



(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)



1-0033782

(51)⁷ G21C 9/016; G21C 13/10

(13) B

(21) 1-2017-02697

(22) 16/11/2015

(86) PCT/RU2015/000781 16/11/2015

(87) WO2016/099326 23/06/2016

(30) 2014150938 16/12/2014 RU

(45) 25/10/2022 415

(43) 25/10/2017 355A

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

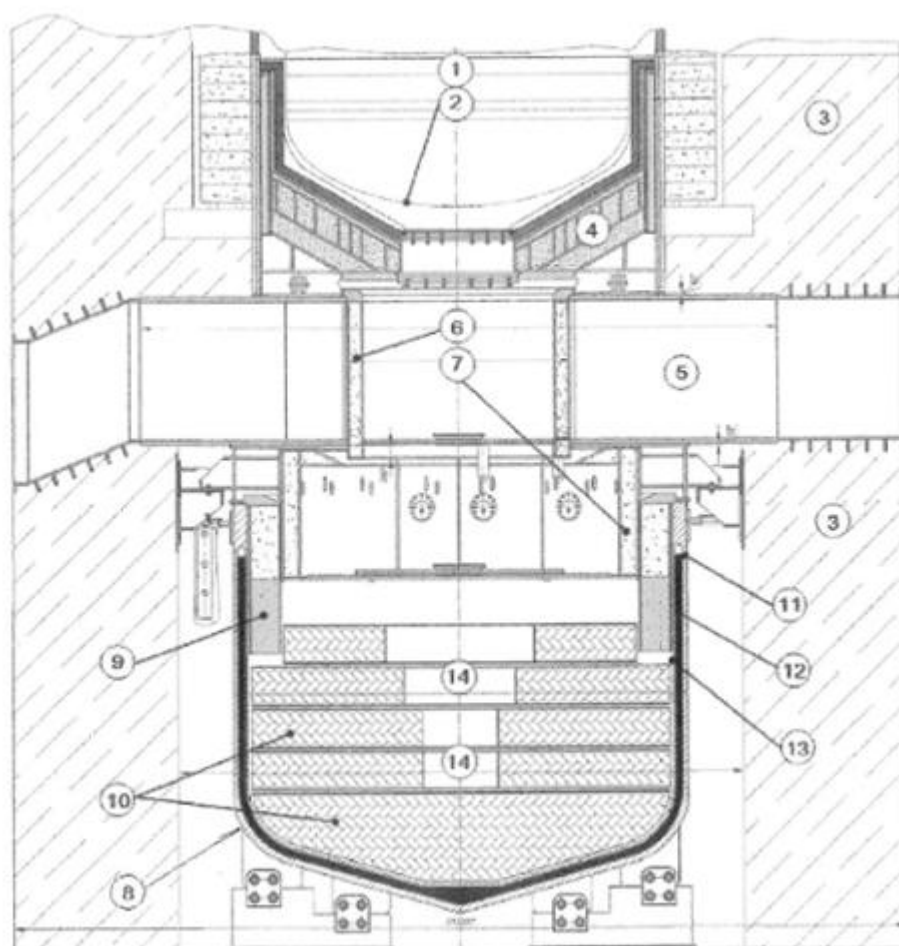
ul. Bakuninskaya, 7, str. 1 Moscow, 105005, Russia

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

(74) CÔNG TY LUẬT TNHH LUẬT VIỆT (DENTONS LUAT VIET)

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

(57) 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 (NPP), và có thể sử dụng khi xảy ra các sự cố nghiêm trọng dẫn đến sự hư hỏng thùng lò phản ứng và khoang chứa của nhà máy điện hạt nhân. Cụ thể, sáng chế đề xuất hệ thống làm mát và giữ lại vật chất nóng chảy bao gồm tấm dẫn hướng dạng hình nón được lắp bên dưới đáy thùng lò phản ứng, dầm hẫng được lắp bên dưới và đỡ tấm dẫn hướng này, bẫy corium được lắp bên dưới dầm hẫng này và được trang bị lớp bọc được làm mát dưới dạng bể chứa nhiều lớp dùng để bảo vệ thành trao đổi nhiệt ngoài khỏi các tác động động lực, nhiệt và hóa, và vật liệu điền đầy dùng để làm loãng vật chất nóng chảy bên trong bể chứa nhiều lớp này. Bể chứa nhiều lớp này bao gồm lớp kim loại trong và lớp kim loại ngoài có lớp trung gian dưới dạng lớp điện đầy phi kim loại ở giữa. Các gân chịu lực được lắp giữa lớp ngoài và lớp trong theo bước phương vị (Spitch) thỏa mãn điều kiện: $d_{\text{ext}}/15 < \text{Spitch} < d_{\text{ext}}/5$, trong đó d_{ext} là đường kính ngoài của bể chứa nhiều lớp.



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 vùng lõi xảy ra trong nhiều hỏng hóc của các hệ thống làm mát vùng lõi gây ra hiểm họa phóng xạ cao nhất.

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

Để ngăn ngừa điều này, corium bị thoát ra cần phải được giữ lại và được làm mát liên tục cho tới khi nó được kết tinh hoàn toàn. Hệ thống làm mát và giữ lại vật chất nóng chảy từ vùng 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 khỏi sự phơi nhiễm phóng xạ trong trường hợp xảy ra các sự cố nghiêm trọng tại các lò phản ứng hạt nhân.

Hệ thống dùng để khoanh vùng và làm mát vật chất nóng chảy từ vùng lõi (corium) của lò phản ứng hạt nhân được làm mát khẩn cấp bằng nước đã được bộc lộ trong Bằng sáng chế Nga RU 2253914 C2 và Bằng sáng chế Trung Quốc CN 1585034. Hệ thống này bao gồm bể (catcher) được đặt trong không gian của lò phản ứng phụ dạng giếng bê tông, mà vỏ được làm mát của hệ thống này được chế tạo dưới dạng thùng (vessel), có đáy lõm về phía tâm, giỏ thép chứa vật liệu làm loãng thay thế cho các thành phần chứa đựng urani và các thành phần thép của corium được lắp trong bể này, trong đó vật liệu làm loãng trong giỏ thép này được lắp đặt dưới dạng kết cấu ô hình mạng, khác biệt ở chỗ là độ dày của phần đáy vỏ lớn hơn độ dày thành bên của vỏ ít nhất là 30%, độ dốc của phần đáy vỏ về phía tâm được lựa chọn trong khoảng từ 10-20 độ, vật liệu làm loãng ở dạng viên nén được bao bọc trong vỏ thép.

Hệ thống bảo vệ cho vỏ khoang chứa của hệ thống lò phản ứng được làm mát bằng nước đã được bộc lộ trong Bằng sáng chế Nga RU 21665108 C2. Hệ thống này bao gồm: khoang áp lực, lò phản ứng, giếng bê tông có buồng phản ứng phụ, thiết bị cấp chất tải nhiệt cho giếng bê tông gồm các kênh dẫn; thiết bị dùng để rút chất tải nhiệt ra khỏi giếng bê tông, gồm có các kênh dẫn; các phần tử chịu lửa có lỗ rỗng dạng các lỗ thông

thẳng đứng và các rãnh ngang, trong đó các phần tử chịu lửa này ở dạng gạch hình chữ T, hình chữ nhật, hình chữ U hoặc được tạo hình được lắp đặt theo các lớp để tạo thành các kênh tổ hợp theo phương ngang và phương thẳng đứng; phần thân an toàn khác biệt ở chỗ là nó được làm bằng các gân tăng cứng và được lắp đặt bên dưới các lớp phần tử chịu lửa trên sàn của giếng bê tông này.

Hệ thống làm mát vùng lõi khẩn cấp của lò phản ứng hạt nhân khi nó bị phá hủy được bộc lộ trong Bằng sáng chế Nga RU 2063071 C1. Hệ thống này bao gồm: giếng bê tông được nạp nước khi xảy sự cố có miệng cống, lớp cách nhiệt hình trụ, thùng lò phản ứng, khe hở hình khuyên giữa thùng lò phản ứng và lớp cách nhiệt hình trụ, lớp cách nhiệt của đáy vỏ có kênh cấp trung tâm trong lớp cách nhiệt, các kênh dẫn làm mát giữa đáy vỏ và lớp cách nhiệt của đáy vỏ, kênh dẫn lên trên, kênh cấp bên hông, bể thu gom bên dưới lớp cách nhiệt của đáy vỏ, bao gồm thành ngỗng trực bên ngoài gồm có phần hông và đáy, lớp cách nhiệt được bọc kín bởi vỏ, bộ thu nhiệt trung gian được đúc sẵn bao gồm các hạt vật liệu chịu nhiệt, phần thành bên chịu nhiệt bao gồm thành dẫn nhiệt tốt và thành làm bằng kim loại chịu lửa, bề đáy bao gồm lớp phân phối, lớp mao quản bao gồm lớp urani đi-ôxít hoặc thori đi-ôxít và lớp cách nhiệt chịu nhiệt, ống dẫn nhiệt, bình bay hơi của hệ thống được đặt trong bộ thu nhiệt trung gian được đúc sẵn và bình ngưng phía sau thành ngoài, khác biệt ở chỗ thành ngoài được kết nối với thùng lò phản ứng, bể thu gom được đóng kín bởi vách ngăn, cùng với bể thu gom tạo thành "bẫy khô" (dry catcher), thành đáy và thành bên được bao phủ bởi bộ giảm chấn nhiệt được làm từ vật liệu dễ nóng chảy được vỏ che lại, bộ thu nhiệt trung gian được nạp đầy bằng vật liệu nóng chảy nhiệt độ thấp; tại các lối vào của các kênh cấp, có lắp các van khóa có các chốt dạng nút và các kênh chống sốc được kết nối với nhau, phần giữa của vách ngăn này làm bằng vật liệu nóng chảy nhiệt độ thấp, đáy của thành ngoài được lắp hở trong giếng bê tông, các tụ nhiệt được bao bọc bởi vách ngăn, cùng với mặt bên của thành ngoài, tạo thành khu vực trên được kết nối với ống dẫn lên, cùng với miệng cống làm mát tuần hoàn "bẫy khô" này.

Theo giải pháp kỹ thuật đã biết trước sáng chế, 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 oxit có chứa urani được gắn kết bằng vữa xi măng và được đặt trong các lớp khối thép nằm ngang, đáy của khối dưới trùng với hình dạng của đáy bể chứa, các khối phía trên có lỗ tâm, và các bộ phận ghép nối các khối với nhau và với bể chứa được đặt trong các rãnh cắt thẳng đứng của các khối (xem Bằng sáng chế Nga số 2514419, cấp ngày 27/4/2014).

Thiết bị nêu trên có một số nhược điểm sau:

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

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

- công thức xác định khối lượng 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 chính xác do không xem xét đúng đắn tương quan giữa độ dày của các lớp oxit và các kim loại trong 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 dưới, và được tăng thêm 15% nữa trong trường hợp các viên nén bị chặn bởi thép nóng chảy ở các khối phía trên trước khi sự nghịch chuyển của các lớp oxit và kim loại bắt đầu. Do đó, giới hạn dưới khi tính toán khối lượng chất làm loãng phải nhân với hệ số 1,5.

- khối lượng tối đa của lượng nước dư tính theo phần trăm khối lượng trong chất kết dính xi măng dùng cho 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 phần gắn kết xi măng để làm giảm sự giải phóng hydro là không đúng đắn do không xem xét đúng sự tương tác của hơi nước với kết cấu xốp của việc sắp xếp các viên nén.

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

Kết cấu bể chứa này có các nhược điểm sau đây:

- vật liệu gồm dạng hạt không tạo ra sự bảo vệ hiệu quả cho thành ngoài của bể chứa 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 thực tế không truyền nhiệt đến thành ngoài của bể chứa 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 của vật liệu dạng hạt bởi vật chất nóng chảy từ vùng lõi,

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

- trong quá trình nóng chảy của vật liệu gồm dạng hạt (chứa các oxit sắt và nhôm), chiều rộng lớn (ít nhất 100 mm) của khe hở giữa thành ngoài và thành trong của bộ trao đổi nhiệt oxit gây ra sự tái phân bố đáng kể của 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 đó gây ra các quá trình sau đây: gia tăng phát sinh sol khí, giải phóng lượng lớn các khí không ngưng tụ, tăng tỏa nhiệt, nung nóng thêm và phá hủy thiết bị được đặt ở trên, và kết quả là corium chảy tràn ra khỏi vùng được làm mát dẫn đến sự phá hủy bộ trao đổi nhiệt.

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 nhược điểm 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 tăng độ tin cậy của kết cấu.

Hiệu quả kỹ thuật nói trên đạt được là nhờ hệ thống làm mát và giữ lại vật chất nóng chảy từ vùng lõi lò phản ứng hạt nhân được làm mát và làm chậm bằng nước bao gồm tấm dẫn hướng dạng hình nón được lắp bên dưới đáy thùng lò phản ứng, dầm hẫng được lắp bên dưới tấm dẫn hướng này và đỡ tấm dẫn hướng này, bẫy vùng lõi được lắp bên dưới dầm hẫng này và được trang bị vỏ 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 dùng để pha loãng vật chất nóng chảy bên trong bể chứa nhiều lớp này, trong đó bể chứa này bao gồm các lớp kim loại ngoài và trong có lớp trung gian dưới dạng chất điền đầy phi kim loại được đặt ở giữa, các gân chịu lực được lắp giữa các lớp trong và ngoài này theo bước phương vị (s_{pitch}), nghĩa là bước xoay vòng trong mặt phẳng tâm của bể chứa nhiều lớp này, thỏa mãn điều kiện sau đây:

$d_{ext}/15 < s_{pitch} < d_{ext}/5$, trong đó d_{ext} là đường kính ngoài của bể chứa.

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

- các gân chịu lực được gắn chặt vào lớp ngoài và không được gắn vào lớp trong,
- các gân chịu lực được gắn chặt vào các lớp ngoài và trong,
- các gân chịu lực được lắp có các khe nhiệt hướng tâm và theo phương vị,
- phần đáy của bể chứa kết nối phần hình trụ phía trên với phần hình nón phía dưới bao gồm vỏ ba lớp phức hợp hình xuyên, một mặt đảm bảo sự chuyển tiếp thủy động lực trơn tru từ phần hình nón đến phần hình trụ của bể chứa, và mặt khác đảm bảo sự giãn nở nhiệt của lớp trong bất kể sự giãn nở nhiệt của lớp ngoài,
- bể chứa bao gồm lớp chống ăn mòn bổ sung có độ dày 0,1- 0,5 mm được áp dụng trên lớp ngoài,
- bể chứa bao gồm lớp bổ sung có độ dày 0,5 - 5 mm được áp dụng trên lớp ngoài, làm tăng sự truyền nhiệt đối lưu cho nước.

So với các hệ thống tương tự, hệ thống theo sáng chế bao gồm bảy vùng lõi có vỏ bọc ba lớp có các thành kim loại ngoài (bên ngoài) và trong và vật liệu điện dày, và có các gân chịu lực được lắp giữa các thành ngoài và trong theo bước phương vị (S_{pitch}), nghĩa là bước xoay vòng trong mặt phẳng tâm của bể chứa nhiều lớp, thỏa mãn điều kiện sau đây: $d_{ext}/15 < S_{pitch} < d_{ext}/5$,

trong đó d_{ext} là đường kính ngoài của bể chứa (m).

Mối tương quan tham số cụ thể tạo ra bước phù hợp của việc lắp ráp các gân chịu lực tùy thuộc vào đường kính ngoài của bể chứa có thể thay đổi trong khoảng từ 3 m đến 12 m, với giá trị thương số nhỏ hơn được lựa chọn cho các đường kính lớn hơn và giá trị lớn hơn được lựa chọn cho các đường kính nhỏ hơn. Nói cách khác, nếu đường kính ngoài của bể chứa là 12 m, thì thương số của phép chia cho 15 được lựa chọn, và nếu đường kính là 3 m, thì thương số của phép chia cho 5 được lựa chọn, trong trường hợp này bước giữa các gân trong mặt phẳng phương vị (mặt phẳng tâm) sẽ là xấp xỉ từ 0,4 m đến 0,8 m.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

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

Fig. 1 thể hiện thiết kế dạng sơ đồ của hệ thống giữ lại và làm mát corium

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

Fig. 3 thể hiện một góc mặt cắt ngang của bể chứa nhiều lớp của bảy corium theo nhất cắt A-A.

Ký hiệu của các phần tử kết cấu trong các hình vẽ:

- 1 - thùng lò phản ứng,
- 2 - đáy 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 - bể corium,
- 9 - lớp bảo vệ nhiệt của vành bể chứa nhiều lớp,
- 10 - vật liệu điền đầy,
- 11 - lớp bên ngoài của bể chứa nhiều lớp,
- 12 - lớp vật liệu điền đầy của bể chứa nhiều lớp,
- 13 - lớp bên trong của bể chứa nhiều lớp,
- 14 - bể gom corium được bạt cấp, dạng côn hoặc hình trụ,
- 15 - gân chịu lực,
- 16 - phần hình trụ của bể chứa,
- 17 - phần hình nón của bể chứa,
- 18 - vỏ hình xuyên ba lớp.

Mô tả chi tiết sáng chế

Theo sáng chế được yêu cầu bảo hộ, 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, có bể corium 8 có lớp bọc được làm mát (bể chứa) dưới dạng bể chứa nhiều lớp bao gồm lớp (thành) kim loại ngoài 11 và lớp (thành) kim loại trong 13 có vật liệu điền đầy phi kim loại 12 ở giữa. Bên trong bể corium 8 có vật liệu điền đầy thay thế 10 được dùng để làm loãng corium. Ngoài ra, lớp điền đầy 10 được trang bị bể gom được bạt cấp, dạng côn hoặc hình trụ 14 để chứa corium.

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

Sàn vận hành 7 được đặt trong khoảng không giữa dầm hẫng 5 và bể 8.

Tấm dẫn hướng 4 được thiết kế để dẫn corium (vật chất nóng chảy từ vùng lõi) vào bể 8, sau khi thùng lò phản ứng bị phá hủy hoặc bị thùng do nóng chảy. Ngoài ra, tấm

dẫn hướng 4 ngăn ngừa các mảnh vỡ lớn của các phần trong của bể chứa, các bó nhiên liệu và đáy thùng lò phản ứng rơi vào bể này và bảo vệ dầm hẫng 5 và các đường dây thông tin của nó trong trường hợp corium từ thùng lò phản ứng 1 đi vào bể 8. Tấm dẫn hướng 4 còn bảo vệ khoang bê tông 3 khỏi sự tiếp xúc trực tiếp với vật chất nóng chảy từ vùng lõi. Tấm dẫn hướng 4 được phân chia bởi các gân chịu lực thành các ngăn để cho vật chất nóng chảy từ vùng lõi chảy xuống. Các gân chịu lực này giữ đáy thùng lò phản ứng 2 cùng với vật chất nóng chảy ngăn không cho đáy này che mất các lỗ của các ngăn của tấm dẫn hướng 4 và chặn vật chất nóng chảy này chảy xuống trong trường hợp nó 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 (nền oxit sắt và nhôm) ngay bên dưới bề mặt này, và lớp bê tông chịu nhiệt có tính ổn định nhiệt (nền oxit nhôm) 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 chịu 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 này tạo ra sự bền vững của kết cấu khi lớp bê tông thay thế bị giảm độ dày. Lớp bê tông này bảo vệ thiết bị nằm bên dưới khỏi tác động của corium, ngăn không cho corium làm nóng chảy hay phá hủy tấm dẫn hướng 4.

Dầm hẫng 5 không chỉ bảo vệ bể 8 mà còn ngăn corium phá hủy các đường dây thông tin nội bộ của toàn bộ hệ thống giữ lại và làm mát corium này và đóng vai trò như giá đỡ cho tấm dẫn hướng 4 này, truyền các tác động tĩnh và động đến dầm hẫng 5 được gắn chặt trong thùng lò phản ứng 1. Dầm hẫng 5 còn đảm bảo tính khả dụng của tấm dẫn hướng 4 trong trường hợp nó bị phá hủy từng phần khi khả năng chịu lực của các gân bị tổn hại.

Dầm hẫng 5 bao gồm:

- các ống bao kết nối các cảm biến đo đạc và điều khiển (instrumentation and control - I&C),

- các đường ống phun corium (đầu gom có các 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 tháo hơi nước từ khoang bê tông 3 bên dưới lò phản ứng ra vùng áp lực khi corium được làm mát trong bể corium 8 này, các đường ống này loại bỏ hơi nước bão hòa mà không làm vượt quá áp suất cho phép trong khoang bê tông 3,

- các đường ống cấp không khí để cấp không khí cho việc làm mát tấm dẫn hướng 4 khi vận hành bình thường.

Bẫy 8 giữ lại và làm mát vật chất nóng chảy từ vùng lõi bên dưới lò phản ứng trong khoang lò phản ứng 3 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. Bẫy 8 được lắp trong móng của khoang lò phản ứng 3 trên các bộ phận được gắn vào.

Theo sáng chế được yêu cầu bảo hộ, lớp bọc của bẫy 8 là bề chứa nhiều lớp, bao gồm:

- lớp kim loại bên ngoài 11: lớp bọc ngoài được tạo thành bởi thành và đáy,
- lớp điện dẫn phi kim loại 12,
- lớp kim loại bên trong 13: lớp bọc trong được tạo thành bởi thành và đáy.

Lớp (thành) ngoài 11 có thể được làm bằng thép, chẳng hạn như các loại thép 22K, 20K, với độ dày thành từ 10 mm đến 70 mm và độ dày đáy từ 70 mm đến 120 mm.

Lớp (thành) trong 13 có thể được làm bằng thép, chẳng hạn như các loại thép 22K, 20K 09G2S, với độ dày thành từ 15 mm đến 40 mm và độ dày đáy từ 20 mm đến 40 mm.

Lớp điện dẫn 12 có thể được làm bằng vật liệu dẫn nhiệt tốt hoặc kém.

Vật liệu có nhiệt độ nóng chảy từ 300°C đến 800°C có thể được dùng làm vật liệu điện dẫn dẫn nhiệt tốt, ưu tiên bê tông có nhiệt độ nóng chảy thấp với nhiệt độ nóng chảy tối đa không vượt quá 600°C và độ dày không vượt quá 70 - 150 mm.

Vật liệu có nhiệt độ nóng chảy cao hơn 800°C có thể được dùng làm vật liệu điện dẫn dẫn nhiệt kém, cụ thể là chất điện dẫn bê tông hoặc gốm.

Các gân chịu lực 15 được lắp giữa lớp trong 13 và lớp ngoài 11 (xem Fig.3) theo bước phương vị (s_{pitch}) thỏa mãn điều kiện sau:

$$d_{ext}/15 < s_{pitch} < d_{ext}/5,$$

trong đó d_{ext} là đường kính ngoài của bề chứa.

Bước phương vị (s_{pitch}) là bước xoay quanh đường tròn của đường kính ngoài trong mặt phẳng tâm của bề chứa nhiều lớp (trên mặt cắt ngang), nghĩa là khoảng cách giữa các giao điểm của các gân chịu lực với thành ngoài (lớp ngoài) của bề chứa (xem Fig. 3).

Các gân chịu lực 15 nêu trên được gắn chặt với lớp ngoài 11 và có thể được gắn với lớp trong 13.

Cụ thể, các gân chịu lực có thể được làm bằng thép 22K và có độ dày từ 10 mm - 60 mm và bước phương vị từ 200 mm - 800 mm.

Phần đáy của bề chứa (Fig.2) kết nối phần hình trụ phía trên 16 với phần hình nón phía dưới 17 bao gồm vỏ ba lớp phức hợp hình xuyên bổ sung 18, một mặt để đảm bảo

sự chuyển tiếp thủy động lực tron tru từ phần hình nón đến phần hình trụ của bể chứa, và mặt khác đảm bảo sự giãn nở nhiệt của lớp trong bất kể sự giãn nở nhiệt của lớp ngoài.

Bể chứa nhiều lớp của bể 8 có thể có lớp chống ăn mòn bổ sung dày 0,1- 0,5 mm được áp dụng trên lớp ngoài.

Ngoài ra, bể chứa có thể có lớp bổ sung dày 0,5 - 5 mm làm tăng sự truyền nhiệt đối lưu cho nước được áp dụng trên bề mặt ngoài của lớp ngoài.

Phần phía trên của bể chứa nhiều lớp của bể 8 được trang bị vành, các đường kính trong và ngoài của vành này tương ứng với các đường kính của thành trong và thành ngoài của bể chứa.

Vật liệu điện đầy 10 tạo ra sự phân bố thể tích của corium trong bể corium 8, 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 lớp ngoài 11 của bể chứa nhiều lớp, cũng như góp phần vào việc tạo ra các điều kiện cho các phần corium chứa nhiên liệu nổi lên trên lớp thép. Vật liệu điện đầy 10 có thể được làm bằng thép và các thành phần oxit bao gồm các oxit sắt, nhôm và ziriconi, có các kênh 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, 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 điện đầy 10 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 điện đầy 10 khỏi các sự cố rò rỉ,
- các ống bao bọc cảm biến đo đặc và điều khiển để sửa chữa hoặc thay thế cảm biến.

Ví dụ thực hiện sáng chế

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 vùng lõi bị tác động bởi các áp lực thủy tĩnh và quá mức, bắt đầu di chuyển đến bề mặt tấm dẫn hướng 4 được đỡ bởi dầm hẫng 5.

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

Trong trường hợp dòng chảy xuống của corium bất đối xứng từng phần, các lớp bảo vệ nhiệt 6 của dầm hẫng 5 và sàn vận hành 7 bắt đầu nóng chảy. Khi bị phá hủy, các

lớp bảo vệ nhiệt này làm giảm tác 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 điền đầy bề gồm 14, tiếp đó, khi các thành phần kết cấu thép khác của vật liệu điền đầy 10 bị nóng chảy, chúng điền đầy các khoảng trống giữa các thành phần phi kim loại của vật liệu điền đầy 10. Các thành phần phi kim loại của vật liệu điền đầy 10 được kết nối với nhau bằng xi măng đặc biệt tạo khả năng thiêu kết các thành phần phi kim loại này với nhau thành kết cấu ngăn ngừa các thành phần của vật liệu điền đầy 10 nổi lên trong vật chất nóng chảy từ vùng lõi nặng hơn. Do các thành phần phi kim loại được thiêu kết với nhau, sự kết lại này đủ bền vững khi các bộ phận xiết chặt của vật liệu điền đầy 10 mất bền vững. Do đó, sự giảm bền vững của thành phần thép của vật liệu điền đầy 10 khi nhiệt độ tăng được bù bởi sự tăng độ bền vững của thành phần phi kim loại của vật liệu điền đầy 10 này trong quá trình thiêu kết. Sau khi các thành phần thép của vật liệu điền đầy 10 bị nóng chảy và hòa tan, tương tác bề mặt của các thành phần phi kim loại của vật liệu điền đầy 10 với các thành phần của vật chất nóng chảy từ vùng lõi được bắt đầu. Thiết kế của khối điền đầy này, các đặc tính vật lý và hóa học của nó được lựa chọn để tạo ra hiệu quả tối đa cho sự hòa tan vật liệu điền đầy trong vật chất nóng chảy từ vùng lõi, ngăn ngừa tăng nhiệt độ của corium, giảm phát sinh sol khí và sự truyền nhiệt bức xạ từ gương của khối nóng chảy, giảm phát sinh hydro và các khí không ngưng tụ khác. Một trong các thành phần của vật liệu điền đầy là oxit sắt (III) có nhiều mức độ oxy hóa khác nhau, làm oxy hóa ziriconi, oxy hóa hoàn toàn các đioxit urani và pluton trong quá trình tương tác của nó với vật chất nóng chảy từ vùng 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 qua bề mặt gương của khối nóng chảy. Điều này tiếp tục dẫn đến giảm đáng kể sự phát sinh hydro. Oxit sắt (III) 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 vùng lõi được tháo vào vật liệu điền đầy 10 theo hai giai đoạn: ở giai đoạn thứ nhất, chủ yếu là thép và ziriconi nóng chảy cùng với hỗn hợp các oxit từ thùng lò phản ứng 1 chảy vào vật liệu điền đầy 10, ở giai đoạn thứ hai, các thành phần chính của vật chất nóng chảy từ vùng lõi chảy vào vật liệu điền đầy là các oxit khó nóng chảy ở dạng lỏng cùng với hỗn hợp các kim loại. Liên quan đến điều này, có hai loại tương tác khác nhau giữa vật chất nóng chảy từ vùng lõi và vật liệu điền đầy 10: 1) các thành phần kim loại của vật chất nóng chảy từ vùng lõi tương tác với các thành phần của vật liệu điền đầy và làm nóng chảy chúng, như ziriconi kim loại dạng lỏng từ vật chất nóng chảy từ vùng lõi bị oxy hóa trong quá trình tương tác biên với các thành phần điền đầy phi kim loại mà chúng nổi lên sau khi nóng chảy và tạo thành lớp oxit sắt và oxit ziriconi nhẹ phía trên lớp các kim loại nóng chảy, 2) các thành phần oxit của vật chất nóng chảy từ vùng lõi tương tác với cả các kết cấu kim loại và các thành phần điền đầy phi kim loại, 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 vùng lõi bị oxy hóa trong quá trình tương tác với các thành phần điền đầy phi kim loại. Sự 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 định trước cho phép giữ nó ở một thể tích hạn chế và thực hiện quá trình làm mát kéo dài một cách an toàn và hiệu quả.

Tương tác của corium với vật liệu điền đầy 10 làm giảm nhiệt độ của corium được tạo ra khoảng 1,5 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 một cách đáng kể. Để giảm các dòng nhiệt bức xạ từ gương của khối nóng chảy và sự phát sinh sol khí một cách hiệu quả hơn, các nắp xi cả tự nhiên và nhân tạo được sử dụng, chúng được tạo ra cả khi nóng chảy các bê tông chuyên dụng do sự tỏa nhiệt từ gương của khối nóng chảy và khi corium nóng chảy dạng lỏng tương tác với vật liệu điền đầy này. Độ dày và thời gian tồn tại của nắp xi được lựa chọn để làm giảm thiểu tác động của gương của khối nóng chảy lên thiết bị được đặt phía trên trong trường hợp xấu nhất trong giai đoạn khởi đầu của việc giữ lại corium: khi corium đi vào vật liệu điền đầy 10 và tích tụ trong bể corium 8. Thời gian để vật chất nóng chảy từ vùng lõi đi vào bể 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 chảy.

Phản ứng hóa học của vật liệu điền đầy 10 và vật chất nóng chảy từ vùng lõi dần dần làm thay đổi thành phần và kết cấu của corium. Ở giai đoạn khởi đầu, vật chất nóng chảy từ vùng lõi có thể thay đổi từ kết cấu đồng nhất thành kết cấu lớp kép: thông thường là hỗn hợp của thép và ziriconi nóng chảy ở phần trên cùng với vật chất nóng chảy từ các oxit khó nóng chảy được trộn lẫn với các kim loại ở phần 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 điền đầy bị hòa tan trong các oxit dạng lỏng của vật chất nóng chảy từ vùng lõi, thành phần của corium, cụ thể là phần oxit của nó, bị thay đổi: tỉ trọng của oxit dạng lỏng giảm mạnh hơn sự thay đổi tỉ trọng của các kim loại nóng chảy. Quá trình này dẫn đến sự giảm liên tục 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 phi kim loại trong vật liệu điền đầy được lựa chọn để đảm bảo sự hòa tan của các vật liệu thay thế phi kim loại trong các oxit khó nóng chảy dạng lỏng từ vùng 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. Cấu trúc 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 phải chịu phân ly nhiệt do nhiệt độ khá thấp của gương của khối nóng chảy. Sự nghịch chuyển của các oxit dạng lỏng và các kim loại cho phép tạo ra dòng nhiệt ổn định hơn đi qua bể chứa nhiều lớp của bể đến bể thu nhiệt cuối cùng, nước, điều đó là do nhiều 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 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, 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 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. Phần dưới của bể 8 được gia nhiệt đều và không có đặc điểm nào đáng kể. Lưu ý rằng đáy hình nón của bể 8 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 dưới 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 dưới lên trên, quá trình gia nhiệt đáy của bể 8 chậm hơn đáng kể so với gia nhiệt phần hình trụ của nó 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 thay thế của vật liệu điền đầy). Phần oxit của corium giải phóng năng lượng. Sự giải phóng năng lượng được phân bố giữa phần corium dạng oxit và phần corium dạng kim loại theo tỷ lệ khoảng 9 trên 1, điều đó dẫn đến các dòng nhiệt đáng kể 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 trên và các oxit khó nóng chảy ở đáy. Trong điều kiện này, khi đáy của bể 8 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 vảy oxit trên ranh giới “thành bể chứa/các oxit” là không đáng kể và, ở mức trung bình, không vượt quá 1 W/(m K) . Lớp vảy oxit này bao gồm các oxit khó nóng chảy bị nóng chảy (lần xi) được tạo thành do kết quả của việc làm mát vật chất nóng chảy dạng oxit trên ranh giới “các 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 cho việc 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 của bể chứa nhiều lớp được làm mát bằng nước 11 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 dưới lên. 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 của bể chứa nhiều lớp 11-13 của bể 8 đến bể thu nhiệt cuối cùng, trong khi làm tăng tỉ trọng dòng nhiệt bởi

bức xạ từ gương của khối nóng chảy. Trong vùng tương tác của các lớp 11-13 của bể chứa nhiều lớp của bể 8 và phần kim loại nóng chảy của corium, không hình thành bất cứ lần xỉ hay các rào chắn tự nhiên nào do sự quá nhiệt của bể chứa nhiều lớp gây ra. Vấn đề này được giải quyết bởi các cách bố trí theo thiết kế.

Ở giai đoạn thứ ba, corium tương tác với vật liệu điền đầy 10 khi nó đi ra trên lớp trong 13 của bể chứa nhiều lớp. Vào thời điểm đó, lớp ngoài 11 của bể chứa nhiều lớp ở phía khoang lò phản ứng 3 được nạp đầy nước. Bể corium 8 được lắp trong khoang lò phản ứng 3 và được kết nối với bể gom thu gom chất tải nhiệt trong vòng làm mát sơ cấp của lò phản ứng khi có các sự cố trong phạm vi thiết kế hay vượt quá phạm vi thiết kế, và nước được cấp cho vòng sơ cấp này từ các hệ thống an toàn. Để ngăn ngừa lỗi của lớp ngoài 11 của bể chứa nhiều lớp được truyền nhiệt bởi vật chất nóng chảy corium nhiệt độ cao, bể corium 8 được thiết kế dưới dạng bể chứa nhiều lớp 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: các tải nhiệt chính được thu nhận bởi lớp trong 13, và các tải trọng cơ học chính (chấn động và áp lực) được thu nhận bởi lớp ngoài 11. Các tải cơ học được truyền từ lớp trong 13 đến lớp ngoài 11 bởi các gân chịu lực được lắp trên bề mặt trong của lớp ngoài 11 với lớp trong 13 được hàn vào đó. Thiết kế này đảm bảo rằng lớp trong 13 truyền ứng suất biến dạng nhiệt qua các gân này đến lớp ngoài được làm mát 11. Để giảm thiểu ứng suất nhiệt bên phía lớp trong 13, các gân này được kết nối tới lớp ngoài 11 có sử dụng hãm nhiệt.

Nếu sử dụng vật liệu điền đầy 12 được làm bằng vật liệu dẫn nhiệt tốt (bê tông có điểm nóng chảy thấp), sẽ đảm bảo sự truyền nhiệt từ lớp trong 13 của bể chứa đến lớp ngoài 11. Lớp trong 13 bị gia nhiệt bởi corium và nhiệt này được truyền đến vật liệu điền đầy 12 (bê tông có điểm nóng chảy thấp). Đầu tiên, trong khi dẫn nhiệt, vật liệu điền đầy bị gia nhiệt đến nhiệt độ nóng chảy, tiếp đó, khi chiều rộng của vùng bị nóng chảy tăng lên, sự truyền nhiệt đối lưu giữa lớp trong 13 và vật liệu điền đầy 12 chưa bị nóng chảy được bắt đầu. Quá trình này được tiếp tục cho đến khi vật liệu điền đầy 12 bị nóng chảy hoàn toàn với sự giải phóng dòng nhiệt từ lớp trong đến lớp ngoài. Quá trình nóng chảy của vật liệu điền đầy 12 khá nhanh do độ dẫn nhiệt cao của vật liệu, vì vậy, trong thực tế tất cả dòng nhiệt từ lớp trong của bể chứa sẽ bị hấp thụ bởi vật liệu điền đầy. Vì mục đích này, độ dày của vật liệu 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 lớp trong của bể chứa dẫn đến mất bền vững, 2) mức độ truyền nhiệt đối lưu phải được tạo ra giữa lớp trong và lớp ngoài sao cho mật độ dòng nhiệt được truyền từ lớp trong của bể chứa đến bê tông nóng chảy phải được giảm 1,5 đến 2 lần trong quá trình truyền từ bê tông nóng chảy đến lớp ngoài (thành ngoài) do việc truyền nhiệt - chuyển khối đối lưu trong bê 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 điện đầy này cho phép làm nóng chảy bê tông 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 trong của lớp trong của bể chứa bằng cách giới hạn 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 điện đầy 10 trong corium trong khoảng thời gian hạn chế ở giai đoạn khởi đầu tương tác. Ở giai đoạn cuối cùng của tương tác của vật chất nóng chảy từ vùng lõi với vật liệu điện đầy 10, lớp trong của bể chứa bị gia nhiệt đến nhiệt độ thiết kế, và bê 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 bê tông có điểm nóng chảy thấp dạng lỏng và các tham 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 mật độ dòng nhiệt trong quá trình truyền nó từ lớp trong đến lớp ngoài.

Nếu sử dụng vật liệu điện đầy 12 được làm bằng vật liệu dẫn nhiệt kém, sẽ đảm bảo duy trì sự cách nhiệt của lớp ngoài 11 của bể 8 ở giai đoạn khởi đầu việc thâm nhập của vật chất nóng chảy từ vùng lõi. Mục đích chính của vật liệu điện đầy 12 là bảo vệ lớp ngoài 11 của bể 8 khỏi tác động nhiệt và tạo ra lớp xỉ trên bề mặt trong của nó. Corium gia nhiệt lớp trong 13 và lớp trong này tan chảy ra, nhiệt được truyền đến vật liệu điện đầy 12, vật liệu điện đầy này cũng tan chảy ra trong khi bị gia nhiệt và tạo ra lớp vảy xỉ trên bề mặt trong tương đối lạnh của lớp ngoài 11 của bể chứa nhiều lớp. Quá trình này tiếp tục cho đến khi lớp trong 13 và vật liệu điện đầy 12 của bể chứa nhiều lớp bị nóng chảy hoàn toàn. Vật liệu điện đầy 12 nhanh chóng bị nóng chảy và bị pha loãng trong corium do độ dẫn nhiệt thấp của vật liệu điện đầy này, do đó, dòng nhiệt từ corium đến lớp trong 13 của bể chứa nhiều lớp sẽ được sử dụng gần như hoàn toàn để làm nóng chảy lớp trong 13 và vật liệu điện đầy 12. Lớp xỉ được tạo bởi vật liệu điện đầy cho phép hạn chế dòng nhiệt đến lớp ngoài 11 của bể chứa nhiều lớp, tái phân bố nó trên suốt chiều cao của lớp ngoài 11, và làm phẳng nó xét theo chiều cao cục bộ và các biến động theo phương vị.

Giới hạn mật độ của dòng nhiệt đi qua lớp ngoài 11 của bể chứa nhiều lớp đòi hỏi đảm bảo sự truyền nhiệt ổn định và không đến hạn đến bề thu nhiệt cuối cùng, nghĩa là nước vòng quanh bể corium 8. Nhiệt được truyền đến nước ở chế độ “đun sôi trong bể”, điều đó tạo ra khả năng thải nhiệt thụ động trong khoảng thời gian không giới hạn. 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 vùng lõi của lò phản ứng hạt nhân.

Thành phần thứ nhất là vật liệu điện đầy 10, một mặt tạo ra sự làm loãng và làm tăng thể tích của phân sinh nhiệt của corium, nhờ vậy cho phép tăng diện tích trao đổi nhiệt trong khi làm giảm mật độ của dòng nhiệt đi qua lớp ngoài 11 của bể corium 8,

và mặt khác tạo ra sự nghịch chuyển của phần oxit và phần kim loại của corium với phần oxit di chuyển lên và phần kim loại lỏng di chuyển xuống trong khi làm giảm các dòng nhiệt lớn nhất đến lớp ngoài 11 bằng cách tái phân bố các dòng nhiệt này trong phần dưới của bể corium 8. Thành phần thứ hai là vật liệu điền đầy 12 của bể chứa nhiều lớp, tạo ra sự giảm (làm phẳng) các dòng nhiệt lớn nhất ở lớp ngoài 11 bằng cách tạo ra lớp vảy khó nóng chảy đảm bảo sự tái phân bố các dòng nhiệt lớn nhất từ corium theo chiều cao và mặt phương vị (mặt phẳng tâm) của lớp ngoài 11 của bể corium 8.

Hơi nước được sinh ra trên bề mặt lớp ngoài 11 đi lên và đi qua các kênh thoát hơi nước đến nơi chứa ở đó nó được ngưng tụ. Chất lỏng ngưng tụ chảy từ nơi chứa này đến bể gom được kết nối bởi các đường dẫn với khoang lò phản ứng 3 nơi lắp bể corium 8. Vì vậy, trong trường hợp việc làm mát bể corium kéo dài, thì đảm bảo được việc tuần hoàn nước làm mát và việc thải nhiệt ổn định từ lớp ngoài 11. Corium trong bể 8 dần dần hạ nhiệt vì nhiệt lưu và nhiệt từ 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 lớp ngoài 11 của bể chứa nhiều lớp. Sau khi nước được cấp đến bể 8, các dòng nhiệt dần dần được cân bằng: dòng nhiệt qua lớp ngoài 11 trở nên ngang bằng với dòng nhiệt từ bề mặt corium. Ở giai đoạn cuối, corium có thể được làm mát trực tiếp bằng nước được cấp vào bể corium 8, điều này là khả thi nếu corium tạo ra kết cấu thấm nước trong quá trình nó đông đặc.

Do đó, một cách tổng thể, bể 8 nói trên của hệ thống làm mát và giữ lại vật chất nóng chảy từ vùng lõi của lò phản ứng hạt nhân được làm mát và làm chậm bằng nước cho phép tăng hiệu quả thải nhiệt từ vật chất nóng chảy trong khi vẫn duy trì sự toàn vẹn của lớp ngoài 11 của bể chứa nhiều lớp.

YÊU CẦU BẢO HỘ

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

thùng lò phản ứng có đáy (2),

tấm dẫn hướng dạng hình nón (4) được lắp bên dưới đáy (2) của thùng lò phản ứng, dầm hẫng (5) được lắp bên dưới tấm dẫn hướng (4) này và đỡ tấm dẫn hướng 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 ngoài trao đổi nhiệt của bẫy corium (8) này 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 nhiều lớp này bao gồm lớp kim loại trong (13) và lớp kim loại ngoài (11) có lớp trung gian dưới dạng lớp điền đầy phi kim loại (12) được đặt ở giữa và trong đó các gân chịu lực (15) được lắp giữa lớp kim loại bên trong (13) và lớp kim loại bên ngoài (11) này theo bước phương vị (s_{pitch}) thỏa mãn điều kiện sau đây:

$$d_{ext}/15 < s_{pitch} < d_{ext}/5,$$

trong đó d_{ext} là đường kính ngoài của bể chứa nhiều lớp này.

2. Hệ thống theo điểm 1, trong đó các gân chịu lực (15) được gắn chặt vào lớp kim loại bên ngoài (11) và không được gắn vào lớp kim loại bên trong (13).

3. Hệ thống theo điểm 1, trong đó các gân chịu lực (15) được gắn chặt vào cả lớp kim loại bên ngoài (11) và lớp kim loại bên trong (13).

4. Hệ thống theo điểm 1, trong đó các gân chịu lực (15) được lắp có các khe nhiệt hướng tâm và theo phương vị.

5. Hệ thống theo điểm 1, trong đó phần đáy của bể chứa nhiều lớp này kết nối phần hình trụ phía trên (16) của bể chứa nhiều lớp này với phần hình nón phía dưới (17) của bể chứa nhiều lớp này bao gồm vỏ ba lớp phức hợp hình xuyên (18) đảm bảo sự giãn nở nhiệt của lớp bên trong bất kể sự giãn nở nhiệt của lớp bên ngoài.

6. Hệ thống theo điểm 1, trong đó bể chứa nhiều lớp này bao gồm lớp chống ăn mòn bổ sung có độ dày từ 0,1 mm đến 0,5 mm được áp dụng trên lớp kim loại bên ngoài (11).

7. Hệ thống theo điểm 1, trong đó bể chứa nhiều lớp này bao gồm lớp bổ sung có độ dày từ 0,5 mm đến 5 mm làm tăng sự truyền nhiệt đối lưu cho nước được áp dụng trên bề mặt ngoài của lớp kim loại bên ngoài (11).

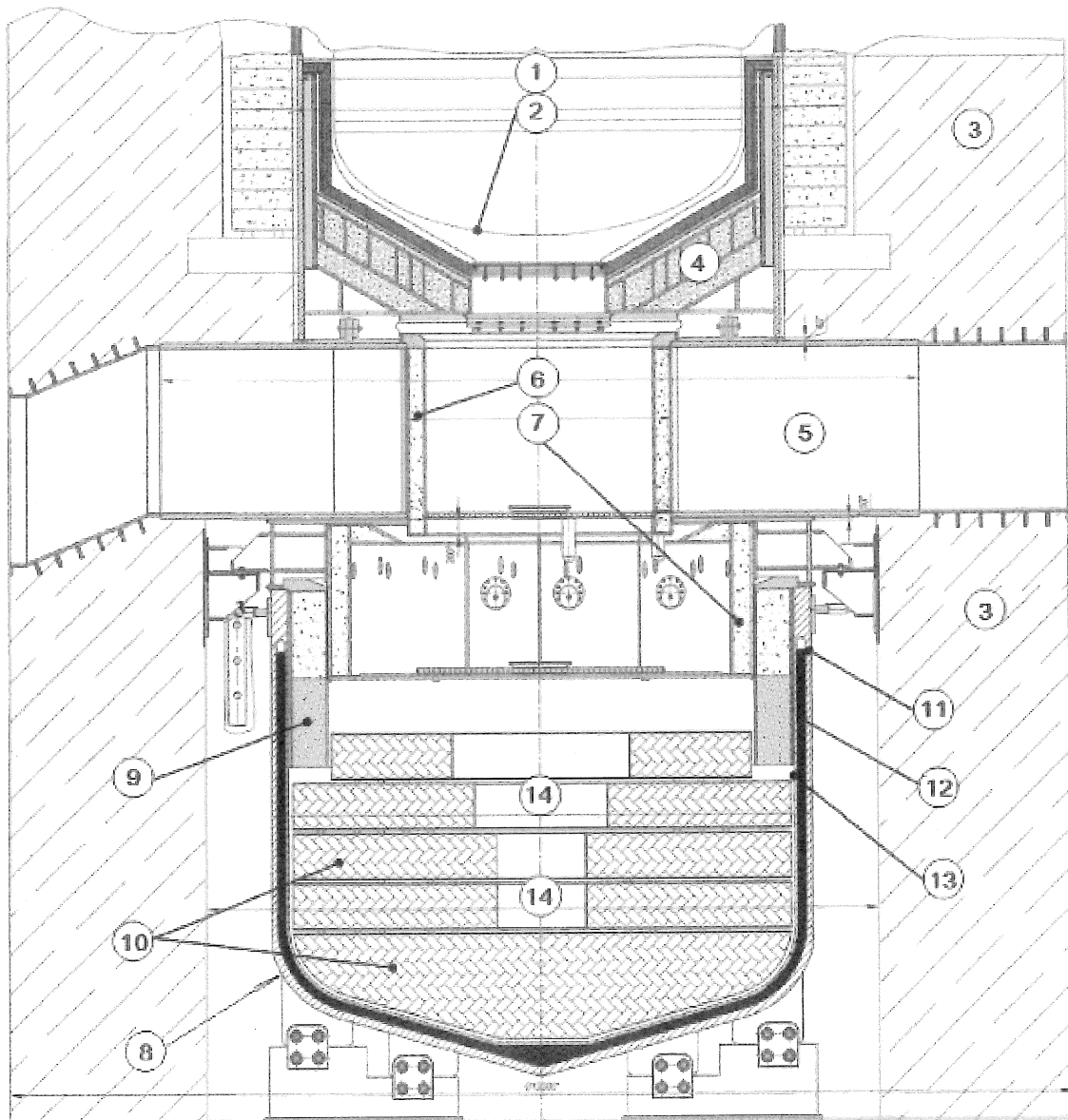


Fig. 1

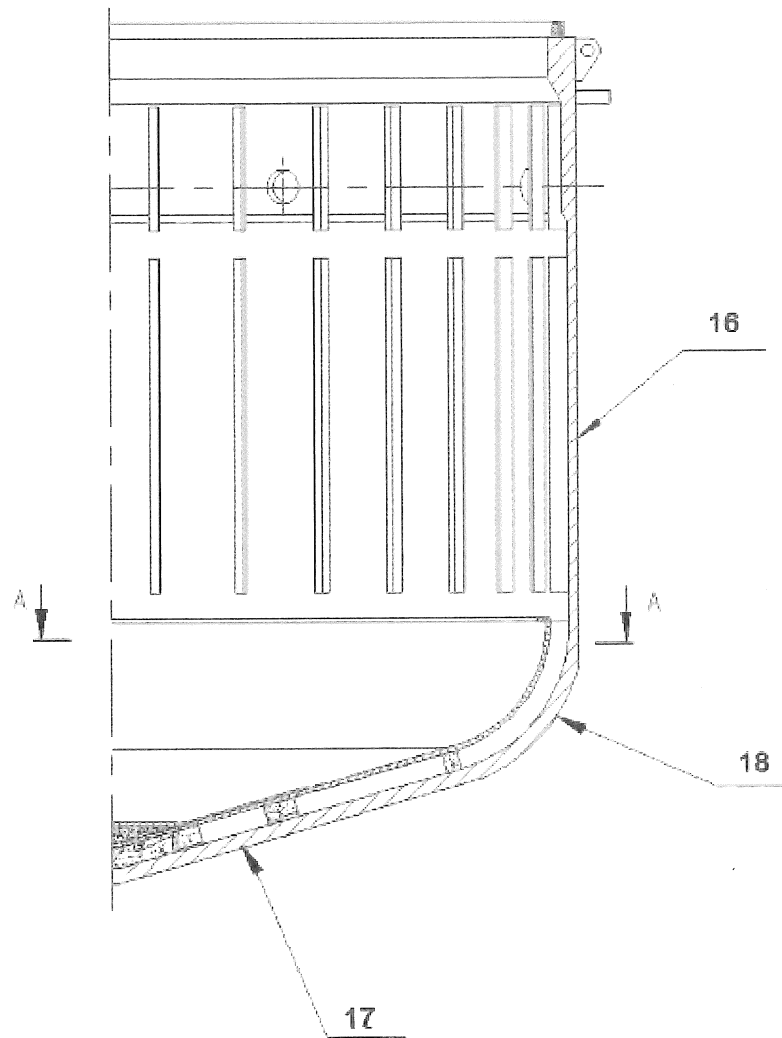


Fig. 2

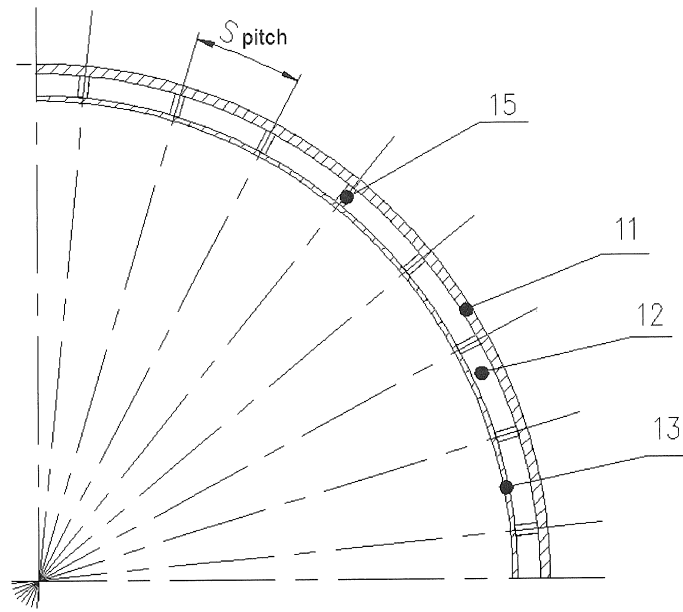


Fig. 3