



Patent dodatkowy
do patentu nr _____

Zgłoszono: 04.06.73 (P. 163073)

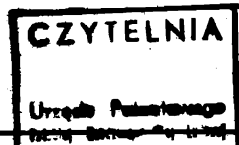
Pierwszeństwo: _____

Zgłoszenie ogłoszono: 01.06.74

Opis patentowy opublikowano: 31.03.1977

MKP G21d 1/00

Int. Cl.² G21D 1/00



Twórca wynalazku: _____

Uprawniony z patentu: Evgeny Ivanovich Grishanin, Moskwa, Vladimir Grigorievich Iljunin, Obninsk, Igor Alekseevich Kunetsov, Obninsk, Viktor Mikhailovich Murogov, Obninsk, Anatoly Nikolaevich Shmelev, Moskwa (Związek Socjalistycznych Republik Radzieckich)

Siłownia jądrowa

1

Przedmiotem wynalazku jest siłownia jądrowa, stosowana w elektrowniach atomowych.

Znane są siłownie jądrowe, zawierające blok parowy i co najmniej dwa reaktory jądrowe, z których jeden jest chłodzony wodą pod ciśnieniem i ma niską temperaturę wyjściową nośnika ciepła, a drugi chłodzony jest parą wodną, mającą wysoką temperaturę wyjściową, przy czym reaktory mają obwody chłodzenia połączone ze sobą poprzez wymienniki ciepła w celu kolejnego przekazywania ciepła z reaktorów do czynnika roboczego bloku parowego — pary wodnej (co opisano na przykład w czasopiśmie „Termoenergetyka”, Moskwa, 1963 r. Nr 5, str. 35).

W znanych siłowniach jądrowych stosuje się reaktory o neutronach termicznych, w których jako nośnik ciepła stosuje się wodę i parę wodną, co wyklucza możliwość zwiększenia powielania paliwa i ogranicza parametry czynnika roboczego turbiny.

Celem wynalazku jest dostarczenie siłowni jądrowej, która nie ma wyżej wymienionych wad.

Zadaniem wynalazku jest dostarczenie siłowni jądrowej, w której stosowano by takie reaktory, które zabezpieczyłyby zarówno dużą prędkość powielania paliwa jądrowego, jak i wysokie parametry czynnika roboczego.

Według wynalazku zadanie to osiąga się w ten sposób, że w siłowni jądrowej, zawierającej blok parowy i co najmniej dwa reaktory z których jeden ma niską temperaturę wyjściową nośnika ciepła,

2

a drugi ma wysoką temperaturę wyjściową nośnika ciepła i których obwody chłodzenia połączone są ze sobą poprzez wymiennik ciepła w celu kolejnego przekazywania ciepła z reaktorów do czynnika roboczego bloku parowego, przy czym według wynalazku jako reaktor mający niską temperaturę wyjściową nośnika ciepła jest zastosowany reaktor prędkości, zawierający strefę aktywną i strefę powielania, a jako reaktor mający wysoką temperaturę wyjściową nośnika ciepła jest zastosowany reaktor cieplny.

W celu zabezpieczenia możliwości dużych zmian parametrów każdego reaktora, a także w celu możliwości zastosowania różnych nośników ciepła służących do chłodzenia reaktorów pożądanym jest, żeby obwód chłodzenia każdego reaktora był zaopatrzony w wymiennik ciepła, z których każdy jest włączony szeregowo w obwód obiegu czynnika roboczego bloku parowego.

Korzystnie jest jako nośnik ciepła reaktorów prędkich stosować ciekły metal, wybrany z I-ej grupy układu okresowego, jak na przykład sód i lit.

W celu zwiększenia prędkości powielania paliwa jądrowego w reaktorze o niskiej temperaturze wyjściowej nośnika ciepła, można stosować paliwo metaliczne, a w reaktorze o wysokiej temperaturze wyjściowej — paliwo ceramiczne.

W celu obniżenia średniej temperatury nośnika ciepła pożądanym jest także, żeby co najmniej jeden z reaktorów podzielić na minimum dwa obszary,

mające różną temperaturę wyjściową nośnika ciepła, z których każdy jest włączony w niezależny obwód chłodzenia i zaopatrzony w wymiennik ciepła włączony szeregowo w obwód obiegu czynnika roboczego bloku parowego. Oprócz tego, w reaktorze z kilkoma obszarami, mającym niezależne obwody nośnika ciepła, najkorzystniej jest w obszarach o niskiej temperaturze wyjściowej nośnika ciepła stosować paliwo metaliczne, a w pozostałych obszarach — stosować paliwo ceramiczne. Jeżeli jako reaktor o niskiej temperaturze wyjściowej nośnika ciepła zastosowany jest reaktor prędkości, w celu zwiększenia efektywności wykorzystania paliwa jądrowego i w celu podwyższenia temperatury czynnika roboczego pożądane jest, żeby reaktor o wysokiej temperaturze wyjściowej nośnika ciepła wykonać w postaci chłodzonego gazem reaktora o neutronach termicznych.

W celu polepszenia techniczno-ekonomicznych własności siłowni jądrowej pożądane jest, żeby reaktor prędkości był chłodzony gazem, a jako chłodzony gazem reaktor o neutronach termicznych zastosowany był reaktor grafitowy.

W celu zabezpieczenia możliwości kompleksowego wykorzystania zasobów naturalnych uranu i toru w mieszanym cyklu uranowo-plutonowym najkorzystniejsze jest, aby w strefie aktywnej reaktora prędkiego wykorzystywać paliwo, zawierające pluton i uran, a jako materiał strefy powielania — materiał wybrany z grupy zawierającej uran i tor a w strefie aktywnej reaktora chłodzonego gazem — paliwo zawierające uran i tor.

W celu dalszego zwiększenia prędkości powielania paliwa pożądane jest stosowanie plutonu i uranu w postaci stopu metali.

Pożądane jest, żeby jako nośnik ciepła w reaktorach stosować gaz wybrany z grupy zawierającej hel i dwutlenek węgla.

W celu zwiększenia bezpieczeństwa pracy urządzenia i równocześnie w celu zwiększenia temperatury czynnika roboczego korzystnie jest, aby w chłodzonym gazem reaktorze prędkim jako nośnik ciepła stosować dwutlenek węgla, a w chłodzonym gazem reaktorze o neutronach termicznych jako nośnik ciepła stosować hel.

Ze względu na dużą zmienność gęstości wydzielania energii w chłodzonym gazem reaktorze grafitowym o neutronach termicznych i chłodzonym gazem reaktorze o neutronach prędkich wskazane jest, żeby nośnik ciepła w reaktorze grafitowym znajdował się pod ciśnieniem nie większym niż 20 razy mniejsze od ciśnienia, pod którym znajduje się nośnik ciepła w chłodzonym gazem reaktorze prędkim.

W celu uproszczenia konstrukcji siłowni jądrowej obwody chłodzenia wszystkich reaktorów można połączyć w jeden wspólny obwód.

W celu zabezpieczenia możliwości zmiany wzajemnych stosunków mocy reaktorów w siłowni jądrowej wskazane jest, żeby wyjście co najmniej jednego reaktora o niskiej temperaturze wyjściowej nośnika ciepła połączyć z odpowiadającym mu wymiennikiem ciepła.

W siłowni jądrowej, w której nośnik ciepła stosowany jest równocześnie jako czynnik roboczy

wskazane jest, żeby wszystkie reaktory włączyć szeregowo w obwód obiegu czynnika roboczego.

W celu zwiększenia sprawności i bezpieczeństwa działania urządzenia pożądane jest także stosowanie dwutlenku węgla jako czynnika roboczego.

Wskazane jest, żeby w siłowni jądrowej w obwód, pomiędzy co najmniej dwoma reaktorami, włączyć jedną gazową turbinę w celu utrzymania zadanego wzajemnego stosunku ciśnień nośnika ciepła w reaktorach.

W celu zwiększenia bezpieczeństwa działania siłowni jądrowej wszystkie reaktory należy umieścić w wspólnym korpusie.

Siłownia jądrowa według wynalazku pozwala równocześnie uzyskać duże powielanie paliwa jądrowego, właściwe dla najlepszych reaktorów prędkich, i wysokie parametry czynnika roboczego, właściwe dla chłodzonych gazem reaktorów grafitowych o neutronach termicznych.

W rezultacie siłownia jądrowa z kilkoma reaktorami charakteryzuje się zarówno dużą prędkością powielania paliwa jądrowego, jak i niskimi nakładami inwestycyjnymi.

Przedmiot wynalazku jest przedstawiony w przykładach wykonania na rysunkach, na których fig. 1 przedstawia schemat siłowni jądrowej według wynalazku z dwoma reaktorami, w której jako reaktor o niskiej temperaturze nośnika ciepła zastosowano reaktor prędkości; fig. 2 — schemat siłowni jądrowej według wynalazku z niezależnymi obwodami chłodzenia dla każdego reaktora; fig. 3 — schemat siłowni jądrowej według wynalazku z dwoma reaktorami, z których jeden ma poszczególne obszary włączone w niezależne obwody chłodzenia nośnika ciepła; fig. 4 — schemat siłowni jądrowej według wynalazku z reaktorami i wymiennikami ciepła, włączonymi we wspólny obwód; fig. 5 — schemat siłowni jądrowej według wynalazku, w której wejście reaktora o niskiej temperaturze wyjściowej nośnika ciepła jest połączone bezpośrednio z odpowiadającym mu wymiennikiem ciepła; fig. 6 — schemat siłowni jądrowej według wynalazku, w której nośnik ciepła wykorzystano jako czynnik roboczy; fig. 7 — schemat siłowni jądrowej z dwutlenkiem węgla zastosowanym jako czynnik roboczy; fig. 8 — schemat siłowni jądrowej według wynalazku z turbiną gazową włączoną pomiędzy reaktorami; fig. 9 — schemat konstrukcji siłowni jądrowej według wynalazku, w której reaktory są umieszczone we wspólnym korpusie.

Siłownia jądrowa według wynalazku, przedstawiona na fig. 1, zawiera reaktor prędkości 1 o niskiej temperaturze wyjściowej nośnika ciepła, który przekazuje swoją moc reaktorowi 2 o neutronach termicznych i o wysokiej temperaturze wyjściowej nośnika ciepła poprzez wymiennik ciepła 3 za pomocą obwodu chłodzenia 4 i obwodu chłodzenia 5. Wymiennik ciepła 3 połączony jest dla zamknięcia obwodu z blokiem parowym 6 siłowni jądrowej. Jako reaktor 1 o niskiej temperaturze wyjściowej nośnika ciepła stosuje się reaktor prędkości, chłodzony płynnym metalem — sodem. Jako ciepły metaliczny nośnik ciepła może być także stosowany lit. Paliwem dla reaktora prędkiego może być metaliczne paliwo.

Jako reaktor 2 o wysokiej temperaturze wyjściowej nośnika ciepła można stosować reaktor prędkości, jak też chłodzony parą reaktor o neutronach termicznych, w którym używa się paliwa ceramicznego.

Siłownia jądrowa, przedstawiona schematycznie na fig. 2 zawiera reaktor prędkości 1 i reaktor 2 o neutronach termicznych, połączone niezależnymi obwodami chłodzenia 4 i 5 z wymiennikami ciepła 3 i 7, połączonymi dla zamknięcia obwodu 8 obiegu czynnika roboczego.

Jako reaktor prędkości 1 stosuje się reaktor chłodzony w niezależnym obwodzie 4 chłodzenia sodowym nośnikiem ciepła, a jako reaktor 2 o neutronach termicznych stosuje się reaktor chłodzony w niezależnym obwodzie 5 chłodzenia gazem lub parą wodną. Jest także możliwe stosowanie jako reaktor 2 — prędkiego reaktora chłodzonego sodem, jak też gazem. Jako gazowy nośnik ciepła można stosować gaz wybrany z grupy zawierającej dwutlenek węgla i hel.

W przypadku, gdy oba reaktory 1 i 2 są reaktorami prędkimi, reaktor 1 jest napełniony paliwem metalicznym, to znaczy stopem zawierającym uran i pluton, a reaktor 2 jest napełniony paliwem ceramicznym.

Siłownia jądrowa, przedstawiona schematycznie na fig. 3, różni się od schematu na fig. 2 tym, że reaktor prędkości 1 jest podzielony na obszar 9 o niższej temperaturze wyjściowej nośnika ciepła i obszar 10 o wyższej temperaturze wyjściowej nośnika ciepła, połączone odpowiednio niezależnymi obwodami 11 i 12 z wymiennikami ciepła 13 i 14. Obszar 9 jest napełniony paliwem metalicznym, a obszar 10 — ceramicznym. Jako nośnik ciepła stosuje się płynny sód.

W celu zwiększenia maksymalnej temperatury nośnika ciepła jako reaktor 2 stosuje się chłodzony gazem reaktor grafitowy o neutronach termicznych, pozwalający zwiększyć temperaturę nośnika ciepła na wyjściu z reaktora do 1000°C.

Największe powielanie paliwa jądrowego i najwyższe parametry na wyjściu reaktora można otrzymać, jeżeli jako reaktor 2 zastosuje się chłodzony gazem reaktor grafitowy o neutronach termicznych, a jako reaktor 1 — chłodzony gazem reaktor prędkości.

W celu umożliwienia kompleksowego wykorzystania zasobów naturalnych uranu i toru, konieczne jest napełnienie strefy aktywnej reaktora prędkiego 1 — paliwem w postaci mieszaniny plutonu z uranem, a strefy powielania paliwem, wybranym z grupy, zawierającej uran i tor. Jako rozpadający się izotop w strefie aktywnej reaktora prędkiego 1 zastosowano uran 235. W tej strefie stosuje się także uran — 233. Wskazane jest, żeby chłodzony gazem reaktor grafitowy 2 o neutronach termicznych napełnić paliwem w postaci mieszaniny uranu i toru.

Wskazane jest, żeby jako paliwo reaktora prędkiego 1 zastosować metaliczne paliwo plutonowe, a jako paliwo chłodzonego gazem reaktora grafitowego 2 zastosować wysokotemperaturowe paliwo oparte o mieszaninę uranu i toru z wypełnieniem grafitowym.

Jako gazowe nośniki ciepła najbardziej efektywne są hel, pozwalający używać na wyjściu temperaturę poniżej 1000°C i dwutlenek węgla, którego zastosowanie zwiększa bezpieczeństwo działania urządzenia.

W celu zabezpieczenia optymalnych warunków odprowadzania ciepła z każdego reaktora do czynnika roboczego — pary wodnej, stosuje się w reaktorach różne nośniki ciepła.

Zastosowanie helu jako nośnika ciepła w chłodzonym gazem reaktorze grafitowym 2 o neutronach termicznych i dwutlenku węgla — w reaktorze prędkim 1 zabezpiecza równoczesne osiągnięcie wysokiej temperatury przez całość nośnika ciepła na wyjściu i najlepszych wskaźników powielania paliwa i bezpieczeństwa działania reaktora prędkiego 1. Poza tym ciśnienie nośnika ciepła w chłodzonym gazem reaktorze grafitowym 2 o neutronach termicznych przyjmuje się nie większe, niż 20 razy mniejsze od ciśnienia w chłodzonym gazem reaktorze prędkim 1 tak, że moc jednostkowa tego ostatniego jest większa o dwa rzędy wielkości.

Siłownia jądrowa przedstawiona schematycznie na fig. 4, różni się od schematu na fig. 2 tym, że reaktory 1 i 2 są włączone we wspólny obwód 15 razem ze wspólnym wymiennikiem ciepła 16.

Siłownia jądrowa przedstawiona schematycznie na fig. 5 różni się od przedstawionej na fig. 4 tym, że zawiera przewód rurowy 17, łączący wyjście reaktora prędkiego 1 z odpowiadającym mu wymiennikiem ciepła 13, włączonym równolegle do wymiennika ciepła 14. W celu lepszego dopasowania mocy reaktorów 1 i 2 wymienniki ciepła 7, 13 i 14 mogą być wykonane w postaci jednego wspólnego wymiennika ciepła (nie pokazanego na rysunku) w tym przypadku przewód rurowy 17 powinien być połączony z niskotemperaturową częścią tego wymiennika ciepła.

Siłownia jądrowa przedstawiona schematycznie na fig. 6, w odróżnieniu od schematu na fig. 4, zawiera turbinę gazową 18 i regenerator 19 włączone szeregowo z reaktorami 1 i 2 w obwód 15, a także chłodnicę 20, kompresory 21 i 22 i chłodnicę pośrednią 23, przyłączone do regeneratora 19.

Siłownia jądrowa przedstawiona schematycznie na fig. 7, w odróżnieniu od schematu z fig. 4, zawiera turbinę gazową 18 i regenerator 19 włączony szeregowo z reaktorami 1 i 2, a także skraplacz 24 i pompę 25, włączone do regeneratora 19.

Siłownia jądrowa przedstawiona schematycznie na fig. 8, w odróżnieniu od schematu na fig. 7, zawiera dodatkową turbinę 26 włączoną pomiędzy reaktory 1 i 2.

Siłownia jądrowa, której schemat konstrukcji jest przedstawiony na fig. 9, zawiera chłodzony gazem reaktor prędkości 1, umieszczony wewnątrz komory 27 reaktora 2 o neutronach termicznych, niskotemperaturowy wymiennik ciepła 7, dmuchawy gazu 28, komorę 29 służącą jako zbiornik nośnika ciepła, wychodzącego z reaktora 1 kolektorem rozdzielczym reaktora 2. Wszystkie wymienione elementy urządzenia umieszczone są we wspólnym korpusie 30. Jeśli w reaktorze prędkim 1 nośnik ciepła ma ciśnienie większe niż ciśnienie nośnika

ciepła w reaktorze 2 o neutronach termicznych, to reaktor prędkiego 1 ma korpus odporny na ciśnienie wysokie (nie pokazany na rysunku) i umieszcza się go wewnątrz korpusu 30 reaktora 2, przy czym korpus 30 jest osłoną ochronną (przeciwawaryjną) dla reaktora prędkiego 1.

Siłownia jądrowa przedstawiona na fig. 1 pracuje w poniżej opisany sposób. Nośnik ciepła reaktora 1 — ciekły sól o temperaturze na wejściu 250—300°C i na wyjściu 350—500°C obiegając obwód chłodzenia 4 przekazuje ciepło z reaktora 1 poprzez wymiennik ciepła 3 do obwodu chłodzenia 5 reaktora 2, którego nośnik ciepła jest także czynnikiem roboczym bloku parowego 6 siłowni jądrowej.

Siłownia jądrowa przedstawiona na fig. 2, pracuje w opisany poniżej sposób. Reaktor prędkiego 1 chłodzony jest nośnikiem ciepła obiegającym obwód chłodzenia 4 i przekazującym ciepło z reaktora 1 do wymiennika 3, w którym realizowane jest przegrzanie i parowanie czynnika roboczego bloku parowego 6. Reaktor 2 chłodzony jest nośnikiem ciepła obiegającym obwód chłodzenia 5 i przekazującym ciepło z reaktora 2 do wymiennika ciepła 7, w którym jest ono wykorzystywane dla przegrzania i pośredniego przegrzania czynnika roboczego bloku parowego 6.

Siłownia jądrowa przedstawiona na fig. 3 pracuje w opisany poniżej sposób. Obszar 9 reaktora prędkiego 1 chłodzony jest nośnikiem ciepła, obiegającym obwód chłodzenia 11 i przekazującym ciepło z obszaru 9 do wymiennika ciepła 13, w którym jest ono wykorzystywane do ekonomicznego przegrzania czynnika roboczego, obiegającego obwód chłodzenia 8. Obszar 10 chłodzony jest nośnikiem ciepła obiegającym obwód chłodzenia 12 i przekazującym ciepło z obszaru 10 do wymiennika ciepła 14, w którym jest ono wykorzystywane zarówno do częściowego jak i całkowitego wyparowania czynnika roboczego obiegającego obwód chłodzenia 8. Reaktor 2 chłodzony jest nośnikiem ciepła, obiegającym obwód chłodzenia 5 i przekazującym ciepło z reaktora 2 do wymiennika ciepła 7, w którym jest ono wykorzystywane do przegrzania czynnika roboczego, obiegającego obwód chłodzenia 8.

Siłownia jądrowa przedstawiona na fig. 4 pracuje w opisany poniżej sposób. Ogrzewany nośnik ciepła o temperaturze 250—300°C pod ciśnieniem 100—300 atmosfer wchodzi do reaktora prędkiego 1, nagrzewa się w nim do temperatury 400—500°C i wchodzi do reaktora 2, z którego ogrzany do 600—800°C wchodzi do wymiennika ciepła 16, w którym ciepło z obu reaktorów 1 i 2 przekazywane jest czynnikiowi robocznemu obiegającemu obwód chłodzenia 8. Ten schemat jest najprostszy konstrukcyjnie, lecz trudno jest w nim zabezpieczyć konieczny wzajemny stosunek mocy i zużycia nośnika ciepła w reaktorach 1 i 2.

Siłownia jądrowa, przedstawiona na fig. 5, pracuje w opisany poniżej sposób. Wspólny dla reaktorów 1 i 2 gazowy nośnik ciepła pod ciśnieniem 70—150 atmosfer wchodzi do reaktora prędkiego 1, mając temperaturę 250—300°C i nagrzewa się w nim do temperatury 400—500°C. Następnie część nośnika ciepła wchodzi do reaktora 2, gdzie nagrzewa się do temperatury 700—1000°C i potem wchodzi do

wymiennika ciepła 7, w którym nośnik ciepła ochładza się do temperatury 400—600°C oddając ciepło na przegrzanie i pośrednie przegrzanie czynnika roboczego obiegającego obwód chłodzenia 8. Dalej ta część nośnika ciepła wchodzi do wymiennika ciepła 14. W tym czasie nośnik ciepła ochładza się do temperatury 250—300°C i wchodzi do reaktora 1. Druga część nośnika ciepła, wychodzącego z reaktora 1 przepływa przez przewód rurowy bezpośrednio do wymiennika ciepła 13 i ochładza się w nim do temperatury 250—300°C i znowu wchodzi do reaktora 1. W wymienniku ciepła 13 zachodzi także parowanie i ekonomiczne podgrzewanie drugiej części czynnika roboczego obiegającego przez wymiennik ciepła 13. Dobór własności hydraulicznych reaktorów 1 i 2, obwodu chłodzenia 4 i wymienników ciepła 7, 13 i 14 pozwala na osiągnięcie praktycznie każdego wymaganego wzajemnego stosunku zużycia nośnika ciepła w reaktorach 1 i 2 i tym samym pozwala osiągnąć najdogodniejszy wzajemny stosunek mocy i parametrów nośnika ciepła w reaktorach 1 i 2.

Siłownia jądrowa przedstawiona na fig. 6 pracuje w opisany poniżej sposób. Gazowy nośnik ciepła o temperaturze 200—300°C wchodzi do reaktora 1, a następnie ogrzany do temperatury 350—450°C do reaktora 2 o neutronach termicznych, w którym nagrzewa się on do temperatury 600—800°C. Gaz napędowy wchodzi do turbiny gazowej 18, gdzie rozpręża się on aż do uzyskania zadanego ciśnienia. Z turbiny 18 gaz kieruje się do regeneratora 19, gdzie ochładza się do temperatury rzędu 50—100°C i następnie kieruje się do chłodnicy 20, gdzie gaz znowu ochładza się dalej do temperatury 30°C. Ochłodzony gaz kieruje się do kompresorów 21 i 22 z chłodzeniem pośrednim w chłodnicy 23. Liczba stopni chłodzenia może być także większa od dwóch. Gaz znajdujący się pod wysokim ciśnieniem, z kompresora 22 wchodzi do regeneratora 19, w którym nagrzewa się do temperatury 200—300°C i kieruje się do reaktora prędkiego 1. Jednakże na skutek ograniczonej wielkości podgrzewania nie udaje się wykorzystać pełnych możliwości reaktora 2 w przypadku stosowania helu jako czynnika roboczego. Również, gdy temperatura na wyjściu jest wyższa od 1000°C sprawność netto cyklu wynosi jedynie 30% przy temperaturze na wyjściu reaktora 1 równej 560°C i wzajemnym stosunku mocy reaktorów 1 i 2 50%/50%.

W celu zwiększenia sumarycznego podgrzania w w obu reaktorach 1 i 2 należy zwiększyć stopień rozprężania helu w turbinie 18 i zastosować wielostopniowe sprężanie z pośrednim chłodzeniem.

Bardziej efektywne jest wykorzystanie gazowych nośników ciepła, pozwalających zrealizować cykl kondensacyjny. Jako taki nośnik ciepła zastosowany jest dwutlenek węgla. W takich cyklach korzystne są: duży stopień rozprężania w turbinie 18 i duża wielkość podgrzania nośnika ciepła, uwarunkowana (pomimo dużego stopnia rozprężania w turbinie 18) znaczną różnorodnością wielkości pojemności cieplnej czynnika roboczego w reaktorze 19. Poza tym sprężenie dwutlenku węgla w fazie ciekłej pozwala na uzyskanie dostatecznie dużej sprawności przy

temperaturze na wyjściu reaktora niższej o 100—150°C w porównaniu z helem.

Siłownia jądrowa przedstawiona na fig. 7, z dwutlenkiem węgla zastosowanym jako czynnik roboczy i równocześnie jako nośnik ciepła pracuje w opisanym poniżej sposób. Dwutlenek węgla o temperaturze 230—330°C pod ciśnieniem 100—200 atmosfer wchodzi na wejście reaktora prędkiego 1, nagrzewa się do temperatury 370—470°C, następnie wchodzi do reaktora 2 o neutronach prędkich, w którym nagrzewa się on do temperatury 600—700°C. Po osiągnięciu tej temperatury gaz wchodzi do turbiny 18. Zużyty w turbinie 18 gaz o ciśnieniu bliskim ciśnieniu nasycenia (dla dwutlenku węgla — 65 atmosfer), wchodzi do regeneratora 19, w którym ochładza się on do temperatury 60—75°C, oddając ciepło dwutlenkowi węgla o wysokim ciśnieniu. Z generatora 19 gaz kieruje się do skraplacza 24, w którym się skrapla i poprzez pompę 25 znowu wchodzi, mając ciśnienie 110—210 atmosfer do regeneratora 19. W regeneratorze 19 gaz o wysokim ciśnieniu nagrzewa się do temperatury 250—350°C i wchodzi do reaktora prędkiego 1.

W powyższym układzie ciśnienie nośnika ciepła w reaktorach 1 i 2 należy wybrać kompromisowo pomiędzy technicznie uzasadnionym dla reaktorów o neutronach termicznych (40—60 atmosfer) z bardziej odpowiednim dla reaktorów prędkich (100—300 atmosfer).

Siłownia jądrowa przedstawiona na fig. 8 i umożliwiająca zabezpieczenie wymaganego wzajemnego stosunku ciśnień w reaktorach, pracuje w opisanym poniżej sposób. Gaz pod ciśnieniem 150—400 atmosfer, o temperaturze 250—350°C wchodzi do reaktora prędkiego 1, nagrzewa się w nim do temperatury 400—500°C, a następnie kieruje się do turbiny 26, w której rozpręża się on aż do osiągnięcia 100—150 atmosfer i wchodzi do reaktora 2 o neutronach termicznych. Gaz nagrzewa się w nim do temperatury 600—800°C i kieruje się do turbiny 18, w której rozpręża się aż do 65 atmosfer. Następnie gaz ochładza się w regeneratorze 19, skrapla się w skraplaczu 24, a następnie poprzez pompę 25 wtłaczany jest z powrotem do generatora 19, w którym nagrzewa się do temperatury 250—350°C i kieruje się do reaktora prędkiego 1. W przypadku stosowania dwutlenku węgla bardziej efektywne jest zastosowanie układu o dwustopniowym sprężaniu, najpierw w fazie gazowej, a potem w fazie ciekłej. Pozwala to na uzyskanie niższego ciśnienia w reaktorze 2 o neutronach termicznych (niższego od ciśnienia nasycenia, tzn. niższego od 60 atmosfer) co jest technicznie bardziej uzasadnione i równocześnie pozwala na uzyskanie możliwego do przyjęcia ciśnienia dla reaktora prędkiego 1 (poniżej 100 atmosfer).

Siłownia jądrowa, której schemat konstrukcji przedstawiony jest na fig. 9, pracuje w opisanym poniżej sposób. Hel pod ciśnieniem 70—100 atmosfer i o temperaturze 300°C wchodzi, przemieszczając się od góry do dołu, do reaktora prędkiego 1, umieszczonego w komorze 27 w centralnej części reaktora 2 o neutronach termicznych. Nośnik ciepła o temperaturze 450—500°C kieruje się z reaktora 1 do komory 29, spełniającej równocześnie funkcję

zbiornika gazu, wychodzącego z reaktora 1 i funkcję kolektora rozdzielczego na wejściu reaktora 2. Po wyjściu z reaktora 1 część gazu wchodzi do reaktora 2, w którym nagrzewa się do temperatury 600—800°C i kieruje się do wymiennika ciepła 7, w którym gaz ochładza się do temperatury na przykład 300°C. W tym czasie jego ciepło wykorzystuje się do ekonomicznego podgrzewania i parowania jednej części czynnika roboczego i do przegrzania i pośredniego przegrzania całej ilości czynnika roboczego. Pozostała część gazu z reaktora prędkiego 1 przemieszcza się bezpośrednio z komory 29 do wymiennika ciepła 3, w którym ochładza się do temperatury na przykład 300°C, a uzyskane ciepło wykorzystuje się tylko dla ekonomicznego podgrzewania i parowania drugiej części czynnika roboczego. Ochłodzony gaz z wymienników ciepła 3 i 7 pompowany jest przez dmuchawy 28 do reaktora 1.

Zaletą siłowni jądrowej według wynalazku w porównaniu ze znanymi siłowniami jądrowymi elektrowni atomowych jest to, że zabezpiecza ona wysoki równy 1,5 współczynnik przemiany paliwa jądrowego i wysoką (0,7 megawata na kilogram plutonu w cyklu) wydajność energetyczną paliwa jądrowego i charakteryzuje się czasem podwojenia mniejszym od 7 lat przy wykorzystywaniu konstrukcji elementów wydzielających ciepło i właściwej technologii powielania i przetwarzania paliwa jądrowego (czas przetwarzania wynosi 0,5 roku). Jednocześnie zabezpiecza ona wysoką sprawność i małe rozmiary wymienników ciepła a więc w wyniku tego niskie straty całkowite.

W rezultacie koszt energii elektrycznej, wytwarzanej w siłowni jądrowej według wynalazku, będzie najniższy w porównaniu z kosztem energii elektrycznej wytwarzanej w znanych elektrowniach atomowych.

Zastrzeżenia patentowe

1. Siłownia jądrowa, zawierająca blok parowy i co najmniej dwa reaktory, z których jeden ma niską temperaturę wyjściową nośnika ciepła, a drugi ma wysoką temperaturę wyjściową nośnika ciepła i których obwody chłodzenia połączone są ze sobą poprzez wymiennik ciepła w celu kolejnego przekazywania ciepła z reaktora do czynnika roboczego bloku parowego, **znamienna tym**, że jako reaktor, mający wysoką temperaturę wyjściową nośnika ciepła jest zastosowany reaktor cieplny (2), a jako reaktor, mający niską temperaturę wyjściową nośnika ciepła jest zastosowany reaktor prędkiego (1) zawierający strefę aktywną i strefę powielania.
2. Siłownia jądrowa według zastrz. 1, **znamienna tym**, że obwód (4 i 5) chłodzenia każdego reaktora (1 i 2) jest zaopatrzony w wymiennik ciepła, z których każdy jest włączony szeregowo w obwód (8) obiegu czynnika roboczego bloku parowego (6).
3. Siłownia jądrowa według zastrz. 1 albo 2, **znamienna tym**, że jako nośnik ciepła zastosowany jest ciekły metal, wybrany z grupy zawierającej sód i lit.
4. Siłownia jądrowa według zastrz. 1, **znamienna tym**, że w reaktorze (1) o niskiej temperaturze

11

wyjściowej nośnika ciepła zastosowane jest paliwo metaliczne, a w reaktorze (2) o wysokiej temperaturze wyjściowej — paliwo ceramiczne.

5. Siłownia jądrowa według zastrz. 2, **znamienna tym**, że co najmniej jeden z reaktorów (1) jest podzielony na minimum dwa obszary (9 i 10), mające różną temperaturę wyjściową nośnika ciepła, z których każdy jest włączony w niezależny obwód (11 i 12) chłodzenia i zaopatrzony w wymiennik ciepła (13 i 14), włączony szeregowo w obwód (8) w obiegu czynnika roboczego bloku parowego.

6. Siłownia jądrowa według zastrz. 5, **znamienna tym**, że w obszarze (9) o niższej temperaturze wyjściowej nośnika ciepła zastosowane jest paliwo metaliczne, a w pozostałych obszarach — paliwo ceramiczne.

7. Siłownia jądrowa według zastrz. 1, **znamienna tym**, że w przypadku gdy jako reaktor (1) o niskiej temperaturze wyjściowej nośnika ciepła zastosowany jest reaktor prędkim, reaktor (2) o wysokiej temperaturze wyjściowej nośnika ciepła wykonany jest w postaci chłodzonego gazem reaktora o neutronach termicznych.

8. Siłownia jądrowa według zastrz. 7, **znamienna tym**, że reaktor prędkim (1) jest chłodzony gazem, a jako chłodzony gazem reaktor (2) o neutronach termicznych zastosowany jest reaktor grafitowy.

9. Siłownia jądrowa według zastrz. 1 albo 7, **znamienna tym**, że w strefie aktywnej reaktora prędkości (1) wykorzystywane jest paliwo, zawierające pluton i uran, a w strefie powielania — materiał wybrany z grupy zawierającej uran i tor, a w strefie aktywnej reaktora (2) chłodzonego gazem wykorzystywane jest paliwo, zawierające uran i tor.

10. Siłownia jądrowa według zastrz. 9, **znamienna tym**, że pluton i uran są stosowane w postaci stopu metali.

12

11. Siłownia jądrowa według zastrz. 8, **znamienna tym**, że w reaktorach (1 i 2) jako nośnik ciepła stosuje się gaz wybrany z grupy zawierającej hel i dwutlenek węgla.

12. Siłownia jądrowa według zastrz. 8, **znamienna tym**, że w chłodzonym gazem reaktorze prędkim (1) jako nośnik ciepła stosuje się dwutlenek węgla, a w chłodzonym gazem reaktorze (2) o neutronach termicznych jako nośnik ciepła stosuje się hel.

13. Siłownia jądrowa według zastrz. 8, **znamienna tym**, że w chłodzonym gazem reaktorze grafitowym (2) nośnik ciepła znajduje się pod ciśnieniem 20 razy mniejszym niż nośnik ciepła w chłodzonym gazem reaktorze prędkim (1).

14. Siłownia jądrowa według zastrz. 2, **znamienna tym**, że obwody chłodzenia wszystkich reaktorów (1 i 2) połączone są w jeden wspólny obwód.

15. Siłownia jądrowa według zastrz. 14, **znamienna tym**, że wyjście co najmniej jednego reaktora (1) o niskiej temperaturze wyjściowej nośnika ciepła jest połączone z odpowiadającym mu wymiennikiem ciepła (13).

16. Siłownia jądrowa według zastrz. 8, **znamienna tym**, że wszystkie reaktory (1 i 2) są włączone szeregowo w obwód obiegu czynnika roboczego, wykorzystywanego jako nośnik ciepła.

17. Siłownia jądrowa według zastrz. 16, **znamienna tym**, że jako czynnik roboczy stosuje się dwutlenek węgla.

18. Siłownia jądrowa według zastrz. 13 albo 16, **znamienna tym**, że pomiędzy co najmniej dwoma reaktorami (1 i 2) włączona jest gazowa turbina (26) w celu utrzymania zadanego wzajemnego stosunku ciśnień nośnika ciepła w reaktorach (1 i 2).

19. Siłownia jądrowa według zastrz. 8, **znamienna tym**, że wszystkie reaktory (1 i 2) umieszczone są we wspólnym korpusie (30).

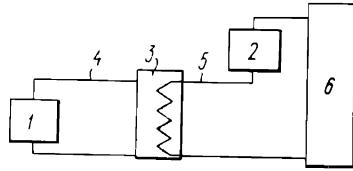


FIG. 1

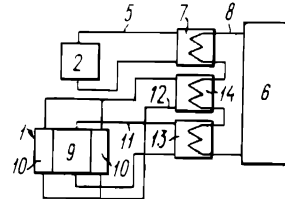


FIG. 3

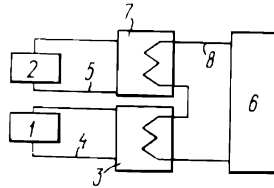


FIG. 2

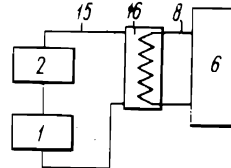


FIG. 4

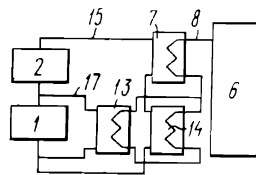


FIG. 5

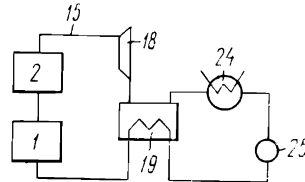


FIG. 7

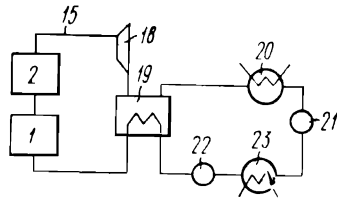


FIG. 6

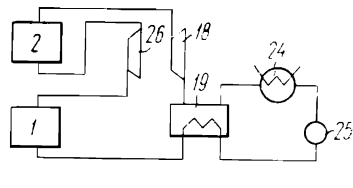


FIG. 8

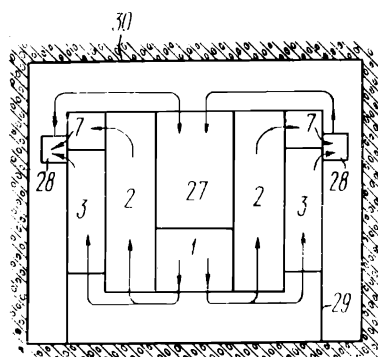


FIG. 9