



(12) BẢN MÔ TẢ SÁNG CHẾ THUỘC BẰNG ĐỘC QUYỀN SÁNG CHẾ

(19) Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN)
CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ

(11)



1-0044337

(51)⁷ G21C 1/12

(13) B

(21) 1-2019-07476

(22) 25/12/2018

(86) PCT/RU2018/000869 25/12/2018

(87) WO2019/199200 17/10/2019

(30) 2018113680 13/04/2018 RU

(45) 25/03/2025 444

(43) 25/03/2020 384A

(71) 1. JOINT STOCK COMPANY "STATE SCIENTIFIC CENTRE OF THE RUSSIAN
FEDERATION - INSTITUTE FOR PHYSICS AND POWER ENGINEERING
NAMED AFTER A.I. LEYPUNSKY" (RU)

pl. Bondarenko, 1 Kaluzhskoi obl., g. Obninsk, 249033, Russian Federation

2. Joint Stock Company "Science and Innovations" (RU)

Staromonetniy per., 26 Moscow, 119180, Russian Federation

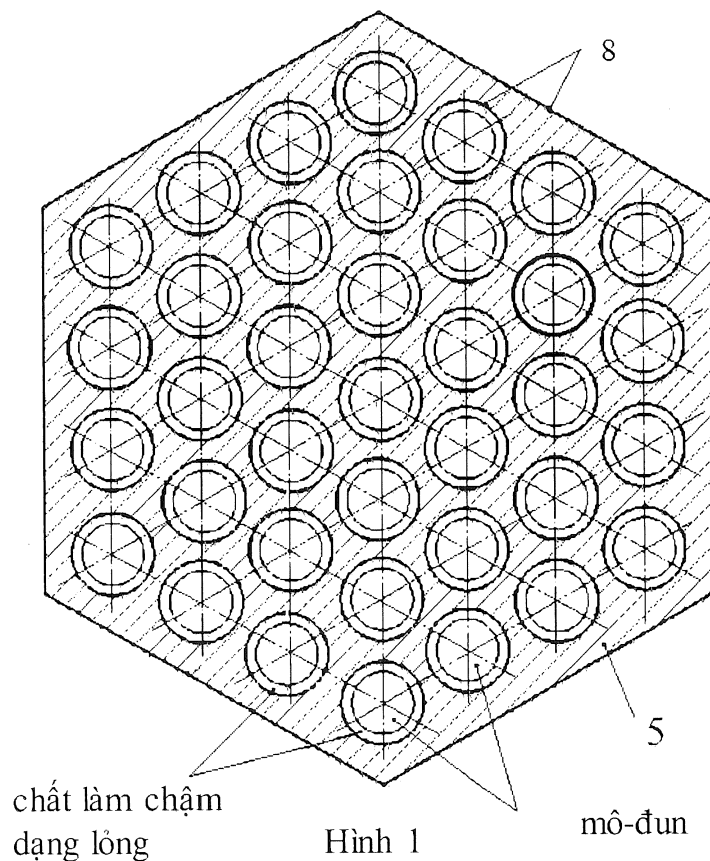
(72) LOGINOV, Nikolay Ivanovich (RU); LITVINOV, Viktor Viktorovich (RU);
KROTOV, Aleksey Dmitrievich (RU).

(74) Công ty TNHH Đại Tín và Liên Danh (DAITIN AND ASSOCIATES CO.,LTD)

(54) VÙNG HOẠT CỦA Lò PHẢN ỨNG HẠT NHÂN

(21) 1-2019-07476

(57) Vùng hoạt lò phản ứng hạt nhân bao gồm ít nhất một mô-đun, một chất làm chậm neutron dạng rắn và chất làm chậm neutron dạng lỏng. Mỗi mô-đun có vỏ mô-đun, chứa ít nhất một ống dẫn nhiệt, ít nhất một thanh nhiên liệu, vỏ chắn và lớp cách nhiệt. Ống dẫn nhiệt bao gồm vỏ ống dẫn nhiệt, bắc ống dẫn nhiệt và chất tải nhiệt bay hơi. Thanh nhiên liệu bao gồm vỏ bao thanh nhiên liệu và viên nhiên liệu hạt nhân. Khu vực bay hơi của ống dẫn nhiệt và các thanh nhiên liệu nằm trong vỏ chắn. Vỏ chắn chứa đầy chất tải nhiệt dạng lỏng. Kim loại lỏng như lithium, canxi, chì và/hoặc bạc được sử dụng làm chất tải nhiệt cho ống dẫn nhiệt và là chất tải nhiệt lỏng. Không gian giữa lớp vỏ chắn và vỏ mô-đun có lớp cách nhiệt. Chất làm chậm neutron dạng rắn có ít nhất một lỗ, trong lỗ này đặt ít nhất một mô-đun. Không gian giữa chất làm chậm neutron dạng rắn và mô-đun được lấp đầy chất làm chậm neutron dạng lỏng.



Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế thuộc lĩnh vực năng lượng hạt nhân và có thể được sử dụng trong các lò phản ứng chuyển đổi trực tiếp năng lượng nhiệt thành năng lượng điện bên ngoài vùng hoạt, đặc biệt là quang điện nhiệt.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Vùng hoạt kèm các ống dẫn nhiệt đã biết [Đơn đăng ký sáng chế Hoa Kỳ "Lò phản ứng nhanh di động được làm mát bằng ống dẫn nhiệt" US số 2016/0027536 A1, công bố ngày 22/01/2016].

Theo đơn đăng ký sáng chế này, vùng hoạt lò phản ứng có các bó thanh nhiên liệu hình que và các ống dẫn nhiệt được đặt trong một khối kim loại. Các thanh nhiên liệu chứa viên nhiên liệu hạt nhân, phía trên và phía dưới có vành phản xạ neutron, khoang khí nằm trên và dưới vành phản xạ. Các ống dẫn nhiệt có vỏ bọc kín, được điền đầy chất tải nhiệt bay hơi và bốc. Các ống dẫn nhiệt được bố trí sao cho nhiệt được truyền ra ngoài vùng hoạt đến chất tải nhiệt dạng khí - chất hoạt động của tuabin khí (không khí, hoặc CO₂). Nhiệt độ tối đa của chất hoạt động (không khí) ở đầu vào tuabin khoảng 1100 K.

Nhược điểm của giải pháp kỹ thuật này là nhiệt độ chất tải nhiệt tương đối thấp ở đầu ra của vùng hoạt, không cho phép chuyển đổi trực tiếp năng lượng nhiệt thành năng lượng điện.

Giải pháp kỹ thuật gần giống với giải pháp kỹ thuật đang nộp đơn là vùng hoạt của lò phản ứng nhanh SAIRS [M.S. El-Genk, J-M.P. Tournier, "SAIRS" – Scalable AMTEC Integrated Reactor Space Power System// Progress in Nuclear Energy, Vol. 45, No.1, pp. 25-34, 2004].

Vùng hoạt có 60 mô-đun, mỗi mô-đun có cấu tạo gồm một ống dẫn nhiệt và 3 thanh nhiên liệu. Các mô-đun được đặt gần nhau và tạo thành một khối hình tam giác. Vỏ của các thanh nhiên liệu được hàn vào thành ống dẫn nhiệt qua các tấm đệm ba mặt từ Rheni, truyền nhiệt vào ống dẫn nhiệt nhờ tính dẫn nhiệt. Mỗi thanh nhiên liệu có một khoang khí ở một đầu. Uranium nitride làm giàu 83,7% được sử dụng làm viên nhiên liệu.

Nhược điểm của giải pháp kỹ thuật này là nhiệt độ tương đối thấp của chất tải nhiệt (1200K) ở đầu ra của vùng hoạt, không cho phép sử dụng hiệu quả các thiết bị chuyển đổi năng lượng dạng nhiệt điện, điện tử và quang điện nhiệt.

Mục đích của sáng chế là khắc phục nhược điểm trên, cụ thể là tăng nhiệt độ của chất tải nhiệt ở đầu ra của vùng hoạt.

Kết quả kỹ thuật đạt được là sự gia tăng hiệu suất chuyển đổi năng lượng của các nhà máy điện hạt nhân và mở rộng phạm vi ứng dụng vùng hoạt, đặc biệt là đối với lò phản ứng có chuyển đổi năng lượng dạng quang điện nhiệt (thermophotovoltaic - TPV).

Để khắc phục nhược điểm này, trong vùng hoạt của lò phản ứng hạt nhân gồm các mô-đun riêng, được cấu tạo từ các thanh nhiên liệu và ống dẫn nhiệt, đề xuất:

- bổ sung cho vùng hoạt của lò phản ứng hạt nhân chất làm chậm neutron dạng rắn có lỗ;
- các mô-đun vùng hoạt có thêm lớp vỏ và được đặt vào các lỗ của chất làm chậm neutron dạng rắn;
- các ống dẫn nhiệt được đặt bên trong vỏ mô-đun;
- khu vực bay hơi của mỗi ống dẫn nhiệt và các thanh nhiên liệu nằm trong một lớp vỏ chắn chứa đầy chất tải nhiệt dạng lỏng;
- không gian giữa lớp vỏ chắn và vỏ mô-đun là lớp cách nhiệt;
- không gian giữa các mô-đun và chất làm chậm neutron dạng rắn được lấp đầy bằng chất làm chậm neutron dạng lỏng.

Theo các phương án, vùng hoạt của lò phản ứng hạt nhân được đề xuất như sau:

- theo phương án thứ nhất, chân không được tạo bên trong khoang mô-đun;
- theo phương án thứ hai, khoang bên trong mô-đun được nạp đầy bằng khí trơ có độ dẫn nhiệt thấp, ví dụ, xenon;
- theo phương án thứ ba, chất làm chậm neutron dạng lỏng là nước;
- theo phương án thứ tư, chất làm chậm neutron dạng lỏng sử dụng là chất lỏng không đóng băng, ví dụ, dung dịch nước của rượu ethanol;

- theo phương án thứ năm, chất tải nhiệt của ống dẫn nhiệt và chất tải nhiệt lỏng trong vỏ chắn là kim loại lỏng, ví dụ lithium, canxi, chì, bạc.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Bản chất của sáng chế được giải thích trong các bản vẽ, theo đó:

hình 1 mô tả mặt cắt ngang của một trong các phương án cấu tạo vùng hoạt của lò phản ứng hạt nhân,

hình 2 mô tả mặt cắt dọc của một trong các phương án cấu tạo mô-đun vùng hoạt của lò phản ứng hạt nhân,

hình 3 mô tả mặt cắt ngang của một trong các phương án cấu tạo mô-đun vùng hoạt của lò phản ứng hạt nhân.

Mô tả chi tiết sáng chế

Các ký hiệu trên các hình vẽ như sau: 1- vỏ chắn; 2 - vỏ mô-đun; 3 - vỏ ống dẫn nhiệt; 4 - vỏ bao thanh nhiên liệu; 5 – chất làm chậm nơtron dạng rắn; 6 - lớp cách nhiệt; 7 - bắc của ống dẫn nhiệt; 8 - bao chất làm chậm nơtron dạng rắn; 9 - viên nhiên liệu hạt nhân.

Vùng hoạt lò phản ứng bao gồm ít nhất một mô-đun, mô-đun này có chứa ít nhất một ống dẫn nhiệt có cấu tạo từ vỏ ống dẫn nhiệt 3 và bắc 7, và có chứa ít nhất một thanh nhiên liệu, thanh này cấu tạo gồm vỏ bao thanh nhiên liệu 4 và viên nhiên liệu hạt nhân 9, được bổ sung thêm chất làm chậm nơtron dạng rắn 5 với ít nhất một lỗ trong đó đặt ít nhất một mô-đun, ống dẫn nhiệt được đặt bên trong vỏ mô-đun, khu vực bay hơi của ống dẫn nhiệt và các thanh nhiên liệu nằm trong vỏ chắn 1 chứa đầy chất tải nhiệt dạng lỏng, trong không gian giữa lớp vỏ chắn và vỏ mô-đun 2 là lớp cách nhiệt 6, còn không gian giữa chất làm chậm nơtron dạng rắn 5 và mô-đun được lấp đầy bằng chất làm chậm nơtron dạng lỏng.

Chất làm chậm nơtron dạng rắn 5 được làm bằng, ví dụ, Beryllium và nằm trong bao chất làm chậm nơtron dạng rắn 8. Chất làm chậm được thiết kế nhằm đảm bảo cung cấp phổ nhiệt nơtron. Trong các lỗ thẳng đứng của chất làm chậm nơtron dạng rắn 5 có ít nhất một mô-đun vùng hoạt. Bao 8 của chất làm chậm nơtron dạng rắn 5 được chế tạo, ví dụ, từ hợp kim zirconium và nhằm ngăn chặn sự tương tác hóa học giữa chất làm chậm 5 với chất làm chậm dạng lỏng.

Mô-đun vùng hoạt được chế tạo ở dạng vỏ 2 từ vật liệu hấp thụ neutron yếu, ví dụ, hợp kim zirconium. Bên trong vỏ mô-đun 2, chân không được tạo ra hoặc được nạp đầy bằng khí trơ có độ dẫn nhiệt thấp, ví dụ, xenon. Chân không hoặc khí trơ giúp lớp cách nhiệt 6 hoạt động hiệu quả, ngăn ngừa quá trình oxy hóa vỏ ống dẫn nhiệt 3.

Ống dẫn nhiệt có cấu tạo từ vỏ ống dẫn nhiệt 3, bắc ống dẫn nhiệt 7 và có chứa chất tải nhiệt kim loại dạng lỏng. Ống dẫn nhiệt được thiết kế để tản nhiệt từ các thanh nhiên liệu ra bên ngoài vùng hoạt của lò phản ứng hạt nhân. Vỏ ống dẫn nhiệt 3 được làm bằng kim loại chịu nóng, ví dụ, molybden, niobi, vanadi hoặc hợp kim của chúng. Khu vực bay hơi của ống dẫn nhiệt và các thanh nhiên liệu nằm trong vỏ chắn 1 chứa đầy chất tải nhiệt dạng lỏng.

Chất tải nhiệt của ống dẫn nhiệt và chất tải nhiệt lỏng trong vỏ chắn 1 là kim loại lỏng, ví dụ lithium, canxi, chì, bạc.

Trong không gian giữa vỏ chắn 1 và mô-đun 2 được bố trí lớp cách nhiệt 6 làm bằng nhiều lớp lá kim loại dát mỏng từ kim loại chịu nóng, ví dụ, molybden hoặc niobi. Lớp cách nhiệt nhằm ngăn rò rỉ nhiệt qua vỏ mô-đun 2 đến chất làm chậm dạng lỏng.

Thanh nhiên liệu bao gồm vỏ bao thanh nhiên liệu 4 từ vật liệu chịu nóng và viên nhiên liệu hạt nhân 9. Viên nhiên liệu hạt nhân 9 là vật liệu phân hạch – uranium và (hoặc) plutonium, ví dụ, ở dạng điôxít, nitrua, carbonitride. Viên nhiên liệu hạt nhân 8 của tất cả các thanh nhiên liệu tạo khối lượng tới hạn cần thiết để phản ứng phân hạch xảy ra.

Chất làm chậm neutron dạng lỏng nằm trong khoảng không gian hẹp hình tròn giữa các mô-đun và chất làm chậm neutron dạng rắn 5. Mục đích của chúng là bổ sung hiệu ứng làm chậm neutron bằng chất làm chậm neutron dạng rắn và tạo điều kiện thực hiện phản ứng phân hạch trên các neutron nhiệt. Ngoài ra, chất làm chậm neutron dạng lỏng đóng vai trò là chất tải nhiệt, làm mát chất làm chậm neutron dạng rắn 5 và vỏ mô-đun. Sử dụng nước hoặc chất lỏng không đóng băng ở nhiệt độ âm, ví dụ, -40°C làm chất làm chậm dạng lỏng.

Vùng hoạt lò phản ứng hạt nhân hoạt động như sau.

Trong viên nhiên liệu hạt nhân 9 của thanh nhiên liệu xảy ra phản ứng phân hạch kèm giải phóng nhiệt. Nhiệt giải phóng ra được truyền qua vỏ bao thanh nhiên liệu 4 và chất tải nhiệt lỏng được nạp đầy trong vỏ chắn 1, đi đến vỏ 3 của ống dẫn nhiệt. Chất tải nhiệt của ống dẫn nhiệt bay hơi từ bậc 7, hơi của chất tải nhiệt lấp đầy không gian bên trong vỏ ống dẫn nhiệt 3, mang nhiệt hóa hơi từ vùng hoạt của lò phản ứng hạt nhân đến thiết bị chuyển đổi năng lượng, ngưng tụ ở đó và quay trở lại theo bậc 7 đến vùng hóa hơi của ống dẫn nhiệt. Sự truyền nhiệt bằng chất tải nhiệt bay hơi xảy ra hầu như không có sự chênh lệch nhiệt độ giữa nguồn nhiệt và chất sử dụng chúng, cho phép đạt nhiệt độ chất tải nhiệt tương đối cao (1500-1800K) không chỉ ở đầu ra của vùng hoạt lò phản ứng hạt nhân, mà còn ở vị trí thiết bị chuyển đổi năng lượng. Điều này giúp tăng hiệu suất chuyển đổi năng lượng của nhà máy điện hạt nhân và mở rộng phạm vi ứng dụng của các nhà máy này.

Chất làm chậm neutron dạng rắn 5 kèm chất làm chậm neutron dạng lỏng giúp đảm bảo phản ứng phân hạch hạt nhân xảy ra trên các neutron nhiệt. Chất làm chậm neutron dạng lỏng cũng đóng vai trò là chất tải nhiệt làm mát chất làm chậm neutron dạng rắn. Nhờ lớp cách nhiệt 6, sự rò rỉ nhiệt qua vỏ mô-đun 2 được giảm thiểu, nhờ vậy, chất làm chậm neutron dạng lỏng có nhiệt độ thấp. Việc này cho phép sử dụng nước hoặc dung dịch nước của rượu ethanol ở áp suất khí quyển làm chất làm chậm dạng lỏng.

Một phương án cụ thể cho cấu trúc của vùng hoạt lò phản ứng hạt nhân như sau.

Chất làm chậm neutron dạng rắn 5 có cấu tạo từ một số đĩa Beryllium đường kính 1000 mm và tổng chiều cao 700 mm với 108 lỗ có đường kính 70 mm và được bao bọc hoàn toàn bởi lớp vỏ bao làm từ hợp kim zirconium E110. Trong các lỗ của chất làm chậm neutron dạng rắn có đặt các mô-đun, mỗi lỗ một mô-đun. Chất làm chậm neutron dạng lỏng là nước. Các lỗ trong chất làm chậm neutron dạng rắn 5 có mô-đun được bố trí theo các nút mạng hình tam giác và toàn bộ vùng hoạt lò phản ứng có hình lục giác.

Mô-đun vùng hoạt của lò phản ứng hạt nhân được làm bằng hợp kim zirconium E110 ở dạng vỏ hình trụ kín 2 có đường kính khoảng 60 mm và độ dày 1-2mm. Bên trong vỏ mô-đun có ống dẫn nhiệt.

Vỏ ống dẫn nhiệt 3 có đường kính ngoài khoảng 20mm, được làm bằng molypden. Bậc ống dẫn nhiệt 7 được đóng vào bề mặt bên trong vỏ ống dẫn nhiệt 3, bậc được làm từ

hai lớp lưới molybden với kích thước mỗi mắt lưới vuông khoảng 40 micron. Bức ống dẫn nhiệt 7 được nạp đầy bằng lithium lỏng. Khu vực bay hơi của ống dẫn nhiệt có chiều cao khoảng 500 mm, cùng với 6 thanh nhiên liệu đặt trong vỏ chắn 1 có đường kính ngoài 47 mm chứa đầy lithium dạng lỏng. Vỏ chắn 1 và vỏ bao thanh nhiên liệu 4 được làm bằng molybden. Giữa vỏ chắn 1 và vỏ mô-đun 2 có một lớp cách nhiệt chân không 6 được làm từ bốn lớp molybden và năm lớp lá zirconium. Chân không trong vỏ mô-đun với áp suất khí dư không quá 10^{-1} Pa.

Vỏ bao thanh nhiên liệu 4 có đường kính ngoài 13 mm và độ dày thành 1 mm, làm từ molybden, chứa đầy các viên nhiên liệu hạt nhân 9 từ uranium dioxide làm giàu 19,75% và được bịt nắp kín phía trên và phía dưới. Chiều cao của cột nhiên liệu 500 mm. Để tăng khả năng dẫn nhiệt xuyên tâm của cột nhiên liệu, giữa các viên nhiên liệu có các vòng đệm molybden mỏng. Các viên nhiên liệu có lỗ ở trung tâm đường kính khoảng 3 mm để loại bỏ sản phẩm phân hạch khí vào khoang nằm phía trên các viên nhiên liệu hạt nhân 9. Tổng số thanh nhiên liệu trong vùng hoạt là 432. Khi công suất nhiệt của vùng hoạt là 1200 kW thì công suất trung bình của một thanh nhiên liệu khoảng 2,8 kW, còn công suất mô-đun được truyền qua ống dẫn nhiệt là 16,8 kW. Nhiệt độ hoạt động tính toán của vỏ bao thanh nhiên liệu 4 là 1525 K. Sử dụng Li^7 làm chất tải nhiệt của ống dẫn nhiệt, nước làm chất làm chậm dạng lỏng ở áp suất khí quyển.

Ưu điểm của vùng hoạt lò phản ứng hạt nhân đề xuất so với giải pháp kỹ thuật gần đây nhất nằm ở chỗ giúp tăng nhiệt độ chất tải nhiệt ở đầu ra của vùng hoạt từ 1200 K lên 1500 K và cao hơn nữa, từ đó giúp tăng hiệu suất chuyển đổi năng lượng của nhà máy điện hạt nhân. Ngoài ra, giải pháp này còn cho phép mở rộng phạm vi ứng dụng của vùng hoạt, đặc biệt là đối với các lò phản ứng chuyển đổi năng lượng dạng quang điện nhiệt (thermophotovoltaic).

Các ký hiệu trên các hình vẽ như sau:

- 1- vỏ chắn;
- 2 - vỏ mô-đun;
- 3 - vỏ ống dẫn nhiệt;
- 4 - vỏ bao thanh nhiên liệu;
- 5 – chất làm chậm neutron dạng rắn;

- 6 - lớp cách nhiệt;
- 7 - bắc của ống dẫn nhiệt;
- 8 - bao chất làm chậm neutron dạng rắn;
- 9 - viên nhiên liệu hạt nhân.

Nước (không đánh số trên hình).

Chất tải nhiệt lỏng.

Hơi chất tải nhiệt.

Chất làm chậm neutron dạng lỏng.

Vùng hoạt = chất làm chậm neutron dạng rắn + mô-đun vùng hoạt + chất làm chậm neutron dạng lỏng.

Mô-đun vùng hoạt = vỏ mô-đun + ống dẫn nhiệt + thanh nhiên liệu + lớp cách nhiệt.

Ống dẫn nhiệt = vỏ ống dẫn nhiệt + bắc ống dẫn nhiệt + chất tải nhiệt.

Thanh nhiên liệu = vỏ + nhiên liệu + bắc nhiên liệu

Vùng hoạt của lò phản ứng hạt nhân:

"... 2. Vùng hoạt là một thành phần của lò phản ứng, nơi chứa viên nhiên liệu hạt nhân, chất làm chậm, chất hấp thụ, chất tải nhiệt, các thành phần này tác động lên khả năng phản ứng và các bộ phận cấu trúc được thiết kế nhằm thực hiện phản ứng phân hạch hạt nhân có kiểm soát và truyền năng lượng cho chất tải nhiệt ...".

Quyết định số 4 của Rostekhnadzor ngày 10.12.2007 "Về việc phê chuẩn và ban hành các quy định và quy chuẩn liên bang trong lĩnh vực sử dụng năng lượng hạt nhân "Các quy tắc an toàn hạt nhân cho các lò phản ứng của các nhà máy điện hạt nhân. NP-082-07 "(Đã đăng ký tại Bộ Tư pháp Liên bang Nga ngày 21.01.2008 theo số N 10951)
© Consultant Plus, 1997-2017.

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Vùng hoạt lò phản ứng hạt nhân bao gồm
 Chất làm chậm neutron dạng rắn có ít nhất một lỗ;
 Chất làm chậm neutron dạng lỏng; và
 ít nhất một mô-đun;
 mỗi mô-đun của ít nhất một mô-đun bao gồm:
 một vỏ mô-đun;
 lớp cách nhiệt được đặt bên trong vỏ mô-đun;
 vỏ chứa đầy chất tải nhiệt bằng chất lỏng, vỏ chứa được đặt bên trong vỏ mô-đun;
 ít nhất một ống dẫn nhiệt có vùng bay hơi; và
 ít nhất một thanh nhiên liệu, mỗi thanh nhiên liệu của ít nhất một thanh nhiên liệu bao gồm vỏ và viên nhiên liệu hạt nhân;
 mỗi mô-đun của ít nhất một mô-đun được đặt trong lỗ tương ứng của ít nhất một lỗ của chất làm chậm neutron dạng rắn;
 ít nhất một ống dẫn nhiệt được đặt bên trong vỏ mô-đun;
 vùng bay hơi của ít nhất một ống dẫn nhiệt và ít nhất một thanh nhiên liệu được bao bọc bởi vỏ chứa đầy chất tải nhiệt bằng chất lỏng;
 lớp cách nhiệt được đặt ở khoảng trống giữa vỏ chứa và vỏ mô-đun; và một khoảng trống giữa chất làm chậm neutron dạng rắn và mỗi mô-đun của ít nhất một mô-đun được lấp đầy bằng chất làm chậm neutron dạng lỏng.
2. Vùng hoạt lò phản ứng hạt nhân theo điểm 1, khác biệt ở chỗ mô-đun của ít nhất một mô-đun gồm một khoang bên trong và chân không, và chân không được đặt tại khoang bên trong của mô-đun.
3. Vùng hoạt lò phản ứng hạt nhân theo điểm 1, khác biệt ở chỗ mô-đun của ít nhất một mô-đun gồm khoang bên trong và khí, khoang bên trong chứa đầy khí.
4. Vùng hoạt lò phản ứng hạt nhân theo điểm 1, khác biệt ở chỗ vùng hoạt lò phản ứng gồm chất tải nhiệt ống dẫn nhiệt cho ống dẫn nhiệt của ít nhất một ống dẫn nhiệt, chất tải nhiệt ống dẫn nhiệt là ít nhất một kim loại lỏng.
5. Vùng hoạt lò phản ứng hạt nhân theo điểm 1, khác biệt ở chỗ chất làm chậm neutron dạng lỏng là nước.

6. Vùng hoạt lò phản ứng hạt nhân theo điểm 1, khác biệt ở chỗ chất làm chậm neutron dạng lỏng là chất lỏng không đóng băng có nhiệt độ - 40° C.

7. Vùng hoạt lò phản ứng hạt nhân theo điểm 6, khác biệt ở chỗ chất lỏng không đóng băng là dung dịch nước của rượu ethanol.

8. Vùng hoạt lò phản ứng hạt nhân theo điểm 3, khác biệt ở chỗ khí là khí trơ.

9. Vùng hoạt lò phản ứng hạt nhân theo điểm 3, khác biệt ở chỗ khí là khí xenon.

10. Vùng hoạt lò phản ứng hạt nhân theo điểm 4, khác biệt ở chỗ ít nhất một kim loại lỏng được chọn từ nhóm gồm lithium, canxi, chì và bạc.

11. Vùng hoạt lò phản ứng hạt nhân theo điểm 4, khác biệt ở chỗ ít nhất một kim loại lỏng gồm tập hợp nhiều kim loại lỏng.

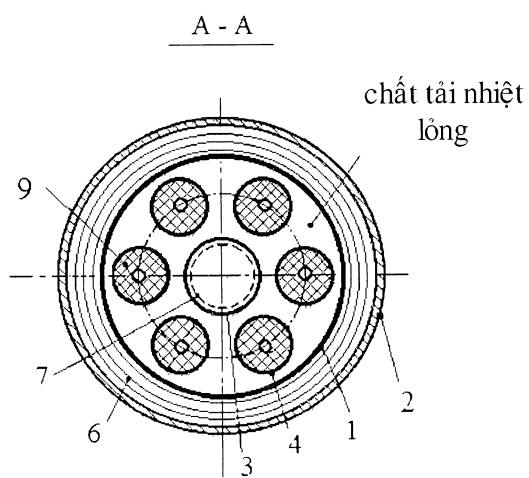
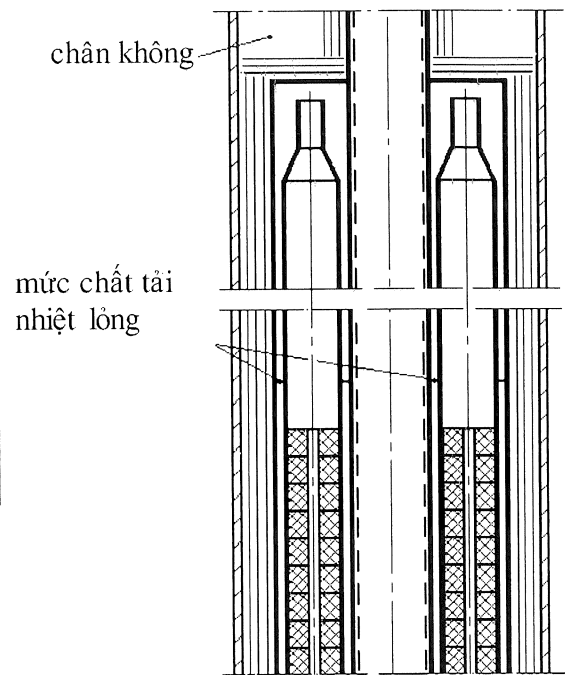
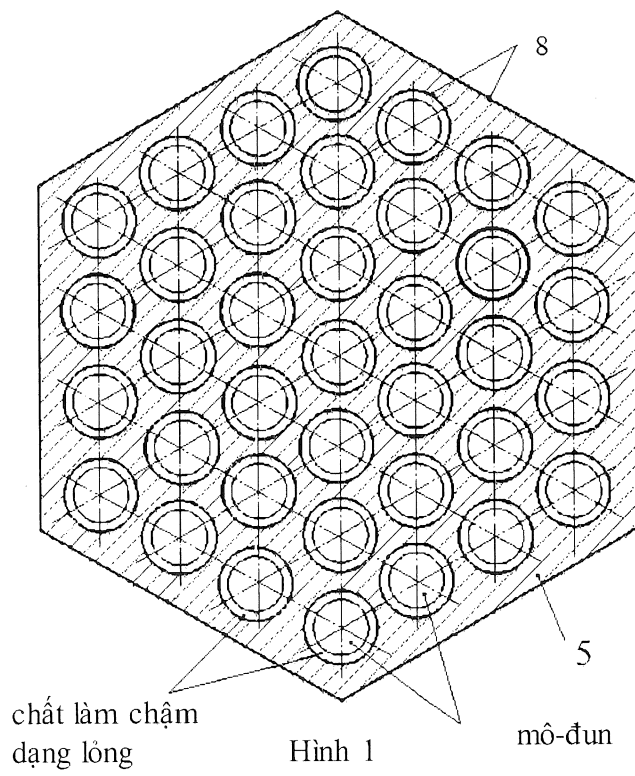
12. Vùng hoạt lò phản ứng hạt nhân theo điểm 11, khác biệt ở chỗ tập hợp kim loại lỏng gồm các kim loại được chọn từ nhóm gồm lithium, canxi, chì và bạc.

13. Vùng hoạt lò phản ứng hạt nhân theo điểm 1, khác biệt ở chỗ ít nhất một mô-đun gồm tập hợp các mô-đun và ít nhất một lõi gồm tập hợp các lõi, mỗi mô-đun của tập hợp các mô-đun được đặt bên trong lõi tương ứng từ tập hợp các lõi.

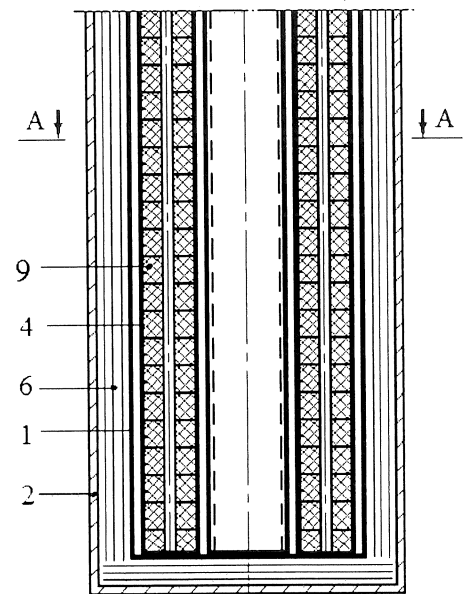
14. Vùng hoạt lò phản ứng hạt nhân theo điểm 13, khác biệt ở chỗ ít nhất một thanh nhiên liệu của mỗi mô-đun của ít nhất một mô-đun gồm tập hợp nhiều thanh nhiên liệu, mỗi thanh nhiên liệu của tập hợp các thanh nhiên liệu gồm có vỏ chắn và viên nhiên liệu hạt nhân.

15. Vùng hoạt lò phản ứng hạt nhân theo điểm 14, khác biệt ở chỗ mỗi thanh nhiên liệu gồm khoang chứa các sản phẩm phân hạch dạng khí của viên nhiên liệu hạt nhân tương ứng của thanh nhiên liệu này.

16. Vùng hoạt lò phản ứng hạt nhân theo điểm 15, khác biệt ở chỗ ít nhất một ống dẫn nhiệt cho ít nhất một mô-đun của gồm một ống dẫn nhiệt duy nhất.



Hình 3



Hình 2