



(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)



1-0044346

(51)^{2020.01} G21C 1/12

(13) B

(21) 1-2020-01890

(22) 25/12/2018

(86) PCT/RU2018/000870 25/12/2018

(87) WO2020/036509 20/02/2020

(30) 2018129925 16/08/2018 RU

(45) 25/03/2025 444

(43) 25/05/2021 398A

(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)

Staromonetnyi per., d. 26, Moscow, 119180, Russian Federation

(72) LOGINOV, Nikolay Ivanovich (RU); MIKHEEV, Aleksandr Sergeevich (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 KÈM VIÊN NHIÊN LIỆU HẠT
NHÂN VÀ ỐNG DẪN NHIỆT TRONG MÔ-ĐUN ĐẶT TRONG KHỐI CHẤT
LÀM CHẬM NƠTRON DẠNG RẮN

(21) 1-2020-01890

(57) Vùng hoạt của lò phản ứng hạt nhân bao gồm ít nhất một mô-đun, một khối 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, một thanh nhiên liệu 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 này được nạp viên nhiên liệu hạt nhân, các viên này được bố trí nằm dọc theo khu vực bay hơi của ống dẫn nhiệt, bao xung quanh vỏ ống dẫn nhiệt, tiếp xúc nhiệt với vỏ ống dẫn nhiệt và được giữ cố định trong lớp vỏ bọc. Sử dụng kim loại lỏng làm chất tải nhiệt cho ống dẫn nhiệt. Vật liệu cách nhiệt nằm giữa phần vỏ bọc và vỏ mô-đun. Khối chất làm chậm neutron dạng rắn có ít nhất một lỗ. Mỗi mô-đun được đặt trong lỗ tương ứng của khối chất làm chậm neutron dạng rắn. Khoảng không gian giữa vỏ mô-đun và khối chất làm chậm neutron dạng rắn được lấp đầy bằng chất làm chậm neutron dạng lỏng.

Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

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

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

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

Lò phản ứng theo đơn đăng ký sáng chế này có chứa các bó thanh nhiên liệu hình que và các ống dẫn nhiệt được đặt trong khối kim loại. Các thanh nhiên liệu này có chứa nhiên liệu hạt nhân, các vành phản xạ neutron phía trên và phía dưới, các khoang khí được đặt phía trên và dưới các vành phản xạ này. 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 tua-bin khí (không khí, hoặc CO₂). Nhiệt độ tối đa của chất hoạt động (không khí) ở đầu vào tua-bin khoảng 826,85⁰C (1100⁰K).

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 nhiệt năng thành điện năng.

Giải pháp kỹ thuật gần giống nhất với giải pháp kỹ thuật theo sáng chế 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 này có 60 mô-đun, mỗi mô-đun có cấu tạo gồm một ống dẫn nhiệt và ba thanh nhiên liệu. Các mô-đun này được đặt gần nhau và tạo thành một khối hình tam giác. Vỏ của các thanh nhiên liệu này 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. Urani nitrua 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 (926,85⁰C 1200⁰K)) 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.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

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, các thanh nhiên liệu và ống dẫn nhiệt, đề xuất:

- trang bị thêm khối làm chậm neutron dạng rắn có lỗ cho vùng hoạt của lò phản ứng hạt nhân;
- tạo lớp vỏ cho các mô-đun vùng hoạt này và đặt các mô-đun này vào các lỗ của khối làm chậm neutron dạng rắn này;
- bố trí các ống dẫn nhiệt và thanh nhiên liệu bên trong vỏ mô-đun;
- thanh nhiên liệu được nạp viên nhiên liệu hạt nhân, các viên này được bố trí trong khu vực bay hơi của ống dẫn nhiệt, bao xung quanh vỏ ống dẫn nhiệt, tiếp xúc nhiệt với vỏ ống và được giữ cố định trong lớp vỏ bọc;
- bố trí lớp cách nhiệt trong không gian giữa lớp vỏ bọc của thanh nhiên liệu và vỏ mô-đun;
- không gian giữa các mô-đun và khối làm chậm neutron dạng rắn được lấp đầy bằng chất làm chậm neutron dạng lỏng.

Sáng chế đề xuất các phương án sau đây của vùng hoạt của lò phản ứng hạt nhân:

- theo phương án thứ nhất, chân không được tạo ra trong vỏ mô-đun này;
- theo phương án thứ hai, mô-đun này được làm 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 chất lỏng không đóng băng, ít nhất đến $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, ví dụ, dung dịch nước của rượu;
- theo phương án thứ năm, chất tải nhiệt của ống dẫn nhiệt là các kim loại có độ nóng chảy thấp kèm nhiệt độ sôi cao, ví dụ lithi, canxi, chì, bạc.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Hình 1 thể hiện mặt cắt ngang của vùng hoạt của lò phản ứng hạt nhân;

Hình 2 thể hiện mặt cắt dọc của mô-đun vùng hoạt của lò phản ứng hạt nhân;

Hình 3 thể hiện mặt cắt ngang A-A của mô-đun vùng hoạt của lò phản ứng hạt nhân.

Sáng chế được minh họa trong các hình vẽ, trong đó:

Hình 1 thể hiện mặt cắt ngang của vùng hoạt của lò phản ứng hạt nhân theo một phương án của sáng chế;

Hình 2 thể hiện mặt cắt dọc của mô-đun vùng hoạt của lò phản ứng hạt nhân theo một phương án của sáng chế;

Hình 3 thể hiện mặt cắt ngang A-A của mô-đun vùng hoạt của lò phản ứng hạt nhân theo một phương án của sáng chế.

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

Mô tả chi tiết sáng chế

Vùng hoạt của lò phản ứng theo sáng chế bao gồm ít nhất một mô-đun vùng hoạt, một khối làm chậm neutron dạng rắn 4 và chất làm chậm neutron dạng lỏng.

Mô-đun vùng hoạt này có chứa ít nhất một ống dẫn nhiệt, ít nhất một thanh nhiên liệu và lớp cách nhiệt 5.

Mô-đun vùng hoạt này được chế tạo có dạng vỏ 1 được làm từ vật liệu hấp thụ neutron yếu, ví dụ, hợp kim zirconium. Theo một phương án, chân không được tạo trong vỏ 1 này của mô-đun vùng hoạt này. Theo một phương án khác, mô-đun này được làm đầy bằng khí trơ có độ dẫn nhiệt thấp, ví dụ, xenon;

Chân không hoặc khí trơ giúp bảo vệ chống ăn mòn vật liệu của vỏ 1 của mô-đun vùng hoạt này, vỏ 2 của ống dẫn nhiệt và lớp cách nhiệt 5.

Ống dẫn nhiệt có cấu tạo gồm vỏ 2, được gắn thêm bậc 6 và chứa chất tải nhiệt là kim loại có độ nóng chảy thấp kèm nhiệt độ sôi cao.

Theo các phương án đặc biệt, chất tải nhiệt của ống dẫn nhiệt là lithi, canxi, chì, bạc.

Vỏ 2 và bậc 6 của ống dẫn nhiệt được làm bằng vật liệu có điểm nóng chảy cao, ví dụ, molypden.

Ống dẫn nhiệt được thiết kế để tản nhiệt sinh ra trong các thanh nhiên liệu ra bên ngoài vùng hoạt của lò phản ứng hạt nhân này.

Thanh nhiên liệu này được nạp viên nhiên liệu hạt nhân 8, các viên này được bố trí nằm trong khu vực bay hơi của ống dẫn nhiệt, bao xung quanh vỏ ống dẫn nhiệt 2, tiếp xúc nhiệt với vỏ ống và được giữ cố định trong lớp vỏ bọc 3;

Lớp vỏ bọc 3 này của thanh nhiên liệu này được làm bằng vật liệu có điểm nóng chảy cao, ví dụ, molypden.

Vật liệu phân hạch của viên nhiên liệu hạt nhân 8 là đồng vị Urani hoặc Plutoni

dạng oxit, nitrua, cacbua có hàm lượng đồng vị phân hạch không lớn hơn 20%.

Mục đích của các thanh nhiên liệu này là thu nhiệt từ các phản ứng hạt nhân xảy ra trong viên nhiên liệu hạt nhân 8 này.

Lớp cách nhiệt 5 này được đặt bên trong mô-đun vùng hoạt này, giữa vỏ 1 của mô-đun này và vỏ bọc 3 của thanh nhiên liệu này. Lớp cách nhiệt 5 được chế tạo dưới dạng một tấm chắn nhiệt đa lớp làm từ lá kim loại chịu nóng, ví dụ, molypđen.

Mục đích của lớp cách nhiệt 5 là ngăn chặn rò rỉ nhiệt qua vỏ 1 của mô-đun vùng hoạt này vào chất làm chậm neutron dạng lỏng này.

Khối làm chậm neutron dạng rắn 4 được làm bằng vật liệu làm chậm neutron, ví dụ, Berili, có dạng hình trụ hoặc khối đa diện có lỗ. Tất cả các vật liệu làm chậm neutron được đặt trong bao 7 của khối làm chậm neutron dạng rắn 4. Các mô-đun vùng hoạt này được đặt trong các lỗ của khối chất làm chậm neutron dạng rắn 4 này. Khoảng không gian giữa các mô-đun vùng hoạt này và khối chất làm chậm neutron dạng rắn 4 này được lấp đầy bằng chất làm chậm neutron dạng lỏng.

Theo các phương án cụ thể, chất làm chậm neutron dạng lỏng có thể là nước hoặc chất lỏng không đông băng ở nhiệt độ thấp ít nhất đến -40°C , ví dụ, các dung dịch rượu.

Lớp chất làm chậm dạng rắn 4 và chất làm chậm dạng lỏng được thiết kế để thu nhận phổ nhiệt của các neutron. Ngoài ra, chất làm chậm neutron dạng lỏng đóng vai trò là chất tải nhiệt, làm mát khối chất làm chậm neutron dạng rắn 4 và vỏ 1 của mô-đun này.

Bao 7 của khối chất làm chậm neutron dạng rắn này được thiết kế để bảo vệ khối chất làm chậm neutron dạng rắn 4 khỏi tác động ăn mòn của chất làm chậm neutron dạng lỏng.

Vùng hoạt của lò phản ứng hạt nhân hoạt động như sau:

Trong viên nhiên liệu hạt nhân 8 của các thanh nhiên liệu xảy ra phản ứng phân hạch kèm giải phóng nhiệt. Nhiệt sinh ra được truyền qua vỏ 2 của ống dẫn nhiệt đến chất tải nhiệt được nạp đầy trong bậc 6 của ống dẫn nhiệt. Chất tải nhiệt này bay hơi từ bậc 6 này, hơi của chất tải nhiệt này lấp đầy không gian bên trong vỏ 2 của ống dẫn nhiệt này, mang nhiệt hóa hơi ra ngoài vùng hoạt của lò phản ứng hạt nhân này đến thiết bị chuyển đổi năng lượng, ngưng tụ ở đó và quay trở lại theo bậc 6 đến vùng hóa hơi của ống dẫn nhiệt này. 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 ($1226,85^{\circ}\text{C}$ - $1526,85^{\circ}\text{C}$ (1500°K - 1800°K)) không chỉ ở đầu ra của vùng hoạt của lò phản ứng hạt nhân, mà còn ở đầu vào của các 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.

Khối chất làm chậm neutron dạng rắn 4 kèm chất làm chậm neutron dạng lỏng

giúp đảm bảo phản ứng phân hạch hạt nhân xảy ra trên các notron nhiệt trong viên nhiên liệu hạt nhân làm giàu thấp 8. Chất làm chậm notron dạng lỏng bổ sung chức năng cho khối chất làm chậm notron dạng rắn 4 này và cũng đóng vai trò là chất tải nhiệt làm mát khối chất làm chậm notron dạng rắn 4 này.

Nhờ lớp cách nhiệt 5, sự rò rỉ nhiệt qua vỏ 1 của mô-đun này được giảm thiểu, nhờ vậy, chất làm chậm notron dạng lỏng này có nhiệt độ thấp. Việc này cho phép sử dụng nước hoặc các dung dịch nước của rượu ở áp suất khí quyển làm chất làm chậm dạng lỏng.

Theo một phương án cụ thể, sáng chế đề xuất vùng hoạt lò phản ứng hạt nhân như sau.

Khối chất làm chậm notron dạng rắn 4 có cấu tạo từ một số đĩa Berili có đường kính 760 mm và tổng chiều cao khoảng 700 mm với 217 lỗ có đường kính 40 mm. Các đĩa Berili được bọc hoàn toàn trong bao 7 làm bằng hợp kim zirconi E110. Các mô-đun của vùng hoạt được đặt trong các lỗ của khối chất làm chậm notron dạng rắn 4. Chất làm chậm notron dạng lỏng là nước. Các lỗ trong khối chất làm chậm notron dạng rắn 4 kèm các mô-đun được sắp xếp theo vòng tròn đồng tâm với khoảng cách tối thiểu giữa tâm của các mô-đun là 42 mm.

Mô-đun vùng hoạt của lò phản ứng hạt nhân này được chế tạo dưới dạng vỏ hình trụ 1 có đường kính khoảng 35 mm, độ dày của thành là 1,5 mm, làm từ hợp kim zirconi E110. Bên trong vỏ 1 này được bố trí ống dẫn nhiệt.

Vỏ 2 của ống dẫn nhiệt có đường kính ngoài khoảng 14 mm, được làm bằng molypden. Bắc 6 của ống dẫn nhiệt được gắn vào bề mặt bên trong vỏ ống dẫn nhiệt 2, bắc được làm từ hai lớp lưới molypden với kích thước mỗi mắt lưới vuông khoảng 40 micron. Bắc 6 của ống dẫn nhiệt được nạp đầy bằng lithi. Vùng bay hơi của ống dẫn nhiệt cùng các viên nhiên liệu hạt nhân 8 nằm trong lớp vỏ bao ngoài 3 của thanh nhiên liệu. Giữa vỏ bao thanh nhiên liệu 3 và vỏ 1 của mô-đun này là lớp cách nhiệt 5, lớp này được chế tạo dưới dạng một tấm chắn nhiệt đa lớp làm từ bốn lớp molypden và năm lớp lá zirconi. Chân không được tạo ra trong vỏ 1 của mô-đun này với áp suất khí dư không lớn hơn 10^{-1} Pa.

Lớp vỏ bao ngoài 3 của thanh nhiên liệu có đường kính ngoài 20 mm và độ dày thành 1 mm, được làm từ molypden, và chứa đầy các viên nhiên liệu hạt nhân 8 từ Urani đioxit với nồng độ 19,75%. Chiều cao của cột nhiên liệu khoảng 500 mm. Giữa các viên nhiên liệu và lớp vỏ bao 3 của thanh nhiên liệu có một khe hở hình tròn xung quanh (không thể hiện trên hình vẽ) để dẫn các sản phẩm phân hạch dạng khí vào khoang nằm phía trên viên nhiên liệu hạt nhân 8 này. Tổng số thanh nhiên liệu trong vùng hoạt bằng số lượng mô-đun. Khi công suất nhiệt của vùng hoạt là 1200 kW thì công suất trung bình của một thanh nhiên liệu sẽ khoảng 5,7 kW. Nhiệt độ tính toán của lớp vỏ bao thanh nhiên liệu 3 là $1251,85^{\circ}\text{C}$ (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.

Các ưu điểm của vùng hoạt của lò phản ứng hạt nhân theo sáng chế so với giải pháp kỹ thuật gần nhất nằm ở chỗ giúp tăng nhiệt độ chất tải nhiệt ở đầu ra của vùng hoạt từ $926,85^{\circ}\text{C}$ (1200°K) lên $1226,85^{\circ}\text{C}$ (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).

DANH SÁCH CÁC THUẬT NGỮ

Vùng hoạt của lò phản ứng hạt nhân

1. Vỏ mô-đun
2. Vỏ ống dẫn nhiệt
3. Lớp vỏ bao thanh nhiên liệu
4. Khối làm chậm neutron dạng rắn
5. Lớp cách nhiệt
6. Bắc ống dẫn nhiệt
7. Bao khối làm chậm dạng rắn
8. Viên nhiên liệu hạt nhân
 - + Nước (không đánh số)
 - + chất tải nhiệt lỏng
 - + hơi chất tải nhiệt
 - + chất làm chậm neutron dạng lỏng.

Vùng hoạt = khối 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 = nhiên liệu + vỏ bao

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Vùng hoạt của lò phản ứng hạt nhân, bao gồm:
 - khối chất làm chậm neutron dạng rắn có ít nhất một lỗ;
 - chất làm chậm neutron dạng lỏng; và
 - ít nhất một mô-đun, theo đó mô-đun của ít nhất một mô-đun bao gồm:
 - vỏ mô-đun;
 - vật liệu cách nhiệt nằm bên trong vỏ mô-đun;
 - một ống dẫn nhiệt có vùng bay hơi, một ống dẫn nhiệt được chế tạo dưới dạng vỏ được trang bị bắc và chứa chất tải nhiệt; và
 - ít nhất một thanh nhiên liệu chứa viên nhiên liệu hạt nhân và vỏ bao;
 - mỗi mô-đun của ít nhất một mô-đun nằm trong lỗ tương ứng của ít nhất một lỗ của khối làm chậm neutron dạng rắn;
 - một ống dẫn nhiệt được đặt bên trong vỏ mô-đun;
 - ít nhất một thanh nhiên liệu nằm dọc theo khu vực bay hơi của một ống dẫn nhiệt, bao xung quanh vỏ ống dẫn nhiệt, tiếp xúc nhiệt với vỏ ống dẫn nhiệt và được giữ cố định trong lớp vỏ bọc;
 - vật liệu cách nhiệt nằm giữa phần vỏ bọc và vỏ mô-đun; và
 - khoảng không gian giữa vỏ mô-đun và khối chất làm chậm neutron dạng rắn được lấp đầy bằng chất làm chậm neutron dạng lỏng.
2. Vùng hoạt của lò phản ứng hạt nhân theo điểm 1, khác biệt ở chỗ chân không được tạo ra trong mỗi mô-đun của ít nhất một mô-đun.
3. Vùng hoạt của lò phản ứng hạt nhân theo điểm 1, khác biệt ở chỗ vùng hoạt của lò phản ứng hạt nhân chứa khí trơ và vỏ mô-đun của mỗi mô-đun của ít nhất một mô-đun chứa đầy khí trơ.
4. Vùng hoạt của lò phản ứng hạt nhân theo điểm 1, khác biệt ở chỗ chất tải nhiệt của ống dẫn nhiệt là ít nhất một loại kim loại lỏng.
5. Vùng hoạt của lò phản ứng hạt nhân theo điểm 1, khác biệt ở chỗ sử dụng nước làm chất làm chậm neutron dạng lỏng.
6. Vùng hoạt của lò phản ứng hạt nhân theo điểm 1, khác biệt ở chỗ chất làm chậm neutron dạng lỏng sử dụng ít nhất một chất lỏng không đóng băng ở nhiệt độ -40°C.
7. Vùng hoạt của lò phản ứng hạt nhân theo điểm 6, khác biệt ở chỗ chất lỏng không đóng băng là dung dịch nước của rượu.
8. Vùng hoạt của lò phản ứng hạt nhân theo điểm 3, khác biệt ở chỗ khí trơ được

sử dụng là khí xenon.

9. Vùng hoạt của lò phản ứng hạt nhân theo điểm **4**, khác biệt ở chỗ sử dụng ít nhất một kim loại lỏng từ nhóm gồm lithi, canxi, chì, bạc.

10. Vùng hoạt của lò phản ứng hạt nhân theo điểm **4**, khác biệt ở chỗ sử dụng ít nhất một kim loại lỏng có chứa tập hợp kim loại lỏng.

11. Vùng hoạt của lò phản ứng hạt nhân theo điểm **10**, khác biệt ở chỗ tập hợp kim loại lỏng có chứa kim loại từ nhóm gồm lithi, canxi, chì, bạc.

12. Vùng hoạt của lò phản ứng hạt nhân theo điểm **1**, khác biệt ở chỗ ít nhất một mô-đun có chứa nhiều mô-đun và ít nhất một lõi chứa nhiều lõi, mỗi mô-đun của tập hợp mô-đun được đặt trong lõi tương ứng của tập hợp lõi.

13. Vùng hoạt của lò phản ứng hạt nhân theo điểm **12**, khác biệt ở chỗ ít nhất thanh nhiên liệu của mỗi mô-đun của ít nhất một mô-đun là một thanh nhiên liệu.

14. Vùng hoạt của lò phản ứng hạt nhân theo điểm **13**, khác biệt ở chỗ thanh nhiên liệu có khoang chứa các sản phẩm dạng khí tạo ra từ phản ứng phân hạch viên nhiên liệu hạt nhân của thanh nhiên liệu này.

DANH MỤC HÌNH VẼ

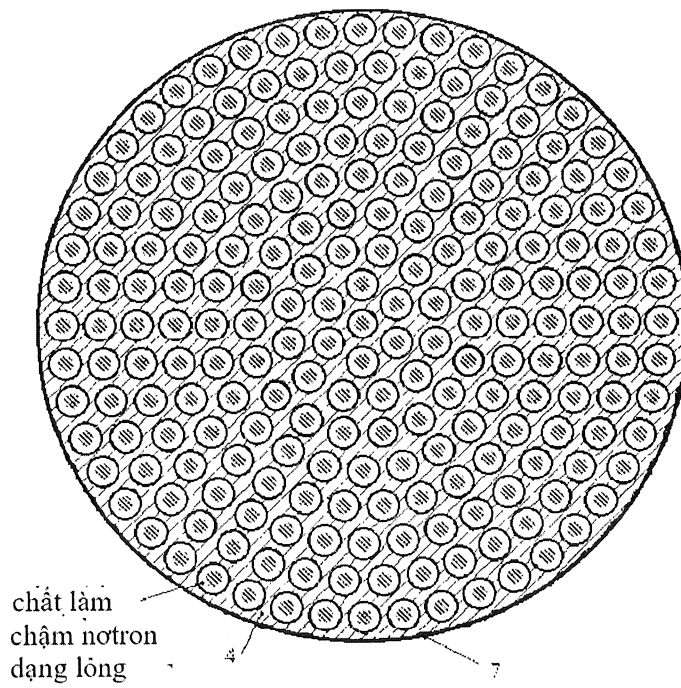


Fig. 1

A - A

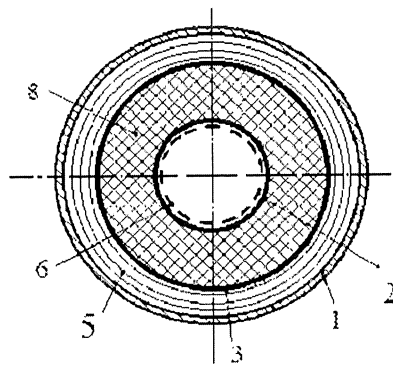


Fig. 3

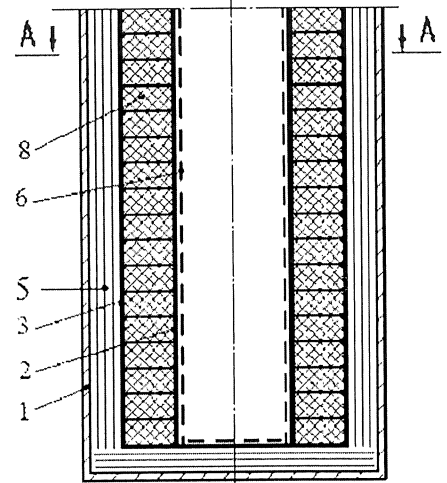
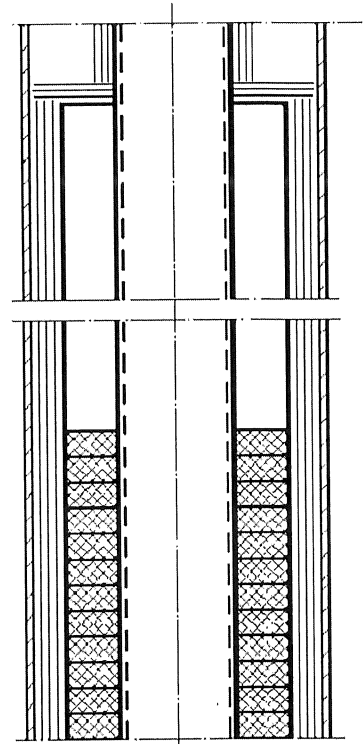


Fig. 2