



(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)



1-0031302

(51)⁷ G21C 9/016; G21C 13/10

(13) B

(21) 1-2017-02699

(22) 16/11/2015

(86) PCT/RU2015/000783 16/11/2015

(87) WO2016/099328 23/06/2016

(30) 2014150937 16/12/2014 RU

(45) 25/03/2022 408

(43) 25/12/2017 357A

(73) JOINT STOCK COMPANY "ATOMENERGOPROEKT" (RU)

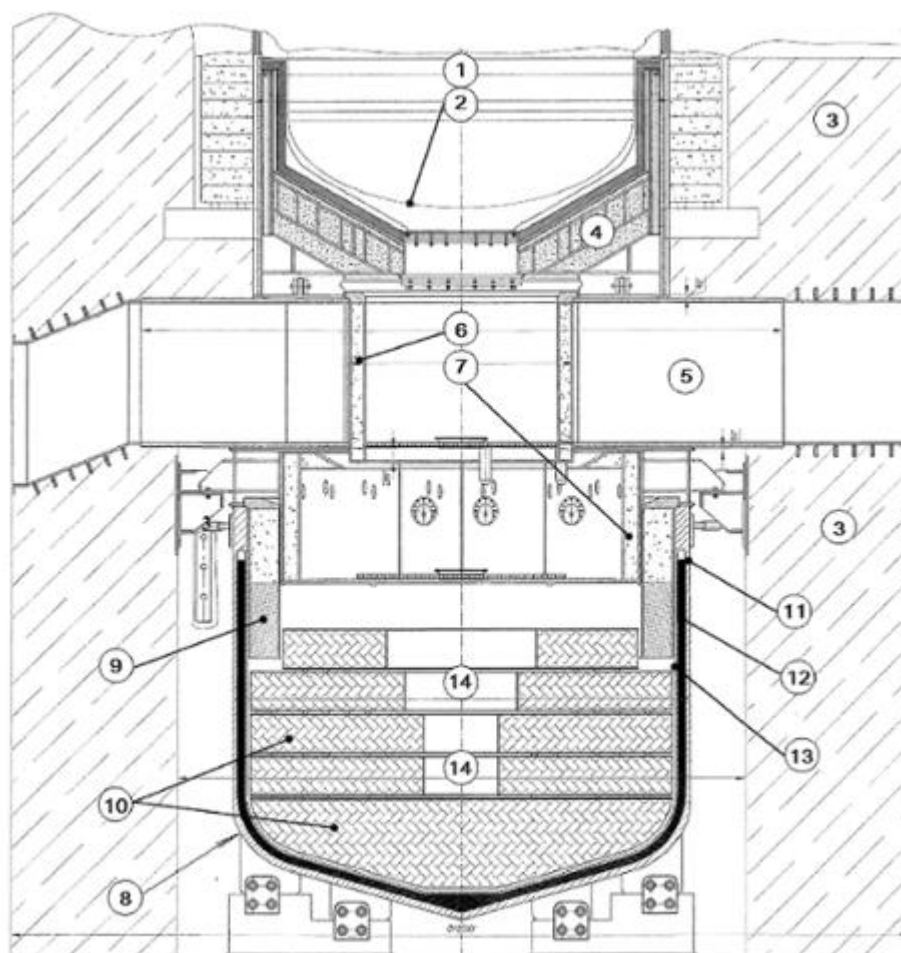
ul. Bakuninskaya, 7, str. 1 Moscow, 105005, Russia

(72) NEDOREZOV, Andrey Borisovich (RU); SIDOROV, Aleksandr Stalevich (RU).

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

(54) HỆ THỐNG LÀM MÁT VÀ GIỮ LẠI VẬT CHẤT NÓNG CHẢY TỪ LỖI CỦA
LÒ PHẢN ỨNG HẠT NHÂN ĐƯỢC LÀM MÁT VÀ LÀM CHẬM BẰNG NƯỚC

(57) Sáng chế đề cập đến hệ thống làm mát và giữ lại vật chất nóng chảy từ lõi của lò phản ứng hạt nhân được làm mát và làm chậm bằng nước, bao gồm tấm dẫn hướng dạng hình nón (4) được lắp bên dưới đáy thùng lò phản ứng (2), dầm hẫng (5) được lắp bên dưới và đỡ tấm dẫn hướng (4) này, bẫy corium (8) được lắp bên dưới dầm hẫng (5) này và được trang bị lớp bọc được làm mát dưới dạng bể chứa nhiều lớp để bảo vệ thành trao đổi nhiệt bên ngoài khỏi các tác động động học, nhiệt học và hóa học, và vật liệu điện đầy để làm loãng vật chất nóng chảy bên trong bể chứa nhiều lớp này. Bể chứa nhiều lớp này bao gồm thành kim loại bên ngoài (11) và thành kim loại bên trong (13), ở giữa có lớp điện đầy dẫn nhiệt kém so với vật liệu làm thành.



Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến ngành công nghiệp năng lượng hạt nhân, cụ thể là các hệ thống đảm bảo an toàn cho các nhà máy điện hạt nhân (Nuclear Power Plant - NPP), và có thể được sử dụng khi xảy ra các sự cố nghiêm trọng làm hỏng thùng lò phản ứng và khoang chứa thùng lò phản ứng này.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Các sự cố nóng chảy lõi xảy ra trong nhiều hỏng hóc của các hệ thống làm mát lõi lò gây ra hiểm họa phóng xạ cao nhất.

Trong các sự cố như vậy, vật chất nóng chảy từ lõi - corium, làm nóng chảy các phần bên trong của lò phản ứng và thùng lò phản ứng và chảy ra bên ngoài thùng lò phản ứng này, và do lượng nhiệt dư của corium, có thể ảnh hưởng đến sự toàn vẹn của khoang chứa của NPP, là rào chặn cuối cùng trước khi chất phóng xạ bị phát tán vào môi trường.

Để ngăn ngừa điều này, corium bị thoát ra cần phải bị giữ lại và được làm mát liên tục cho tới khi kết tinh hoàn toàn corium này. Hệ thống làm mát và giữ lại vật chất nóng chảy từ lõi (corium) của lò phản ứng thực hiện chức năng này, ngăn ngừa thiệt hại gây ra cho khoang chứa của NPP và nhờ vậy bảo vệ dân cư và môi trường không bị phơi nhiễm phóng xạ trong trường hợp xảy ra các sự cố nghiêm trọng tại các lò phản ứng hạt nhân.

Hệ thống làm mát phá vỡ lõi khẩn cấp dùng cho lò phản ứng năng lượng hạt nhân được bộc lộ trong Bằng sáng chế Nga RU 2063071 C1, cấp ngày 27/06/1996. Hệ thống này có khoang bê tông chứa nước trong trường hợp xảy ra sự cố. Khoang này được bố trí miệng cống và chứa thùng lò phản ứng và lớp cách nhiệt dưới đáy được đặt phía dưới thùng lò phản ứng này để tạo thành, cùng với đáy này, các kênh truyền nhiệt ở đáy kết hợp với các kênh thoát, kênh nạp trung tâm và các kênh nạp bên được kết nối với kênh nạp trung tâm này. Tất cả các kênh này, cùng với nhau, tạo thành vòng tuần hoàn để làm mát vật chất nóng chảy từ lõi bên trong thùng lò phản ứng này. Nước được đưa qua các kênh nạp bên đến kênh nạp trung tâm, từ đó nước được đưa đến các kênh làm mát để làm mát vật chất nóng chảy từ lõi thông qua đáy của thùng lò phản ứng; hỗn hợp hơi nước - nước được tạo ra trong quá trình đi lên qua các kênh thoát phía trên mực nước trong khoang, trong đó hơi nước được tách ra. Nước đi qua miệng cống đi xuống đáy khoang bê tông. Trong trường hợp thùng lò phản ứng bị phá vỡ, chất nóng chảy được dẫn qua kênh nạp trung tâm này đến phần giữa của vách ngăn được làm bằng vật liệu nóng chảy nhẹ. Các vụ nổ nhiệt làm văng nước ra khỏi các kênh nạp bên này và các kênh thoát này. Chất nóng chảy phá hủy các dây treo các nút đóng van ngắt. Các nút này rơi xuống và các vụ nổ nhiệt bổ sung sẽ nghiền nát các nút này thông qua các nút của chúng, khi đó

van ngắt đóng lại và nước còn lại từ các kênh nạp bên sẽ được thoát ra ngoài bởi hơi nước thông qua các kênh chống giạt. Phần giữa của vách ngăn nóng chảy và vật liệu nóng chảy được thải vào bể khô. Bộ giảm chấn nhiệt ngăn chặn sự sốc nhiệt trên các bộ phận của thùng tích trữ. Sau khi ống góp nhiệt tích trữ trung gian được gia nhiệt đến nhiệt độ cao hơn nhiệt độ ban đầu của các đường ống dẫn nhiệt, nhiệt nóng chảy được truyền cho nước trong phần thoát. Quá trình truyền nhiệt được thực hiện bằng cách tuần hoàn nước (hỗn hợp hơi nước- nước) qua các vòng sau: miệng cống (đoạn dẫn xuống), khoang bê tông, khe hở, đoạn thoát, các đường ống thoát (đoạn thoát).

Bộ thu gom vật chất nóng chảy từ lõi của lò phản ứng hạt nhân được bọc lộ trong Bằng sáng chế Nga RU 2187852 C1, cấp ngày 20/08/2002. Bộ thu gom này được gắn trên các giá đỡ phía dưới bể chứa của lò phản ứng hạt nhân và được chế tạo dưới dạng thùng có đáy hình cầu bao gồm lớp bảo vệ cách nhiệt bằng ziriconi và lớp ngoài bằng thép không gỉ, khác biệt ở chỗ có thêm lớp vật liệu liên kết hóa học các oxit sắt trong chất nóng chảy được bố trí trên lớp bảo vệ cách nhiệt này. Hơn nữa, bộ thu gom này có đặc điểm là lớp bổ sung này được làm bằng oxit neodim (Nd_2O_3).

Thiết bị dùng để định vị và làm mát lớp lót của lò phản ứng hạt nhân nước nhẹ (Light water reactor - LWR) bị hư hỏng được bọc lộ trong Bằng sáng chế Trung Quốc số CN1585034C, cấp ngày 14/03/2007. Thiết kế của bộ thu gom có lớp lót làm mát bao gồm: vỏ dạng giỏ bằng thép được bố trí trong lò phản ứng phụ, trong đó vật liệu thay thế được nạp vào giỏ bằng thép để pha loãng bộ phận chứa urani và bộ phận bằng thép của lớp lót; hình dạng (sự sắp xếp) của vật liệu thay thế này trong lõi lò phản ứng; việc lựa chọn số lượng vật liệu thay thế tối ưu; sự lắp đặt thiết bị dẫn hướng được sử dụng cho lớp lót này chảy vào bể lõi lò phản ứng. Độ dày của phần đáy của áo làm mát lớn hơn độ dày của thành bên của áo làm mát này không ít hơn 30% và áo làm mát này nghiêng so với tâm của nó từ 10 độ đến 20 độ; chất pha loãng và vật liệu thay thế này được làm thành các khối được đóng gói trong vỏ thép.

Theo giải pháp kỹ thuật đã biết trước sáng chế, có thiết bị giữ lại và làm mát corium của lò phản ứng hạt nhân được đặt trong khoang bê tông bên dưới lò phản ứng và bao gồm bể chứa được làm mát bằng nước, các viên nén chứa chất làm loãng corium dạng ô xit có chứa urani được gắn kết bằng vữa xi măng và được đặt trong các lớp khối thép nằm ngang, đáy của khối phía dưới trùng với hình dạng của đáy bể chứa, các khối phía trên có lỗ tâm, và các bộ phận ghép nối các khối này với nhau và với bể chứa được đặt trong các rãnh cắt theo chiều dọc của các khối này (xem Patent Nga số 2514419, cấp ngày 27/4/2014).

Thiết bị nêu trên có một số nhược điểm:

- phần đáy của khối phía dưới trùng với hình dạng của đáy bể chứa không có lỗ tâm, trong khi các khối phía trên có lỗ tâm, gây ra sự "tắc nghẽn" các viên nén chứa chất làm loãng ở khối phía dưới khi phần corium đầu tiên chủ yếu chứa thép và ziriconi nóng

chảy đi vào. Do phần đáy có độ dốc nằm trong khoảng từ 10 độ đến 20 độ, khối lượng của các viên nén chứa chất làm loãng bị "tắc nghẽn" nằm trong khoảng từ 25% đến 35% tổng khối lượng của các viên nén trong bể chứa. Các phần corium tiếp theo chứa chủ yếu urani oxit và ziriconi oxit đi vào sau phần đầu tiên từ một giờ đến ba giờ và không thể tạo ra các điều kiện cần thiết cho phản ứng hóa nhiệt với các viên nén ở khối phía dưới này, do lượng thép đi vào trước đó hoặc đông cứng ở khối phía dưới này (do vậy ngăn cản sự tương tác giữa các viên nén này với urani oxit và ziriconi oxit) hoặc phá hủy kết cấu thép và các bộ phận xiết chặt của khối phía dưới này (sau đó tất cả các viên nén nằm bên trong sẽ nổi lên và tạo thành nắp xỉ phía trên corium),

- công thức xác định khối lượng của chất làm loãng corium dạng oxit có chứa urani không xác định được giới hạn tối thiểu của khối lượng chất làm loãng cần thiết một cách đúng đắn do không xem xét đúng đắn tương quan giữa độ dày của các lớp oxit và các kim loại từ lò phản ứng hạt nhân. Giới hạn dưới theo công thức này phải được tăng thêm 35% trong trường hợp các viên nén bị tắc nghẽn ở khối phía dưới, và được tăng thêm 15% nữa trong trường hợp các viên nén bị thép nóng chảy chặn ở các khối phía trên trước khi bắt đầu đảo ngược các lớp oxit và kim loại. Do vậy, giới hạn dưới dùng để tính toán khối lượng của chất làm loãng phải được nhân với hệ số 1,5.

- khối lượng tối đa của lượng nước dư tính theo phần trăm khối lượng trong chất kết dính bằng xi măng của các viên nén chứa chất làm loãng không vượt quá 8%, điều này dường như không đúng. Theo các kết quả thử nghiệm (xem tài liệu "Investigation of conditions to provide bonding of sacrificial SFAO ceramic with colored mixture brick mortar". Technical information. Ministry of Science and Education of the Russian Federation, State Educational Institution of Higher Professional Training, St. Petersburg State Technological Institute (technical university), 2013, [1]), sự gắn kết hiệu quả các viên nén tạo ra tính khả dụng của thiết kế đòi hỏi tỷ lệ theo khối lượng của nước liên kết hóa học phải là 10%, nếu không sự toàn vẹn của việc sắp xếp các viên nén và tính khả dụng của chúng sẽ bị tổn hại. Luận điểm về việc giảm hàm lượng nước trong chất kết dính bằng xi măng để làm giảm sự giải phóng hydro là không đúng đắn do không xem xét đúng đắn sự tương tác của hơi nước với kết cấu xốp của sự sắp xếp các viên nén.

Theo giải pháp kỹ thuật đã biết trước sáng chế, có kết cấu thành bể chứa của bộ trao đổi nhiệt, được thiết kế cho các thiết bị giữ lại và làm mát corium, bao gồm thành trong và thành ngoài chứa vật liệu điện đầy gốm dạng hạt tương tự về mặt hóa học với vật liệu thay thế, có độ dày phần giữa ít nhất là 100 mm (xem Bảng Mẫu hữu ích Nga số 100326, cấp ngày 10/12/2010).

Kết cấu bể chứa này có các nhược điểm sau:

- vật liệu gốm dạng hạt không tạo ra sự bảo vệ hiệu quả cho thành ngoài của bể chứa của bộ trao đổi nhiệt khỏi tác động nhiệt gây ra bởi vật chất nóng chảy có nhiệt độ cao, vì vật liệu này là chất cách nhiệt hiệu quả có độ dẫn nhiệt trung bình nhỏ hơn 0,5 W/(m K) và trên thực tế không truyền nhiệt đến thành ngoài của bể chứa này cho đến khi kết

thúc quá trình nóng chảy, điều đó làm tăng nguy cơ phá hủy bộ trao đổi nhiệt trong quá trình nhào trộn đối lưu vật liệu dạng hạt bởi vật chất nóng chảy từ lõi này,

- vật liệu gồm dạng hạt không tạo ra sự bảo vệ hóa học đáng tin cậy cho thành ngoài của bể chứa của bộ trao đổi nhiệt, vì trong trường hợp thành trong của bể chứa của bộ trao đổi nhiệt bị phá hủy, vật liệu này có thể tràn ra từ khoảng trống giữa các thành thẳng đứng với tốc độ thoát phụ thuộc vào vùng bị phá hủy, quá trình này sẽ làm rỗng khoảng trống giữa các thành này và làm cho thành ngoài này không có sự bảo vệ hóa học và nhiệt cần thiết, do vậy làm tăng nguy cơ phá hủy bộ trao đổi nhiệt,

- chiều rộng lớn (ít nhất 100 mm) của khe hở giữa thành ngoài và thành trong của bể chứa của bộ trao đổi nhiệt trong quá trình nóng chảy của vật liệu gồm dạng hạt (chứa sắt oxit và nhôm oxit) gây ra sự phân bố lại đáng kể các dòng nhiệt, dòng nhiệt chính không đi qua thành ngoài của bể chứa bộ trao đổi nhiệt, mà đi qua mặt thoáng không được bảo vệ của gương của khối nóng chảy làm tăng nhiệt độ trung bình của corium trong bộ trao đổi nhiệt, do vậy gây ra các quá trình sau đây: gia tăng việc tạo ra sol khí, giải phóng lượng lớn các khí không ngưng tụ, tăng tỏa nhiệt, nung nóng thêm và phá hủy thiết bị nằm ở phía trên, và kết quả là corium chảy tràn ra khỏi vùng được làm mát dẫn đến sự phá hủy bộ trao đổi nhiệt này.

Đây là lý do tại sao việc áp dụng các chất điền đầy gồm dạng hạt mà không có kết nối dẫn nhiệt tốt với thành ngoài của bộ trao đổi nhiệt là không hiệu quả.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Mục đích của sáng chế là loại bỏ các thiếu sót của các sáng chế tương tự.

Hiệu quả kỹ thuật của sáng chế bao gồm tăng hiệu quả loại bỏ nhiệt ra khỏi vật chất nóng chảy và cải thiện độ tin cậy về kết cấu.

Hiệu quả kỹ thuật nói trên đạt được nhờ vào việc hệ thống làm mát và giữ lại vật chất nóng chảy từ lõi lò phản ứng hạt nhân được làm mát và làm chậm bằng nước có chứa tấm dẫn hướng dạng hình nón được lắp bên dưới đáy bể chứa, tấm hẫng được lắp bên dưới tấm dẫn hướng này và đỡ tấm dẫn hướng này, bể corium được lắp bên dưới tấm hẫng này và được trang bị vỏ bọc được làm mát dưới dạng bể chứa nhiều lớp để bảo vệ thành trao đổi nhiệt bên ngoài khỏi các tác động động học, nhiệt học và hóa học, và vật liệu điền đầy dùng để pha loãng vật chất nóng chảy bên trong bể chứa nhiều lớp này, trong đó bể chứa nhiều lớp này của bể corium này bao gồm các thành kim loại ngoài và thành kim loại trong có chất điền đầy ở giữa dẫn nhiệt tốt so với vật liệu chế tạo thành, trong đó độ dày h_{fil} của vật liệu điền đầy này thỏa mãn các yêu cầu sau đây:

$$1,2h_{ext} < h_{fil} < 2,4h_{ext}$$

trong đó h_{ext} là độ dày của thành ngoài của thùng chứa.

Hiệu quả kỹ thuật nói trên đạt được theo các phương án cụ thể của sáng chế nhờ vào:

- thành trong và thành ngoài này được làm bằng thép,
- nhiệt độ nóng chảy của vật liệu điền đầy được áp dụng của bể chứa nhiều lớp này nằm trong khoảng từ 300°C đến 800°C,
- lớp bê tông dẫn nhiệt tốt có nhiệt độ nóng chảy tối đa là 600°C được dùng làm vật liệu điền đầy của bể chứa nhiều lớp này,
- các gân cường lực được kết nối với thành ngoài nhưng không được kết nối với thành trong được đặt giữa thành trong và thành ngoài, trong đó độ dày của gân h_{rib} thỏa mãn điều kiện sau đây: $0,5h_{ext} < h_{rib} < h_{ext}$.
- phần đỉnh của thùng chứa này được trang bị vành, đường kính ngoài của vành này bằng đường kính ngoài của thành ngoài và bề mặt trong của vành này dùng làm giá trượt cho thành trong của thùng chứa.

So với các hệ thống tương tự, hệ thống theo sáng chế bao gồm bể corium có vỏ bọc ba lớp có thành ngoài (bên ngoài) và thành trong bằng kim loại và chất điền đầy của bể chứa nhiều lớp dẫn nhiệt tốt có độ dày thỏa mãn điều kiện sau:

$$1,2h_{ext} < h_{fil} < 2,4h_{ext}$$

Mối tương quan tham số này giúp loại bỏ nhiệt hiệu quả ra khỏi corium mà không tác động đến sự toàn vẹn của thành ngoài vì các lý do sau.

Một mặt, độ dày của chất điền đầy của bể chứa nhiều lớp dẫn nhiệt tốt không được nhỏ hơn $1,2h_{ext}$ vì chất điền đầy mỏng hơn sẽ không tạo ra các dòng nhiệt chéo đối lưu trong lớp điền đầy nóng chảy dẫn đến sự quá nhiệt của chất điền đầy này và không thể thực hiện các chức năng được xác định trước do sự phá hủy của thành trong.

Mặt khác, độ dày của chất điền đầy dẫn nhiệt tốt này không được lớn hơn $2,4h_{ext}$ nếu không sẽ kéo dài quá trình gia nhiệt chất điền đầy ban đầu (tới khi chất điền đầy bị hoá lỏng) cùng quá trình này, trong đó xảy ra sự quá nhiệt và sự phá hủy thành trong.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

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

Fig.1a và Fig. 1b thể hiện thiết kế dạng sơ đồ của hệ thống làm mát và giữ lại vật chất nóng chảy từ lõi của lò phản ứng hạt nhân theo sáng chế; và

Fig.2 thể hiện thiết kế của bể chứa nhiều lớp của bể corium.

Ký hiệu của các bộ phận kết cấu:

- 1 - thùng lò phản ứng,
- 2 - đáy của thùng lò phản ứng,
- 3 - khoang bê tông (khoang lò phản ứng),
- 4 - tấm dẫn hướng,

- 5 - dầm hẫng,
- 6 - lớp bảo vệ nhiệt của dầm hẫng,
- 7 - sàn vận hành,
- 8 - bẫy corium,
- 9 - lớp bảo vệ nhiệt của vành bể chứa nhiều lớp,
- 10 - Vật liệu điền đầy,
- 11 - lớp ngoài bể chứa nhiều lớp,
- 12 - chất điền đầy của bể chứa nhiều lớp,
- 13 - lớp trong bể chứa nhiều lớp,
- 14 - bể gom corium được bạt cấp, dạng côn hoặc hình trụ,
- 15 - lớp xỉ.

Mô tả chi tiết sáng chế

Theo sáng chế, tấm dẫn hướng dạng hình nón 4 được đỡ bởi dầm hẫng 5 có lớp bảo vệ nhiệt 6 được lắp bên dưới đáy 2 của thùng lò phản ứng 1 được đặt trong khoang bê tông 3.

Bên dưới dầm hẫng 5 này, có bẫy corium 8 có lớp vỏ bọc được làm mát (bể chứa) dưới dạng bể chứa nhiều lớp bao gồm các lớp (thành) kim loại ngoài 11 và lớp kim loại trong 13 có chất điền đầy dẫn nhiệt tốt 12 ở giữa.

Bên trong bẫy corium 8 này có vật liệu điền đầy thay thế 10 được dùng để pha loãng corium. Ngoài ra, vật liệu điền đầy 10 này được trang bị cùng bể gom corium được bạt cấp, dạng côn hoặc hình trụ 14 để chứa corium.

Bên cạnh đó, bể chứa của bẫy corium 8 này được bố trí lớp bảo vệ nhiệt 9 cho vành bể chứa nhiều lớp.

Sàn vận hành 7 được đặt trong khoảng trống giữa dầm hẫng 5 này và bẫy 8 này.

Tấm dẫn hướng 4 này được thiết kế để dẫn corium (vật chất nóng chảy từ lõi) vào bẫy 8 này, sau khi thùng lò phản ứng bị phá hủy hoặc bị thùng do nóng chảy. Ngoài ra, tấm dẫn hướng 4 này ngăn ngừa các mảnh vỡ lớn của các phần trong của thùng lò này, các bó nhiên liệu và đáy thùng lò phản ứng rơi vào bẫy 8 này và bảo vệ dầm hẫng 5 này và các đường dây thông tin của dầm hẫng 5 này trong trường hợp corium từ thùng lò phản ứng 1 này đi vào bẫy 8 này. Tấm dẫn hướng 4 này còn bảo vệ khoang bê tông 3 này không tiếp xúc trực tiếp với vật chất nóng chảy từ lõi. Tấm dẫn hướng 4 này được phân chia bởi các gân cường lực thành các ngăn cho vật chất nóng chảy từ lõi chảy xuống. Các gân cường lực này giữ đáy 2 của thùng lò phản ứng với vật chất nóng chảy để ngăn không cho đáy này che mất các lỗ của các ngăn của tấm dẫn hướng 4 này và chặn dòng vật chất nóng chảy này chảy xuống trong trường hợp đáy này bị phá hủy hoặc bị biến dạng dẻo

nghiêm trọng. Bên dưới bề mặt của tấm dẫn hướng hình nón này có hai lớp bê tông: lớp bê tông thay thế (sắt oxit bazơ và nhôm oxit bazơ) ngay dưới bề mặt này, và lớp bê tông chịu nhiệt có tính ổn định nhiệt (nhôm oxit bazơ) bên dưới lớp bê tông thay thế này. Khi lớp bê tông thay thế này bị hòa tan trong vật chất nóng chảy, nó làm tăng vùng trống trong các ngăn của tấm dẫn hướng trong trường hợp có tắc nghẽn (khi corium bị đông cứng trong một hoặc vài ngăn), điều đó cho phép ngăn ngừa sự quá nhiệt và phá hủy các gân cường lực, nghĩa là tắc nghẽn hoàn toàn vùng trống và tiếp đó là phá hủy tấm dẫn hướng. Lớp bê tông chịu nhiệt có tính ổn định nhiệt tạo ra sự bền vững của kết cấu khi lớp bê tông thay thế này bị giảm độ dày. Lớp bê tông này bảo vệ thiết bị nằm bên dưới không bị tác động của corium, ngăn không cho corium làm nóng chảy hoặc phá hủy tấm dẫn hướng 4 này.

Dầm hẫng 5 này không chỉ bảo vệ bể 8 này mà còn bảo vệ cả các đường dây thông tin bên trong của toàn bộ hệ thống giữ lại và làm mát corium khỏi sự phá hủy bởi corium và dùng làm giá đỡ cho tấm dẫn hướng 4 này truyền các tác động tĩnh và động đến dầm hẫng 5 này được gắn chặt trong khoang bê tông 3 của lò phản ứng. Dầm hẫng 5 này còn đảm bảo tính khả dụng của tấm dẫn hướng 4 này trong trường hợp nó bị phá hủy từng phần khi khả năng chịu lực của các gân bị tổn hại.

Dầm hẫng 5 này bao gồm:

- các ống bao nối với các bộ cảm biến đo đặc và điều khiển (Instrumentation and Control - I&C),
- các đường ống phun corium (đầu gom có các đường ống phân phối) kết nối với các nguồn cấp nước làm mát từ các nguồn bên ngoài, nước làm mát này được cấp bởi các đường ống phun này được phun vào corium từ dầm hẫng phía trên,
- các đường ống tháo hơi nước để thải hơi nước từ khoang bê tông 3 này bên dưới lò phản ứng ra vùng áp lực khi corium được làm mát trong bể corium 8 này, các đường ống này tháo hơi nước bão hòa mà không làm vượt quá áp suất cho phép trong khoang bê tông 3 này,
- các đường ống cấp không khí để cấp không khí cho việc làm mát tấm dẫn hướng 4 này khi vận hành bình thường.

Bể 8 này giữ lại và làm mát vật chất nóng chảy từ lõi bên dưới lò phản ứng trong khoang bê tông 3 của lò phản ứng trong trường hợp thùng lò phản ứng 1 bị thùng do nóng chảy hoặc bị phá hủy bởi bề mặt trao đổi nhiệt luân chuyển và sự truyền nhiệt đến các khối nước sôi lớn. Bể 8 này được lắp trong móng của khoang bê tông 3 của lò phản ứng trên các bộ phận được gắn vào.

Theo sáng chế, lớp vỏ bọc của bể 8 này là bể chứa nhiều lớp, bao gồm:

- lớp kim loại bên ngoài 11: lớp vỏ bọc ngoài được tạo thành bởi thành và đáy,

- chất điện đầy 12 được làm bằng vật liệu dẫn nhiệt tốt so với vật liệu thành, nghĩa là vật liệu có khả năng truyền nhiệt cao hơn khả năng truyền nhiệt của vật liệu thành.

- lớp kim loại bên trong 13: lớp vỏ bọc trong được tạo thành bởi thành và đáy.

Thành bên ngoài 11 này có thể được làm bằng thép, như mác 22K, 20K, có độ dày thành nằm trong khoảng từ 10 mm đến 70 mm và độ dày đáy nằm trong khoảng từ 70 mm đến 120 mm.

Thành bên trong 13 này có thể được làm bằng thép, chẳng hạn như mác 22K, 20K, 09G2S, có độ dày thành nằm trong khoảng từ 15 mm đến 40 mm và độ dày đáy nằm trong khoảng từ 20 mm đến 40 mm.

Lớp điện đầy 12 được làm bằng vật liệu có nhiệt độ nóng chảy nằm trong khoảng từ 300°C đến 800°C, ưu tiên bê tông có nhiệt độ nóng chảy thấp với nhiệt độ nóng chảy tối đa là 600°C.

Độ dày h_{fil} của lớp điện đầy 12 này phải thỏa mãn điều kiện sau: $1,2h_{ext} < h_{fil} < 2,4h_{ext}$, trong đó h_{ext} là độ dày thành ngoài của bể chứa. Giá trị nhỏ hơn được giả định cho độ dày thành trong nhỏ hơn $0,5h_{ex}$ và ngược lại với giá trị lớn hơn.

Cụ thể, độ dày của lớp điện đầy 12 này có thể là h_{fil} = từ 70 mm đến 150 mm.

Phần đỉnh của bể chứa nhiều lớp của bể 8 này được trang bị vành, đường kính ngoài của vành này bằng đường kính ngoài của thành ngoài và bề mặt bên trong của vành này dùng làm giá trượt cho thành trong của thùng chứa.

Lớp bên trong 13 của thùng chứa nhiều lớp của bể 8 này có thể bao gồm thêm lớp xỉ 15 được đặt trên bề mặt bên trong của lớp bên trong 13 của thùng chứa nhiều lớp này. Lớp xỉ 15 này có thể được tạo thành trước hoặc được tạo thành trong quá trình làm mát corium. Tùy thuộc vào các điều kiện trao đổi nhiệt và nhiệt hóa học, độ dày của lớp xỉ này nằm trong khoảng từ 0,1 mm cho đến 5 mm trong giai đoạn đầu của quá trình làm mát corium, sau đó, khi corium được làm mát, độ dày của lớp vảy xỉ có thể tăng lên đáng kể. Thành phần lớp xỉ này có nền là ít nhất một trong các oxit sau: oxit ziriconi, oxit nhôm, oxit sắt, với điều kiện hàm lượng nền tối thiểu của lớp xỉ này là 20% theo khối lượng.

Ngoài ra, bể chứa nhiều lớp của bể 8 này có thể có các gân cường lực bổ sung (không được thể hiện trong các hình vẽ) được đặt giữa thành ngoài và thành trong. Các gân này được kết nối với thành ngoài bằng các mối nối vật lý, nhưng không được kết nối với thành trong.

Độ dày h_{rib} của gân chịu lực phải thỏa mãn điều kiện sau: $0,5h_{ext} < h_{rib} < h_{ext}$, trong đó giá trị nhỏ được giả định cho độ dày thành trong nhỏ hơn $0,5h_{ext}$ và ngược lại đối với giá trị lớn.

- Giá trị nhỏ không thể nhỏ hơn $0,5h_{ext}$ vì tính bất ổn cơ nhiệt của các gân (sự biến dạng kết cấu nghiêm trọng xảy ra dưới tác động động lực kể cả khi có lớp điện đầy),

- Giá trị lớn không thể vượt quá h_{ext} do không loại bỏ nhiệt ra khỏi lớp bên ngoài 11 của thùng chứa nhiều lớp này: bề mặt trao đổi nhiệt này trở nên quá nhiệt và tan chảy.

Các gân chịu lực có thể đi qua lớp thành bên trong 13 của thùng chứa nhiều lớp này đi vào trong khoang trong của bể 8 này tạo thành khung bảo vệ.

Ví dụ thực hiện sáng chế

Thiết kế thùng chứa nhiều lớp:

- đường kính: 6m,
- thành bên ngoài 11: thành làm bằng thép 22K, dày 60 mm, và đáy làm bằng thép 25K, dày 90 mm,
- thành bên trong 13: thành làm bằng thép 22K, dày 30 mm, và đáy làm bằng thép 22K, dày 30 mm,
- lớp điền đầy 12: bê tông có nhiệt độ nóng chảy thấp có nhiệt độ nóng chảy khoảng 600°C,
- lớp xi: hỗn hợp oxit sắt, oxit nhôm và oxit ziriconi, có độ dày 0,5 mm,
- các gân chịu lực: thép 22K, dày 40 mm.

Vật liệu điền đầy 10 tạo ra sự phân bố theo thể tích của corium trong bể corium 8 này, được thiết kế để oxy hóa và hòa tan corium để giảm sự giải phóng năng lượng theo thể tích và tăng bề mặt trao đổi nhiệt giữa corium phát ra năng lượng và thành bên ngoài 11 của bể chứa nhiều lớp này, cũng như góp phần vào việc tạo ra các điều kiện để các phần corium chứa nhiên liệu nổi lên trên lớp thép. Vật liệu điền đầy 10 này có thể được làm bằng thép và các thành phần oxit bao gồm sắt oxit, nhôm oxit và ziriconi oxit, có các kênh để phân phối corium không chỉ trong phần hình trụ, mà cả trong khoang hình nón ở đáy.

Sàn vận hành 7 tạo ra sự bảo vệ nhiệt cho phần đỉnh của bể 8 này, cho phép thực hiện kiểm tra trực quan thùng lò phản ứng 1 khi bảo dưỡng dự phòng định kỳ bằng cách tạo ra lối tiếp cận đến:

- vật liệu điền đầy 10 này để chỉnh sửa và loại bỏ nước trong trường hợp có các sự cố rò rỉ,
- các bộ phận áp lực bảo vệ vật liệu điền đầy 10 này khỏi các sự cố rò rỉ,
- bộ cảm biến đo đặc và điều khiển (I&C) ở các đầu ống bao để sửa chữa hoặc thay thế cảm biến.

Hệ thống theo sáng chế hoạt động như sau:

Tại thời điểm thùng lò phản ứng 1 bị phá hủy, vật chất nóng chảy từ lõi bị tác động bởi áp suất thủy tĩnh và quá mức bắt đầu di chuyển đến bề mặt của tấm dẫn hướng 4 này được đỡ bởi dầm hẫng 5 này.

Khi vật chất nóng chảy từ lõi chảy xuống qua các ngăn của tấm dẫn hướng 4 này, vật chất nóng chảy từ lõi đi vào bên trong bể chứa nhiều lớp của bể 8 này và tiếp xúc với vật liệu điện đầy 10 này.

Trong trường hợp dòng chảy xuống của corium bất đối xứng từng phần, các lớp bảo vệ nhiệt 6 của dầm hẫng 5 này và sàn vận hành 7 này bắt đầu nóng chảy. Khi bị phá hủy, các lớp bảo vệ nhiệt này làm giảm tốc động nhiệt của corium lên thiết bị được bảo vệ trong khi làm giảm nhiệt độ và khả năng phản ứng hóa học của chính corium.

Đầu tiên, corium điện đầy bể gom 14, tiếp đó, khi các thành phần kết cấu thép khác của vật liệu điện đầy 10 bị nóng chảy, chúng điện đầy các khoảng trống giữa các thành phần phi kim loại của vật liệu điện đầy 10. Các thành phần phi kim loại của vật liệu điện đầy 10 này được kết nối với nhau bằng xi măng đặc biệt cung cấp khả năng thiêu kết các thành phần phi kim loại này với nhau tạo thành kết cấu ngăn ngừa các thành phần của vật liệu điện đầy 10 này nổi lên trong vật chất nóng chảy từ lõi nặng hơn. Do các thành phần phi kim loại này được thiêu kết với nhau, sự kết lại này đủ bền vững khi các bộ phận xiết chặt bằng thép của vật liệu điện đầy 10 này mất bền vững. Do vậy, sự giảm bền vững của thành phần thép của vật liệu điện đầy 10 này khi nhiệt độ tăng được bù đắp bởi sự tăng độ bền vững của thành phần phi kim loại của vật liệu điện đầy 10 này trong quá trình thiêu kết. Sau khi các thành phần thép của vật liệu điện đầy 10 này bị nóng chảy và hòa tan, tương tác bề mặt của các thành phần phi kim loại của vật liệu điện đầy 10 này với các thành phần của vật chất nóng chảy từ lõi được bắt đầu. Thiết kế của vật liệu điện đầy này, các đặc tính vật lý và hóa học, được lựa chọn để tạo ra hiệu quả tối đa cho sự hòa tan vật liệu điện đầy này trong vật chất nóng chảy từ lõi, ngăn ngừa sự tăng nhiệt độ của corium, giảm sự tạo thành sol khí và sự truyền nhiệt bức xạ từ gương của khối nóng chảy, giảm tạo thành hydro và các khí không ngưng tụ khác. Một trong các thành phần của vật liệu điện đầy này là sắt (III) oxit (Fe_2O_3) có nhiều mức độ oxy hóa khác nhau, làm oxy hóa ziriconi, oxy hóa hoàn toàn urani đioxit và pluton đioxit trong quá trình tương tác của vật liệu điện đầy này với vật chất nóng chảy từ lõi, do đó ngăn cản được pha kim loại của chúng, và đảm bảo oxy hóa hoàn toàn các thành phần corium khác, điều đó cho phép ngăn cản sự phân ly phóng xạ của hơi nước và ngăn chặn hấp thụ oxy từ khí quyển phía trên bề mặt gương của khối nóng chảy. Điều đó tiếp tục làm giảm đáng kể sự tạo thành hydro. Sắt (III) oxit (Fe_2O_3) giải phóng oxy trong quá trình này và có thể khử oxy cho đến khi chỉ còn sắt kim loại.

Vật chất nóng chảy từ lõi này được tháo vào vật liệu điện đầy 10 này theo hai giai đoạn: ở giai đoạn thứ nhất, chủ yếu thép và ziriconi nóng chảy cùng với hỗn hợp các oxit từ thùng lò phản ứng 1 chảy vào vật liệu điện đầy 10 này, và ở giai đoạn thứ hai, các thành phần chính của vật chất nóng chảy từ lõi chảy vào vật liệu điện đầy là các oxit khó nóng chảy ở dạng lỏng cùng với hỗn hợp các kim loại. Khi xem xét quá trình này, tồn tại hai loại tương tác khác nhau giữa vật chất nóng chảy từ lõi với vật liệu điện đầy 10 này: 1) các thành phần kim loại của vật chất nóng chảy từ lõi này tương tác với các thành phần

của vật liệu điện đầy này và làm nóng chảy chúng, trong đó ziriconi kim loại dạng lỏng từ vật chất nóng chảy từ lõi này bị oxy hóa trong quá trình tương tác biên với các thành phần phi kim loại của vật liệu điện đầy này nổi lên sau khi nóng chảy và tạo thành lớp sắt oxit và ziriconi oxit nhẹ phía trên lớp các kim loại nóng chảy này, 2) các thành phần oxit của vật chất nóng chảy từ lõi này tương tác với cả các kết cấu kim loại và các thành phần phi kim loại của vật liệu điện đầy, làm nóng chảy và hòa tan chúng, trong khi ziriconi, crôm và một số kim loại nóng chảy khác có trong phần oxit của vật chất nóng chảy từ lõi bị oxy hóa trong quá trình tương tác với các thành phần phi kim loại của vật liệu điện đầy này. Tương tác nhiều giai đoạn phức tạp như vậy làm oxy hóa hơn nữa phần oxit nóng chảy và oxy hóa các thành phần hoạt động nhất của phần kim loại nóng chảy, tạo ra corium có các đặc tính được xác định trước, cho phép giữ lại corium này trong một thể tích giới hạn và thực hiện quá trình làm mát corium này một cách lâu dài an toàn và hiệu quả.

Tương tác của corium với vật liệu điện đầy 10 này làm giảm nhiệt độ của corium được tạo ra khoảng từ 1,5 lần đến 2 lần, điều đó cho phép làm giảm dòng nhiệt bức xạ từ gương của khối nóng chảy đến dầm hẫng, tấm dẫn hướng và đáy thùng lò phản ứng phía trên tấm dẫn hướng này một cách đáng kể. Để giảm các dòng nhiệt bức xạ từ gương của khối nóng chảy và sự phát sinh các hạt khí dung một cách hiệu quả hơn, các nắp xi cả tự nhiên và nhân tạo được sử dụng, chúng được tạo thành trong quá trình nóng chảy bê tông có mục đích đặc biệt do sự tỏa nhiệt từ gương của khối nóng chảy và cả khi corium nóng chảy dạng lỏng tương tác với vật liệu điện đầy này. Độ dày và thời gian tồn tại của nắp xi được lựa chọn để giảm thiểu tác động của gương của khối nóng chảy lên thiết bị được đặt phía trên trong trường hợp xấu nhất ở giai đoạn đầu của việc giữ lại corium: khi chảy vào vật liệu điện đầy 10 này và tích tụ trong thùng chứa của bể corium. Thời gian để vật chất nóng chảy từ lõi đi vào thùng chứa của bể corium này có thể lên đến vài giờ, trong khi dòng vào của pha oxit rất không đều và có thể được tiếp nối bởi sự thay đổi đáng kể hoặc sự chấm dứt tạm thời của dòng này.

Phản ứng hóa học của vật liệu điện đầy 10 này và vật chất nóng chảy từ lõi này dần dần làm thay đổi thành phần và kết cấu của corium. Ở giai đoạn khởi đầu, vật chất nóng chảy từ lõi này có thể thay đổi từ kết cấu đồng nhất thành kết cấu lớp kép: thông thường hỗn hợp của thép và ziriconi nóng chảy phía trên cùng với vật chất nóng chảy từ các oxit khó nóng chảy được trộn lẫn với các kim loại ở đáy, tỉ trọng vật chất nóng chảy từ oxit khó nóng chảy trung bình cao hơn 25% so với tỉ trọng của hỗn hợp kim loại nóng chảy. Dần dần, khi vật liệu điện đầy này bị hòa tan trong các oxit dạng lỏng của vật chất nóng chảy từ lõi này, thành phần của corium, cụ thể là phần oxit của nó, bị thay đổi: sự thay đổi tỉ trọng của oxit dạng lỏng mạnh hơn sự thay đổi tỉ trọng của các kim loại nóng chảy. Quá trình này dẫn đến sự giảm liên tục của chênh lệch tỉ trọng giữa phần kim loại dạng lỏng và phần oxit của corium. Khối lượng ban đầu của các vật liệu thay thế dạng phi kim loại trong vật liệu điện đầy này được lựa chọn để đảm bảo sự hòa tan của các vật liệu thay thế dạng phi kim loại trong các oxit khó nóng chảy dạng lỏng từ lõi với lượng sao cho tỉ trọng

thu được của vật chất nóng chảy dạng oxit mới sẽ nhỏ hơn tỉ trọng của phần kim loại nóng chảy của corium. Khi tỉ trọng của oxit dạng lỏng trở nên nhỏ hơn tỉ trọng của kim loại nóng chảy, sự nghịch chuyển xảy ra trong bể corium nóng chảy: các oxit dạng lỏng nổi lên, và phần kim loại nóng chảy của corium đi xuống. Kết cấu corium mới cho phép thực hiện việc làm mát gương của khối nóng chảy bằng nước một cách an toàn. Khi các oxit dạng lỏng đi đến bề mặt, nước làm mát không tạo ra nguy cơ nổ hơi nước do các đặc tính lý nhiệt của các oxit dạng lỏng, và không tham gia vào các phản ứng hóa học sinh hydro, không chịu sự phân hủy nhiệt do nhiệt độ tương đối thấp của gương của khối nóng chảy. Sự nghịch chuyển của các oxit và các kim loại dạng lỏng cho phép tạo ra dòng nhiệt ổn định hơn qua bể chứa của bể corium đến bể thu nhiệt cuối cùng, nước, gây ra do các đặc tính lý nhiệt khác nhau của các oxit dạng lỏng và các kim loại nóng chảy.

Nhiệt được truyền từ corium đến bể 8 này theo ba giai đoạn. Ở giai đoạn thứ nhất, khi chủ yếu là các kim loại nóng chảy chảy vào bể gom 14 của vật liệu điền đầy 10 này, sự trao đổi nhiệt giữa các lớp 11-13 của bể chứa nhiều lớp của bể 8 và vật chất nóng chảy không đặc biệt mạnh: nhiệt được tích tụ bởi vật chất nóng chảy bị tiêu tán chủ yếu vào việc gia nhiệt và làm nóng chảy một phần các thành phần kết cấu của vật liệu điền đầy 10 này. Phần dưới của bể 8 này được gia nhiệt đều và không có đặc điểm nào đáng kể. Lưu ý rằng đáy hình nón của bể 8 này dày hơn trung bình 30% so với phần hình trụ của nó, và việc truyền nhiệt đối lưu theo phương thẳng đứng từ trên xuống kém hiệu quả hơn đáng kể so với việc truyền nhiệt đối lưu tỏa tròn hoặc truyền nhiệt đối lưu theo phương thẳng đứng từ đáy lên trên, quá trình gia nhiệt đáy của bể 8 này chậm hơn đáng kể so với việc gia nhiệt phần hình trụ của bể 8 này sau đó.

Ở giai đoạn thứ hai, khi các oxit khó nóng chảy dạng lỏng lẫn át, mức độ nóng chảy của corium tăng đáng kể (xét đến sự hòa tan của các vật liệu điền đầy). Phần oxit của corium giải phóng năng lượng. Sự giải phóng năng lượng được phân bố giữa các phần oxit và kim loại của corium theo tỷ lệ khoảng 9 trên 1, dẫn đến lượng lớn nhiệt lượng thoát ra từ phần oxit của corium. Do tỉ trọng của phần oxit của corium ở giai đoạn khởi đầu của việc tương tác với vật liệu điền đầy cao hơn nhiều so với tỉ trọng của kim loại nóng chảy, sự phân tầng và tái phân bố các thành phần của corium trở nên khả thi: các kim loại nóng chảy ở phía trên và các oxit khó nóng chảy ở dưới đáy. Trong điều kiện như vậy, đáy của bể 8 này không bị gia nhiệt đáng kể bởi các oxit khó nóng chảy do sự truyền nhiệt đối lưu được hướng từ trên xuống dưới, và sự dẫn nhiệt của lớp vỏ oxit trên ranh giới “thành bể chứa/oxit” là không đáng kể và trung bình không vượt quá 1 W/(m K). Lớp vỏ oxit này, bao gồm các oxit khó nóng chảy bị nóng chảy (lần xỉ), được tạo thành do việc làm mát vật chất nóng chảy dạng oxit trên ranh giới “oxit/kim loại”, do kim loại có độ dẫn nhiệt cao hơn nhiều lần so với các oxit và có thể tạo ra sự truyền nhiệt tốt hơn đến bể thu nhiệt cuối cùng, nước. Hiệu ứng này được sử dụng để giữ lại corium một cách đáng tin cậy, cho phép ngăn cản sự tương tác hóa học của các thành phần của corium với lớp ngoài 11 của bể chứa nhiều lớp được tải nhiệt bằng nước và tạo ra sự bảo vệ nhiệt cho nó. Các kim loại nóng chảy phía trên các oxit dạng lỏng thường nhận năng

lượng do sự truyền nhiệt đối lưu với các oxit dạng lỏng, hướng truyền nhiệt là từ đáy lên trên. Điều kiện như vậy có thể dẫn đến sự quá nhiệt của phần kim loại nóng chảy của corium và sự phân bố không đều một cách đáng kể của các dòng nhiệt đi qua các lớp 11-13 của bể chứa nhiều lớp của bể 8 này đến bể thu nhiệt cuối cùng, trong khi làm tăng tỉ trọng dòng nhiệt bởi bức xạ từ gương của khối nóng chảy. Không có lần xỉ hoặc rào chắn tự nhiên nào bảo vệ thùng chứa nhiều lớp khỏi sự quá nhiệt được hình thành trong vùng tương tác giữa thùng chứa nhiều lớp 11-13 của bể 8 và phần kim loại nóng chảy của corium. Vấn đề này được giải quyết bởi các cách bố trí trong thiết kế.

Ở giai đoạn thứ ba, corium tương tác với vật liệu điền đầy 10 này khi corium này đi ra khỏi thành bên trong 13 của bể chứa nhiều lớp này. Vào thời điểm đó, thành bên ngoài 11 của bể chứa nhiều lớp này ở phía khoang 3 của lò phản ứng được đổ đầy nước. Bể corium 8 này được lắp trong khoang 3 của lò phản ứng và được nối với bể thu gom chất tải nhiệt trong vòng sơ cấp của lò phản ứng khi có các sự cố trong phạm vi thiết kế hay vượt quá thiết kế, nước được cấp cho vòng sơ cấp này từ các hệ thống an toàn. Để ngăn ngừa thành bên ngoài 11 của bể chứa nhiều lớp được truyền nhiệt bởi vật chất nóng chảy từ lõi (corium) nhiệt độ cao, bể corium 8 này được thiết kế dưới dạng bể chứa nhiều lớp như được mô tả trên đây. Trong trường hợp này, có thể phân bố các tải nhiệt và tải trọng cơ học giữa các lớp 11-13 của bể chứa nhiều lớp này: các tải nhiệt chính được thu nhận bởi thành bên trong 13, và các tải trọng cơ học chính (chấn động và áp lực) được thu nhận bởi thành bên ngoài 11. Việc truyền các tải trọng cơ học từ thành bên trong 13 này đến thành bên ngoài 11 này được đảm bảo bởi các gân được lắp trên bề mặt trong của thành bên ngoài 11 này và dùng làm giá trượt cho với thành bên trong 13 này. Với thiết kế kết cấu này, lớp bên trong 13 này truyền các ứng lực từ các tải trọng cơ học và các biến dạng nhiệt đến thành bên ngoài 11 được làm mát thông qua các gân và có thể di chuyển khi giãn nở nhiệt bất kể có thành ngoài hay không. Để giảm thiểu các ứng suất nhiệt từ lớp điền đầy 12 này và lớp bên trong 13 này, các gân được nối với lớp bên ngoài 11 này bằng cách sử dụng hãm nhiệt.

Lớp điền đầy 12 của thùng chứa nhiều lớp này làm bằng vật liệu dẫn nhiệt tốt (bê tông có nhiệt độ nóng chảy thấp) nằm giữa lớp bên trong 13 này và lớp bên ngoài 11 này của thùng chứa cung cấp sự truyền nhiệt từ lớp bên trong của thùng chứa tới lớp bên ngoài. Lớp bên trong 13 này được gia nhiệt bởi corium và nhiệt được truyền đến lớp điền đầy 12 này (bê tông có nhiệt độ nóng chảy thấp). Đầu tiên, trong quá trình dẫn nhiệt, lớp điền đầy này được gia nhiệt lên đến nhiệt độ nóng chảy, sau đó, khi bề rộng của khu vực bị nóng chảy tăng lên, sự truyền nhiệt đối lưu giữa lớp bên trong 13 này và lớp điền đầy 12 chưa bị nóng chảy này được khởi động. Quá trình này được tiếp tục cho đến khi lớp điền đầy 12 này bị nóng chảy hoàn toàn với sự giải phóng dòng nhiệt từ lớp trong ra lớp ngoài. Quá trình nóng chảy của lớp điền đầy 12 này diễn ra nhanh vì tính dẫn nhiệt cao của vật liệu này, do đó, trên thực tế tất cả dòng nhiệt từ lớp bên trong sẽ bị hấp thụ bởi vật liệu điền đầy. Vì mục đích này, độ dày của lớp điền đầy được lựa chọn để thỏa mãn hai điều kiện chính sau đây: 1) thời gian nóng chảy của bê tông phải ngắn hơn đáng kể so với thời

gian gia nhiệt tới hạn thành bên trong dẫn đến mất bền vững, 2) mức độ truyền nhiệt đối lưu phải được tạo ra giữa thành bên trong và thành bên ngoài sao cho tỉ trọng dòng nhiệt được truyền từ thành bên trong đến bề tông nóng chảy phải được giảm từ 1,5 lần đến 2 lần trong quá trình truyền từ bề tông nóng chảy đến lớp ngoài (thành ngoài) do việc truyền nhiệt - chuyển khối đối lưu trong bề tông nóng chảy. Điều kiện thứ nhất được thỏa mãn nhờ thiết kế kết cấu: lựa chọn vật liệu điền đầy 10 có độ xốp lớn để tạo ra dòng nhiệt vừa phải đến lớp trong của bể chứa ở giai đoạn khởi đầu của quá trình tương tác giữa corium với vật liệu điền đầy cho phép làm nóng chảy khối đầy điền mà không làm mất độ bền vững của lớp trong của bể chứa trong khi nhiệt độ của nó tăng lên. Độ xốp lớn như vậy cho phép loại trừ tác động của toàn bộ corium lên bề mặt bên trong của lớp trong của bể chứa bằng cách hạn chế tác động này trong khoảng xấp xỉ một phần mười của tổng năng lượng được giải phóng từ sự giải phóng năng lượng dư và các phản ứng hóa học với các thành phần của vật liệu điền đầy 10 trong corium trong khoảng thời gian hạn chế ở giai đoạn đầu của sự tương tác. Ở giai đoạn cuối cùng của sự tương tác của vật chất nóng chảy từ lõi với vật liệu điền đầy 10, lớp trong của bể chứa bị gia nhiệt đến nhiệt độ thiết kế và bề tông có điểm nóng chảy thấp dạng lỏng tạo ra sự truyền nhiệt đối lưu đến lớp ngoài của bể chứa và tiếp tục đến bề thu nhiệt cuối cùng (nước) trong vùng tiếp xúc nhiệt giữa corium và lớp trong của bể chứa. Điều kiện chính thứ hai được thỏa mãn nhờ các đặc tính của bề tông có điểm nóng chảy thấp dạng lỏng và các thông số của khoang giữa các lớp của bể chứa, trong đó việc truyền nhiệt - chuyển khối đối lưu đảm bảo mức độ giảm được định trước của tỉ trọng dòng nhiệt trong quá trình truyền nó từ lớp trong đến lớp ngoài.

Giới hạn tỉ trọng của dòng nhiệt đi qua thành bên ngoài 11 này của bể chứa nhiều lớp này cần phải đảm bảo truyền nhiệt ổn định và không tới hạn đến bề thu nhiệt cuối cùng, nghĩa là nước vòng quanh bể corium 8 này. Nhiệt này được truyền đến nước trong chế độ “đun sôi trong bể”, cách này tạo ra khả năng loại bỏ nhiệt thụ động trong khoảng thời gian không hạn chế. Chức năng hạn chế dòng nhiệt được thực hiện bởi hai thành phần của hệ thống làm mát và giữ lại vật chất nóng chảy từ lõi của lò phản ứng hạt nhân này.

Thành phần thứ nhất là vật liệu điền đầy 10, một mặt tạo ra sự pha loãng và làm tăng thể tích của phần sinh nhiệt của corium này, nhờ vậy cho phép tăng diện tích trao đổi nhiệt trong khi làm giảm tỉ trọng của dòng nhiệt đi qua thành bên ngoài 11 của bể corium 8 này, và mặt khác tạo ra sự nghịch chuyển giữa phần oxit và phần kim loại của corium này với phần oxit di chuyển lên và phần kim loại lỏng di chuyển xuống trong khi làm giảm các dòng nhiệt lớn nhất đến thành bên ngoài 11 bằng cách tái phân bố các dòng nhiệt trong phần dưới của bể corium 8 này. Thành phần thứ hai là lớp điền đầy 12 của bể chứa nhiều lớp, tạo ra sự giảm (làm phẳng) các dòng nhiệt lớn nhất tại thành bên ngoài 11 bằng cách tạo ra lớp vảy xỉ khó nóng chảy đảm bảo sự tái phân bố các dòng nhiệt lớn nhất từ corium này theo chiều cao và mặt phương vị của thành bên ngoài 11 của bể corium 8 này.

Hơi nước được tạo thành trên bề mặt thành bên ngoài 11 đi lên và đi qua các kênh thoát hơi nước đến khoang chứa ở đó hơi nước này ngưng tụ. Chất lỏng ngưng tụ chảy từ khoang chứa này đến bể gom được kết nối bởi các đường dẫn dòng chảy với khoang lò phản ứng 3 nơi lắp bể corium 8 này. Vì vậy, trong trường hợp việc làm mát bể corium kéo dài, thì đảm bảo được việc tuần hoàn nước làm mát và việc loại bỏ nhiệt ổn định từ thành bên ngoài 11. Corium trong bể 8 này dần dần hạ nhiệt do nhiệt lưu và nhiệt từ sự giải phóng năng lượng dư giảm xuống. Ở giai đoạn khởi đầu của việc làm mát vật chất nóng chảy sau khi tương tác với vật liệu điền đầy 10 được hoàn tất, sự trao đổi nhiệt chính được thực hiện qua thành bên ngoài 11 của bể chứa nhiều lớp. Sau khi nước được cấp vào trong bể 8 này, các dòng nhiệt dần dần dịu lại: dòng nhiệt qua thành bên ngoài 11 trở nên ngang bằng với dòng nhiệt từ bề mặt corium. Ở giai đoạn cuối, corium này có thể được làm mát trực tiếp bằng nước được cấp vào bể corium 8 này, điều này là khả thi nếu corium này tạo ra kết cấu thấm nước trong quá trình corium đông đặc.

Do vậy, nhìn tổng thể, bể 8 này của hệ thống làm mát và giữ lại vật chất nóng chảy từ lõi của lò phản ứng hạt nhân được làm mát và làm chậm bằng nước này cho phép làm tăng hiệu quả loại bỏ nhiệt ra khỏi chất nóng chảy trong khi vẫn duy trì sự toàn vẹn của thành bên ngoài 11 của bể chứa nhiều lớp này.

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Hệ thống làm mát và giữ lại vật chất nóng chảy từ lõi của lò phản ứng hạt nhân được làm mát và làm chậm bằng nước, bao gồm:

tấm dẫn hướng dạng hình nón (4) được làm thích ứng để được lắp bên dưới đáy thùng lò phản ứng (2),

dầm hẫng (5) được lắp bên dưới tấm dẫn hướng (4) này và đỡ tấm dẫn hướng (4),

bể corium (8) được lắp bên dưới dầm hẫng (5) và được trang bị lớp bọc được làm mát dưới dạng bể chứa nhiều lớp để bảo vệ thành trao đổi nhiệt ngoài khỏi các tác động động lực, nhiệt và hóa học, và

vật liệu điền đầy (10) dùng để làm loãng vật chất nóng chảy, nằm bên trong bể chứa nhiều lớp này,

trong đó bể chứa này có thành kim loại bên ngoài (11) và thành kim loại bên trong (13) có lớp điền đầy (12) ở giữa dẫn nhiệt tốt so với vật liệu làm thành, trong đó độ dày h_{fil} của vật liệu điền đầy (12) này thỏa mãn điều kiện sau đây:

$$1,2h_{ext} < h_{fil} < 2,4h_{ext}$$

trong đó h_{ext} là độ dày của thành bên ngoài (11) của bể chứa này.

2. Hệ thống theo điểm 1, trong đó thành trong (13) và thành ngoài (11) được làm bằng thép.

3. Hệ thống theo điểm 1, trong đó sử dụng chất điền đầy (12) có điểm nóng chảy từ 300°C đến 800°C.

4. Hệ thống theo điểm 1, trong đó sử dụng lớp bê tông dẫn nhiệt tốt có nhiệt độ nóng chảy tối đa là 600°C làm vật liệu của lớp điền đầy (12).

5. Hệ thống theo điểm 1, trong đó các gân cường lực được kết nối với thành bên ngoài (11) nhưng không được kết nối với thành bên trong (13) được đặt giữa thành bên trong (13) và thành bên ngoài (11), trong đó độ dày h_{rib} của gân này thỏa mãn điều kiện sau:

$$0,5h_{ext} < h_{rib} < h_{ext}$$

6. Hệ thống theo điểm 1, trong đó phần đỉnh của bể chứa nhiều lớp được trang bị vành, đường kính ngoài của vành này bằng đường kính ngoài của thành bên ngoài (11) và bề mặt bên trong của vành này dùng làm giá trượt cho thành bên trong (13) của bể chứa.

7. Hệ thống theo điểm 1, trong đó hệ thống này còn có thêm lớp xi nhân tạo được đặt trên bề mặt bên trong của thành bên trong (13) của bể chứa nhiều lớp, trong đó thành phần lớp xi này có nền là ít nhất một trong các oxit sau: oxit ziriconi, oxit nhôm, oxit sắt, với điều kiện là hàm lượng tối thiểu của chất nền trong lớp này là 15% theo khối lượng.

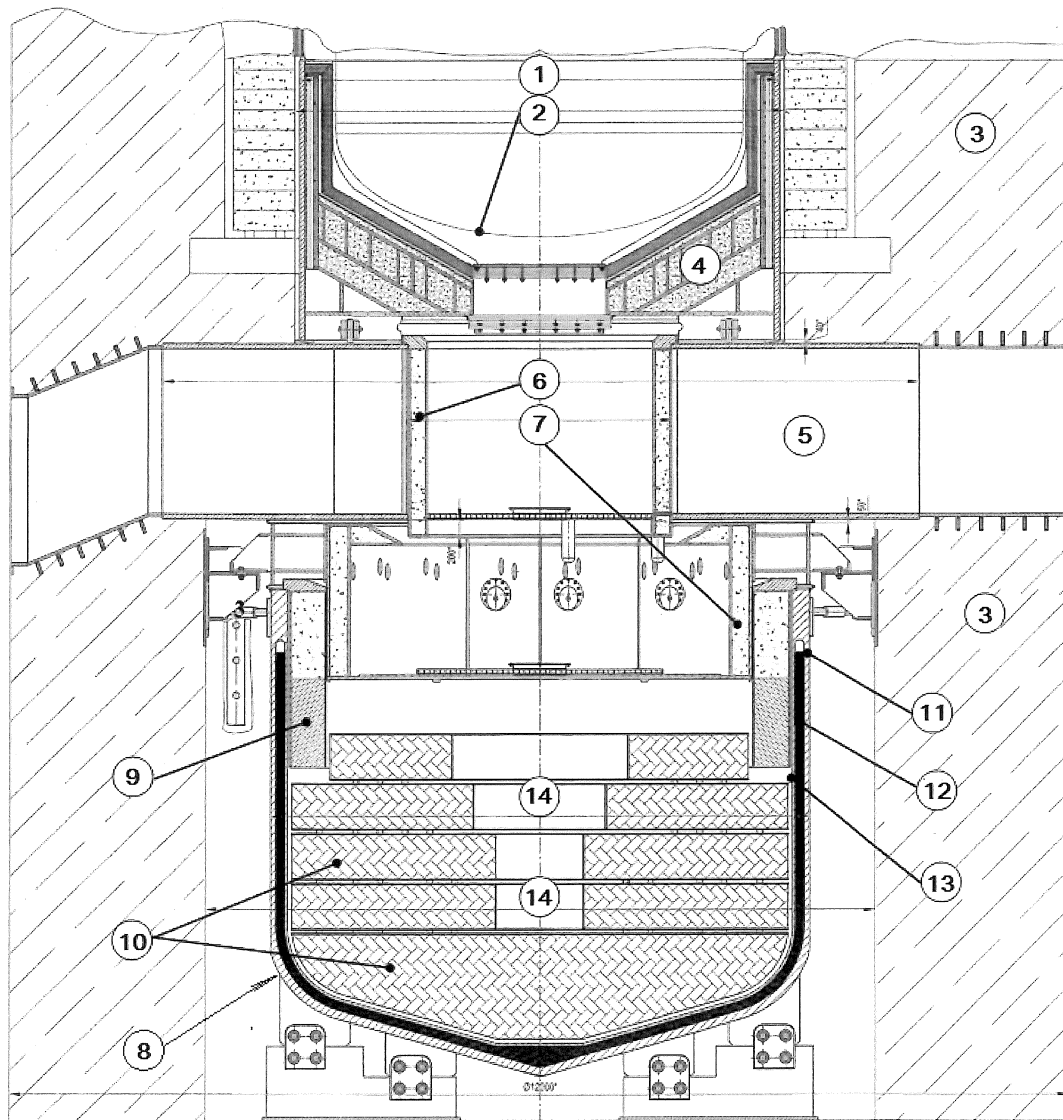


Fig. 1a

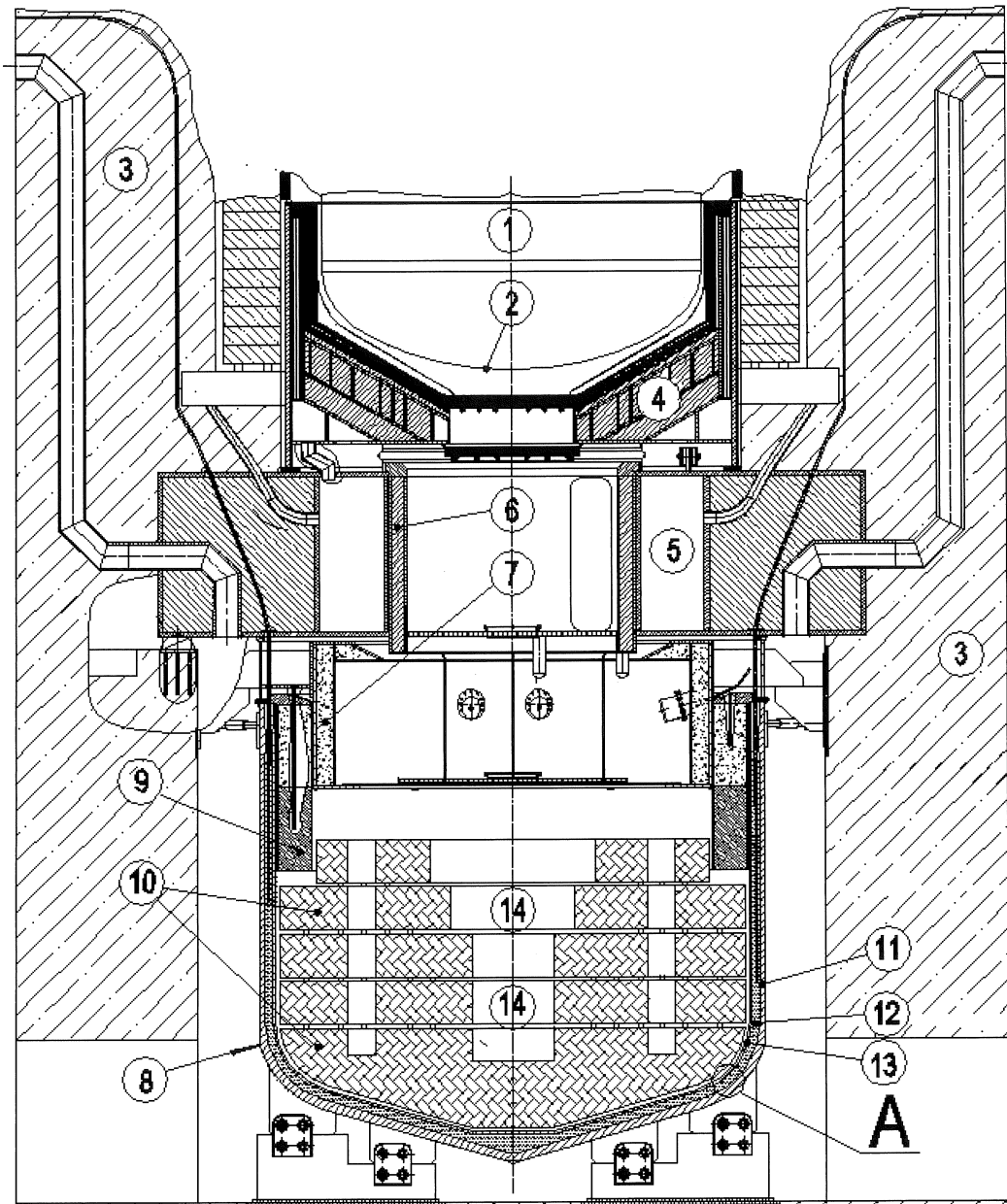


Fig. 1b

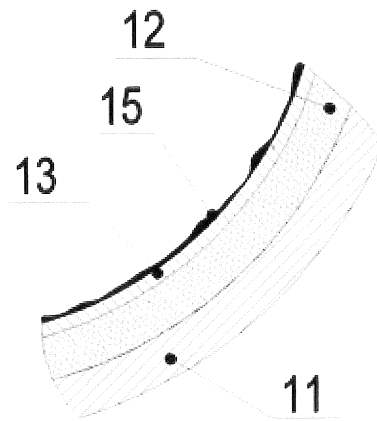


Fig. 2