



(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)



1-0029166

(51)^{2006.01} G21C 15/18; G21C 1/02

(13) B

(21) 1-2017-02547

(22) 16/11/2015

(86) PCT/RU2015/000784 16/11/2015

(87) WO2016/089250 09/06/2016

(30) 2014148910 04/12/2014 RU

(45) 25/08/2021 401

(43) 25/09/2017 354A

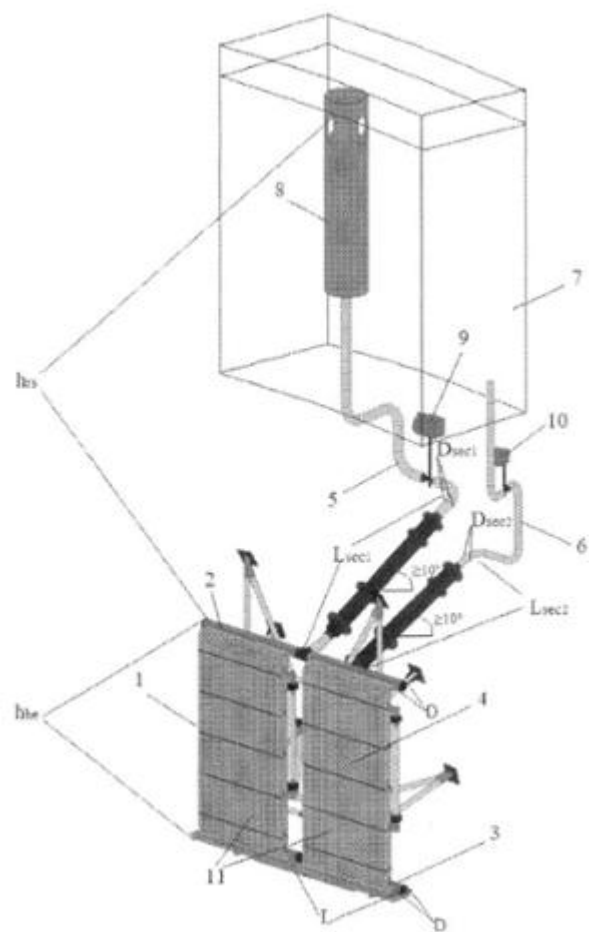
(73) JOINT-STOCK COMPANY SCIENTIFIC RESEARCH AND DESIGN
INSTITUTE FOR ENERGY TECHNOLOGIES ATOMPROEKT (RU)
ul. Savushkina, 82 St.Petersburg, 197183, Russia

(72) BEZLEPKIN, Vladimir Victorovich (RU); SEMASHKO, Sergey Evgen'evich (RU);
IVKOV, Igor Mihaylovich (RU); ALEKSEEV, Sergey Borisovich (RU);
VARDANIDZE, Teymuraz Georgievich (RU); PETROV, Yuriy Yurievich (RU);
SOLODOVNIKOV, Aleksander Sergeevich (RU); KRYLOV, Yuriy Vladimirovich (RU).

(74) Công ty Luật TNHH quốc tế BMVN (BMVN INTERNATIONAL LLC)

(54) HỆ THỐNG LOẠI BỎ NHIỆT THỤ ĐỘNG BÊN TRONG RA KHỎI KHOANG
CHỨA Lò PHẢN ỨNG NƯỚC ÁP LỰC

(57) Sáng chế đề cập chung đến lĩnh vực năng lượng hạt nhân, và cụ thể hơn là đề cập đến các hệ thống loại bỏ nhiệt thụ động bên trong ra khỏi khoang chứa lò phản ứng nước áp lực (Containment passive heat removal System - C PHRS), và được thiết kế để làm mát khoang chứa lò phản ứng bằng cách tuần hoàn tự nhiên chất lỏng (nước) làm mát trong vòng hệ thống này. Hiệu quả kỹ thuật của sáng chế là tăng hiệu quả loại bỏ nhiệt, độ ổn định dòng chảy trong vòng và, do đó, tăng độ tin cậy vận hành hệ thống. Hệ thống này có ít nhất một vòng tuần hoàn nước làm mát bao gồm bộ trao đổi nhiệt được đặt bên trong khoang chứa này và bao gồm ống góp trên và ống góp dưới được nối thông với nhau bởi các ống trao đổi nhiệt, đường ống đứng và đường ống cấp được kết nối với bộ trao đổi nhiệt này, bể cấp nước làm mát được đặt phía trên bộ trao đổi nhiệt và bên ngoài khoang chứa này và được kết nối với đường ống cấp, van xả hơi nước được kết nối với đường ống đứng và được đặt trong bể cấp nước này và được nối thông thủy với bể cấp nước này. Ống góp trên và ống góp dưới của bộ trao đổi nhiệt được chia thành các ngăn ống trao đổi nhiệt đáp ứng yêu cầu: $L/D \leq 20$, trong đó L là độ dài của phần ống góp này, D là đường kính trong của ống góp này.



Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập chung đến lĩnh vực năng lượng hạt nhân, và cụ thể hơn là đề cập đến các hệ thống loại bỏ nhiệt thụ động bên trong ra khỏi khoang chứa lò phản ứng nước áp lực (Containment passive heat removal system - C PHRS), và được thiết kế để làm mát khoang chứa lò phản ứng bằng cách tuần hoàn tự nhiên chất lỏng (nước) làm mát trong vòng hệ thống này.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Theo các giải pháp kỹ thuật đã biết, có một số thiết kế hệ thống loại bỏ nhiệt ra khỏi khoang chứa lò phản ứng dựa trên sự tuần hoàn nhiệt tự nhiên.

Patent Nga số RU2125744, chỉ số phân loại sáng chế quốc tế (IPC): G21C15/18 cấp ngày: 27/01/1999 bộc lộ hệ thống loại bỏ nhiệt thụ động ra khỏi không gian bên trong của kết cấu khoang chứa lò phản ứng hạt nhân bao gồm bộ trao đổi nhiệt thứ nhất được đặt bên ngoài kết cấu khoang chứa này, bộ trao đổi nhiệt thứ hai nằm bên trong kết cấu khoang chứa lò phản ứng. Bộ trao đổi nhiệt thứ nhất và bộ trao đổi nhiệt thứ hai này được nối thông thủy trong vòng kín nhờ các đường ống có chất tải lạnh đi qua kết cấu khoang chứa này và đường ống xả phía trên thông với khí quyển. Hệ thống này cũng bao gồm bể chứa được nạp nước tới mức được xác định trước, bể chứa này được kết nối với kết cấu khoang chứa này và được đặt gần với thành trên của khoang chứa này. Bộ trao đổi nhiệt thứ nhất được chìm trong nước trong bể chứa này và trải dài theo phương thẳng đứng từ tấm nền nổi đáy của bể chứa này với phần trên phân chia bể chứa này thành hai khoang được nối thông thủy. Bể chứa này được trang bị nắp tạo thành kênh thứ nhất và kênh thứ hai, mỗi kênh này bao phủ khu vực tương ứng của nó được tạo thành bởi bộ trao đổi nhiệt thẳng đứng này, và chỉ được kết nối với khu vực tương ứng này. Một trong các kênh này được kết nối với cửa nạp không khí bên ngoài, kênh kia được kết nối với đường ống xả, và nước trong các khối bể chứa kết nối giữa các kênh này khi bể chứa này được nạp nước tới mức được xác định trước.

Patent Nga số RU2302674, chỉ số phân loại sáng chế quốc tế (IPC): G21C9/00 cấp ngày: 10/07/2007 bộc lộ hệ thống loại bỏ nhiệt ra khỏi khoang chứa bao gồm bộ trao đổi nhiệt được lắp bên dưới khoang chứa này, đường ống vào và đường ống ra của nó đi qua khoang chứa này và được kết nối với vòng tuần hoàn kín của chất tải lạnh điểm sôi thấp, bao gồm tua-bin có máy phát điện, bộ nguồn điện có thiết bị tạo hơi nước được đặt phía dưới khoang chứa này, và các hệ thống an toàn của bộ nguồn điện, một trong chúng có bộ thủy lực và tua-bin hơi nước. Bộ trao đổi nhiệt này được lắp bên dưới vòm khoang chứa này và được thiết kế dưới dạng các ống tuần hoàn được xếp thành hai dãy được kết nối nhờ

các ống có cánh hình chữ-C, các đầu của các ống này đối diện với thành khoang chứa này và bao bọc xung quanh bộ thủy lực này để bảo đảm an toàn bộ nguồn điện.

Hệ thống tương tự gần nhất với sáng chế được yêu cầu bảo hộ là hệ thống PHRS được bộc lộ trong Bằng độc quyền Mẫu hữu ích Nga số RU85029, chỉ số phân loại sáng chế quốc tế (IPC): G21C15/18, cấp ngày: 20/07/2009 và bao gồm vòng tuần hoàn chất tải lạnh, bao gồm ít nhất một bộ trao đổi nhiệt được đặt bên trong khoang chứa này và bể cấp chất tải lạnh được lắp phía trên bộ trao đổi nhiệt này và bên ngoài khoang chứa này, được nối thông với nhau bởi đường ống vào và đường ống ra. Hệ thống này cũng được trang bị bộ phận nhận hơi nước được lắp trong bể cấp chất tải lạnh này và được nối thông thủy với bể cấp chất tải lạnh này và được kết nối với đường ống ra.

Nhược điểm của các thiết bị nêu trên là nguy cơ va đập nước trong hệ thống.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Mục đích của sáng chế là đề xuất hệ thống loại bỏ nhiệt hiệu quả ra khỏi khoang chứa lò phản ứng.

Hiệu quả kỹ thuật của sáng chế là tăng hiệu quả loại bỏ nhiệt, độ ổn định dòng chảy trong vòng (không có va đập nước) và, do đó, tăng độ tin cậy vận hành hệ thống.

Hiệu quả kỹ thuật nêu trên đạt được là do hệ thống loại bỏ nhiệt thụ động bên trong ra khỏi khoang chứa lò phản ứng nước áp lực có ít nhất một vòng tuần hoàn nước làm mát, bao gồm bộ trao đổi nhiệt được đặt bên trong khoang chứa này và bao gồm ống góp trên và ống góp dưới được nối thông với nhau bởi các ống trao đổi nhiệt, đường ống đứng và đường ống cấp được kết nối với bộ trao đổi nhiệt này, bể cấp nước làm mát được đặt phía trên bộ trao đổi nhiệt này và bên ngoài khoang chứa và được kết nối với đường ống cấp này, van xả hơi nước được kết nối với đường ống đứng này và được đặt trong bể cấp nước này và được nối thông thủy với bể cấp nước này. Bộ trao đổi nhiệt này được chia thành các ngăn trao đổi nhiệt, mỗi ngăn trao đổi nhiệt này có các phần ống góp trên và các phần ống góp dưới đáp ứng yêu cầu:

$$L/D \leq 20,$$

trong đó L là độ dài của phần ống góp trên và phần ống góp dưới,

D là đường kính trong của ống góp,

thiết kế đường ống đứng tạo ra chiều cao phần ống đứng không nhỏ hơn:

$$h_{rs} = (\Delta P_{res}^c - \Delta \rho_{he} g h_{he}) / \Delta \rho_{rs} g,$$

$$\Delta P_{res}^c = \Delta \rho_{rs} g h_{rs} + \Delta \rho_{he} g h_{he},$$

trong đó P_{res}^c là tổng trở lực thủy lực của vòng,

h_{he} là chiều cao của bộ trao đổi nhiệt,

g là hệ số trọng lực,

$$\Delta\rho_{rs}=\rho_{cw}-(\rho'(1-x)+\rho''x),$$

$$\Delta\rho_{he}=\rho_{cw}-\rho_{hw},$$

Trong đó ρ_{cw} là tỉ trọng nước trong đường ống cấp,

ρ_{hw} là tỉ trọng nước trong đường ống đứng trong phạm vi chiều cao của bộ trao đổi nhiệt,

ρ', ρ'' là tỉ trọng bão hòa của nước và hơi nước,

x là chất lượng hơi nước khối trung bình của hỗn hợp hai pha trong phần ống đứng.

Hiệu quả kỹ thuật nêu trên cũng đạt được theo các phương án cụ thể của sáng chế bởi vì:

– hệ thống này bao gồm bốn kênh, mỗi kênh bao gồm bốn vòng tuần hoàn nước làm mát,

– ít nhất một phần đường ống đứng từ các ống góp trên của các ngăn trao đổi nhiệt đến van xả hơi nước có phần nghiêng lên một góc ít nhất là 10° so với phương nằm ngang,

– đường ống đứng bao gồm các phần có góc nghiêng nhỏ hơn 10° so với phương nằm ngang, độ dài của các phần này là L_{sec1} và đường kính trong là D_{sec1} đáp ứng tiêu chuẩn sau: $L_{sec1}/D_{sec1} \leq 10$,

– ít nhất một phần đường ống cấp có phần nghiêng xuống một góc ít nhất là 10° so với phương nằm ngang,

– đường ống cấp bao gồm các phần có góc nghiêng nhỏ hơn 10° so với phương nằm ngang, độ dài của các phần này là L_{sec2} và đường kính trong là D_{sec2} đáp ứng tiêu chuẩn sau: $L_{sec2}/D_{sec2} \leq 10$,

– chiều cao ống trao đổi nhiệt bảo đảm rằng tiêu chuẩn đối lưu hỗn loạn trên bề mặt ngoài của bộ trao đổi nhiệt được đáp ứng, đó là:

$$Ra > 4 \cdot 10^{12},$$

$$Ra = \frac{g l^3 S_c}{\nu^2} \cdot \frac{\rho_w - \rho_c}{\rho_c}$$

trong đó ; Ra là tiêu chuẩn Rayleigh,

g là hệ số trọng lực,

l là chiều cao ống trao đổi nhiệt,

ν là hệ số độ nhớt động học hơi nước - không khí,

ρ_w là tỉ trọng môi trường hơi nước - không khí trên thành ngoài của ống trao đổi nhiệt,

ρ_c là tỉ trọng môi trường hơi nước - nước trong khoang chứa,

$$S_c = \frac{v}{D_{dif}} \text{ là số Schmidt,}$$

D_{dif} là hệ số khuếch tán hơi nước.

- bộ trao đổi nhiệt được đặt phía dưới vòm khoang chứa,
- ngăn trao đổi nhiệt có chùm ống thẳng đứng một hàng,
- khoảng cách giữa các ống liền kề bất kỳ trong ngăn trao đổi nhiệt đáp ứng tiêu chuẩn thành tron tương đương.

Trong bản mô tả này, phần ống đứng có nghĩa là phần của đường ống đứng trong đó chất tải lạnh là hỗn hợp hơi nước - nước (hai pha) có chất lượng hơi nước khối trung bình x. Phần này được gọi là “ống đứng” vì nó đóng góp chính vào việc tạo ra tuần hoàn tự nhiên trong vòng và quyết định cường độ tuần hoàn tự nhiên.

Các thử nghiệm được thực hiện cho thấy rằng mối tương quan thông số hệ thống nêu trên tạo ra sự loại bỏ nhiệt hiệu quả nhất mà không có va đập nước hoặc nhiễu loạn lưu lượng dòng khối chất tải lạnh nhờ sự lựa chọn dạng hình học hệ thống tốt nhất: mối tương quan giữa độ dài và đường kính trong của các phần ống góp trao đổi nhiệt, độ dài của phần ống đứng trong vòng tuần hoàn, chiều cao của các ống trao đổi nhiệt và cách bố trí tối ưu của các bộ trao đổi nhiệt trong khoang chứa.

Mối tương quan giữa chiều dài ngăn và đường kính trong của các ống góp trao đổi nhiệt được lựa chọn sao cho giảm thiểu sự phân bố không đồng đều dòng chất tải lạnh giữa các ống trao đổi nhiệt, nghĩa là giảm cái gọi là “hiệu ứng ống góp”. Sự phân bố đồng đều của dòng chảy trong ống là một trong các điều kiện chính để cải thiện hiệu quả và hiệu suất năng lượng của các bộ trao đổi nhiệt. Một trong các phương pháp được sử dụng để cải thiện sự phân bố chất tải lạnh giữa các kênh trao đổi nhiệt ống góp là giảm tổn hao áp lực của dòng môi trường trong ống góp này. Kết quả này đạt được bằng cách giảm chiều dài ống góp và tăng đường kính trong của ống góp trong phạm vi khả năng của quy trình chế tạo thiết bị và các đặc tính thiết kế khác. Khi các ống góp đáp ứng tiêu chuẩn $L/D \leq 20$, tổn hao áp lực dọc theo chiều dài của ống góp là tối thiểu, và phân bố các dòng chất tải lạnh giữa các ống trao đổi nhiệt là đồng đều nhất. Nếu tiêu chuẩn này bị vượt quá, độ phân bố đồng đều của môi trường giữa các kênh trao đổi nhiệt bị giảm xuống, gây ra sự bất ổn định và nhiễu loạn lưu lượng khối chất tải lạnh và, do đó, làm giảm công suất nhiệt của bộ trao đổi nhiệt.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Thiết kế theo sáng chế được minh họa bằng các hình vẽ, trong đó:

Fig.1 thể hiện thiết kế vòng tuần hoàn nước làm mát,

Fig.2 thể hiện sự phụ thuộc theo thử nghiệm của công suất vòng làm mát C PHRS vào áp suất của chất lỏng hơi nước - khí trong bể chứa này,

Fig.3 thể hiện sự phụ thuộc theo tính toán của áp suất và nhiệt độ vào thời gian xảy ra tai nạn.

Mô tả chi tiết sáng chế

Hệ thống được yêu cầu bảo hộ là sự kết hợp của các vòng tuần hoàn nước làm mát. Theo phương án ưu tiên của sáng chế, hệ thống được yêu cầu bảo hộ bao gồm bốn kênh độc lập hoàn toàn, mỗi kênh này bao gồm bốn vòng tuần hoàn này.

Vòng tuần hoàn (Fig.1) bao gồm bộ trao đổi nhiệt 1 được đặt bên trong khoang chứa (phía dưới vòm) và bao gồm ống góp trên 2 và ống góp dưới 3 được nối thông với nhau bởi các ống trao đổi nhiệt 4 tạo thành chùm ống trao đổi nhiệt thẳng đứng một hàng. Đường ống đứng 5 và đường ống cấp 6 được kết nối với bộ trao đổi nhiệt 1. Bể cấp nước làm mát (bể loại bỏ nhiệt khẩn cấp (Emergency Heat Removal Tank - EHRT)) 7 được kết nối với đường ống cấp 6 được đặt phía trên bộ trao đổi nhiệt này và ở bên ngoài khoang chứa này. Van xả hơi nước 8 được kết nối với đường ống đứng 5 được đặt trong bể cấp nước làm mát 7 và được nối thông thủy với bể cấp nước làm mát này. Van xả hơi nước 8 này được thiết kế để loại bỏ hiện tượng va đập nước do nước ngưng gây ra và loại bỏ mức độ rung gia tăng trong đường ống đứng 5 của hệ thống. Đường ống đứng này của van xả hơi nước 8 có lỗ kết nối cho phép nó thực hiện đầy đủ các chức năng này.

Ống góp trên 2 và ống góp dưới 3 của bộ trao đổi nhiệt được chia thành các ngăn ống trao đổi nhiệt 11 đáp ứng yêu cầu:

$$L/D \leq 20,$$

trong đó L là độ dài phần ống góp trên và phần ống góp dưới,

D là đường kính trong của ống góp,

thiết kế đường ống đứng này tạo ra chiều cao phần ống đứng h_{rs} đáp ứng tiêu chuẩn sau:

$$h_{rs} = (\Delta P_{res}^c - \Delta \rho_{he} g h_{he}) / \Delta \rho_{rs} g,$$

$$\Delta P_{res}^c = \Delta \rho_{rs} g h_{rs} + \Delta \rho_{he} g h_{he},$$

trong đó P_{res}^c là tổng trở lực thủy lực của vòng,

h_{he} là chiều cao của bộ trao đổi nhiệt,

g là hệ số trọng lực,

$$\Delta \rho_{rs} = \rho_{cw} - (\rho' (1-x) + \rho'' x),$$

$$\Delta \rho_{he} = \rho_{cw} - \rho_{hw},$$

ρ_{cw} là tỉ trọng nước trong đường ống cấp,

ρ_{hw} là tỉ trọng nước trong đường ống đứng trong phạm vi chiều cao của bộ trao đổi nhiệt,

ρ', ρ'' là tỉ trọng bão hòa của nước và hơi nước,

x là chất lượng hơi nước khối trung bình của hỗn hợp hai pha trong phần ống đứng.

Ngăn trao đổi nhiệt có chùm ống thẳng đứng một hàng. Ưu tiên khoảng cách giữa các ống liền kề bất kỳ trong ngăn trao đổi nhiệt đáp ứng tiêu chuẩn thành tròn tương đương.

Theo phương án ưu tiên của sáng chế, chiều cao ống trao đổi nhiệt bảo đảm rằng tiêu chuẩn đối lưu hỗn loạn trên bề mặt ngoài của bộ trao đổi nhiệt được đáp ứng, đó là:

$$Ra > 4 \cdot 10^{12},$$

$$Ra = \frac{g l^3 S_c}{\nu^2} \cdot \frac{\rho_w - \rho_c}{\rho_c}$$

trong đó ; R_a là tiêu chuẩn Rayleigh,

g là hệ số trọng lực,

l là chiều cao ống trao đổi nhiệt,

ν là hệ số độ nhớt động học hơi nước - không khí,

ρ_w là tỉ trọng môi trường hơi nước - không khí trên thành ngoài của ống trao đổi nhiệt,

ρ_c là tỉ trọng môi trường hơi nước - nước trong khoang chứa,

$$S_c = \frac{\nu}{D_{dif}}$$

là số Schmidt,

D_{dif} là hệ số khuếch tán hơi nước.

Đường ống đứng từ các ống góp trên của ngăn trao đổi nhiệt đến van xả hơi nước có phần nghiêng lên một góc ít nhất là 10° so với phương nằm ngang, trừ một số phần có góc nghiêng nhỏ hơn 10° , có độ dài L_{sec1} và đường kính trong D_{sec1} , đáp ứng tiêu chuẩn sau: $L_{sec1}/D_{sec1} \leq 10$.

Đường ống cấp có phần nghiêng xuống một góc ít nhất là 10° so với phương nằm ngang, trừ một số phần có góc nghiêng nhỏ hơn 10° , độ dài L_{sec2} và đường kính trong này là D_{sec2} , đáp ứng tiêu chuẩn sau: $L_{sec2}/D_{sec2} \leq 10$.

Theo phương án cụ thể này của sáng chế dùng cho nhà máy điện nguyên tử (Nuclear Power Plant - NPP) Leningrad-2, các bộ trao đổi nhiệt 1 của các vòng được đặt dọc theo chu vi trên thành trong của khoang chứa trên độ cao 49,3 m. Mỗi bộ trao đổi nhiệt có diện tích trao đổi nhiệt là 75 m^2 . Chiều cao chùm ống trao đổi nhiệt là 5 m và được cấu thành bởi các ống thẳng đứng $38 \times 3 \text{ mm}$. Tổng diện tích trao đổi nhiệt của mỗi kênh là 300 m^2 . Độ dài (L) của các phần trên và dưới của các ống góp trao đổi nhiệt là 2755 mm. Đường kính ngoài/trong (D) của ống góp trên là 219/195 mm, đường kính ngoài/trong của ống góp dưới là 191/174 mm.

Công suất nhiệt của hệ thống được lựa chọn sao cho giảm và duy trì áp suất trong khoang chứa trong các giới hạn thiết kế khi xảy ra các tai nạn lò phản ứng vượt quá phạm vi thiết kế, bao gồm cả những trường hợp hư hỏng phần lõi nghiêm trọng.

Các van cách ly 9 và 10 được thiết kế để cách ly bộ trao đổi nhiệt 1 trong trường hợp bộ trao đổi nhiệt này bị rò rỉ, được lắp trên đường ống đứng 5 và đường ống cấp 6. Để ngăn ngừa sự quá áp trong các vòng C PHRS trong trường hợp đóng khẩn cấp các van cách ly này, các van an toàn (không được thể hiện) được lắp để xả chất lỏng dưới mức của bể chứa 7.

Các van cách ly và các van an toàn này được đặt trong các khoang chứa hình vành khăn bao quanh tòa nhà chứa lò phản ứng ở độ cao +54,45 m.

Vận hành của hệ thống theo sáng chế dựa trên sự tuần hoàn tự nhiên chất tải lạnh và không cần các hành động khởi động. Nhiệt năng được loại bỏ ra khỏi khoang chứa bằng cách ngưng tụ hơi nước từ hỗn hợp hơi nước - không khí trên bề mặt ngoài của bộ trao đổi nhiệt 1 từ đó nhiệt năng được truyền đến bể cấp nước 7 nhờ tuần hoàn tự nhiên. Cuối cùng nhiệt được loại bỏ ra khỏi bể cấp nước này đến bể nhiệt cuối cùng nhờ sự bay hơi nước trong bể cấp nước này. Chất tải lạnh được cấp từ van xả hơi nước 8 đến bể cấp nước làm mát 7, tiếp đó chất tải lạnh (nước) đã được làm mát quay về bộ trao đổi nhiệt 1 qua đường ống cấp 6. Do đó, nhiệt năng được truyền từ bên trong khoang chứa này đến bể nhiệt cuối cùng là môi trường, nhờ bay hơi nước trong bể chứa 7 sử dụng vòng tuần hoàn này.

Ví dụ thực hiện sáng chế

Để minh chứng bằng thử nghiệm về hiệu quả của thiết kế hệ thống được đề xuất, các tác giả đã thực hiện nhiều thử nghiệm trên một số hệ thống thử nghiệm.

Các nghiên cứu đã được thực hiện trên mô hình quy mô thực của vòng làm mát C PHRS được lắp trên sàn thử nghiệm tại Công ty Cổ phần Afrikantov OKBM (JSC “Afrikantov OKBM”). Mô hình vòng C PHRS này bao gồm mô hình bộ ngưng tụ - trao đổi nhiệt, các đường ống vận hành được đặt trong bể mô hình khoang chứa, và van xả hơi nước vận hành được đặt trong bể cấp nước này.

Công suất loại bỏ nhiệt của vòng làm mát thử nghiệm và các thông số của môi trường hơi nước - khí trong bể chứa gần với các điều kiện tai nạn lò phản ứng thực tế của hệ thống vận hành tới mức tối đa. Vì vậy, với dạng hình học và các thông số của vòng làm mát C PHRS này có thể so sánh thực tế với thiết kế vòng làm mát quy mô thực, các kết quả nghiên cứu thu được đối với mô hình vòng làm mát C PHRS mang tính đại diện và có thể được áp dụng cho vòng làm mát C PHRS vận hành.

Các thử nghiệm này được thực hiện trên vòng làm mát C PHRS quy mô thực thể hiện rằng ở nhiệt độ nước làm mát tối đa 100 °C trong bể nước làm mát, và công suất thiết kế cụ thể của mỗi vòng làm mát, áp suất trong bể chứa này không vượt quá áp suất thiết kế giới hạn 500 kPa.

Fig.2 thể hiện sự phụ thuộc theo thử nghiệm của công suất vòng làm mát C PHRS vào áp suất của chất lỏng hơi nước - khí trong bể chứa.

Fig.3 thể hiện cách thức mà vận hành của C PHRS ảnh hưởng đến các thông số bên trong khoang chứa này trong trường hợp tai nạn vượt ra ngoài phạm vi thiết kế bao gồm sự giảm áp suất của vòng chính của nhà máy điện hạt nhân (rò rỉ lớn) và hỏng hệ thống an toàn (đường I thể hiện các thông số khi không vận hành PHRS, và đường II thể hiện các thông số khi vận hành PHRS).

Việc thực hiện các thử nghiệm trên mô hình vòng làm mát C PHRS quy mô thực cho thấy rằng các thông số thiết kế của vòng này được đáp ứng kể cả về mặt hiệu quả loại bỏ nhiệt và độ ổn định dòng chảy trong vòng này. Trong phạm vi vận hành vòng làm mát ở quy mô đầy đủ (vận hành từ trạng thái ban đầu đến khi nước sôi), không quan sát thấy va đập nước trong bể chứa hoặc rung lắc các bộ phận và các kết cấu của vòng thử nghiệm có thể ảnh hưởng đến khả năng vận hành của vòng này.

Vì vậy, hệ thống được yêu cầu bảo hộ cho phép duy trì áp suất trong khoang chứa dưới mức thiết kế mà không cần sự can thiệp của người vận hành trong thời gian dài và trong phạm vi đầy đủ các tai nạn vượt ra ngoài phạm vi thiết kế bao gồm loại bỏ vật liệu và năng lượng trong khoang chứa này.

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Hệ thống loại bỏ nhiệt thụ động bên trong ra khỏi khoang chứa lò phản ứng nước áp lực có ít nhất một vòng tuần hoàn nước làm mát, hệ thống này bao gồm:

bộ trao đổi nhiệt được đặt bên trong khoang chứa này và bao gồm ống góp trên và ống góp dưới được nối thông với nhau bởi các ống trao đổi nhiệt,

đường ống đứng và đường ống cấp được kết nối với bộ trao đổi nhiệt này,

bể cấp nước làm mát được đặt phía trên bộ trao đổi nhiệt này và bên ngoài khoang chứa này và được kết nối với đường ống cấp này, và

van xả hơi nước được kết nối với đường ống đứng này, được đặt trong bể cấp nước này và được nối thông thủy với bể cấp nước làm mát này, trong đó bộ trao đổi nhiệt này được chia thành các ngăn trao đổi nhiệt, mỗi ngăn trao đổi nhiệt này có phần ống góp trên và phần ống góp dưới, mỗi phần trong số các phần ống góp trên này và các phần ống góp dưới này thỏa mãn yêu cầu:

$$L/D \leq 20,$$

trong đó L là độ dài của phần ống góp trên hoặc phần ống góp dưới tương ứng,

D là đường kính trong của phần ống góp trên hoặc phần ống góp dưới tương ứng;

trong đó đường ống đứng này được tạo cấu hình sao cho chiều cao phần ống đứng h_{rs} không nhỏ hơn:

$$h_{rs} = (\Delta P_{res}^c - \Delta \rho_{he} g h_{he}) / \Delta \rho_{rs} g,$$

$\Delta P_{res}^c = \Delta \rho_{rs} g h_{rs} + \Delta \rho_{he} g h_{he}$, trong đó P_{res}^c là tổng trở lực thủy lực của vòng,

h_{he} là chiều cao bộ trao đổi nhiệt,

g là hệ số trọng lực,

$$\Delta \rho_{rs} = \rho_{cw} - (\rho' (1-x) + \rho'' x),$$

$$\Delta \rho_{he} = \rho_{cw} - \rho_{hw},$$

ρ_{cw} là tỉ trọng nước trong đường ống cấp,

ρ_{hw} là tỉ trọng nước trong đường ống đứng trong phạm vi chiều cao của bộ trao đổi nhiệt,

ρ', ρ'' là tỉ trọng bão hòa của nước và hơi nước, và

x là chất lượng hơi nước khối trung bình của hỗn hợp hai pha trong phần ống đứng.

2. Hệ thống theo điểm 1, trong đó ít nhất một phần đường ống đứng từ các ống góp trên của các ngăn trao đổi nhiệt này đến van xả hơi nước này được nghiêng lên so với phương nằm ngang một góc ít nhất là 10° .

3. Hệ thống theo điểm 2, trong đó đường ống đứng này bao gồm các phần có góc nghiêng nhỏ hơn 10° so với phương nằm ngang, độ dài của các phần này là L_{sec1} và đường kính trong là D_{sec1} đáp ứng tiêu chuẩn sau: $L_{\text{sec1}}/D_{\text{sec1}} \leq 10$.

4. Hệ thống theo điểm 1, trong đó ít nhất một phần đường ống cấp có phần nghiêng xuống một góc ít nhất là 10° so với phương nằm ngang.

5. Hệ thống theo điểm 4, trong đó đường ống cấp bao gồm các phần có góc nghiêng nhỏ hơn 10° so với phương nằm ngang, độ dài của các phần này là L_{sec2} và đường kính trong là D_{sec2} đáp ứng tiêu chuẩn sau: $L_{\text{sec2}}/D_{\text{sec2}} \leq 10$.

6. Hệ thống theo điểm 1, trong đó các ống trao đổi nhiệt có chiều cao cho phép đáp ứng các tiêu chuẩn đối lưu hỗn loạn trên bề mặt ngoài của bộ trao đổi nhiệt, đó là:

$$Ra > 4 \cdot 10^{12},$$

$$Ra = \frac{g l^3 S_c}{\nu^2} \cdot \frac{\rho_w - \rho_c}{\rho_c};$$

trong đó

Ra là tiêu chuẩn Rayleigh,

g là hệ số trọng lực,

l là chiều cao ống trao đổi nhiệt,

ν là hệ số độ nhớt động học hơi nước - không khí,

ρ_w là tỉ trọng môi trường hơi nước - không khí trên thành ngoài của ống trao đổi nhiệt,

ρ_c là tỉ trọng môi trường hơi nước - nước trong khoang chứa,

$$S_c = \frac{\nu}{D_{\text{dif}}} \text{ là số Schmidt, và}$$

D_{dif} là hệ số khuếch tán hơi nước.

7. Hệ thống theo điểm 1, trong đó ngăn trao đổi nhiệt này có chùm ống thẳng đứng một hàng.

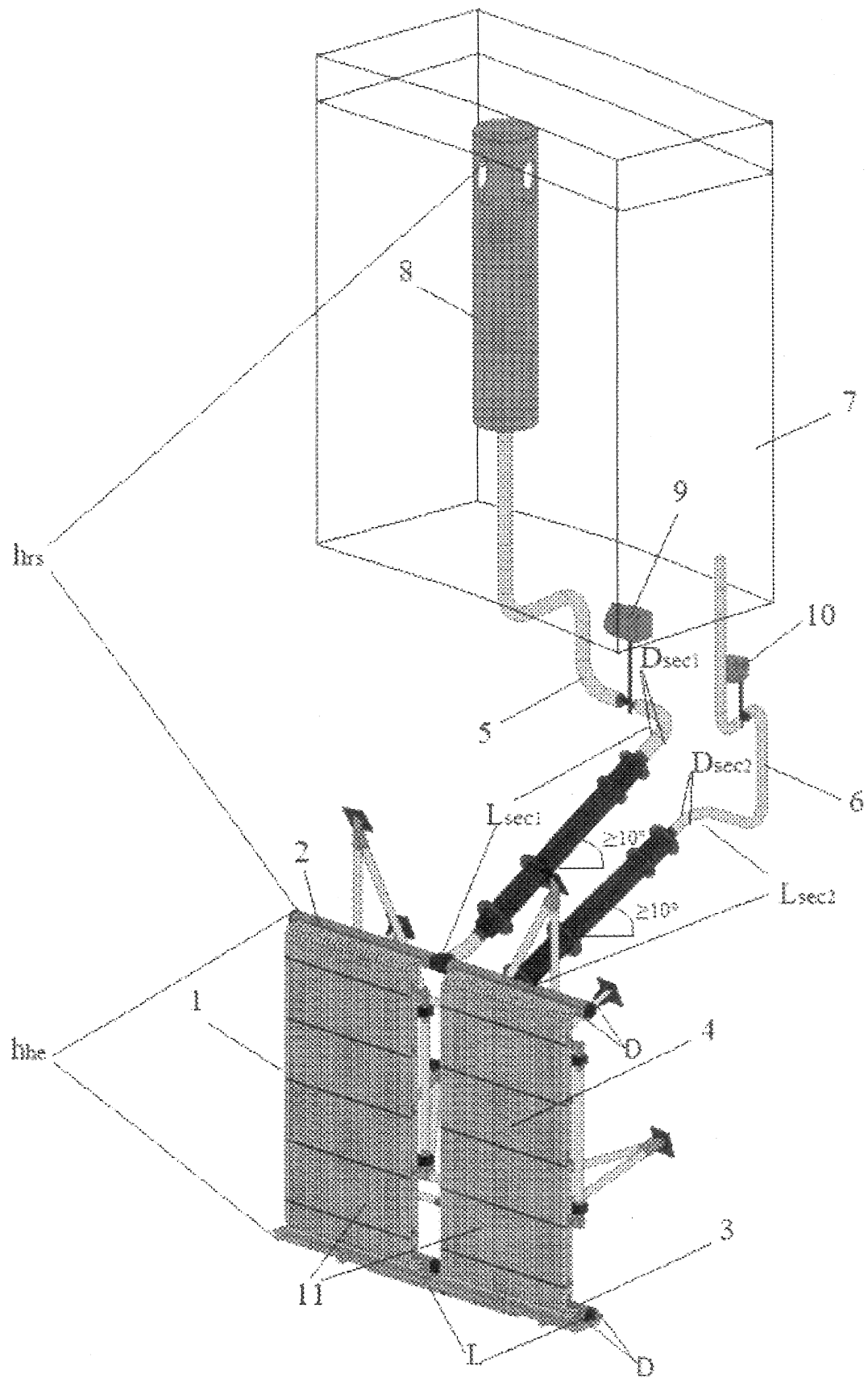


FIG.1

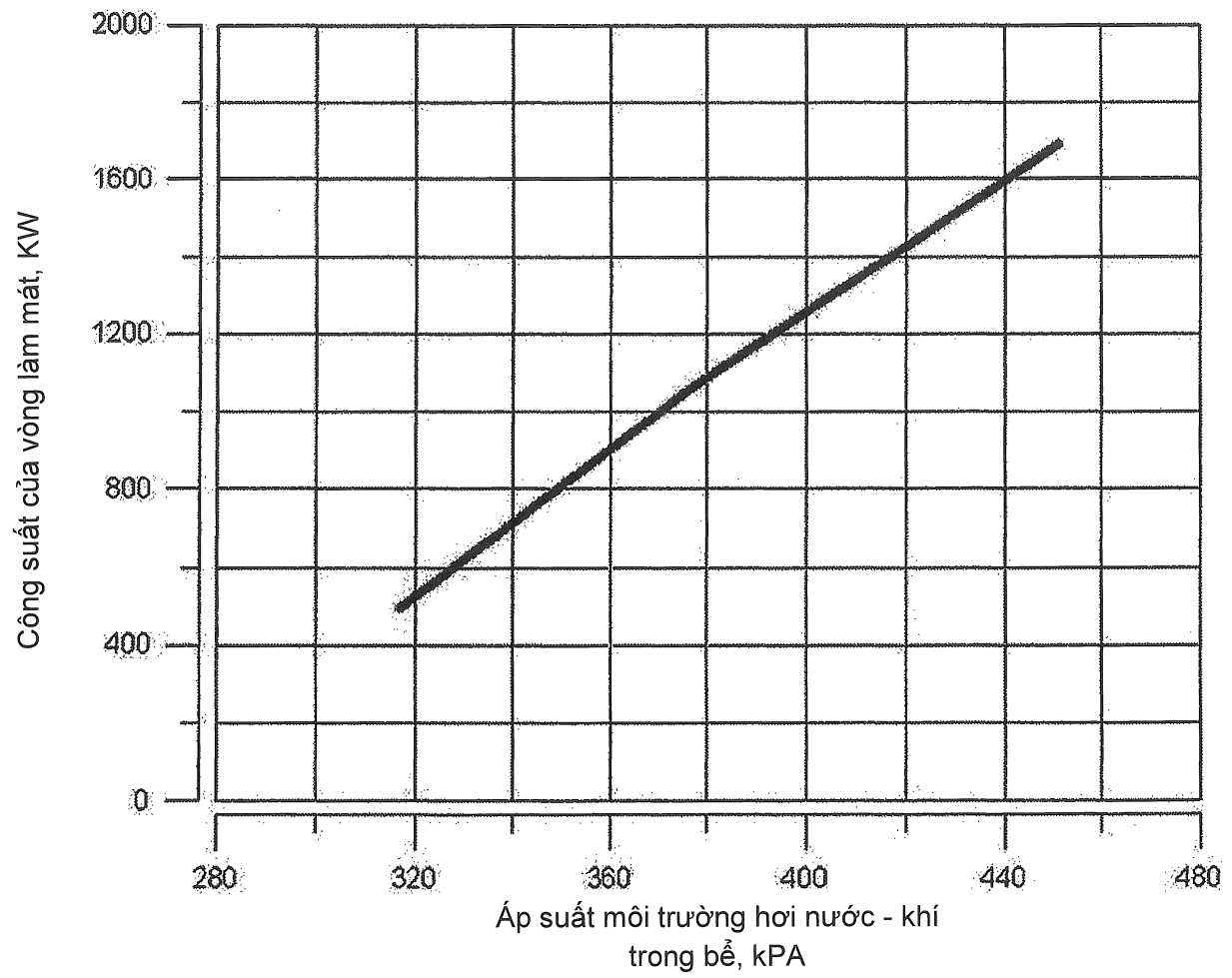


FIG.2

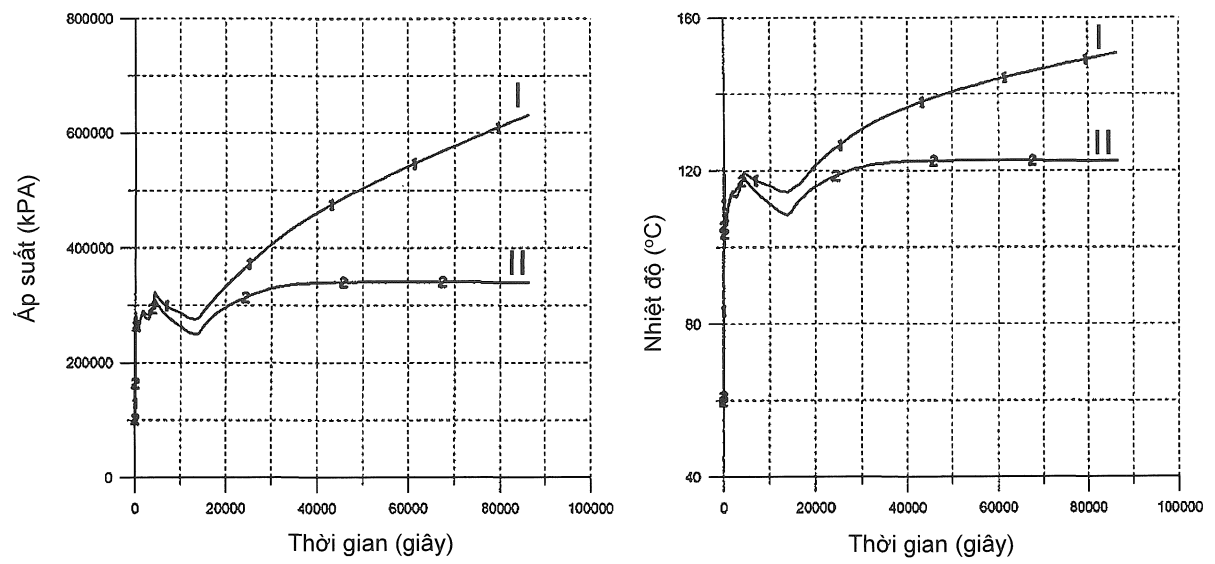


FIG.3