-	-	-
39	Σ_{rg} (m^{-1}):	6,6252	2,763	1,2958	1,1	1,0999	1,198	1,3202	1,6381
41	$\Sigma_{\text{rg}}\cdot\Phi_{\text{g}}$: ($\text{n}^\circ/\text{m}^3\cdot\text{s}$)	$755,27\cdot 10^{16}$	$130,41\cdot 10^{16}$	$25,916\cdot 10^{16}$	$13,2\cdot 10^{16}$	$4,839\cdot 10^{16}$	$2,156\cdot 10^{16}$	$1,056\cdot 10^{16}$	$0,655\cdot 10^{16}$
43	σ_{ag} (m^2):	$0,61\cdot 10^{-28}$	$0,13\cdot 10^{-28}$	$0,13\cdot 10^{-28}$	$0,15\cdot 10^{-28}$	$0,22\cdot 10^{-28}$	$0,31\cdot 10^{-28}$	$0,46\cdot 10^{-28}$	$0,6\cdot 10^{-28}$
45	$\Sigma_{\text{ag}}\cdot\Phi_{\text{g}}$: ($\text{n}^\circ/\text{m}^3\cdot\text{s}$)	$170\cdot 10^{16}$	$15\cdot 10^{16}$	$6,3567\cdot 10^{16}$	$4,4\cdot 10^{16}$	$2,367\cdot 10^{16}$	$1,364\cdot 10^{16}$	$0,9\cdot 10^{16}$	$0,587\cdot 10^{16}$
47	$\Sigma_{\text{f}1}\cdot\Phi_1$: ($\text{n}^\circ/\text{m}^3\cdot\text{s}$)	$156,08\cdot 10^{16}$	-	-	-	-	-	-	-
49	v_1 :	2,9	-	-	-	-	-	-	-
	$\Sigma_{\text{f}1}\cdot\Phi_1\cdot v_1$ ($\text{n}^\circ/\text{m}^3\cdot\text{s}$)	$452,59\cdot 10^{16}$	-	-	-	-	-	-	-
	X_{g} :	0,57	0,236	0,099	0,058	0,022	0,009	0,004	0,002
	$X_{\text{g}}\cdot v_1\cdot\Sigma_{\text{f}1}\cdot\Phi_1$ ($\text{n}^\circ/\text{m}^3\cdot\text{s}$)	$258\cdot 10^{16}$	$106,8\cdot 10^{16}$	$44,81\cdot 10^{16}$	$26,25\cdot 10^{16}$	$9,96\cdot 10^{16}$	$4,07\cdot 10^{16}$	$1,81\cdot 10^{16}$	$0,905\cdot 10^{16}$
	σ_{tg} (m^2):	$4,3\cdot 10^{-28}$	$4,8\cdot 10^{-28}$	$5,8\cdot 10^{-28}$	$7,4\cdot 10^{-28}$	$9,5\cdot 10^{-28}$	$11,3\cdot 10^{-28}$	$12,4\cdot 10^{-28}$	$14,0\cdot 10^{-28}$
	Σ_{tg} (m^{-1}):	10,513	11,735	14,18	18,09	23,226	27,63	30,32	34,228

RO 131002 B1

Tabelul 2 (continuare)

$^{238}\text{UO}_2$ ($^{238}_{92}\text{U}$)	$\rho=10960$ kg/m ³	$N_{238}=244,49 \cdot 10^{26}$ nuclee/m ³	$M=270$ kg/kmol	$\xi=0,00838$ eV/ciocnire		$\Phi=2 \cdot 10^{18}$ n°/m ² ·s		
$\lambda_{ig}(m):$	0,095	0,0852	0,0705	0,0553	0,043	0,036	0,033	0,029
$D_g(m):$	0,0317	0,0284	0,0235	0,0184	0,0143	0,012	0,011	0,0097
$D_g \cdot \Phi_g:$ (n°/m ³ ·s)	$3,614 \cdot 10^{16}$	$1,341 \cdot 10^{16}$	$0,47 \cdot 10^{16}$	$0,221 \cdot 10^{16}$	$0,06 \cdot 10^{16}$	$0,022 \cdot 10^{16}$	$0,0088 \cdot 10^{16}$	$0,0039 \cdot 10^{16}$
$\sum_{g=1}^{g=8}(\sum_{ag} \cdot \Phi_g)=200,975 \cdot 10^{16}$ n°/m ³ ·s				$\sum_{g=1}^{g=8}(D_g \cdot \Phi_g)=5,741 \cdot 10^{16}$ n°/m·s				
$\sigma_{s1-2}=0,71 \cdot 10^{-28} m^2$	$\sum_{s1-2} \cdot \Phi_1=197,889 \cdot 10^{16}$ n°/m ³ ·s			$\sigma_{s2-6}=0,05 \cdot 10^{-28} m^2$	$\sum_{s2-6} \cdot \Phi_2=5,77 \cdot 10^{16}$ n°/m ³ ·s			
$\sigma_{s1-3}=0,6 \cdot 10^{-28} m^2$	$\sum_{s1-3} \cdot \Phi_1=153,55 \cdot 10^{16}$ n°/m ³ ·s			$\sigma_{s2-7}=0,02 \cdot 10^{-28} m^2$	$\sum_{s2-7} \cdot \Phi_2=2,308 \cdot 10^{16}$ n°/m ³ ·s			
$\sigma_{s1-4}=0,5 \cdot 10^{-28} m^2$	$\sum_{s1-4} \cdot \Phi_1=127,96 \cdot 10^{16}$ n°/m ³ ·s			$\sigma_{s3-4}=0,4 \cdot 10^{-28} m^2$	$\sum_{s3-4} \cdot \Phi_3=19,559 \cdot 10^{16}$ n°/m ³ ·s			
$\sigma_{s1-5}=0,2 \cdot 10^{-28} m^2$	$\sum_{s1-5} \cdot \Phi_1=55,743 \cdot 10^{16}$ n°/m ³ ·s			$\sigma_{s4-5}=0,3 \cdot 10^{-28} m^2$	$\sum_{s4-5} \cdot \Phi_4=8,8 \cdot 10^{16}$ n°/m ³ ·s			
$\sigma_{s1-6}=0,07 \cdot 10^{-28} m^2$	$\sum_{s1-6} \cdot \Phi_1=19,51 \cdot 10^{16}$ n°/m ³ ·s			$\sigma_{s5-6}=0,23 \cdot 10^{-28}$	$\sum_{s5-6} \cdot \Phi_5=2,474 \cdot 10^{16}$ n°/m ³ ·s			
$\sigma_{s1-7}=0,02 \cdot 10^{-28} m^2$	$\sum_{s1-7} \cdot \Phi_1=5,574 \cdot 10^{16}$ n°/m ³ ·s			$\sigma_{s6-7}=0,18 \cdot 10^{-28} m^2$	$\sum_{s6-7} \cdot \Phi_6=0,792 \cdot 10^{16}$ n°/m ³ ·s			
$\sigma_{s2-3}=0,44 \cdot 10^{-28} m^2$	$\sum_{s2-3} \cdot \Phi_2=50,775 \cdot 10^{16}$ n°/m ³ ·s			$\sigma_{s7-8}=0,08 \cdot 10^{-28} m^2$	$\sum_{s7-8} \cdot \Phi_7=0,156 \cdot 10^{16}$ n°/m ³ ·s			
$\sigma_{s2-4}=0,35 \cdot 10^{-28} m^2$	$\sum_{s2-4} \cdot \Phi_2=40,39 \cdot 10^{16}$ n°/m ³ ·s			$\sigma_{s8-9}=0,07 \cdot 10^{-28}$	$\sum_{s8-9} \cdot \Phi_8=0,068 \cdot 10^{16}$ n°/m ³ ·s			
$\sigma_{s2-5}=0,14 \cdot 10^{-28} m^2$	$\sum_{s2-5} \cdot \Phi_2=16,156 \cdot 10^{16}$ n°/m ³ ·s			-	-			

Tabelul 3

$^{239}\text{PO}_2$ ($^{239}_{94}\text{Pu}$)	$\rho=11460$ kg/m ³	$N_{239}=254,7 \cdot 10^{26}$ nuclee/m ³	$M=271$ kg/kmol	$\xi=0,00834$ ev/ciocnire		$\Phi=2 \cdot 10^{18}$ n°/m ² ·s		
Grup g	1	2	3	4	5	6	7	8
$\sigma_{vg}(m^2):$	$0,02 \cdot 10^{-28}$	$0,06 \cdot 10^{-28}$	$0,1 \cdot 10^{-28}$	$0,14 \cdot 10^{-28}$	$0,24 \cdot 10^{-28}$	$0,44 \cdot 10^{-28}$	$0,68 \cdot 10^{-28}$	$1,05 \cdot 10^{-28}$
$\sum_{vg}(m^{-1}):$	0,051	0,153	0,255	0,357	0,611	1,121	1,732	2,674
$\Phi_g:(n^\circ/m^2 \cdot s)$	$1,202 \cdot 10^{18}$	$0,45 \cdot 10^{18}$	$0,182 \cdot 10^{18}$	$0,102 \cdot 10^{18}$	$0,036 \cdot 10^{18}$	$0,016 \cdot 10^{18}$	$0,008 \cdot 10^{18}$	$0,004 \cdot 10^{18}$
$\sum_{vg} \cdot \Phi_g:$ (n°/m ³ ·s)	$6,13 \cdot 10^{16}$	$6,885 \cdot 10^{16}$	$4,641 \cdot 10^{16}$	$3,637 \cdot 10^{16}$	$2,2 \cdot 10^{16}$	$1,794 \cdot 10^{16}$	$1,386 \cdot 10^{16}$	$1,07 \cdot 10^{16}$
$\sigma_{sg}(m^2):$	$1,10 \cdot 10^{-28}$	$1,10 \cdot 10^{-28}$	$0,5 \cdot 10^{-28}$	$0,24 \cdot 10^{-28}$	$0,2 \cdot 10^{-28}$	$0,12 \cdot 10^{-28}$	$0,1 \cdot 10^{-28}$	$0,07 \cdot 10^{-28}$
$\sum_{sg}(m^{-1}):$	2,547	2,547	1,2735	0,6113	0,5034	0,3056	0,2547	0,1783
$\sigma_{fg}(m^2):$	$1,98 \cdot 10^{-28}$	$1,78 \cdot 10^{-28}$	$1,65 \cdot 10^{-28}$	$1,65 \cdot 10^{-28}$	$1,66 \cdot 10^{-28}$	$1,8 \cdot 10^{-28}$	$2,05 \cdot 10^{-28}$	$2,3 \cdot 10^{-28}$
$\sum_{fg}(m^{-1}):$	5,043	4,534	4,2025	4,2025	4,228	4,5846	5,2213	5,8581
$\sum_{fg} \cdot \Phi_g:$ (n°/m ³ ·s)	$918,4 \cdot 10^{16}$	$325,53 \cdot 10^{16}$	$104,3 \cdot 10^{16}$	$52,74 \cdot 10^{16}$	$19,254 \cdot 10^{16}$	$9,618 \cdot 10^{16}$	$5,766 \cdot 10^{16}$	$3,484 \cdot 10^{16}$
$v_g:$	3,23	3,03	2,97	2,95	2,94	2,93	2,92	2,92
$\sigma_{ag}(m^2):$	$2,10 \cdot 10^{-28}$	$1,34 \cdot 10^{-28}$	$1,75 \cdot 10^{-28}$	$1,79 \cdot 10^{-28}$	$1,9 \cdot 10^{-28}$	$2,24 \cdot 10^{-28}$	$2,73 \cdot 10^{-28}$	$3,35 \cdot 10^{-28}$
$\sum_{ag} \cdot \Phi_g:$ (n°/m ³ ·s)	$612,3 \cdot 10^{16}$	$210,89 \cdot 10^{16}$	$81,12 \cdot 10^{16}$	$46,5 \cdot 10^{16}$	$17,42 \cdot 10^{16}$	$9,128 \cdot 10^{16}$	$5,563 \cdot 10^{16}$	$3,413 \cdot 10^{16}$
$\sum_{fg} \cdot \Phi_g:$ (n°/m ³ ·s)	$606,2 \cdot 10^{16}$	$204 \cdot 10^{16}$	$76,47 \cdot 10^{16}$	$42,865 \cdot 10^{16}$	$15,221 \cdot 10^{16}$	$7,335 \cdot 10^{16}$	$4,177 \cdot 10^{16}$	$2,343 \cdot 10^{16}$
$\sum_{fg} \cdot \Phi_g \cdot v_g$ (n°/m ³ ·s)	$1958 \cdot 10^{16}$	$618,16 \cdot 10^{16}$	$227,2 \cdot 10^{16}$	$126,45 \cdot 10^{16}$	$44,749 \cdot 10^{16}$	$21,493 \cdot 10^{16}$	$12,197 \cdot 10^{16}$	$6,842 \cdot 10^{16}$
$\chi_g:$	0,601	0,225	0,091	0,051	0,018	0,008	0,004	0,02
$\chi_g \cdot v_g \cdot \sum_{fg} \cdot \Phi_g$ (n°/m ³ ·s)	$1177 \cdot 10^{16}$	$139,1 \cdot 10^{16}$	$20,67 \cdot 10^{16}$	$6,449 \cdot 10^{16}$	$0,805 \cdot 10^{16}$	$0,172 \cdot 10^{16}$	$0,049 \cdot 10^{16}$	$0,137 \cdot 10^{16}$
$\sigma_{lg}(m^2):$	$4,4 \cdot 10^{-28}$	$5,1 \cdot 10^{-28}$	$6,2 \cdot 10^{-28}$	$7,6 \cdot 10^{-28}$	$9,8 \cdot 10^{-28}$	$11,5 \cdot 10^{-28}$	$12,5 \cdot 10^{-28}$	$15,0 \cdot 10^{-28}$
$\sum_{lg}(m^{-1}):$	11,207	12,989	15,791	19,357	24,961	29,29	31,84	38,205

RO 131002 B1

Tabelul 3 (continuare)

	$^{239}\text{PuO}_2$ ($^{239}_{94}\text{Pu}$)	$\rho=11460$ kg/m ³	$N_{239}=254,7\cdot 10^{26}$ nuclee/m ³	$M=271$ kg/kmol	$\xi=0,00834$ ev/ciocnire	$\Phi=2\cdot 10^{18}$ n°/m ² ·s		
1	$\lambda_g(\text{m}):$	0,089	0,077	0,0633	0,0517	0,04	0,034	0,0314
3	$D_g(\text{m}):$	0,0297	0,0257	0,0211	0,0172	0,0133	0,0114	0,01
5	$D_g\cdot\Phi_g:$ (n°/m ³ ·s)	$3,575\cdot 10^{16}$	$1,155\cdot 10^{16}$	$0,384\cdot 10^{16}$	$0,176\cdot 10^{16}$	$0,048\cdot 10^{16}$	$0,018\cdot 10^{16}$	$0,0084\cdot 10^{16}$
7		$\sum_{g=1}^{g=8}(v_g\cdot\sigma_{fg}\cdot\Phi_g)=3014,9513\cdot 10^{16}$ n°/m ³ ·s				$\sum_{g=1}^{g=8}(\sigma_{ag}\cdot\Phi_g)=986,3356\cdot 10^{16}$ n°/m·s		
9	$\sigma_{s1-2}=0,32\cdot 10^{-28}\text{m}^2$	$\sum_{s1-2}\cdot\Phi_1=97,968\cdot 10^{16}$ n°/m ³ ·s			$\sigma_{s3-5}=0,12\cdot 10^{-28}\text{m}^2$	$\sum_{s3-5}\cdot\Phi_3=5,563\cdot 10^{16}$ n°/m ³ ·s		
11	$\sigma_{s1-3}=0,32\cdot 10^{-28}\text{m}^2$	$\sum_{s1-3}\cdot\Phi_1=97,968\cdot 10^{16}$ n°/m ³ ·s			$\sigma_{s3-6}=0,04\cdot 10^{-28}\text{m}^2$	$\sum_{s3-6}\cdot\Phi_3=1,854\cdot 10^{16}$ n°/m ³ ·s		
13	$\sigma_{s1-4}=0,23\cdot 10^{-28}\text{m}^2$	$\sum_{s1-4}\cdot\Phi_1=70,414\cdot 10^{16}$ n°/m ³ ·s			$\sigma_{s3-7}=0,01\cdot 10^{-28}\text{m}^2$	$\sum_{s3-7}\cdot\Phi_3=0,4635\cdot 10^{16}$ n°/m ³ ·s		
15	$\sigma_{s1-5}=0,09\cdot 10^{-28}\text{m}^2$	$\sum_{s1-5}\cdot\Phi_1=27,553\cdot 10^{16}$ n°/m ³ ·s			$\sigma_{s4-5}=0,2\cdot 10^{-28}\text{m}^2$	$\sum_{s4-5}\cdot\Phi_4=5,196\cdot 10^{16}$ n°/m ³ ·s		
17	$\sigma_{s1-6}=0,03\cdot 10^{-28}\text{m}^2$	$\sum_{s1-6}\cdot\Phi_1=9,1845\cdot 10^{16}$ n°/m ³ ·s			$\sigma_{s4-6}=0,3\cdot 10^{-28}\text{m}^2$	$\sum_{s4-6}\cdot\Phi_4=7,794\cdot 10^{16}$ n°/m ³ ·s		
19	$\sigma_{s1-7}=0,01\cdot 10^{-28}\text{m}^2$	$\sum_{s1-7}\cdot\Phi_1=3,0615\cdot 10^{16}$ n°/m ³ ·s			$\sigma_{s4-7}=0,1\cdot 10^{-28}\text{m}^2$	$\sum_{s4-7}\cdot\Phi_4=2,598\cdot 10^{16}$ n°/m ³ ·s		
21	$\sigma_{s2-3}=0,35\cdot 10^{-28}\text{m}^2$	$\sum_{s2-3}\cdot\Phi_2=40,115\cdot 10^{16}$ n°/m ³ ·s			$\sigma_{s5-6}=0,19\cdot 10^{-28}\text{m}^2$	$\sum_{s5-6}\cdot\Phi_5=1,742\cdot 10^{16}$ n°/m ³ ·s		
23	$\sigma_{s2-4}=0,32\cdot 10^{-28}\text{m}^2$	$\sum_{s2-4}\cdot\Phi_2=36,677\cdot 10^{16}$ n°/m ³ ·s			$\sigma_{s5-7}=0,01\cdot 10^{-28}\text{m}^2$	$\sum_{s5-7}\cdot\Phi_5=0,0917\cdot 10^{16}$ n°/m ³ ·s		
25	$\sigma_{s2-5}=0,18\cdot 10^{-28}\text{m}^2$	$\sum_{s2-5}\cdot\Phi_2=20,631\cdot 10^{16}$ n°/m ³ ·s			$\sigma_{s6-7}=0,12\cdot 10^{-28}\text{m}^2$	$\sum_{s6-7}\cdot\Phi_6=0,489\cdot 10^{16}$ n°/m ³ ·s		
27	$\sigma_{s2-6}=0,07\cdot 10^{-28}\text{m}^2$	$\sum_{s2-6}\cdot\Phi_2=8,023\cdot 10^{16}$ n°/m ³ ·s			$\sigma_{s7-8}=0,1\cdot 10^{-28}\text{m}^2$	$\sum_{s7-8}\cdot\Phi_7=0,204\cdot 10^{16}$ n°/m ³ ·s		
29	$\sigma_{s2-7}=0,02\cdot 10^{-28}\text{m}^2$	$\sum_{s2-7}\cdot\Phi_2=2,292\cdot 10^{16}$ n°/m ³ ·s			$\sigma_{s8-9}=0,07\cdot 10^{-28}\text{m}^2$	$\sum_{s8-9}\cdot\Phi_8=0,071\cdot 10^{16}$ n°/m ³ ·s		
31	$\sigma_{s3-4}=0,33\cdot 10^{-28}\text{m}^2$	$\sum_{s3-4}\cdot\Phi_3=15,297\cdot 10^{16}$ n°/m ³ ·s			-	-		

Masele critice [m^*_{238} (kg), m^*_{239} (kg)] ale compușilor radiochimici izotopici $^{238}\text{UO}_2$, $^{239}\text{PuO}_2$, se determină conform ecuațiilor dimensionale: $m^*_{238}=\rho_{238}\cdot V_{238}\cdot(V_R)_m$, cu $(V_R)_m$ - volumul critic minim (m³) caracteristic unui reactor cilindric cubic.

Concentrațiile critice [C^* (kg/m³)] ale compușilor izotopici radiochimici $^{238}\text{UO}_2$, $^{239}\text{PuO}_2$ se determină conform ecuațiilor dimensionale: $C^*_{238}=m^*_{238}/(V_R)_m=\rho_{238}\cdot V_{238}=\rho_R\cdot X_{238}$;

$C^*_{239}=m^*_{239}/(V_R)_m=\rho_{239}\cdot V_{239}=\rho_R\cdot X_{239}$; Concentrația/densitatea de nuclee izotopice ^{238}U , ^{239}Pu [N^* (nuclee/m³)], se determină conform ecuațiilor dimensionale:

$N^*_{238}=[(C^*_{238}\cdot N_A)/M_{238}]=\{(m^*_{238}\cdot N_A)/[M_{238}\cdot(V_R)_m]\}=[(\rho_{238}\cdot V_{238}\cdot N_A)/M_{238}]=[(\rho_R\cdot X_{238}\cdot N_A)/M_{238}]=V_{238}\cdot N$; N_A - numărul Avogadro ($N_A=6,023\cdot 10^{26}$ nuclee/kmol); M_{238} - masa molară a compusului izotopic radiochimic $^{238}\text{UO}_2$ ($M_{238}=270$ kg/kmol).

$N^{+239}=[(C^*_{239}\cdot N_A)/M_{239}]=\{(m^*_{239}\cdot N_A)/M_{239}\cdot(V_R)_m\}=[(\rho_{239}\cdot V_{239}\cdot N_A)/M_{239}]=[(\rho_R\cdot X_{239}\cdot N_A)/M_{239}]=V_{239}\cdot N$; M_{239} - masa molară a compusului izotopic radiochimic $^{239}\text{PuO}_2$ ($M_{239}=271$ kg/kmol).

N - concentrația/densitatea totală de nuclee izotopice (nuclee/m³ reactor). Sursa neutronilor rapizi [S (n°/m³·s)], se determină conform ecuației: $S=(S_{f238}+S_{f239})=(v_1\cdot\sigma_{f1}\cdot N^*_{238}\cdot\Phi_1)+[N^*_{239}\cdot\sum_{g=1}^{g=8}(v_g\cdot\sigma_{fg}\cdot\Phi_g)]=(v_{238}\cdot N\cdot v_1\cdot\sigma_{f1}\cdot\Phi_1)+[v_{239}\cdot N\cdot\sum_{g=1}^{g=8}(v_g\cdot\sigma_{fg}\cdot\Phi_g)]=(v_1\cdot\sigma_{f1}\cdot\Phi_1)+[\sum_{g=1}^{g=8}(v_g\cdot\sigma_{fg}\cdot\Phi_g)]$; Ratele proceselor de absorbție [R_a (n°/m³·s)], se determină conform ecuației dimensionale: $R_a=[N_{23}\cdot\sum_{g=1}^{g=8}(\sigma_{vg23}\cdot\Phi_g)]+[N^*_{238}\cdot\sum_{g=1}^{g=8}(\sigma_{ag238}\cdot\Phi_g)]+[N^*_{239}\cdot\sum_{g=1}^{g=8}(\sigma_{ag239}\cdot\Phi_g)]$;

Ratele proceselor de difuzie [R_d (n°/m·s)], se determină conform ecuației dimensionale:

$$R_d=[\sum_{g=1}^{g=8}(D_{g23}\cdot\Phi_g)]+[v_{238}\cdot\sum_{g=1}^{g=8}(D_{g238}\cdot\Phi_g)]+[v_{239}\cdot\sum_{g=1}^{g=8}(D_{g239}\cdot\Phi_g)].$$

Randamentul neutronic pe absorbția neutronului rapid [η (n° generat/n° absorbit)] în nucleele izotopilor fisionabili $^{238}_{92}\text{U}$, $^{239}_{94}\text{Pu}$, se determină conform ecuației dimensionale:

$\eta=(S/R_a)=[(S_{f238}+S_{f239})/R_a]$; Constanta de supraregenerare izotopică: $R_s=(\eta-2)$. Laplaceanul material [B_m^2 (m⁻²)] al reactorului nuclear supraregenerator izotopic, se determină conform ecuației dimensionale: $B_m^2(\text{m}^{-2})=[(S-R_a)/R_d]$. Laplaceanul geometric [B_g^2 (m⁻²)] al reactorului,

RO 131002 B1

se determină conform ecuației de criticitate: $-B_g^2 + B_m^2 \Rightarrow B_g^2 = B_m^2$. Reactor supracritic: $B_g^2 < B_m^2$. Laplacean B_g^2 pentru reactor cilindric heterogen supraregenerator, se determină conform ecuației dimensionale: $B_g^2 = [(\pi/H)^2 + (j_0/R)^2]$; $j_0 = 2,405$; H, R - dimensiunile critice ale reactorului respectiv înălțimea H(m) și raza R(m). În cazul reactorului nuclear supraregenerator izotopic cilindric aplatizat: $H=R=[(\pi^2 + j_0^2)^{1/2}]/B_g$. Dimensiunile extrapolate [$H_e(m)$, $R_e(m)$] ale reactorului, se determină conform ecuațiilor dimensionale: $H_e = [H + (2 \cdot d_{ex})]$; $R_e = [R + d_{ex}]$; d_{ex} - distanța de extrapolare (m) ($d_{ex} = 0,71 \cdot \lambda_t$); λ_t - lungimea de transport, respectiv drumul liber mijlociu al neutronilor rapizi din grupul energetic $g=1$ în sodiu metalic (m). Volumul critic al reactorului nuclear cilindric [$V_R(m^3)$], se determină conform ecuației dimensionale: $V_R = (\pi \cdot R^2 \cdot H)$; Constanta efectivă de multiplicare [K] a neutronilor rapizi pentru reactor nuclear finit în dimensiuni, se determină conform ecuației dimensionale: $K = \{S/[R_a + (B_g^2 \cdot R_d)]\}$.

Ecuația difuziei multigrupale a neutronilor rapizi ai grupurilor energetice $g=1...8$:

$$-D_g \cdot \Delta \Phi_g + \Sigma_{rg} \cdot \Phi_g = [(\chi_g/K) \cdot S] + (\Sigma_{s1-2} \cdot \Phi_1) + (\Sigma_{s1-3} \cdot \Phi_1) + \dots + (\Sigma_{s2-3} \cdot \Phi_2) + (\Sigma_{s2-4} \cdot \Phi_2) + \dots + (\Sigma_{s3-4} \cdot \Phi_3) + (\Sigma_{s3-5} \cdot \Phi_3) + (\Sigma_{s3-6} \cdot \Phi_3) + \dots + (\Sigma_{s4-5} \cdot \Phi_4) + (\Sigma_{s5-6} \cdot \Phi_5) + \dots + (\Sigma_{sg-1-g} \cdot \Phi_{g-1});$$

Δ - operator diferențial de ordin 2 al lui Laplace: $\Delta = (\partial^2/\partial x^2) + (\partial^2/\partial y^2) + (\partial^2/\partial z^2)$. În baza ecuației diferențiale generale a reactorului nuclear pentru un grup energetic g : $\Delta \Phi_g + B_g^2 \cdot \Phi_g = 0$, ecuația difuziei multigrupale a neutronilor rapizi ai grupurilor energetice g este:

$$(D_g \cdot B_g^2 \cdot \Phi_g) + (\Sigma_{rg} \cdot \Phi_g) = [(\chi_g/K) \cdot S] + (\Sigma_{s1-2} \cdot \Phi_1) + (\Sigma_{s1-3} \cdot \Phi_1) + \dots + (\Sigma_{s2-3} \cdot \Phi_2) + (\Sigma_{s2-4} \cdot \Phi_2) + \dots + (\Sigma_{s3-4} \cdot \Phi_3) + (\Sigma_{s3-5} \cdot \Phi_3) + \dots + (\Sigma_{s4-5} \cdot \Phi_4) + \dots + (\Sigma_{s5-6} \cdot \Phi_5) + \dots + (\Sigma_{sg-1-g} \cdot \Phi_{g-1}).$$

Particularizarea ecuației difuziei pentru grupurile energetice $g=1...8$ și în baza constantelor nucleare, dimensionează constanta de criticitate K pentru fiecare grup. Masa de combustibil nuclear mixt [$m_{ec}(kg)$] conținută într-un element combustibil cilindric, se determină conform ecuației dimensionale: $m_{ec} = (\pi/4) \cdot d_i^2 \cdot H \cdot \rho_R$; d_i - diametrul interior al combustibilului nuclear mixt oxidic (m); H - înălțimea elementului combustibil (m); ρ_R - densitatea combustibilului nuclear mixt oxidic (kg/m^3). Numărul elementelor combustibile nucleare cilindrice [n_{ec}] în zona de reacție R, se determină conform ecuației dimensionale: $n_{ec} = (m_R/m_{ec}) = [(m_{238} + m_{239})/m_{ec}] = \{[(\rho_{238} \cdot V_{238}) + (\rho_{239} \cdot V_{239})] \cdot V_R/m_{ec}\}$.

Numărul elementelor combustibile nucleare cilindrice [n_{ecf}] într-un fascicol combustibil **1**, se determină conform ecuației dimensionale: $n_{ecf} = (n_{ec}/n_f)$; n_f - număr fascicole de elemente combustibile nucleare în zona de reacție R [$n_f=24$]. Masa de combustibil nuclear într-un fascicol [$m_{cf}(kg)$], se determină conform ecuației dimensionale: $m_{cf} = (m_{ec} \cdot n_{ecf}) = [(m_{ec} \cdot n_{ec})/n_f]$. Dimensiunile radiale ale zonei de reacție R [raza mică r(m), raza mare geometrică $R_g(m)$ diferită de raza critică] aferente fascicolelor de elemente combustibile nucleare **1**, se determină conform ecuațiilor dimensionale: $r = (n_f/2\pi) \cdot (L + d_s)$; $R_g = (n_f/2\pi) \cdot (L + d_s)$; L, L - dimensiuni arie trapezoidală în secțiune transversală a unui fascicol de elemente combustibile nucleare **1** (m), cu dimensiunea radială: $(R_g - r) = (n_f/2\pi) \cdot (L - l)$; R_g - raza geometrică respectiv de construcție a zonei de reacție R (m); d_s - distanța (m) între fascicolele de elemente combustibile nucleare **1** aferentă penetrațiilor plăcilor dispozitivelor de control reactivitate și oprire **5, 6**. Datele nucleare dimensionale ale zonei de reacție R pentru 3 modele de reactor nuclear heterogen cilindric aplatizat și supraregenerator izotopic $^{239}_{94}Pu$, sunt specificate conform tabel 4:

RO 131002 B1

Tabelul 4

1	X_{238} :	0,90 (90%)	0,85 (85%)	0,80 (80%)
3	X_{239} :	0,10 (10%)	0,15 (15%)	0,20 (20%)
	$\rho_R(\text{kg/m}^3)$:	11013	11050	11074
5	Y_{238} :	0,904	0,856	0,808
	Y_{239} :	0,096	0,144	0,192
7	$S(\text{n}^\circ/\text{m}^3\cdot\text{s})$:	$699,0368\cdot 10^{16}$	$823,9124\cdot 10^{16}$	$948,5\cdot 10^{16}$
	$R_a(\text{n}^\circ/\text{m}^3\cdot\text{s})$:	$276,63\cdot 10^{16}$	$314,97676\cdot 10^{16}$	$353,163\cdot 10^{16}$
9	$R_d(\text{n}^\circ/\text{m}^3\cdot\text{s})$:	$19,83273\cdot 10^{16}$	$19,821267\cdot 10^{16}$	$19,802951\cdot 10^{16}$
	η :	2,527	2,6158	2,6857
11	$R_s=(\eta-2)$:	0,527	0,6158	0,6857
	$B_m^2(\text{m}^{-2})$:	21,29847	25,67624	30,063
13	$B_g^2(\text{m}^{-2})$:	20,6	24,861	29,1239
	$H(\text{m})$:	0,8715	0,7932	0,733
15	$H_e(\text{m})$:	1,228	1,150	1,090
	$R(\text{m})$:	0,8715	0,7932	0,733
17	$R_e(\text{m})$:	1,0495	0,9712	0,911
	$V_R(\text{m}^3)$:	2,0784	1,567	1,2366
19	K :	1,02...1,04	1,02...1,04	1,02...1,04
	$m_{238}(\text{kg})$:	20601	14718	10956
21	$m_{239}(\text{kg})$:	2289	2597	2739
	$m_R(\text{kg})$:	22890	17315	13695
23	$m_{ec}(\text{kg})$:	0,753	0,688	0,637
	n_{ec} :	30398	25167	21499
25	n_{ecf} :	1267	1049	896
	$l(\text{m})$:	0,090	0,081	0,075
27	$L(\text{m})$:	0,338	0,289	0,267
	$d_s(\text{m})$:	0,02	0,02	0,02
29	$r(\text{m})$:	0,420	0,387	0,364
	$R_g(\text{m})$:	1,291	1,180	1,097
31	$B_g(\text{m}^{-1})$:	4,53857	4,9861	5,39666
	$m_{cf}(\text{kg})$:	954	722	571

Reacțiile de absorbție (captură neutronică/fisiune) ale neutronilor rapizi din grupurile energetice $g=1\dots 8$ în nucleele izotopilor fisionabili $^{238}_{92}\text{U}$, $^{239}_{94}\text{Pu}$, au loc conform ecuațiilor cinetice diferențiale: $-(dN_{238}/dt)=N_{238}\cdot\sum_{g=1}^{g=8}(\sigma_{ag238}\cdot\Phi_g)$; $-(dN_{239}/dt)=N_{239}\cdot\sum_{g=1}^{g=8}(\sigma_{ag239}\cdot\Phi_g)$.

Ecuțiile integrale aferente: $N_{238}=N_{238}^0\cdot\exp[-\sum_{g=1}^{g=8}(\sigma_{ag238}\cdot\Phi_g)\cdot t]$;

RO 131002 B1

$N_{239} = N_{239}^0 \cdot \exp[-\sum_{g=1}^{g=8} (\sigma_{ag239} \cdot \Phi_g)]; N_{238}^0, N_{239}^0$ - densitățile/concentrațiile inițiale ale izotopilor fisionabili $^{238}_{92}\text{U}, ^{239}_{94}\text{Pu}$ în masa de combustibil nuclear critic (nuclee/m³); N_{238}, N_{239} - densitățile/concentrațiile izotopilor fisionabili la un moment de timp, în masa de combustibil nuclear iradiat (nuclee/m³); $\sigma_{ag238}, \sigma_{ag239}$ - secțiuni microscopice de absorbție ale neutronilor rapizi din grupul energetic g în nucleele izotopilor fisionabili (m²); Φ_g - spectru neutronic al grupului energetic g corespunzător coeficientului spectral χ_g al izotopilor fisionabili (n°/m²·s); *exp* - funcția exponențială; d/dt - operator derivată de ordin 1 în raport cu timpul t(s⁻¹). Reacțiile de fisiune cu neutroni rapizi din grupurile energetice g=1...8 ale nucleelor izotopilor fisionabili $^{238}_{92}\text{U}, ^{239}_{94}\text{Pu}$, au loc conform ecuațiilor cinetice diferențiale și integrale:

$-(dN_{f238}/dt) = N_{f238} \cdot \sigma_{f1} \cdot \Phi_1 \rightarrow N_{f238} = N_{238}^0 \cdot \exp[-(\sigma_{f1} \cdot \Phi_1) \cdot t];$
 $-(dN_{f239}/dt) = N_{f239} \cdot \sum_{g=1}^{g=8} (\sigma_{fg} \cdot \Phi_g) \rightarrow N_{f239} = N_{239}^0 \cdot \exp[-\sum_{g=1}^{g=8} (\sigma_{fg} \cdot \Phi_g) \cdot t];$

N_{f238}, N_{f239} - densitățile/concentrațiile izotopilor $^{238}_{92}\text{U}, ^{239}_{94}\text{Pu}$ la momentul t în masa de combustibil nuclear (nuclee/m³); σ_{f1} secțiunea microscopică de fisiune a nucleelor $^{238}_{92}\text{U}$ cu neutroni rapizi din grupul energetic g=1 și energia medie 2 MeV (m²); Φ_1 - spectru neutronic al grupului energetic g=1 corespunzător coeficientului spectral χ_1 al izotopului $^{238}_{92}\text{U}$ (n°/m²·s); σ_{fg} - secțiunea microscopică de fisiune a nucleelor $^{239}_{94}\text{Pu}$ cu neutroni rapizi din grupurile energetice g=1...8 (m²). Reactivitatea [(K-1)/K] < 20 mK este compensată de plăcile de tantal ale dispozitivului de control reactivitate 5. Ecuația cinetică diferențială pentru producerea/generarea $^{239}_{92}\text{U}^*$: $(dN_{239}^*/dt) = N_{238} \cdot \sum_{g=1}^{g=8} (\sigma_{vg238} \cdot \Phi_g) \cdot \lambda^* \cdot N_{239}^* = N_{238}^0 \cdot \sum_{g=1}^{g=8} (\sigma_{vg238} \cdot \Phi_g) \cdot \exp[-\sum_{g=1}^{g=8} (\sigma_{ag238} \cdot \Phi_g) \cdot t] - \lambda^* \cdot N_{239}^*$; Ecuația integrală: $N_{239}^* = \{ [N_{238}^0 \cdot \sum_{g=1}^{g=8} (\sigma_{vg238} \cdot \Phi_g)] / [\lambda^* - \sum_{g=1}^{g=8} (\sigma_{ag238} \cdot \Phi_g)] \} \cdot \{ \exp[-\sum_{g=1}^{g=8} (\sigma_{ag238} \cdot \Phi_g) \cdot t] - \exp(-\lambda^* \cdot t) \}$; În general: $\lambda^* \gg \sum_{g=1}^{g=8} (\sigma_{ag238} \cdot \Phi_g)$; N_{239}^* - densitatea/concentrația de nuclee $^{239}_{92}\text{U}^*$ în masa de combustibil nuclear la momentul de timp t (nuclee/m³); λ^* - constanta de dezintegrare β^- a nucleelor excitate $^{239}_{92}\text{U}^*$ ($\lambda^* = 5 \cdot 10^{-4} \text{s}^{-1}$); la un timp $t = 10/\lambda^*$ se realizează concentrația maximă: $N_{239m}^* = (N_{238}^0 / \lambda^*) \cdot [\sum_{g=1}^{g=8} (\sigma_{vg238} \cdot \Phi_g)]$. Ecuațiile cinetice diferențiale pentru generarea neptuniului (izotop $^{239}_{93}\text{Np}$) și prin realizarea concentrației maxime $^{239}_{92}\text{U}^*$: $(dN_{Np}/dt) = [\lambda^* \cdot N_{239}^* - (\lambda_{Np} \cdot N_{Np})] = N_{238}^0 \cdot \sum_{g=1}^{g=8} (\sigma_{ag238} \cdot \Phi_g) \cdot [1 - \exp(-\lambda^* \cdot t)] - (\lambda_{Np} \cdot N_{Np})$; $(dN_{Np}/dt) = [\lambda^* \cdot N_{239m}^* - (\lambda_{Np} \cdot N_{Np})] = N_{238}^0 \cdot \sum_{g=1}^{g=8} (\sigma_{ag238} \cdot \Phi_g) - (\lambda_{Np} \cdot N_{Np})$. N_{Np} - densitatea/concentrația de nuclee $^{239}_{93}\text{Np}$ (nuclee/m³) în combustibilul nuclear iradiat; λ_{Np} - constanta de dezintegrare β^- a nucleelor $^{239}_{93}\text{Np}$ ($\lambda_{Np} = 3,5 \cdot 10^{-6} \text{s}^{-1}$). Ecuația integrală: $N_{Np} = [N_{238}^0 \cdot \sum_{g=1}^{g=8} (\sigma_{vg238} \cdot \Phi_g) / \lambda_{Np}] \cdot [1 - \exp(-\lambda_{Np} \cdot t)]$. La un timp $t = (10/\lambda_{Np})$, se realizează concentrația/densitatea maximă de nuclee $^{239}_{93}\text{Np}$: $N_{Npm} = [N_{238}^0 \cdot \sum_{g=1}^{g=8} (\sigma_{vg238} \cdot \Phi_g)] / \lambda_{Np}$. Ecuația cinetică diferențială pentru supragenerarea plutoniului (izotop $^{239}_{94}\text{Pu}$): $(dN_{239}/dt) = (\lambda_{Np} \cdot N_{Np}) - [N_{239} \cdot \sum_{g=1}^{g=8} (\sigma_{ag239} \cdot \Phi_g)] = N_{238}^0 \cdot \sum_{g=1}^{g=8} (\sigma_{vg238} \cdot \Phi_g) - N_{239} \cdot \sum_{g=1}^{g=8} (\sigma_{ag239} \cdot \Phi_g) = N_{238}^0 \cdot \sum_{g=1}^{g=8} (\sigma_{vg238} \cdot \Phi_g) \cdot \exp[-\sum_{g=1}^{g=8} (\sigma_{ag238} \cdot \Phi_g) \cdot t] - N_{239} \cdot \sum_{g=1}^{g=8} (\sigma_{ag239} \cdot \Phi_g)$. Concentrația de supragenerare $^{239}_{94}\text{Pu}$ (nuclee/m³): $N_{239} = \{ N_{238}^0 \cdot \sum_{g=1}^{g=8} (\sigma_{vg238} \cdot \Phi_g) / [\sum_{g=1}^{g=8} (\sigma_{ag239} \cdot \Phi_g) - \sum_{g=1}^{g=8} (\sigma_{ag238} \cdot \Phi_g)] \} \cdot \{ \exp[-\sum_{g=1}^{g=8} (\sigma_{ag238} \cdot \Phi_g) \cdot t] - \exp[-\sum_{g=1}^{g=8} (\sigma_{ag239} \cdot \Phi_g) \cdot t] \}$. Datele nucleare sunt specificate conform tabel 5 prin utilizarea constantelor nucleare din tabellele 2, 3:

Tabelul 5

N_{238}^0 (nuclee/m ³):	221·10 ²⁶	209,5·10 ²⁶	197,5·10 ²⁶
$\sum_{g=1}^{g=8} (\sigma_{vg238} \cdot \Phi_g)$: (n°/s)	0,1837·10 ⁻¹⁰	0,1837·10 ⁻¹⁰	0,1837·10 ⁻¹⁰
$\sum_{g=1}^{g=8} (\sigma_{ag238} \cdot \Phi_g)$: (n°/s)	0,8221·10 ⁻¹⁰	0,8221·10 ⁻¹⁰	0,8221·10 ⁻¹⁰
$\sum_{g=1}^{g=8} (\sigma_{ag239} \cdot \Phi_g)$: (n°/s)	4,3472·10 ⁻¹⁰	4,3472·10 ⁻¹⁰	4,3472·10 ⁻¹⁰
t(s):	3·10 ⁸ (833 ore)	3·10 ⁸ (833 ore)	3·10 ⁸ (833 ore)
N_{239} (nuclee/m ³)	11,52·10 ²³	10,92·10 ²³	10,29·10 ²³

RO 131002 B1

1 Prin introducerea plăcilor de tantal și carbură de bor **5a, 6a** ale dispozitivelor de
control reactivitatea și oprire **5, 6** în zona de reacție **R** are loc o creștere a Laplaceanului
3 geometric [$B_g^2(m^{-2})$] mai mare față de Laplaceanul material $B_m^2(m^{-2})$ ($B_g^2 > B_m^2$) - reactor
subcritic) și o antireactivitate [$\Delta\rho = (\Delta k/k) < 1$] conform expresiei: $\Delta B_g^2 = (1/R^2) \cdot (\omega^2 - j_0^2)$;
5 ω^2 - constanta pătratică ($\omega^2 > j_0^2$). Ecuația cinetică diferențială a neutronilor grupului energetic
g în placa absorbantă **5a**: $d^2\Phi_p(x)/dx^2 - \lambda^2 \cdot \Phi_p(x) = 0$; $\Phi_p(x)$ - spectru neutronic al grupului
7 g ($n^\circ/m^2 \cdot s$) în plăcile absorbante **5a, 6a** funcția de variabilă grosime $x(m)$ a plăcii;
 λ^2 - parametru patratric (m^{-2}) respectiv inversul ariei de difuzie a neutronilor rapizi din grupul
9 g și se determină conform expresiei: $\lambda^2 = (\Sigma_{ap}/D_p)$; Σ_{ap} - secțiunea eficace macroscopică de
absorbție (m^{-1}) a neutronilor rapizi din grupul g în placa absorbantă **5a, 6a** și se determină
11 conform ecuației dimensionale: $\Sigma_{ap} = N \cdot \sigma_{ap} = (\rho \cdot N_A \cdot \sigma_{ap})/A$; N - densitatea/concentrația de nuclee
absorbante (nuclee/ m^3) ale izotopilor ($^{181}_{73}Ta$, $^{10}_5B$, $^{155}_{64}Gd$, $^{157}_{64}Gd$) în plăcile **5a, 6a** ale
13 dispozitivelor de control reactivitate și oprire **5, 6**; σ_{ap} - secțiunea microscopică (m^2) de
absorbție a neutronilor rapizi din grup g , aferentă izotopilor absorbantți din plăcile **5a, 6a**; ρ
15 - densitatea izotopilor absorbantți (kg/m^3); A - masa molară atomică a izotopilor absorbantți
($kg/kmol$); N_A - numărul lui Avogadro ($N_A = 6,023 \cdot 10^{26}$ nuclee absorbante/ $kmol$); D_p - coeficient
17 de difuzie (m) al neutronilor rapizi din grupul g în nucleele izotopilor absorbantți din plăcile **5a,**
6a ($g=1$, $E=2$ MeV; $D_g=0,084$ m în $^{23}_{11}Na$) și se determină conform ecuației dimensionale:
19 $D_p = (\lambda_p/3) = 1/(3 \cdot \Sigma_t) = 1/(3 \cdot N \cdot \sigma_t)$ (m); λ_p - lungimea de transport a neutronilor grupului g în plăcile
5a, 6a;

21 σ_t - secțiunea microscopică de transport (m^2) a neutronilor rapizi din grupul g pe nucleele
izotopilor absorbantți ai plăcilor **5a, 6a**; Σ_t - secțiunea eficace macroscopică de transport a
23 neutronilor rapizi din grupul g pe nucleele izotopilor absorbantți ai plăcilor **5a, 6a** (m^{-1}).

Ecuația cinetică integrală este: $\Phi_p = \Phi_g \cdot sh(\lambda \cdot x) = \Phi_g \cdot [\exp(\lambda \cdot x) - \exp(-\lambda \cdot x)]$; Φ_g - spectru
25 neutronic al grupului g din zona de reacție R ($n^\circ/m^2 \cdot s$); sh , exp - funcțiile sinus hiperbolic,
exponențială. Continuitatea spectrelor neutronice ca fluxuri și a densităților de curent
27 neutronic, are loc conform egalităților: $\Phi_g(a/2) = \Phi_p(a/2)$; $D_g[d\Phi_g(x)/dx]_{x=a/2} = D_p[d\Phi_p(x)/dx]_{x=a/2}$;
în care: a - grosimea plăcilor absorbante **5a, 6a** (m); Distanța de extrapolare [$d(m)$] a
29 neutronilor rapizi ai grupului energetic g în plăcile absorbante **5a, 6a** se determină conform
ecuațiilor dimensionale: $d = \{\Phi_g(a/2)/[d\Phi_g(x)/dx]_{x=a/2}\} = (D_g/D_p) \cdot \{\Phi_p(a/2)/[d\Phi_p(x)/dx]_{x=a/2}\}$;
31 $D_g \cdot \Phi_p(a/2) = D_g \cdot \Phi_g \cdot sh(\lambda \cdot a/2)$ $\Phi_g \cdot D_p \cdot \lambda \cdot ch(\lambda \cdot x)_{x=a/2} = D_p \cdot \Phi_g \cdot \lambda \cdot ch(\lambda \cdot a/2)$; (ch - funcția cosinus
hiperbolic); $d = [D_g \cdot \Phi_g \cdot sh(\lambda \cdot a/2) / D_p \cdot \lambda \cdot \Phi_g \cdot ch(\lambda \cdot a/2)] = [D_g / (D_p \cdot \lambda)] \cdot th(\lambda \cdot a/2)$; (th - funcția tangentă
33 hiperbolică).

Se elimină aerul cu o pompă de vid din schimbătorul de căldură **2** și tubulatura de
35 curgere **2b**, se introduce sodiu metalic lichid topit la temperatura $400^\circ C \dots 600^\circ C$, respectiv
cu încălzirea prin inducție electromagnetică în afara reactorului și încărcare la un grad de
37 umplere 80% din volum, moment în care se pornește motorul electric **9d** și rotorul de turbină
9 intră în rotație la 1200...1250 rotații/minut cu recircularea orizontală a agentului caloportor
39 tip sodiu în schimbătorul de căldură **2**, schimbătorul de căldură **8** pentru transferul termic al
căldurii din zona de reacție **R** constituind circuitul termic secundar al reactorului suprare-
41 generator. Viteza de recirculație/pompare [$V_r(m/s)$] a agentului caloportor sodiu în circuitul
termic primar, respectiv - secundar, efectuată de rotoarele **3, 9** cu paletelile **3c, 9b** se
43 determină cu ecuația dimensională: $V_r = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot r_p$; în care: r_p - raza de rotație a paletelilor **3c,**
9b (m); n - turația axelor **3a, 9a** respectiv paletelilor **3c, 9b** (rotații/s). Debitul volumetric
45 [$D_v(m^3/s)$] de agent caloportor tip sodiu pompat de rotoarele **3, 9** cu paletelile **3b, 3c, 9b**, se
determină cu ecuația dimensională: $D_v = V_r \cdot S_c = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot r_p \cdot S_c$; cu S_c - secțiunea/suprafața de
47 curgere a agentului caloportor sodiu printre fascicolele de combustibil nuclear **1** respectiv
tubulatura de curgere **2b** (m^2).

RO 131002 B1

Puterea mecanică [P(W)] de acționare în rotație a rotoarelor **3, 9**, se determină conform ecuației dimensionale: $P=(\omega^3 \cdot J_0)=(8 \cdot \pi^3 \cdot n^3 \cdot J_0)$; cu ω - viteza unghiulară a paletelor **3c, 9b** (radiani/s); J_0 - momentul de inerție al rotoarelor **3, 9** ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$), ce se determină conform ecuațiilor dimensionale: $J_0=(J_{01}+J_{02}+J_{03})$; la axe centrale **3a, 9a**: $J_{01}=(m_a \cdot R_a^2)$; m_a - masa ax (kg); R_a - raza ax (m); la tubulaturi cilindrice rotative **3d, 9c**: $J_{02}=(m_t/2) \cdot (R_{et}^2 - R_{it}^2)$; m_t - masa tubulatură (kg); R_{it} - raza interioară tubulatură (m); R_{et} - raza exterioară tubulatură (m).

La palete radiale **3b, 3c, 9b**: $J_{03}=(m_p/3) \cdot [R_{ep}^2 - R_{ip}^2]$; m_p - masa paletelor (kg); R_{ep} - raza exterioară a paletelor radiale (m); R_{ip} - raza interioară a paletelor radiale (m). În cazul utilizării unui variator de turație în 6 trepte, sunt remarcabile ecuațiile dimensionale: $(\omega_1 \cdot R_1)=(\omega_2 \cdot R_2)=(\omega_3 \cdot R_3)=(\omega_4 \cdot R_4)=(\omega_5 \cdot R_5)=(\omega_6 \cdot R_6)$; $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_5, \omega_6$ - vitezele unghiulare ale roților dințate ale variatorului (radiani/s); $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6$ - razele nominale de angrenare ale roților dințate din variator (m); $(P_2/P_1)=(R_1/R_2)^3$; $(P_3/P_1)=(R_1/R_3)^3$; $(P_4/P_1)=(R_1/R_4)^3$; $(P_5/P_1)=(R_1/R_5)^3$; $(P_6/P_1)=(R_1/R_6)^3$; $P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6$ - puteri mecanice (W) în fiecare treaptă a variatorului; P_1 - puterea motoarelor electrice de acționare (W); P_6 - puterea ce trebuie realizată (W) pentru axele rotoarelor **3, 9**. Proces nuclear al izotopului $^{23}_{11}\text{Na}$ în zona de reacție R și schimbătoarele de căldură **2, 8**: captura neutronică radiativă și dezintegrarea β^- : $^{23}_{11}\text{Na}(n, \gamma)^{24}_{11}\text{Na}^*(\beta^-, \gamma)^{24}_{12}\text{Mg}$. Ecuația cinetică diferențială este: $(dN^*/dt)=N \cdot \sum_{g=1}^{g=8} (\sigma_{vg} \cdot \Phi_g) - (\lambda_{Na} \cdot N^*) = \sum_{g=1}^{g=8} (\Sigma_{vg} \cdot \Phi_g) - (\lambda_{Na} \cdot N^*)$; cu: N - densitatea/concentrația de nuclee $^{23}_{11}\text{Na}$ (nuclee/ m^3); N^* - densitatea/concentrația de nuclee radionuclee $^{24}_{11}\text{Na}^*$ formate prin iradiere cu neutroni rapizi (nuclee/ m^3); λ_{Na} - constanta de dezintegrare β^- a radionucleelor $^{24}_{11}\text{Na}^*$ ($\lambda_{Na}=1,283 \cdot 10^{-5} \text{s}^{-1}$); σ_{vg} - secțiunea microscopică de absorbție/captură radiativă a neutronilor grupului energetic g în nucleele izotopului $^{23}_{11}\text{Na}$ (m^2); Σ_{vg} - secțiunea macroscopică de absorbție/captură radiativă a neutronilor grupului energetic g în nucleele izotopului $^{23}_{11}\text{Na}$ (m^{-1}). Ecuația cinetică integrală este: $N^*=[\sum_{g=1}^{g=8} (\Sigma_{vg} \cdot \Phi_g) / \lambda_{Na}] \cdot [1 - \exp(-\lambda_{Na} \cdot t)]$.

La momentul de timp iradiere $t=(10/\lambda_{Na})$, se realizează concentrația maximă de radionuclee $^{24}_{11}\text{Na}^* \cdot N^*_{max.}=[\sum_{g=1}^{g=8} (\Sigma_{vg} \cdot \Phi_g) / \lambda_{Na}]$. Concentrația volumetrică maximă [$C^*_{max.}$ (grame/ m^3)] de radionuclee $^{24}_{11}\text{Na}^*$, se determină conform ecuației dimensionale:

$C^*_{max.}=(N^*_{max.} \cdot A^*)/N_A$;
 A^* - masa molară atomică pentru $^{24}_{11}\text{Na}^*$ ($A^*=24$ grame/mol); N_A - numărul Avogadro ($N_A=6,023 \cdot 10^{23}$ radionuclee/mol atomic). Ecuația cinetică diferențială pentru producția nucleelor de magneziu (izotop $^{24}_{12}\text{Mg}$) prin dezintegrare β^- a $^{24}_{11}\text{Na}^*$ este: $(dN_{Mg}/dt)=\lambda_{Na} \cdot N^* = \sum_{g=1}^{g=8} (\Sigma_{vg} \cdot \Phi_g) \cdot [1 - \exp(-\lambda_{Na} \cdot t)]$; N_{Mg} - densitatea nucleelor $^{24}_{12}\text{Mg}$ generate prin dezintegrarea (nuclee/ m^3). Ecuația cinetică integrală: $N_{Mg}=[\sum_{g=1}^{g=8} (\Sigma_{vg} \cdot \Phi_g) / \lambda_{Na}] \cdot \{(\lambda_{Na} \cdot t) + \exp(-\lambda_{Na} \cdot t) - 1\}$. La momentul $t=(10/\lambda_{Na})$, densitatea [N_{Mg} (nuclee/ m^3)] se determină conform ecuației dimensionale liniare: $N_{Mg}=[\sum_{g=1}^{g=8} (\Sigma_{vg} \cdot \Phi_g) / \lambda_{Na}] \cdot [(\lambda_{Na} \cdot t) - 1]$. Concentrația volumetrică [C_{Mg} (grame/ m^3)] de nuclee $^{24}_{12}\text{Mg}$ se determină conform ecuației dimensionale: $C_{Mg}=(N_{Mg} \cdot A_{Mg})/N_A$; A_{Mg} - masa molară atomică pentru izotop $^{24}_{12}\text{Mg}$ ($A=24$ grame/mol). Datele nucleare sunt specificate conform tabel 6.

Tabelul 6 39

t(s):	$7,8 \cdot 10^5$ (9 zile)	
$N^*_{max.}$ (nuclee $^{24}_{11}\text{Na}^*/\text{m}^3$):	$7,132 \cdot 10^{19}$	41
$C^*_{max.}$ (grame $^{24}_{11}\text{Na}^*/\text{m}^3$):	0,00284	
N_{Mg} (nuclee $^{24}_{12}\text{Mg}/\text{m}^3$):	$64,188 \cdot 10^{19}$	43
C_{Mg} (grame $^{24}_{12}\text{Mg}/\text{m}^3$):	0,02556	

RO 131002 B1

1 Separarea izotopului $^{24}_{12}\text{Mg}$ se efectuează prin distilare fracționată în vid a izotopului
 $^{23}_{11}\text{Na}$ într-un proces periodic de încălzire prin inducție electromagnetică la $850^{\circ}\text{C} \dots 890^{\circ}\text{C}$
3 pentru vaporizarea sodiului și condensarea vaporilor. Pentru un element combustibil **1a** cu
geometrie cilindrică, ecuația diferențială de bilanț termic în regim staționar cu densitatea
5 volumetrică de putere constantă $[q_v(\text{W}/\text{m}^3)]$ și grosime diferențială radială $[dr(\text{m})]$ la dis-
tanța/raza $r(\text{m})$ față de centrul elementului: $2 \cdot \pi \cdot H \cdot q_v \cdot r \cdot dr = Q_{r+dr} - Q_r$; Q_r , Q_{r+dr} - debite calorice
7 (W) la dimensiunile r și $r+dr$ de centrul elementului combustibil și se determină conform
ecuațiilor diferențiale: $Q_r = -2 \cdot \pi \cdot H \cdot \lambda \cdot (dT/dr)$; $Q_{r+dr} = Q_r + (dQ_r/dr) \cdot dr = -2 \cdot \pi \cdot H \cdot \lambda \cdot [r \cdot (d^2T/dr^2)$
9 $+ r \cdot (dT/dr) + (dT/dr) \cdot dr - (d^2T/dr^2) + (1/r) \cdot (dT/dr) + (q_v/\lambda)] = 0$; (dT/dr) , (d^2T/dr^2) - gradient de tempe-
ratură T de ordin 1 respectiv ordin 2 în raport cu variabila rază ($^{\circ}\text{C}/\text{m}$); H - înălțimea elemen-
11 tului combustibil **1a** egală cu înălțimea critică (m); λ - conductivitatea termică medie a com-
bustibilului nuclear ($\text{W}/\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C}$). Ecuația integrală pentru densitatea volumetrică de putere
13 termică: $q_v = 4 \cdot \lambda \cdot (T_m - T_s)/R^2$; T_m - temperatura maximă în centrul elementului combustibil ($^{\circ}\text{C}$);
 T_s - temperatura la rază $R(\text{m})$ a elementului combustibil ($^{\circ}\text{C}$). Debitul caloric $[Q_R(\text{W})]$ la raza
15 $R(\text{m})$ a elementului combustibil: $Q_R = (\pi \cdot H \cdot R^2 \cdot q_v) = 4 \cdot \pi \cdot H \cdot \lambda \cdot (T_m - T_s)$; Procesul de transfer termic
prin peretele metalic cilindric al elementului combustibil de grosime $[g(\text{m})]$ și prin agentul
17 termic caloportor sodiu metalic lichid topit, se determină conform ecuațiilor dimensionale:
 $Q_R = (\pi \cdot H \cdot R^2 \cdot q_v) = 4 \cdot \pi \cdot H \cdot \lambda \cdot (T_m - T_s) = [2 \cdot \pi \cdot H \cdot \lambda_p \cdot (T_s - T_p)] / \{\ln[(R+g)/R]\} = 2 \cdot \pi \cdot (R+g) \cdot H \cdot \alpha_1 \cdot (T_p - T_{a1})$;
19 T_p - temperatura peretelui metalic (teaca) ($^{\circ}\text{C}$); T_{a1} - temperatura agentului caloportor tip sodiu
($^{\circ}\text{C}$) în circuitul primar; λ_p - conductivitatea termică a peretelui metalic (teaca) ($\text{W}/\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C}$)
21 α_1 - coeficient parțial de transfer termic al căldurii în sodiu metalic lichid ca agent caloportor
($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$) din circuitul primar; \ln - funcția logaritm natural. Densitatea volumetrică de putere
23 $[q_v(\text{W}/\text{m}^3)]$ pe baza transferului termic, se determină conform ecuației dimensionale:
 $q_v = (T_m - T_{a1}) / \{ (R^2/4 \cdot \lambda) + (R^2/2 \cdot \lambda_p) \cdot \ln(R+g)/R + R^2/[2 \cdot (R+g) \cdot \alpha_1] \}$.
25 Debitul caloric $[Q_R(\text{W})]$ generat de zona de reacție cu n_{ec} elemente combustibilele determină
conform ecuației dimensionale: $Q_R = \pi \cdot R^2 \cdot H \cdot n_{ec} \cdot q_v$. Ecuația integrală a puterii termice $[Q_R(\text{W})]$
27 pentru un element diferențial $[dV(\text{m}^3)]$ din volumul zonei de reacție **R**:
 $Q_R = E_f \cdot \int \int \int [Y_{238} \cdot \sum_{f1} \Phi_1 + Y_{239} \cdot \sum_{g=1}^{g=8} (\sum_{fg} \Phi_g)] \cdot dV = \int \int \int q_v \cdot dV = q_v \cdot V_R$; cu E_f -energia de fisiune
29 $[E_f = 3 \cdot 10^{-11}(\text{W} \cdot \text{s})/\text{fisiune}]$; Y_{238} , Y_{239} - fracții de volum pentru $^{238}\text{UO}_2$, $^{239}\text{PuO}_2$ (m^3/m^3); V_R -
volumul zonei de reacție **R** aferentă combustibilului nuclear (m^3). Densitatea volumetrică
31 $[q_v(\text{W}/\text{m}^3)]$ de putere termică, se determină conform ecuației dimensionale:
 $q_v = E_f \cdot [Y_{238} \cdot \sum_{f1} \Phi_1 + Y_{239} \cdot \sum_{g=1}^{g=8} (\sum_{fg} \Phi_g)]$. Pe baza constantelor nucleare (tabelele 2, 3), datele
33 dimensionale sunt specificate conform tabel 7.

Tabelul 7

35	Y_{238} :	0,904	0,856	0,808
	Y_{239} :	0,096	0,144	0,192
37	^{238}U : $q_v(\text{W}/\text{m}^3)$:	$42,4 \cdot 10^6$	$40,1 \cdot 10^6$	$37,8 \cdot 10^6$
	^{239}Pu : $q_v(\text{W}/\text{m}^3)$:	$27,6 \cdot 10^6$	$41,4 \cdot 10^6$	$55,2 \cdot 10^6$
39	$q_v(\text{W}/\text{m}^3)$:	$70 \cdot 10^6$	$81,5 \cdot 10^6$	$93 \cdot 10^6$
	$V_R(\text{m}^3)$:	2,078413	1,567031	1,236635
41	$Q_R(\text{W})$:	$145 \cdot 10^6$ (145 MW_t)	$128 \cdot 10^6$ (128 MW_t)	$115 \cdot 10^6$ (115 MW_t)

43 Ecuația diferențială generală a transferului termic în schimbătoarele de căldură **2, 8**
este: $\rho_R \cdot C_p \cdot (dT/dt) = (q_v \cdot V_R) - K_T \cdot A_T \cdot (T_{a1} - T_{a2})$; cu ρ_R - densitatea medie a combustibilului
45 nuclear mixt în zona de reacție **R** (kg/m^3); C_p - căldura specifică medie a combustibilului
nuclear mixt în zona de reacție **R** ($\text{J}/\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$); K_T - coeficient total de transfer termic din circuitul
47 termic primar în circuitul termic secundar ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$) și se determină conform ecuației
dimensionale: $K_T = 1 / [(1/\alpha_1) + (\delta/\lambda_t) + (1/\alpha_2)]$; δ - grosimea pereților tuburilor cilindrice verticale
49 **2a, 8a** (m); λ_t - conductivitatea termică a pereților metalici ai tuburilor cilindrice verticale **2a,**

RO 131002 B1

8a ($W/m \cdot ^\circ C$); α_2 - coeficient parțial de transfer termic din circuitul termic primar în circuit termic secundar/tertiar ($W/m^2 \cdot ^\circ C$); A_T - suprafața totală de transfer termic aferentă tuburilor cilindrice verticale **2a**, **8a** (m^2); T_{a1} - temperatura agentului termic caloportor sodiu în circuitul primar ($^\circ C$); T_{a2} - temperatura agentului termic caloportor sodiu în circuitul termic secundar aferent schimbătoarelor **2**, **8** ($^\circ C$); (dT/dt) - viteza de creștere a temperaturii T în timp t ($^\circ C/s$). În caz izoterm: $(dT/dt) = 0 \Rightarrow T$ - constant; $-Q_R = (q_v \cdot V_R) = K_T \cdot A_T \cdot (T_{a1} - T_{a2})$.

Diferența de temperatură [$(T_{a1}-T_{a2})(^\circ C)$] între circuitele termice primar și secundar, se determină conform ecuației dimensionale: $(T_{a1}-T_{a2}) = (q_v \cdot V_R)/(K_T \cdot A_T)$.

Procese nucleare de otrăvire izotopică a masei de combustibil nuclear cu izotopi produși de fisiune $^{149}_{60}Nd$, $^{149}_{61}Pm$, $^{149}_{62}Sm$ (stabil) ce posedă secțiuni microscopice mari de absorbție a neutronilor rapizi, conform reprezentării:

fisiune $\rightarrow ^{149}_{60}Nd(\beta^-, \gamma) ^{149}_{61}Pm(\beta^-, \gamma) ^{149}_{62}Sm$.

Ecuația cinetică diferențială a izotopului $^{149}_{60}Nd$ generat prin fisiune cu neutroni rapizi de nucleeele izotopilor fisionabili ^{238}U , ^{239}Pu :

$(dN_{Nd}/dt) = \eta_f \cdot [Y_{238} \cdot \Sigma_{f1} \cdot \Phi_1 + Y_{239} \cdot \Sigma_{g=1}^{g=8} (\Sigma_{fg} \cdot \Phi_g)] - (\lambda_{Nd} \cdot N_{Nd})$;

N_{Nd1} - densitatea/concentrația de nucleee izotopice $^{149}_{60}Nd$ (nucleee/ m^3); η_f - randament de fisiune $^{149}_{60}Nd$ ($\eta_f = 1,13\%$); λ_{Nd} - constanta de dezintegrare β^- a nucleelor izotopului $^{149}_{60}Nd$ ($\lambda_{Nd} = 9,62 \cdot 10^{-5} s^{-1}$).

Ecuația cinetică integrală este: $N_{Nd} = \{\eta_f \cdot [Y_{238} \cdot \Sigma_{f1} \cdot \Phi_1 + Y_{239} \cdot \Sigma_{g=1}^{g=8} (\Sigma_{fg} \cdot \Phi_g)] / (\lambda_{Nd}) \cdot [1 - \exp(-\lambda_{Nd} \cdot t)]$; La un timp de dezintegrare $t = (10/\lambda_{Nd})$, se generează densitatea/concentrația maximă de radionucleee $^{149}_{60}Nd$, conform ecuației dimensionale: $N_{Nd}^m = \eta_f$

$\cdot [Y_{238} \cdot \Sigma_{f1} \cdot \Phi_1 + Y_{239} \cdot \Sigma_{g=1}^{g=8} (\Sigma_{fg} \cdot \Phi_g)] / \lambda_{Nd}$. Concentrația volumetrică maximă de nucleee $^{149}_{60}Nd$ [C_{Nd}^m (grame/ m^3)] se determină conform ecuației dimensionale: $C_{Nd}^m = (N_{Nd}^m \cdot A_{Nd}) / N_A$; A_{Nd} - masa molară atomică a $^{149}_{60}Nd$ ($A_{Nd} = 149$ grame/mol).

Ecuația cinetică diferențială pentru izotopul $^{149}_{61}Pm$: $(dN_{Pm}/dt) = (\lambda_{Nd} \cdot N_{Nd}^m) - (\lambda_{Pm} \cdot N_{Pm})$; N_{Pm} - densitatea/concentrația de nucleee $^{149}_{61}Pm$ (nucleee/ m^3); λ_{Pm} - constanta de dezintegrare β^- a nucleelor izotopului $^{149}_{61}Pm$ ($\lambda_{Pm} = 3,5 \cdot 10^{-6} s^{-1}$). Ecuația cinetică integrală este:

$N_{Pm} = [(\lambda_{Nd} \cdot N_{Nd}^m) / \lambda_{Pm}] \cdot [1 - \exp(-\lambda_{Pm} \cdot t)]$. La un timp de dezintegrare $t = (10/\lambda_{Pm})$, se generează densitatea/concentrația maximă de nucleee izotopice $^{149}_{61}Pm$: $N_{Pm}^m = (\lambda_{Nd} / \lambda_{Pm}) \cdot N_{Nd}^m$.

Concentrația volumetrică maximă [C_{Pm}^m (grame/ m^3)] este: $C_{Pm}^m = (N_{Pm}^m \cdot A_{Pm}) / N_A$; A_{Pm} - masa molară atomică a izotopului $^{149}_{61}Pm$ ($A_{Pm} = 149$ grame/mol). Ecuația cinetică diferențială pentru izotopul $^{149}_{62}Sm$: $(dN_{Sm}/dt) = \lambda_{Pm} \cdot N_{Pm}^m$, N_{Sm} - densitatea/concentrația de nucleee izotopice stabile $^{149}_{62}Sm$ (nucleee/ m^3).

Ecuația integrală liniară pentru nucleeele stabile $^{149}_{62}Sm$: $N_{Sm} = \lambda_{Pm} \cdot N_{Pm}^m \cdot t$; Concentrația volumetrică [C_{Sm} (grame/ m^3)] : $C_{Sm} = (N_{Sm} \cdot A_{Sm}) / N_A$; A_{Sm} - masa molară atomică a izotopului $^{149}_{62}Sm$ ($A_{Sm} = 149$ grame/mol). Pe baza constantelor nucleare din tabelele 2, 3, datele izotopice sunt specificate conform tabel 8: (timp $t = 33$ zile = $2,86 \cdot 10^6$ s).

Tabelul 8

Y_{238} :	0,904	0,856	0,808	39
Y_{239} :	0,096	0,144	0,192	
$Y_{238} \cdot \Sigma_{f1} \cdot \Phi_1$ (reacții/ $m^3 \cdot s$):	$141,096 \cdot 10^{16}$	$133,6045 \cdot 10^{16}$	$126,1126 \cdot 10^{16}$	41
$Y_{239} \cdot \Sigma_{g=1}^{g=8} (\Sigma_{fg} \cdot \Phi_g)$ [reacții/ $m^3 \cdot s$]:	$92,026 \cdot 10^{16}$	$138,039 \cdot 10^{16}$	$184,052 \cdot 10^{16}$	
$Y_{238} \cdot \Sigma_{f1} \cdot \Phi_1 + [Y_{239} \cdot \Sigma_{g=1}^{g=8} (\Sigma_{fg} \cdot \Phi_g)]$ [reacții/ $m^3 \cdot s$]:	$233,122 \cdot 10^{16}$	$271,084 \cdot 10^{16}$	$310,1646 \cdot 10^{16}$	43
N_{Nd}^m (nucleee $^{149}Nd/m^3$):	$273,7 \cdot 10^{18}$	$318,4 \cdot 10^{18}$	$364,3 \cdot 10^{18}$	
C_{Nd}^m (nucleee $^{149}Nd/m^3$):	0,0677	0,07876	0,09012	45
N_{Pm}^m (nucleee $^{149}Pm/m^3$):	$6412,5 \cdot 10^{18}$	$8596,8 \cdot 10^{18}$	$9836,1 \cdot 10^{18}$	
C_{Pm}^m (nucleee $^{149}Pm/m^3$):	1,5854	2,1259	2,4254	47
N_{Sm} (nucleee $^{149}Sm/m^3$):	$64125 \cdot 10^{18}$	$85968 \cdot 10^{18}$	$98361 \cdot 10^{18}$	
C_{Sm} (grame $^{149}Sm/m^3$):	15,854	21,259	24,254	49

RO 131002 B1

1 Datorită proceselor de otrăvire izotopică cu $^{141}_{61}\text{Pm}$, $^{149}_{62}\text{Sm}$ este necesară o rezervă
de reactivitate mai mare cu 3%. La o temperatură mai mare de 2000°C în centrul elementelor
3 combustibile **1a** are loc topirea și vaporizarea stratului cilindric metalic de bismut (p.t.=271°C,
p.f.=1560°C), iar vaporii și izotopii gazoși produși de fisiune ai kriptonului, xenonului ($^{87}_{36}\text{Kr}$,
5 $^{89}_{36}\text{Kr}$, $^{133}_{54}\text{Xe}$, $^{135}_{54}\text{Xe}$, $^{137}_{54}\text{Xe}$, $^{139}_{54}\text{Xe}$) sunt aspirați prin orificiile suporturilor **1d** de curentul
de heliu gazos (izotop stabil ^4_2He) în recirculație și intră în adsorberul izotopic **10** prin con-
7 ducta **10c**, având loc procesul de adsorbție izotopică ascendentă în carbon activat din cele
18 unități de transfer de masă **10a**, gazul purtător heliu fiind evacuat prin conducta **10d** și
9 recirculat de ventilator **10e** în spațiul reactorului nuclear, în proces continuu. Volumul [$v_{\text{ad}}(\text{m}^3)$]
de izotopi gazoși ai produșilor de fisiune adsorbiți în unitățile de transfer **10a** se determină
11 conform ecuației dimensionale: $v_{\text{ad}}=S \cdot (X_1-X_2) = G \cdot (Y_1-Y_2)$; în care: S - masa totală de carbon
activat din cele 18 unități de transfer **10a** (kg); G - volumul gazului purtător heliu (m^3);
13 X_1 - volumul izotopilor gazoși produși de fisiune pe unitatea de masă adsorbant (carbon
activat) la intrare în adsorber **10** (m^3/kg); X_2 - volumul izotopilor gazoși produși de fisiune pe
15 unitatea de masă adsorbant la ieșirea din adsorber **10** (m^3/kg); Y_1 - volumul izotopilor gazoși
produși de fisiune pe unitatea de volum gaz purtător heliu (m^3/m^3) la intrarea în adsorberul
17 **10**; Y_2 - volumul izotopilor gazoși produși de fisiune pe unitatea de volum gaz purtător heliu
la ieșirea din adsorberul **10** (m^3/m^3). Volumul specific gaz purtător heliu - adsorbant solid
19 carbon activat, se determină conform ecuației dimensionale: $G/S=(X_1-X_2)/(Y_1-Y_2)$. Încărcarea
și descărcarea la adsorbția maximă a straturilor granulare de carbon activat, se efectuează
21 prin conductele cu capace **10b** pentru fiecare unitate de transfer de masă. Masa de
adsorbant cu produși de fisiune kripton, xenon este depozitată în locații subterane special
23 amenajate și la temperaturi scăzute pentru prevenirea desorbției.

25 Bibliografie:

- 27 1. I.Ursu, "Fizica și tehnologia materialelor nucleare", Ed. Academiei R. S. R.
București, 1982, pag: 162...180, 239...262, 284...288, 293...310.
- 29 2. N. Mihăilescu, "Teoria reactoarelor nucleare", Ed. Tehnică, București, 2003,
pag.111...113, 166-167, 278...280, 360-361, 525...537, 686...698, 774...791, (anexa 23).
- 31 3. V. Cuculeanu, "Fizica și calculul reactorilor nucleari cu neutroni rapizi", Ed.
Tehnică, București, 1982, pag:222...239, 363...374, 376...393.
- 33 4. A.Ieca, M. Pop, N. Stan, A. Badea, L. Luca, "Procese și instalații termice în centrale
nucleare electrice", Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1979, pag:61...101, 344...356.
- 35 5. **** STAS 6729/1 - 82, "Fizica reactorilor nucleari", Terminologie.
6. *** STAS 6729/2 - 84, "Tehnologia reactoarelor nucleare", Terminologie;
- 37 7. *** STAS 10027/3 - 75, "Detectarea și măsurarea prin mijloace electrice a radiațiilor
ionizante", Subansambluri de detectare, Terminologie.
- 39 8. *** STAS 10027/1 - 85, "Detectarea și măsurarea prin mijloace electrice a radiațiilor
ionizante", Ansambluri de măsurarea a radiației, Terminologie.

RO 131002 B1

Revendicări

1

1. Reactor nuclear regenerator de izotopi, care are o zonă de reacție (**R**) compusă din fascicule de elemente combustibile nucleare (**1**), un schimbător de căldură axial-radial (**2**) primar, un rotor de turbină de recirculare internă (**3**) acționat de un mijloc tehnic (**3e**) prin intermediul unui variator de turație în trepte, pentru recircularea agentului caloportor tip sodiu lichid cu ajutorul unei tubulaturi de aspirație și recirculare (**4**), un dispozitiv de control al reactivității (**5**), un dispozitiv de oprire a reactorului (**6**), un dispozitiv de încărcare-descărcare de fascicule de elemente combustibile nucleare (**7**), un schimbător de căldură exterior (**8**) cu un rotor de recirculație orizontală (**9**) pentru recircularea agentului caloportor tip sodiu lichid, acționat de un mijloc tehnic (**9d**) și un adsorber de izotopi (**10**), **caracterizat prin aceea că**, rotorul de turbină de recirculație internă (**3**) dispus central în zona de reacție (**R**) și format dintr-un ax central (**3a**) pe care sunt asamblate nedemontabil, la partea inferioară, opt palete de turbină (**3b**) înclinate ascendent la 30° față de orizontală pentru pomparea ascendentă a agentului caloportor, mai are patru palete dreptunghiulare verticale (**3c**) asamblate nedemontabil pe circumferința axului rotativ (**3a**) sub unghi de 90° pentru pomparea radială a agentului caloportor printre 100...1300 elemente combustibile (**1a**) asamblate în triunghi echilateral cu două plăci verticale laterale (**1b**) și șase plăci trapezoidale orizontale (**1c**) pentru susținerea acestora, printre niște plăci dreptunghiulare verticale (**5a**, **6a**) pentru controlul reactivității și respectiv pentru oprirea reactorului și descendent prin 36....72 tuburi cilindrice verticale (**2a**) ale schimbătorului de căldură axial-radial (**2**) de transfer al căldurii în circuit termic secundar, axul rotativ (**3a**) fiind asamblat nedemontabil într-o tubulatură cilindrică concentrică (**3d**) presurizată cu gaz inert tip heliu.
2. Reactor nuclear regenerator de izotopi, conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că**, zona de reacție (**R**) cu geometrie cilindrică are în capacul superior 24 penetrații trapezoidale pentru fasciculele de elemente combustibile nucleare (**1**), 12 penetrații dreptunghiulare ale plăcilor dispozitivului de control al reactivității (**5**), 12 penetrații dreptunghiulare ale plăcilor dispozitivului de oprire a reactorului (**6**), în centrul capacului fiind poziționat un orificiu circular pentru asamblarea demontabilă a rotorului de turbină (**3**) de recirculare de agent caloportor, în jurul rotorului (**3**) fiind asamblate aparate destinate detectării de neutroni, de determinare a spectrului/fluxului neutronic în zona de reacție (**R**).
3. Reactor nuclear regenerator de izotopi, conform revendicării 1 sau 2, **caracterizat prin aceea că**, are și un suport superior perforat (**1d**) pentru un fascicul de elemente combustibile nucleare (**1**), cu rol și de încărcare de fascicule (**1**) în zona de reacție (**R**), un element combustibil (**1a**) cu geometrie cilindrică fiind format din o teacă de oțel inoxidabil austenitic și cu combustibil nuclear oxidic în interiorul tecii, compus din 10%....20% ²³⁹PuO₂, 80%....90% ²³⁸UO₂, partea superioară a unui element combustibil (**1a**) fiind închisă de un strat cilindric de metal ușor fuzibil tip bismut.
4. Reactor nuclear regenerator de izotopi, conform revendicării 1 sau 2, **caracterizat prin aceea că**, tubulatura de aspirație și recirculare (**4**) cu geometrie cilindro-conică și rol funcțional de aspirație-recirculare de agent caloportor tip sodiu lichid în rotorul de turbină de recirculație internă (**3**) și de suportul inferior pentru fasciculele de elemente combustibile nucleare (**1**), are 4 orificii dreptunghiulare (**4a**) realizate sub unghi de 90° în partea inferioară, de formă conică, de gura căreia este fixat un tub cilindric de aspirație (**4b**) asamblat nedemontabil de care este fixat un suport circular (**4c**) cu 24 canale trapezoidale pentru fascicule de elemente combustibile nucleare (**1**).

RO 131002 B1

1 5. Reactor nuclear regenerativ de izotopi, conform revendicării 1 sau 2, **caracterizat**
2 **prin aceea că**, dispozitivul de control al reactivității (5) cu rol de control al creșterii puterii
3 reactorului, este format din 12 plăci dreptunghiulare verticale din tantal (5a) cu nucleele
4 atomice $^{181}\text{Ta}_{73}$, asamblate demontabil pe un cilindru metalic canelat (5b) care se deplasează
5 axial pe o tubulatură metalică cilindrică dințată (5c) cu ajutorul unui mijloc tehnic (5d).

6. Reactor nuclear regenerativ de izotopi, conform revendicării 1 sau 2, **caracterizat**
7 **prin aceea că**, dispozitivul de oprire a reactorului (6) cu rol de antireactivitate totală de oprire
8 a reacțiilor de fisiune prin captură de neutroni, este format din două grupe de câte 12 plăci
9 dreptunghiulare verticale (6a) din carbură de bor cu nuclee atomice tip izotop $^{10}\text{B}_5$ și grad de
10 îmbogățire de 90%, întecuite în oțel inoxidabil sau din oțel inoxidabil cu 20%...30% gadoliniu
11 cu nuclee atomice tip $^{155}\text{Gd}_{64}$, $^{157}\text{Gd}_{64}$, plăcile (6a) fiind asamblate demontabil pe un cilindru
12 metalic canelat (6b) care se deplasează axial pe o tubulatură metalică cilindrică dințată (5c)
13 cu ajutorul unui mijloc tehnic (6c).

7. Reactor nuclear regenerativ de izotopi, conform revendicării 1 sau 2, **caracterizat**
14 **prin aceea că**, are și un dispozitiv telecomandat de încărcare-descărcare (7) pentru
15 fascicule de elemente combustibile nucleare (1), care este format dintr-un ax metalic vertical
16 dințat (7a) pe care se deplasează axial un ax metalic orizontal dințat (7b) cu ajutorul unui
17 mijloc tehnic (7c), axul (7b) fiind deplasat radial cu ajutorul unui mijloc tehnic (7d) de
18 poziționare și încărcare-descărcare fascicule de elemente combustibile nucleare (1) în zona
19 de reacție (R), iar deplasarea circulară a dispozitivului (7) pe circumferința interioară a
20 blocului cilindric al reactorului se realizează prin intermediul unor canale de ghidare dințate
21 cu ajutorul unui ansamblu de mijloace tehnice (7e, 7f).

8. Reactor nuclear regenerativ de izotopi, conform revendicării 1 sau 2, **caracterizat**
22 **prin aceea că**, schimbătorul de căldură exterior (8) aferent circuitului termic secundar al unui
23 consumator endoterm este format din 36÷ 72 tuburi metalice cilindrice verticale de transfer
24 termic (8a), o conductă de intrare a agentului termic secundar (8b) și o conductă de ieșire
25 a agentului termic secundar (8c), cu temperatură mai mare.

9. Reactor nuclear regenerativ de izotopi, conform revendicării 1 sau 2, **caracterizat**
26 **prin aceea că**, rotorul de recirculație orizontală (9) a agentului caloportor tip sodiu lichid
27 printr-o tubulatură metalică (2b) pentru transfer termic al căldurii din zona de reacție (R),
28 respectiv, din circuitul termic primar în circuitul termic secundar la schimbătorul de căldură
29 (8), este format dintr-un ax metalic central rotativ (9a) pe care sunt asamblate nedemontabil
30 opt palete metalice dreptunghiulare verticale și radiale (9b), sub unghi de 45°, axul (9a) fiind
31 asamblat nedemontabil într-o tubulatură metalică verticală cilindrică coaxială (9c) presurizată
32 cu gaz inert tip heliu pentru a reduce transferul de căldură în afara reactorului, iar rotorul de
33 recirculație orizontală (9) asamblat demontabil în interiorul unei tubulaturi cilindrice, fiind
34 acționat în rotație de un mijloc tehnic (9d).

10. Reactor nuclear regenerativ de izotopi, conform revendicării 1 sau 2, **caracterizat**
35 **prin aceea că**, adsorberul izotopic (10) vertical cu geometrie cilindrică și rol funcțional de
36 adsorbție și reținere totală a izotopilor gazoși de kripton și xenon produși de fisiune, este
37 format din 18 unități de transfer de masă (10a), niște suporturi metalici pentru carbon activat
38 folosit ca adsorbant, fiecare unitate de transfer având cel puțin 100 orificii circulare și fiind
39 încărcată cu adsorbant printr-o conductă cu capac (10b), intrarea izotopilor gazoși în
40 adsorberul (10) printr-o conductă (10c) și ieșirea gazului purtător tip heliu printr-o conductă
41 (10d) fiind realizată prin recirculare în blocul reactorului cu un ventilator de putere (10e).

(51) Int.Cl.

G21G 1/02 (2006.01);

G21C 19/20 (2006.01);

F22B 1/06 (2006.01)

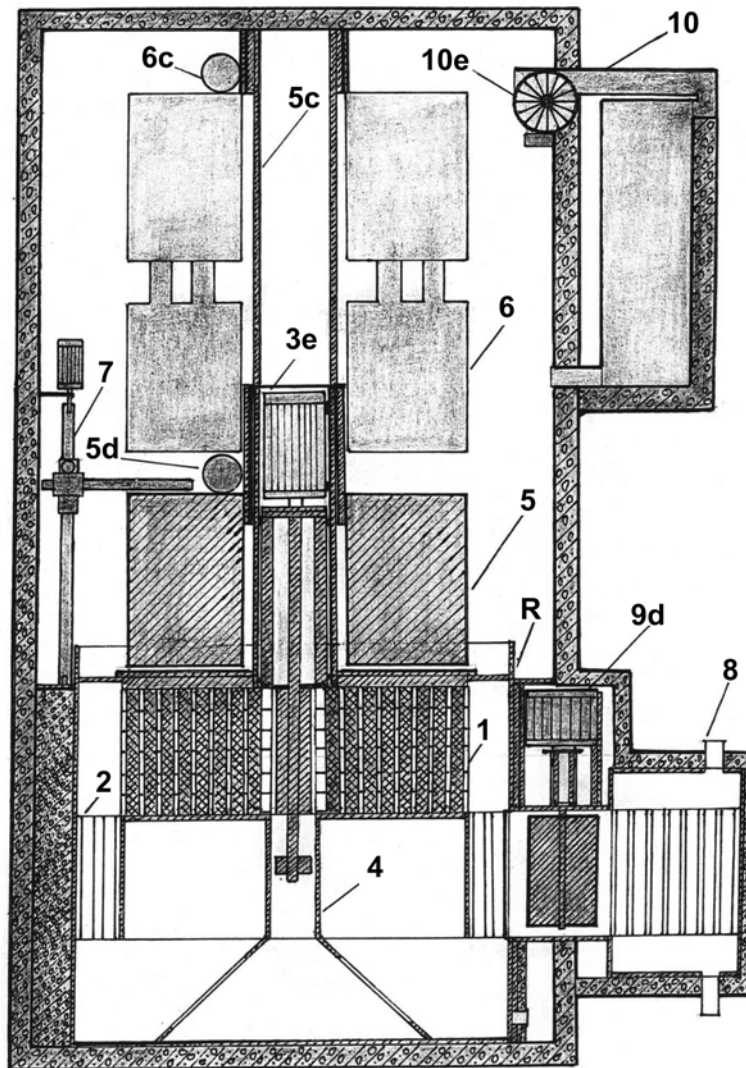


Fig. 1

(51) Int.Cl.

G21G 1/02 (2006.01);

G21C 19/20 (2006.01);

F22B 1/06 (2006.01)

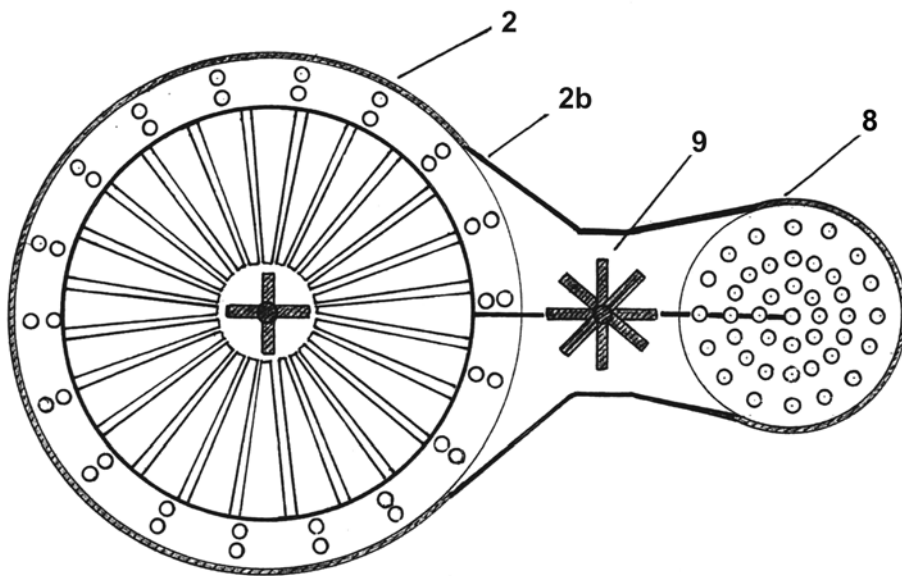


Fig. 2

(51) Int.Cl.

G21G 1/02 (2006.01);

G21C 19/20 (2006.01);

F22B 1/06 (2006.01)

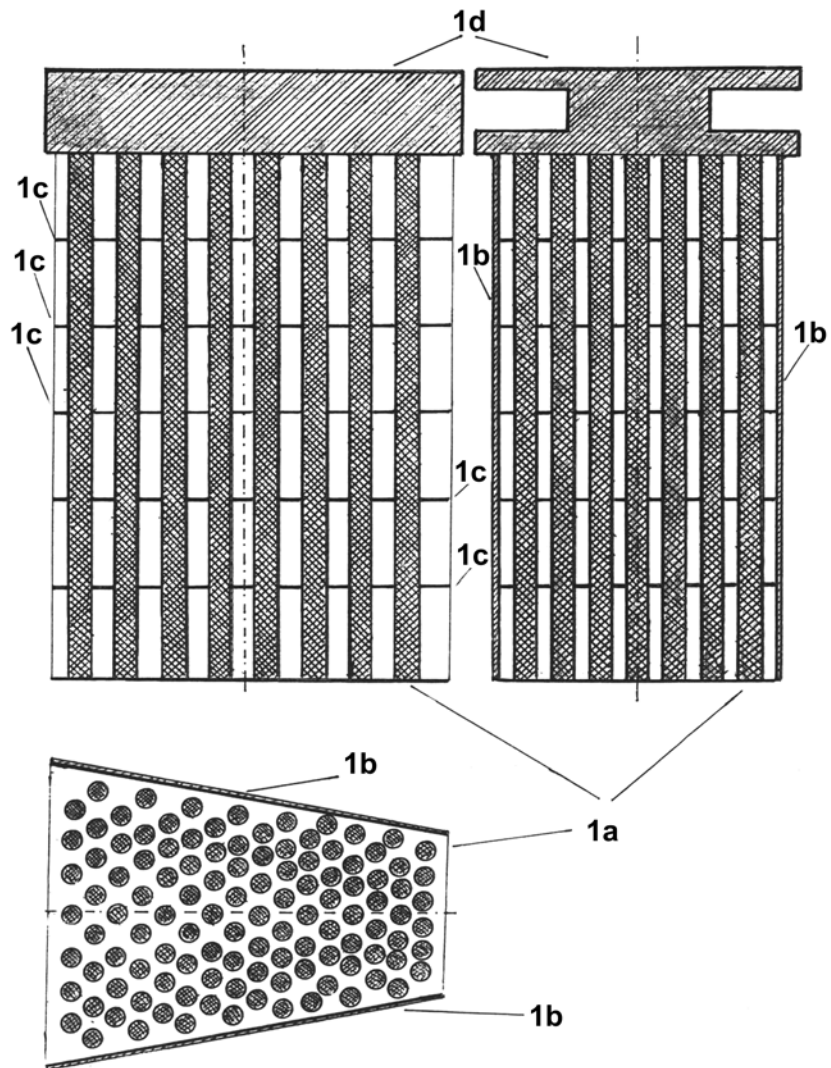


Fig. 3

RO 131002 B1

(51) Int.Cl.

G21G 1/02 (2006.01);

G21C 19/20 (2006.01);

F22B 1/06 (2006.01)

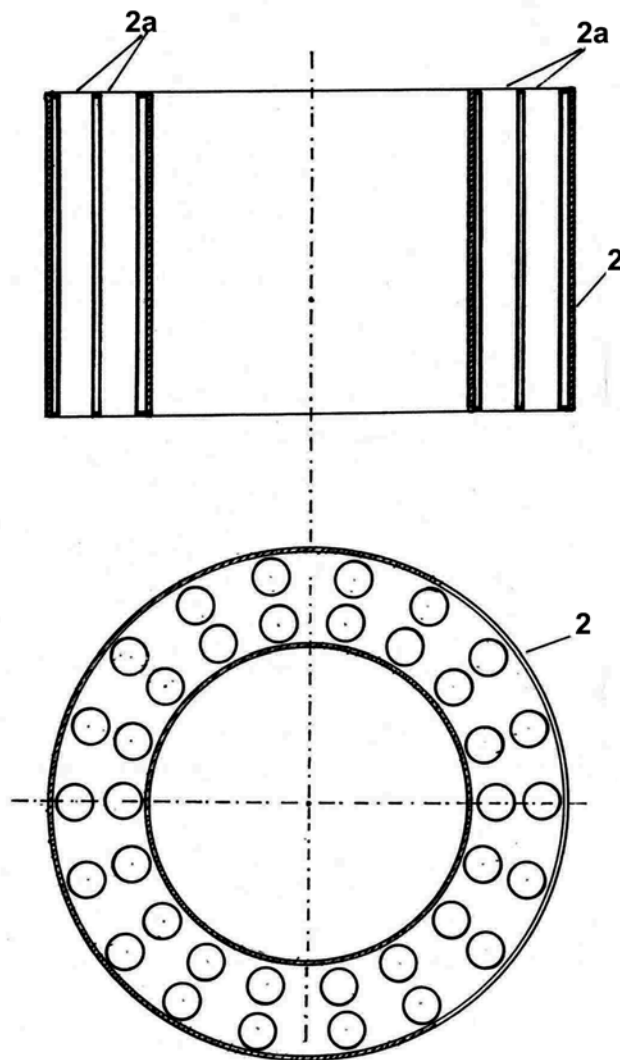


Fig. 4

(51) Int.Cl.

G21G 1/02 (2006.01);

G21C 19/20 (2006.01);

F22B 1/06 (2006.01)

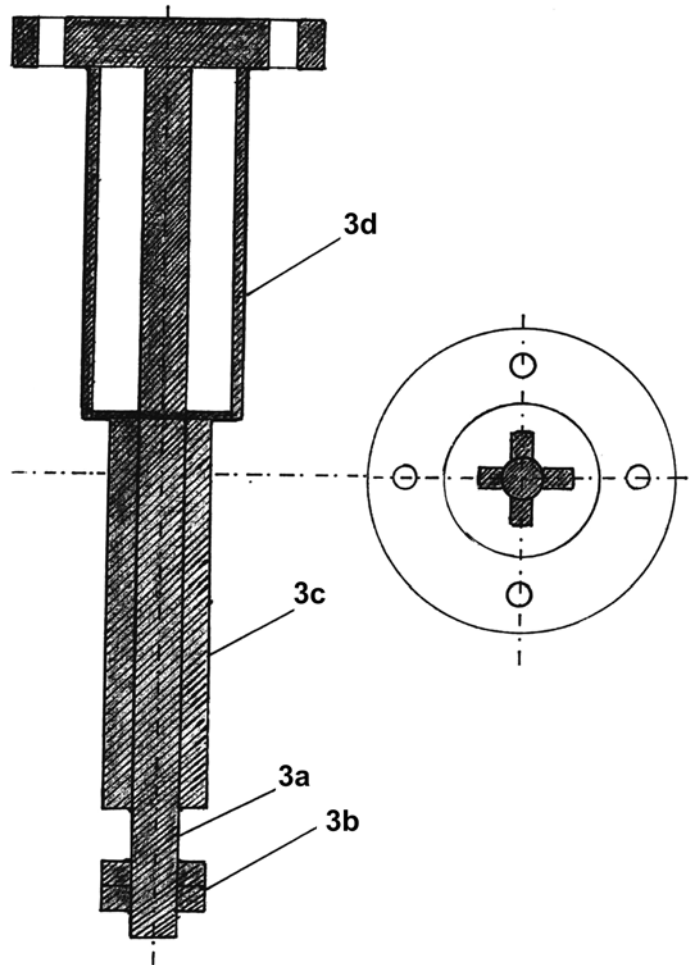


Fig. 5

(51) Int.Cl.

G21G 1/02 (2006.01);

G21C 19/20 (2006.01);

F22B 1/06 (2006.01)

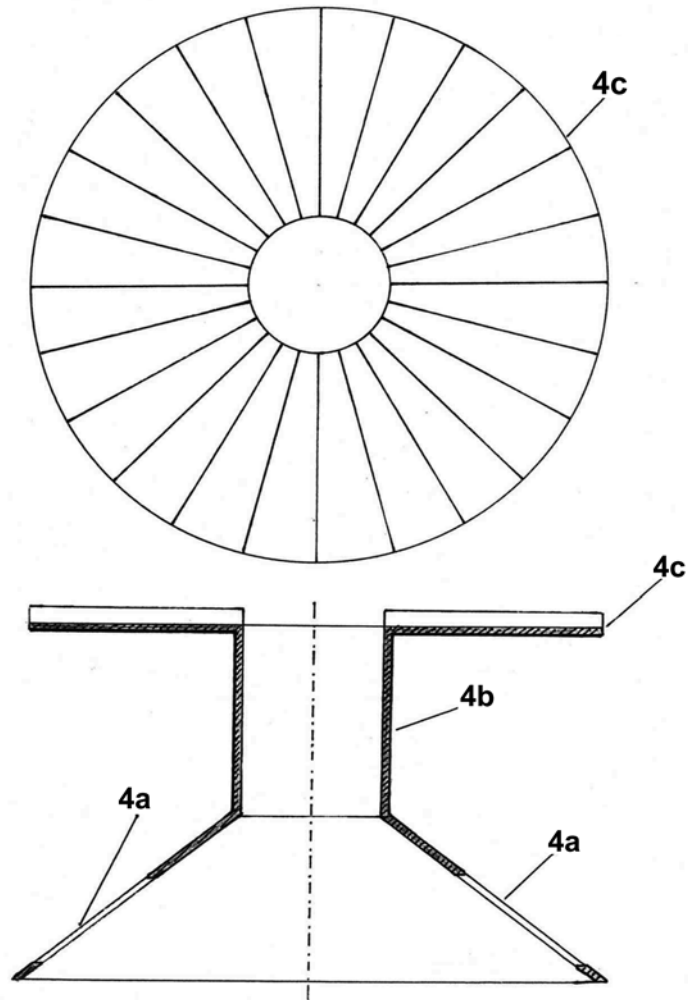


Fig. 6

(51) Int.Cl.

G21G 1/02 (2006.01);

G21C 19/20 (2006.01);

F22B 1/06 (2006.01)

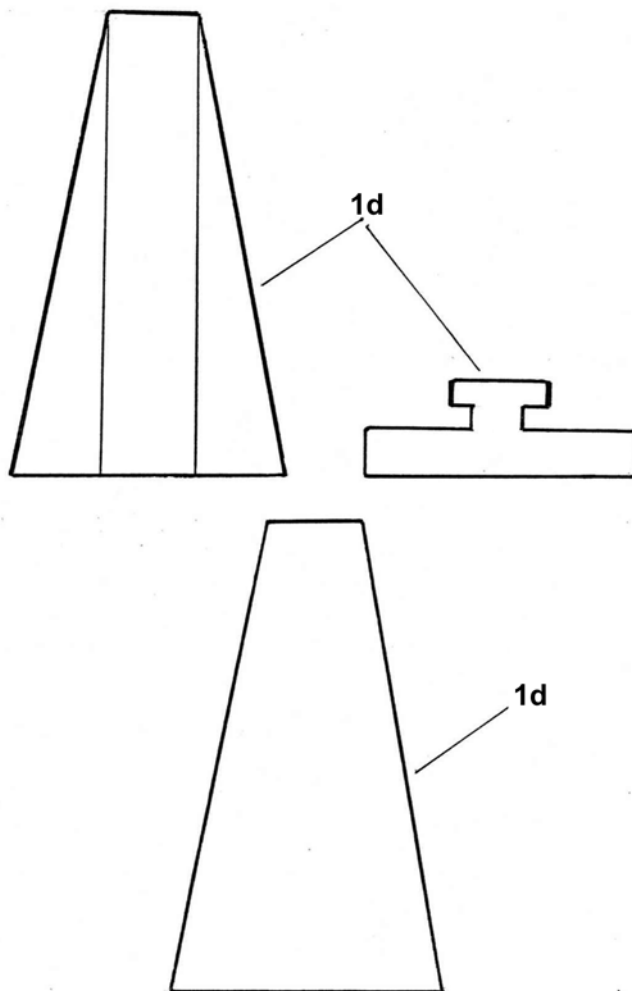


Fig. 7

(51) Int.Cl.

G21G 1/02 (2006.01);

G21C 19/20 (2006.01);

F22B 1/06 (2006.01)

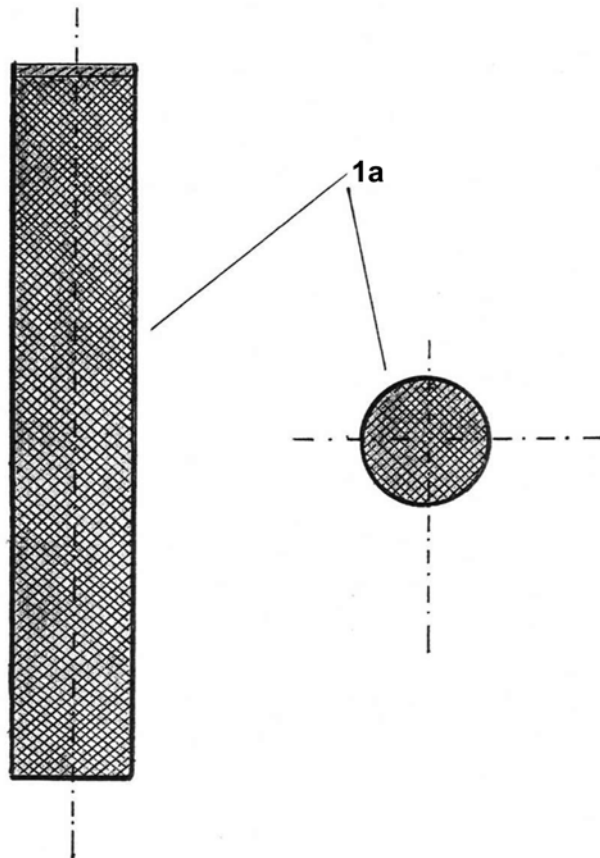


Fig. 8

(51) Int.Cl.

G21G 1/02 (2006.01);

G21C 19/20 (2006.01);

F22B 1/06 (2006.01)

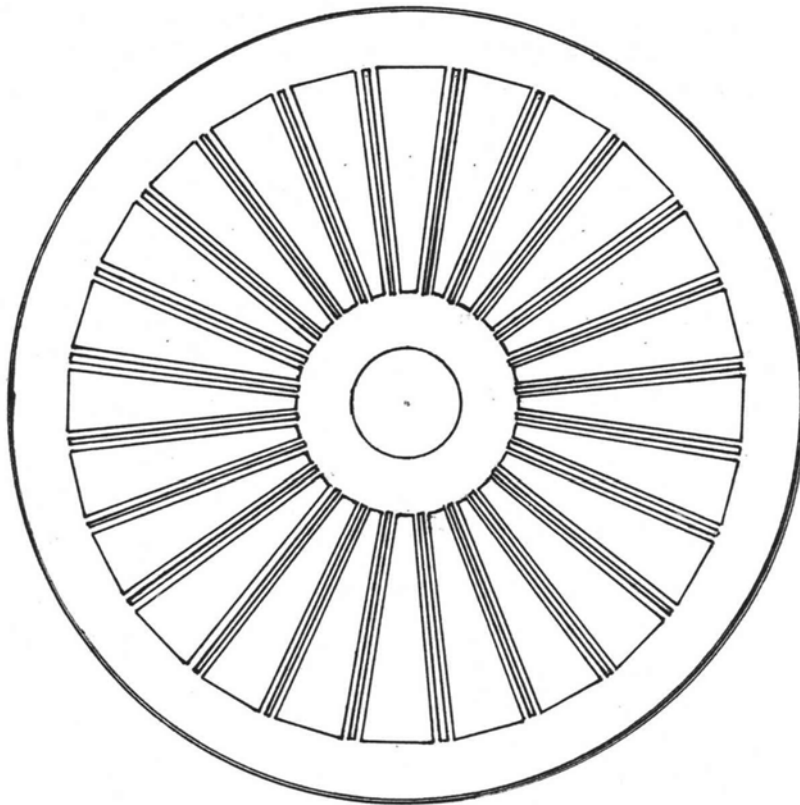


Fig. 9

(51) Int.Cl.

G21G 1/02 (2006.01);

G21C 19/20 (2006.01);

F22B 1/06 (2006.01)

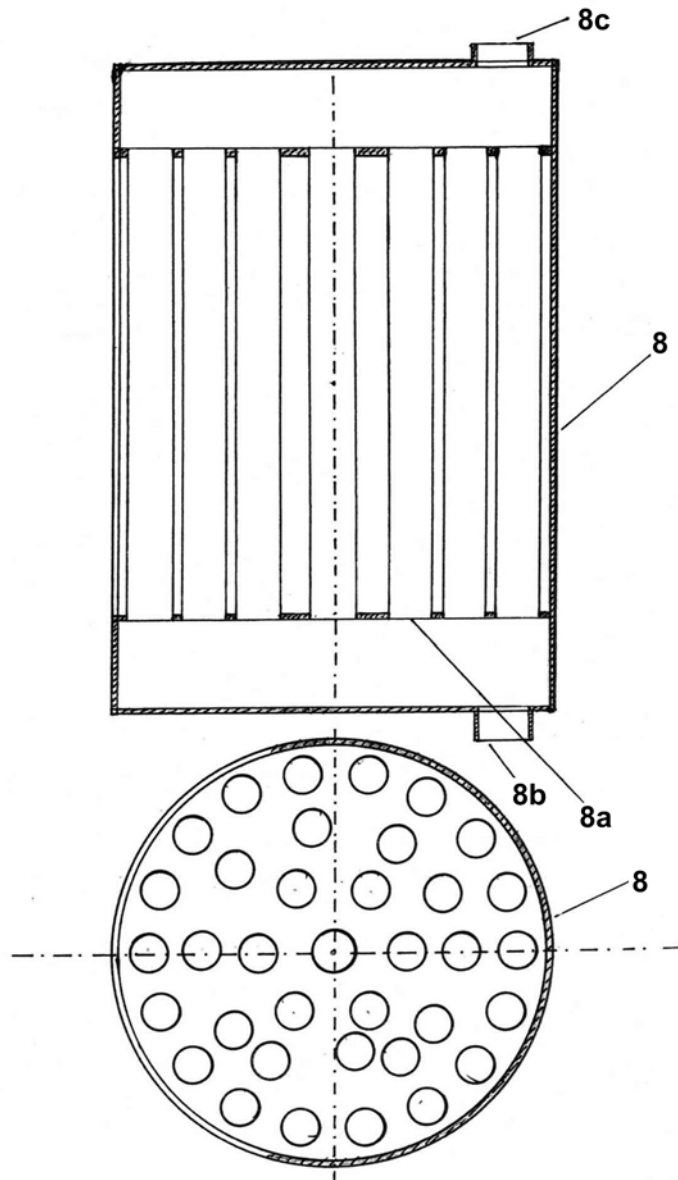


Fig. 10

RO 131002 B1

(51) Int.Cl.

G21G 1/02 (2006.01);

G21C 19/20 (2006.01);

F22B 1/06 (2006.01)

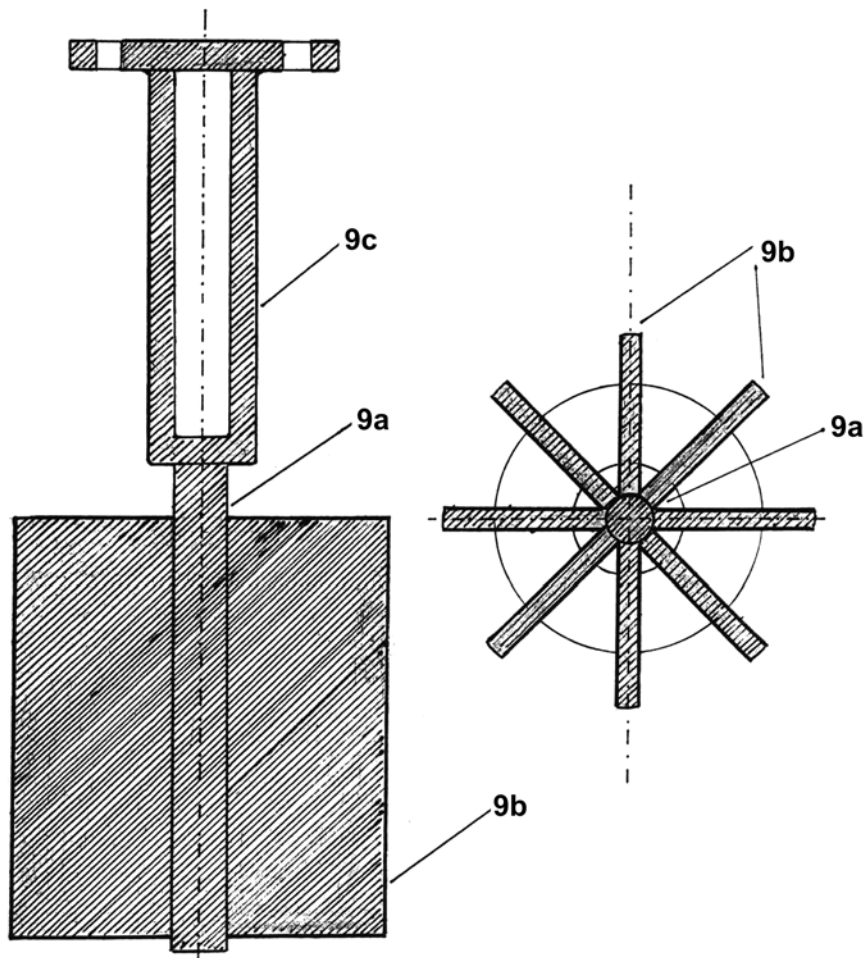


Fig. 11

RO 131002 B1

(51) Int.Cl.

G21G 1/02 (2006.01);

G21C 19/20 (2006.01);

F22B 1/06 (2006.01)

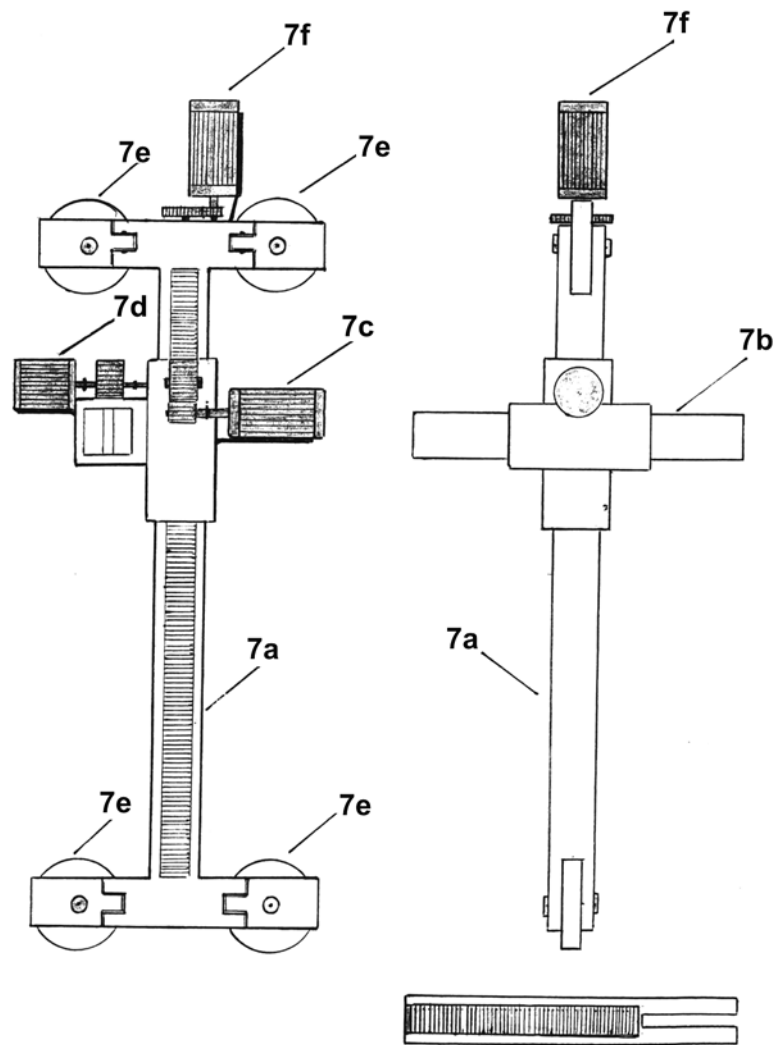


Fig. 12

RO 131002 B1

(51) Int.Cl.

G21G 1/02 (2006.01);

G21C 19/20 (2006.01);

F22B 1/06 (2006.01)

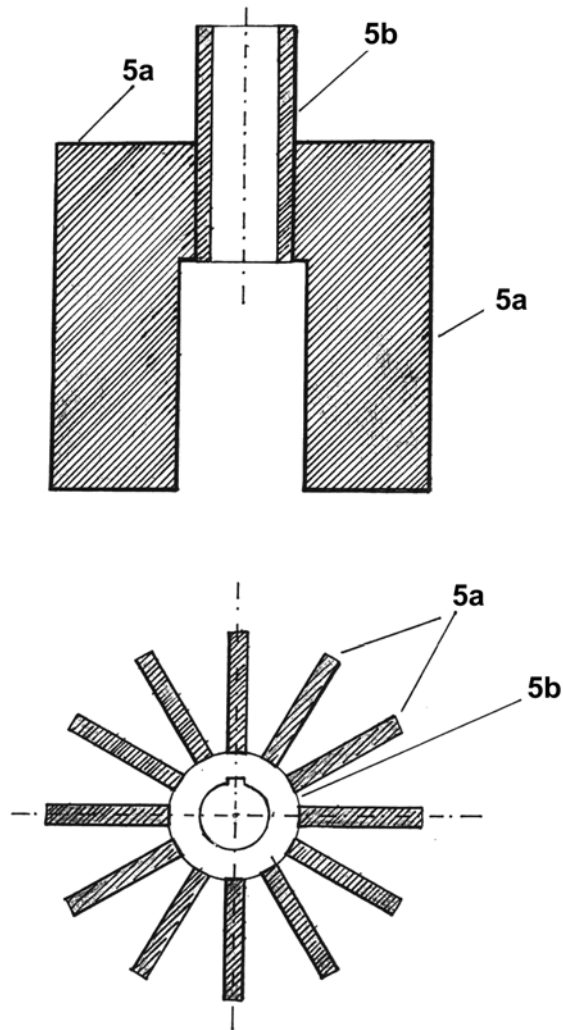


Fig. 13

RO 131002 B1

(51) Int.Cl.

G21G 1/02 (2006.01);

G21C 19/20 (2006.01);

F22B 1/06 (2006.01)

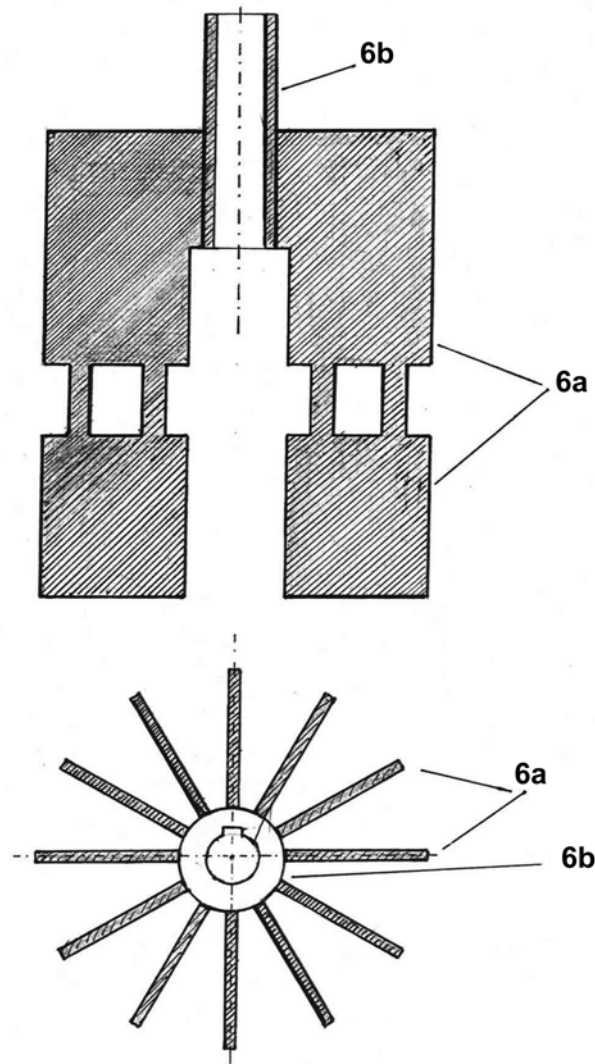


Fig. 14

(51) Int.Cl.

G21G 1/02 (2006.01);

G21C 19/20 (2006.01);

F22B 1/06 (2006.01)

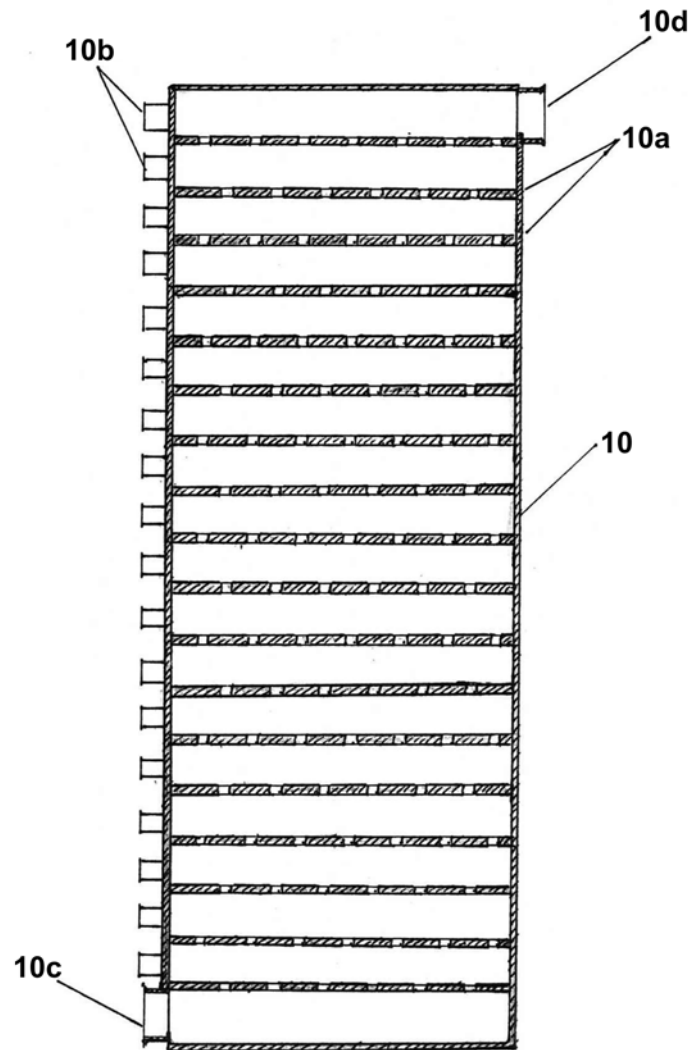


Fig. 15



Editare și tehnoredactare computerizată - OSIM
Tipărit la Oficiul de Stat pentru Invenții și Mărci
sub comanda nr. 124/2021