

Układ sortowania i dozowania sferycznych elementów paliwowych do reaktora jądrowego

Przedmiotem wynalazku jest układ sortowania i dozowania sferycznych elementów paliwowych do wysokotemperaturowego reaktora jądrowego.

5 Dotychczas znane są różne rozwiązania urządzeń i układów do sortowania wypalonych elementów paliwowych z reaktorów jądrowych. Większość urządzeń sortujących wyposażona jest w detektory aktywności promieniotwórczej rozdzielanych elementów paliwowych. Niektóre z nich dodatkowo wykorzystują inne sposoby rozróżniania stopnia ich wypalenia. Sposoby te mogą być oparte np. na kryterium geometrycznym pozwalającym rozróżnić stopień wypalenia elementów paliwowych
10 na podstawie zmienionej wielkości i kształtu wypalonych elementów paliwowych.

 W opisie zgłoszenia patentowego [CN102522130A](#) przedstawione jest urządzenie do sortowania kulistych elementów paliwowych dla wysokotemperaturowego reaktora jądrowego chłodzonego gazem. Urządzenie składa się z obudowy, komory sortowania, kanału doprowadzającego i kanałów odprowadzających posortowane elementy paliwowe. Wewnątrz komory sortowania
15 zamocowana jest przesuwnie odpowiednio wyprofilowana i obracająca się płytką. Wirnik napędza obracającą się płytkę, która odpowiednio popycha sortowane elementy paliwowe do ich kanałów wyładowczych. Blokowanie kulistych elementów paliwowych w kanałach wyładowczych podczas procesu sortowania jest eliminowane dzięki możliwości przesuwania profilowanej płytki.

 Rozwiązanie urządzenia wyładowczego kulistych elementów paliwowych z rdzenia reaktora
20 jądrowego z granulowanym złożem przedstawia opis zgłoszenia patentowego [GB941108A](#). Urządzenie umieszczone jest na końcu kanału wyładowczego elementów paliwowych z rdzenia reaktora i posiada obrotową okrągłą płytę z otworem w pobliżu jej krawędzi. Średnica tego otworu jest nieco większa niż średnica kulistych elementów paliwowych. Przechodzące przez otwór elementy paliwowe odprowadzane są wygiętą rurą, której koniec znajduje się w osi obrotu płyty. Odprowadzanie elementów
25 paliwowych z rdzenia reaktora odbywa się tylko podczas obracania się płyty.

 Urządzenie wyładowcze kulistych elementów paliwowych lub moderatorów z rdzenia reaktora jądrowego z granulowanym złożem przedstawione jest w opisie zgłoszenia patentowego [CA2437154A1](#). Opisane rozwiązanie przedstawia system odpowiednio połączonych komponentów, których zadaniem jest spowolnienie przemieszczania się kulistych elementów paliwowych w rdzeniu
30 reaktora. Realizuje się to za pomocą przeciwnie skierowanego strumienia płynu. Z kolei opis zgłoszenia patentowego [DE3121379A1](#) ujawnia konstrukcję rury wyładowczej kulistych elementów paliwowych z reaktora jądrowego chłodzonego gazem, której odpowiednie zawieszenie i połączenie z reaktorem kompensuje jej przemieszczanie się, np. podczas trzęsienia ziemi.

 Układ zasilania oraz układ obsługi i przechowywania kulistych elementów paliwowych reaktora
35 jądrowego chłodzonego gazem przedstawia opis zgłoszenia patentowego [US2012230458A1](#). Ujawniony układ jest skonfigurowany w taki sposób, że chłodzący gaz wpływa do reaktora zarówno przez doprowadzenie, jak i odprowadzenie elementów paliwowych ograniczając w ten sposób przechodzenie gazu o wysokiej temperaturze z reaktora do układu.

Znany jest układ przygotowania elementów paliwowych dla wysokotemperaturowego reaktora jądrowego z rdzeniem usypanym z kulistych elementów paliwowych, który stosowany był w zamkniętej elektrowni jądrowej Arbeitsgemeinschaft Versuchsreaktor (AVR) w Niemczech https://pl.wikipedia.org/wiki/Arbeitsgemeinschaft_Versuchsreaktor#cite_note-Moormann-2. Kuliste

5 elementy paliwowe po załadowaniu do rdzenia przemieszczały się grawitacyjnie w kierunku wylotu znajdującego się na spodzie reaktora i po określonym czasie były systematycznie wyładowywane. Następnie za pomocą spektrometrii gamma badany był ich stopień wypalenia. Niedopalone, nadające się do dalszego generowania ciepła były zawracane do rdzenia, przy czym trafiały one do środka stosu, a nowe, nieeksploatowane elementy paliwowe wsypywane były na obrzeża stosu.

10

Niekorzystną cechą większości dotychczasowych układów do sortowania elementów paliwowych dla reaktorów jądrowych jest niezbyt skuteczny proces rozdzielania wypalonych od nie wypalonych elementów paliwowych oraz znaczna ich zawodność. Obecnie stosowane układy dozujące sferyczne elementy paliwowe dla reaktorów jądrowych charakteryzują się potencjalnie dużym ryzykiem

15

Celem wynalazku jest układ sortowania sferycznych elementów paliwowych wyładowywanych z rdzenia wysokotemperaturowego reaktora jądrowego, a także sprawnie działający układ dozowania elementów paliwowych do tego typu reaktora.

20

Przedmiotem wynalazku jest układ sortowania i dozowania sferycznych elementów paliwowych do reaktora jądrowego składający się z odprowadzenia sferycznych elementów paliwowych z rdzenia reaktora, komory sortowania, spektrometrów promieniowania gamma, rozdzielacza sprężonego powietrza, zbiornika wypalonych sferycznych elementów paliwowych i zbiornika częściowo wypalonych

25

sferycznych elementów paliwowych, przechowalnika wypalonych sferycznych elementów paliwowych, zakładu przerobu wypalonych sferycznych elementów paliwowych, składowiska wypalonych sferycznych elementów paliwowych, dozowników sferycznych elementów paliwowych oraz sterownika. Jego istotą jest to, że odprowadzenie sferycznych elementów paliwowych z rdzenia reaktora połączone jest z komorą sortowania, podłączoną z dwóch przeciwległych stron do rozdzielacza sprężonego

30

powietrza. W dolnej podstawie komory sortowania po obydwu jej stronach znajdują się otwory odprowadzania sferycznych elementów paliwowych połączone odpowiednio ze zbiornikiem wypalonych sferycznych elementów paliwowych i zbiornikiem częściowo wypalonych sferycznych elementów paliwowych. Komora sortowania zaopatrzona jest w spektrometr promieniowania gamma. Zbiornik wypalonych sferycznych elementów paliwowych połączony jest kolejno z przechowalnikiem wypalonych

35

sferycznych elementów paliwowych, zakładem przerobu wypalonych sferycznych elementów paliwowych i składowiskiem wypalonych sferycznych elementów paliwowych. Zbiornik częściowo wypalonych sferycznych elementów paliwowych połączony jest z dozownikiem częściowo wypalonych sferycznych elementów paliwowych podłączonym do rdzenia reaktora. Do rdzenia reaktora podłączony jest dozownik nie wypalonych sferycznych elementów paliwowych połączony z zakładem wytwarzania

sferycznych elementów paliwowych. Spektrometr promieniowania gamma skomunikowany jest ze sterownikiem skomunikowanym z dozownikami sferycznych elementów paliwowych oraz z rozdzielaczem sprężonego powietrza.

Korzystnie sterownik skomunikowany jest z analizatorem parametrów pracy reaktora jądrowego.

- 5 Opcjonalnie przed dozownikiem częściowo wypalonych sferycznych elementów paliwowych oraz przed dozownikiem nie wypalonych sferycznych elementów paliwowych znajdują się odpowiednio spektrometry promieniowania gamma, które skomunikowane są ze sterownikiem.

Alternatywnie dozownik częściowo wypalonych sferycznych elementów paliwowych i dozownik nie wypalonych sferycznych elementów paliwowych podłączone są do rdzenia reaktora poprzez urządzenie

- 10 do porcjowania sferycznych elementów paliwowych.

Wskazane jest gdy za urządzeniem do porcjowania sferycznych elementów paliwowych na drodze transportu sferycznych elementów paliwowych do rdzenia reaktora znajduje się spektrometr promieniowania gamma, który skomunikowany jest ze sterownikiem.

- 15 Korzystnym skutkiem zastosowania wynalazku jest skuteczne i bezawaryjne sortowanie wypalonych sferycznych elementów paliwowych wyładowywanych z rdzenia wysokotemperaturowego reaktora jądrowego oraz sprawne przygotowanie nowego wsadu składającego się z kompozycji niedopalonych i „świeżych” elementów paliwowych.

- 20 Przedmiot wynalazku w przykładzie wykonania jest uwidoczniony na schematycznym rysunku, na którym poszczególne figury przedstawiają:

Fig. 1 – układ sortowania i dozowania sferycznych elementów paliwowych do reaktora jądrowego w pierwszej odmianie wykonania,

Fig. 2 – układ sortowania i dozowania sferycznych elementów paliwowych do reaktora jądrowego

- 25 w drugiej odmianie wykonania.

Układ sortowania i dozowania sferycznych elementów paliwowych do reaktora jądrowego w pierwszej odmianie wykonania składa się z odprowadzenia sferycznych elementów paliwowych z rdzenia reaktora 1. Elementy paliwowe mają średnicę 0,06 m i wykonane są ze sprasowanego paliwa jądrowego typu TRISO. Paliwo to zawiera ok. 1 g uranu U-235 i posiada wielowarstwową osłonę ceramiczną. Odprowadzenie sferycznych elementów paliwowych z rdzenia reaktora 1 połączone jest ze środkiem bocznej ściany prostopadłościennej komory sortowania 2 wykonanej ze stopu żelaza z berylem. Podstawami tej komory są dwie prostokątne ściany o wymiarach 0,6x0,08 m. Dwie kwadratowe boczne ściany mają wymiary 0,08x0,08 m i stanowią wloty sprężonego powietrza, które podłączone są do rozdzielacza sprężonego powietrza 4 wyposażonego w regulator ciśnienia. W dolnej podstawie komory sortowania 2 pod miejscem połączenia komory sortowania 2 z odprowadzeniem sferycznych elementów paliwowych z rdzenia reaktora 1 znajduje się okienko wykonane z azotku krzemu Si_3N_4 , które ma zdolność do przepuszczania promieniowania gamma. Pod nim umiejscowiony jest spektrometr promieniowania gamma 3a wyposażony w wysokiej rozdzielczości

półprzewodnikowy detektor promieniowania HPGe, wzmacniacz, wielokanałowy analizator oraz system akwizycji danych. Po obydwu stronach dolnej podstawy komory sortowania 2 przed wlotami sprężonego powietrza znajdują się otwory 2a, 2b odprowadzania sferycznych elementów paliwowych o średnicach 0,075 m. Otwory te połączone są ze zbiornikami 5, 6 dla odpowiednio wypalonych i częściowo wypalonych sferycznych elementów paliwowych. Zbiorniki te wykonane są ze stopu żelaza z berylem, posiadają biologiczną betonową osłonę i są pneumatycznie otwierane i zamykane. Zbiornik 5 wypalonych sferycznych elementów paliwowych połączony jest z przechowalnikiem 7 wypalonych sferycznych elementów paliwowych, który z kolei połączony jest z zakładem 8 przerobu wypalonych sferycznych elementów paliwowych, a ten ze składowiskiem 9 wypalonych sferycznych elementów paliwowych. Przechowalnik 7 wypalonych sferycznych elementów paliwowych jest typu mokrego w postaci wodnego basenu, w którym te elementy mogą być przechowywane przez okres kilkudziesięciu lat. Składowiskiem 9 wypalonych sferycznych elementów paliwowych o wysokiej aktywności jest głęboko położona nieprzepuszczalna formacja geologiczna, a wypalonych sferycznych elementów paliwowych o niskiej i średniej aktywności jest tzw. składowisko powierzchniowe gwarantujące bezpieczeństwo dla środowiska. Zbiornik 6 częściowo wypalonych sferycznych elementów paliwowych połączony jest z dozownikiem 10a częściowo wypalonych sferycznych elementów paliwowych, który podłączony jest do rdzenia reaktora 1. Do rdzenia reaktora 1 podłączony jest również dozownik 10b nie wypalonych sferycznych elementów paliwowych, który połączony jest z zakładem 11 wytwarzania sferycznych elementów paliwowych. Dozowniki 10a, 10b sferycznych elementów paliwowych wyposażone są w siłowniki pneumatyczne jednostronnego działania. Na drodze transportu częściowo wypalonych i nie wypalonych sferycznych elementów paliwowych odpowiednio przed dozownikiem 10a częściowo wypalonych sferycznych elementów paliwowych i przed dozownikiem 10b nie wypalonych sferycznych elementów paliwowych znajdują się spektrometry promieniowania gamma 3b, 3c. Każdy z tych spektrometrów wyposażony jest w wysokiej rozdzielczości półprzewodnikowy detektor promieniowania HPGe, wzmacniacz, wielokanałowy analizator oraz system akwizycji danych. Rozdzielacz sprężonego powietrza 4, dozowniki 10a, 10b sferycznych elementów paliwowych i spektrometry promieniowania gamma 3a, 3b, 3c skomunikowane są ze sterownikiem 12, którym jest modułowy sterownik PLC firmy Siemens. Sterownik 12 skomunikowany jest również z analizatorem parametrów pracy reaktora jądrowego 13 wyposażonym między innymi w sensory mocy i reaktywności reaktora, czujniki temperatury w rdzeniu, temperatury chłodziwa na wlocie i wylocie z reaktora oraz mierniki stężenia trucizn reaktorowych.

Układ sortowania i dozowania sferycznych elementów paliwowych do reaktora jądrowego w drugiej odmianie wykonania zawiera podłączone do rdzenia reaktora 1 urządzenie do porcjowania 14 sferycznych elementów paliwowych, które połączony jest z dozownikiem 10a częściowo wypalonych sferycznych elementów paliwowych i dozownikiem 10b nie wypalonych sferycznych elementów paliwowych. Za urządzeniem do porcjowania 14 sferycznych elementów paliwowych na drodze transportu sferycznych elementów paliwowych do rdzenia reaktora 1 znajduje się spektrometr promieniowania gamma 3d, który skomunikowany jest ze sterownikiem 12.

Układ sortowania i dozowania sferycznych elementów paliwowych do reaktora jądrowego w pierwszej odmianie wykonania służy do skutecznego sortowania wypalonych sferycznych elementów paliwowych wyładowywanych z rdzenia reaktora oraz przygotowania i dozowania właściwego wsadu paliwowego składającego się z kompozycji częściowo wypalonych i nie wypalonych sferycznych elementów paliwowych. Sferyczne elementy paliwowe odprowadzane z rdzenia reaktora 1 kierowane są do komory sortowania 2, w której oddzielane są wypalone elementy paliwowe ze stopniem wypalenia powyżej 120 GWdni/tU od częściowo wypalonych elementów paliwowych. Wykorzystywane są przy tym wskazania spektrometru promieniowania gamma 3a, które przekazywane są do sterownika 12. Sygnały z tego sterownika są podstawą dla rozdzielacza sprężonego powietrza 4 do odpowiedniego kierowania sprężonego powietrza do komory sortowania 2. Wynikiem tego jest adekwatne przemieszczanie doprowadzanych do tej komory poszczególnych sferycznych elementów paliwowych do otworów 2a, 2b odprowadzania sferycznych elementów paliwowych, a następnie do zbiorników 5, 6 wypalonych i częściowo wypalonych sferycznych elementów paliwowych. Ze zbiornika 5 wypalonych sferycznych elementów paliwowych są one w tzw. otwartym cyklu paliwowym kierowane do przechowalnika 7 wypalonych sferycznych elementów paliwowych. Tu bez skracania czasu ich aktywności poprzez eliminowanie z ich składu transuranowców przechowuje się je przez okres co najmniej 30 lat zgodnie z prawnymi uregulowaniami dotyczącymi warunków przechowywania odpadów promieniotwórczych lub wypalonego paliwa jądrowego. Po tym czasie wypalone sferyczne elementy paliwowe kierowane są do zakładu 11 wytwarzania sferycznych elementów paliwowych, w którym odzyskuje się z nich materiały rozszczepialne - uran U-235 i pluton Pu-239. Materiały te ponownie używane są do wytwarzania elementów paliwowych, a pozostałe aktywne składniki kieruje się na składowisko 9 wypalonego paliwa. Wypalone sferyczne elementy paliwowe ze zbiornika 5 wypalonych sferycznych elementów paliwowych mogą być również w tzw. zamkniętym cyklu paliwowym najpierw przez co najmniej pół roku schładzane w basenie z wodą, a następnie rozdzielane i przetwarzane w zakładzie 11 wytwarzania sferycznych elementów paliwowych. Ze zbiornika 6 częściowo wypalonych sferycznych elementów paliwowych gromadzone w nim elementy paliwowe są kierowane do dozownika 10a częściowo wypalonych sferycznych elementów paliwowych, a z niego do środkowej części rdzenia reaktora 1. Do brzegowej części rdzenia reaktora 1 kierowane są nie wypalone elementy paliwowe, które dostarczane są z zakładu 11 wytwarzania sferycznych elementów paliwowych poprzez dozownik 10b nie wypalonych sferycznych elementów paliwowych. Przed dozownikiem 10a częściowo wypalonych sferycznych elementów paliwowych i przed dozownikiem 10b nie wypalonych sferycznych elementów paliwowych za pomocą spektrometrii gamma bada się stosownie stopień wypalenia i stopień promieniotwórczej aktywności elementów paliwowych. Wykorzystuje się przy tym odpowiednio spektrometry promieniowania gamma 3b i 3c. Na podstawie tych pomiarów, a także danych dostarczanych z analizatora parametrów pracy reaktora jądrowego 13 sterownik 12 wysyła właściwe sygnały do dozowników 10a, 10b sferycznych elementów paliwowych, a te kształtują skład wsadu paliwowego do reaktora, przy którym parametry pracy reaktora odpowiadają założonym.

5 Układ sortowania i dozowania sferycznych elementów paliwowych do reaktora jądrowego
w drugiej odmianie wykonania służy do efektywnego sortowania wypalonych sferycznych elementów
paliwowych wyładowywanych z rdzenia reaktora oraz do sporządzania optymalnego wsadu paliwowego
w urządzeniu do porcjowania 14 sferycznych elementów paliwowych. Sferyczne elementy paliwowe do
10 tego urządzenia doprowadza się z dozownika 10a częściowo wypalonych sferycznych elementów
paliwowych oraz z dozownika 10b nie wypalonych sferycznych elementów paliwowych. Kompozycję
gotowych porcji wsadu paliwowego bada się za pomocą spektrometru promieniowania gamma 3d.
Określa się przy tym udział zmodyfikowanych oraz innych pierwiastków wykorzystując dwie
częstotliwości robocze spektrometru, z którego odpowiednią informację przekazuje się do sterownika
12, a ten wysyła stosowne sygnały do dozowników 10a, 10b sferycznych elementów paliwowych.
Przy doborze optymalnego wsadu paliwowego do reaktora, przy którym parametry jego pracy
odpowiadają założonym wykorzystuje się również dane dostarczane z analizatora parametrów pracy
reaktora jądrowego 13 skomunikowanego ze sterownikiem 12.

15 Układ sortowania i dozowania sferycznych elementów paliwowych do reaktora jądrowego
pracuje w sposób ciągły, niezawodny i znacząco zmniejsza zużycie paliwa jądrowego. Przyczynia się
też do wytwarzania mniejszych ilości radioaktywnych odpadów.

RZECZNIK PATENTOWY

Maciej Nowicki
mgr inż. Maciej Nowicki
Nr wp. 3476

Wykaz oznaczeń:

- 1 – rdzeń reaktora
- 2 – komora sortowania
- 2a, 2b – otwór odprowadzania sferycznych elementów paliwowych
- 3a, 3b, 3c, 3d – spektrometr promieniowania gamma
- 4 – rozdzielacz sprężonego powietrza
- 5 – zbiornik wypalonych sferycznych elementów paliwowych
- 6 – zbiornik częściowo wypalonych sferycznych elementów paliwowych
- 7 – przechowalnik wypalonych sferycznych elementów paliwowych
- 8 – zakład przerobu wypalonych sferycznych elementów paliwowych
- 9 – składowisko wypalonych sferycznych elementów paliwowych
- 10a, 10b – dozownik sferycznych elementów paliwowych
- 11 – zakład wytwarzania sferycznych elementów paliwowych
- 12 – sterownik
- 13 – analizator parametrów pracy reaktora jądrowego
- 14 – urządzenie do porcjowania sferycznych elementów paliwowych