



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

(19) Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN) (11)
CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ



1-0026826

(51)⁷ G21C 15/18; F22B 1/08; F28D 1/02; (13) B
F28D 1/047; F28D 21/00; F28F 9/02;
F28F 9/26; G21C 1/02; F22B 1/02; F28D
1/053

(21) 1-2017-02546

(22) 16/11/2015

(86) PCT/RU2015/000780 16/11/2015

(87) WO2016/089249 09/06/2016

(30) 2014148909 04/12/2014 RU

(45) 25/12/2020 393

(43) 25/09/2017 354A

(73) JOINT-STOCK COMPANY SCIENTIFIC RESEARCH AND DESIGN
INSTITUTE FOR ENERGY TECHNOLOGIES ATOMPROEKT (JSC
"ATOMPROEKT") (RU)

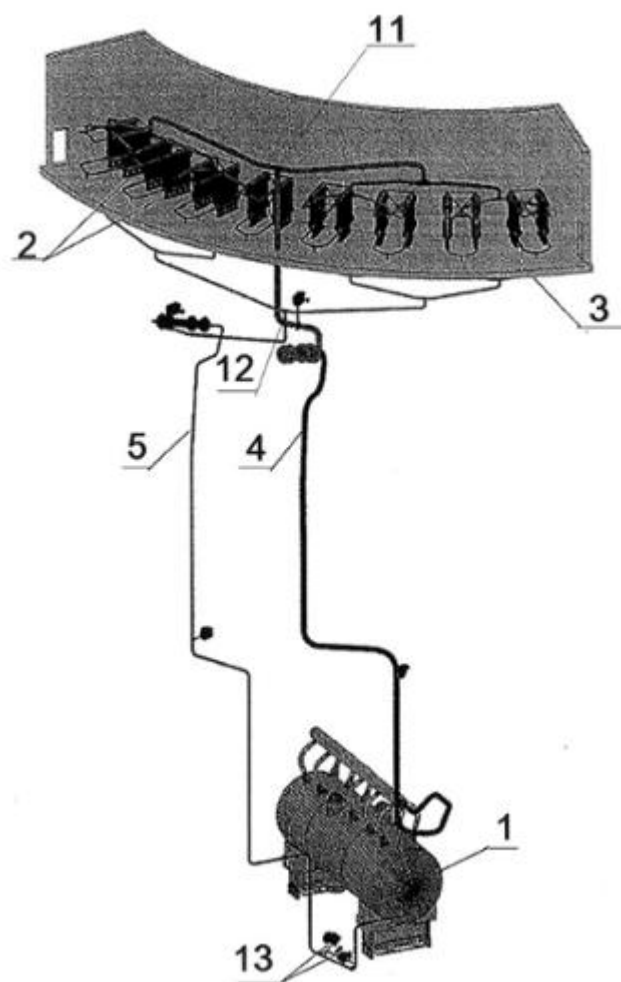
ul. Savushkina, 82 St.Petersburg, 197183, Russia

(72) BEZLEPKIN, Vladimir Victorovich (RU); SIDOROV, Vladimir Grigorievich (RU);
ALEKSEEV, Sergey Borisovich (RU); SVETLOV, Sergey Victorovich (RU);
KUKHTEVICH, Vladimir Olegovich (RU); SEMASHKO, Sergey Evgenivich (RU);
VARDANIDZE, Teymuraz Georgievich (RU); IVKOV, Igor Mihaylovich (RU).

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

(54) HỆ THỐNG LOẠI BỎ NHIỆT THỤ ĐỘNG RA KHỎI Lò PHẢN ỨNG NƯỚC ÁP LỰC THÔNG QUA THIẾT BỊ TẠO HOI NƯỚC

(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 ra khỏi lò phản ứng nước áp lực thông qua thiết bị tạo hơi nước (SG PHRS), và được thiết kế để làm mát lò phản ứng bằng cách tuần hoàn tự nhiên chất tải lạnh (nước) trong vòng hệ thống. Hiệu quả kỹ thuật của sáng chế là tăng hiệu quả loại bỏ nhiệt, độ ổn định dòng chảy chất tải lạnh trong vòng này và nhờ đó tăng độ tin cậy vận hành của hệ thống. Hệ thống loại bỏ nhiệt thụ động này bao gồm ít nhất một vòng tuần hoàn chất tải lạnh (nước) bao gồm thiết bị tạo hơi nước và bộ trao đổi nhiệt nhiều ngăn được đặt phía trên thiết bị tạo hơi nước này trong bể cấp nước làm mát và được kết nối với thiết bị tạo hơi nước bằng đường ống vào và đường ống ra. Bộ trao đổi nhiệt này bao gồm ống góp trên và ống góp dưới được nối thông với nhau bởi các ống trao đổi nhiệt, các van khởi động có các đường kính danh nghĩa khác nhau được lắp trên đường ống ra. Ngoài ra, bộ trao đổi nhiệt này được chia thành các ngăn song song đáp ứng yêu cầu: $L/D \leq 20$, trong đó L là độ dài nửa ngăn, D là đường kính ống góp. Các phần đường ống vào và đường ống ra của vòng tuần hoàn được thiết kế dưới dạng cụm các đường ống song song được phân nhánh, được nối riêng với mỗi trong số các ngăn trao đổi nhiệt nêu trên.



Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế liên quan đến lĩnh vực năng lượng hạt nhân, và cụ thể hơn là đề cập đến các hệ thống loại bỏ nhiệt thụ động ra khỏi lò phản ứng nước áp lực thông qua thiết bị tạo hơi nước (Steam Generator Passive Heat Removal System - SG PHRS), và được thiết kế để làm mát lò phản ứng bằng cách tuần hoàn tự nhiên chất tải lạnh (nước) trong vòng hệ thống.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Theo tình trạng kỹ thuật của sáng chế, có một số giải pháp tương tự bộc lộ các cấu hình khác nhau của các hệ thống loại bỏ nhiệt thụ động.

Patent Mẫu hữu ích Nga số RU78600, chỉ số phân loại sáng chế quốc tế (IPC): G21C 15/18, cấp ngày 27/11/2008 bộc lộ hệ thống loại bỏ nhiệt khẩn cấp bao gồm đường ống hơi nước và đường ống nước, bộ ngưng tụ - bay hơi, và thiết bị tạo hơi nước đi qua một lần. Ngoài ra, bể cấp nước được kết nối với đường ống hơi nước và đường ống nước song song với bộ ngưng tụ - bay hơi này, bể này được đặt tương quan với bộ ngưng tụ - bay hơi sao cho đỉnh của bể cấp nước này nằm dưới đỉnh của bề mặt hoạt động của bộ ngưng tụ - bay hơi.

Patent Mẫu hữu ích Nga số RU52245, chỉ số phân loại sáng chế quốc tế (IPC): G21C 15/18, cấp ngày 10/03/2006 mô tả hệ thống làm mát lò phản ứng thụ động bao gồm bộ trao đổi nhiệt nước và bộ trao đổi nhiệt không khí được đặt trong đường ống xả. Bộ trao đổi nhiệt không khí này bao gồm bộ phun được lắp trong đường ống xả này, hơi nước được tạo ra bởi bộ trao đổi nhiệt nước này là môi trường vận hành bộ phun này.

Hệ thống tương tự gần nhất với sáng chế được yêu cầu bảo hộ là hệ thống loại bỏ nhiệt thụ động ra khỏi lò phản ứng nước áp lực thông qua thiết bị tạo hơi nước được bộc lộ trong Patent Mẫu hữu ích Nga số RU96283, chỉ số phân loại sáng chế quốc tế (IPC): G21C 15, cấp ngày 20/07/2010. Hệ thống này bao gồm vòng tuần hoàn chất tải lạnh bao gồm thiết bị tạo hơi nước được kết nối bằng đường ống vào và đường ống ra với bộ trao đổi nhiệt được đặt bên trong bể cấp chất tải lạnh được lắp phía trên thiết bị tạo hơi nước này. Thiết bị khởi động bao gồm hai van khởi động có các đường kính danh nghĩa khác nhau được lắp trên đường ống ra của bộ trao đổi nhiệt này. Diện tích bề mặt trao đổi nhiệt đáp ứng tiêu chuẩn sau:

$$F_{he} \geq \frac{Q_{phrs}}{K_{he} \cdot \Delta t_{he}},$$

trong đó:

$Q_{phrs} = G_{steam} \cdot r$ là công suất của hệ thống,

G_{steam} là lưu lượng hơi nước tại đầu vào vòng tuần hoàn,

r là nhiệt hóa hơi,

K_{he} là hệ số truyền nhiệt qua ống trao đổi nhiệt,

Δ_{the} là chênh lệch giữa nhiệt độ bão hòa trong khoang chứa lò phản ứng hạt nhân và nhiệt độ bão hòa dưới áp suất khí quyển.

Tuy nhiên, các thiết kế này không tạo ra sự loại bỏ nhiệt thích hợp ra khỏi hệ thống. Hơn nữa, hiện tượng va đập nước (water hammers) có thể diễn ra trong các vòng trao đổi nhiệt của các hệ thống đã biết.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Mục đích của sáng chế là tạo ra hệ thống hiệu quả và đáng tin cậy để loại bỏ nhiệt thông qua thiết bị tạo hơi nước.

Hiệu quả kỹ thuật của sáng chế là tăng hiệu quả loại bỏ nhiệt, độ ổn định dòng chảy trong vòng này, và vì vậy, tăng độ tin cậy vận hành của hệ thống.

Hiệu quả kỹ thuật này đạt được nhờ hệ thống loại bỏ nhiệt thụ động ra khỏi lò phản ứng nước áp lực thông qua thiết bị tạo hơi nước bao gồm ít nhất một vòng tuần hoàn chất tải lạnh (nước), bao gồm thiết bị tạo hơi nước và bộ trao đổi nhiệt nhiều ngăn được đặt phía trên thiết bị tạo hơi nước này trong bể cấp nước làm mát và được kết nối với thiết bị tạo hơi nước này bằng đường ống vào và đường ống ra. Bộ trao đổi nhiệt này bao gồm ống góp dưới và ống góp trên được nối thông với nhau bởi các ống trao đổi nhiệt, có các van khởi động có các đường kính danh nghĩa khác nhau được lắp trên đường ống ra, và bộ trao đổi nhiệt này được chia thành các ngăn song song đáp ứng yêu cầu:

$L/D \leq 20$, trong đó:

L là độ dài nửa ngăn (bán ngăn),

D là đường kính ống góp,

và các phần đường ống vào và đường ống ra của vòng tuần hoàn này được thiết kế dưới dạng cụm các đường ống song song được phân nhánh được kết nối riêng với mỗi trong số các ngăn trao đổi nhiệt nêu trên.

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

– bộ trao đổi nhiệt được thiết kế sao cho tạo ra mối tương quan giữa tổn hao áp lực trong các ống trao đổi nhiệt ΔP_{tube} với tổn hao áp lực dọc theo chiều dài của ống góp trên ΔP_{head} đáp ứng tiêu chuẩn sau:

$$\Delta P_{\text{tube}}/\Delta P_{\text{head}} \geq 1,5,$$

– ít nhất một phần của đường ống vào từ điểm phân nhánh đường ống chung đến điểm trên cùng có phần nghiêng lên một góc ít nhất 10° so với đường thẳng nằm ngang,

– đường ống vào từ điểm phân nhánh đường ống chung đến điểm trên cùng bao gồm các đoạn nghiêng lên một góc nhỏ hơn 10° so với đường thẳng nằm ngang, có độ dài L_{sec1} và đường kính D_{sec1} , đáp ứng tiêu chuẩn sau: $L_{\text{sec1}}/D_{\text{sec1}} \leq 10$,

– ít nhất một phần của đường ống vào từ điểm trên cùng đến ống góp trên của thiết bị trao đổi nhiệt có phần nghiêng xuống một góc ít nhất là 10° so với đường thẳng nằm ngang,

– đường ống vào từ điểm trên đến ống góp trên của thiết bị trao đổi nhiệt có các phần nghiêng xuống một góc nhỏ hơn 10° so với đường thẳng nằm ngang, có độ dài L_{sec2} và đường kính D_{sec2} , đáp ứng tiêu chuẩn sau: $L_{\text{sec2}}/D_{\text{sec2}} \leq 10$,

– ít nhất một phần của đường ống ra từ ống góp dưới của thiết bị trao đổi nhiệt đến điểm kết nối nhánh vào đường ống chung có phần nghiêng xuống một góc ít nhất là 10° so với đường thẳng nằm ngang,

– đường ống ra từ ống góp dưới của thiết bị trao đổi nhiệt đến điểm kết nối nhánh vào đường ống chung có các phần nghiêng xuống một góc nhỏ hơn 10° so với đường thẳng nằm ngang, có độ dài L_{sec3} và đường kính D_{sec3} , đáp ứng tiêu chuẩn sau: $L_{\text{sec3}}/D_{\text{sec3}} \leq 10$,

– điểm trên cùng của đường ống vào được đặt bên ngoài bề cấp nước làm mát,

– các ngăn trao đổi nhiệt có các ống trao đổi nhiệt theo hàng ở vị trí so le,

– khoảng cách tối thiểu giữa các ống trao đổi nhiệt bất kỳ liền kề nhau trong ngăn trao đổi nhiệt là 50 mm,

– các ống trao đổi nhiệt trong ngăn trao đổi nhiệt có các phần nghiêng xuống một góc ít nhất là 10° so với đường thẳng nằm ngang,

– hệ thống bao gồm bốn kênh độc lập, mỗi kênh chứa một trong các vòng tuần hoàn này.

Các thử nghiệm chỉ ra rằng mối tương quan thông số của hệ thống nêu trên tạo ra sự loại bỏ nhiệt hiệu quả nhất ra khỏi thiết bị tạo hơi nước nhờ vào thiết kế tối ưu của đường ống vào và đường ống ra của hệ thống, việc cấp đến và loại bỏ riêng chất tải lạnh từ các ngăn trao đổi nhiệt, mối tương quan được giảm thiểu tối ưu giữa độ dài nửa ngăn và lỗ của ống góp của bộ trao đổi nhiệt, và vị trí tương đối tốt nhất của các ống trao đổi nhiệt.

Mối tương quan giữa độ dài nửa ngăn và lỗ của ống góp của bộ trao đổi nhiệt được lựa chọn sao cho giảm thiểu sự phân bố dòng chất tải lạnh không đồng đều 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 tăng 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 trong ống góp của bộ trao đổi nhiệt là giảm tổn hao áp lực của dòng môi trường trong ống góp này. Điều này đạt được là nhờ giảm độ dài của ống góp và tăng lỗ của ống góp này trong phạm vi khả năng của quy trình chế tạo thiết bị và các đặc điểm thiết kế khác. Đối với 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 sự phân bố các dòng chất tải lạnh giữa các ống trao đổi nhiệt là đồng đều nhất. Khi vượt tiêu chuẩn này, độ phân bố đồng đều của môi trường giữa các kênh trao đổi nhiệt giảm xuống, gây ra sự bất ổn định dòng chất tải lạnh và, do đó, công suất nhiệt của bộ trao đổi nhiệt bị giảm xuống.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

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

Fig.1 là hình vẽ phối cảnh thể hiện thiết kế vòng tuần hoàn nước làm mát,

Fig.2 là hình vẽ phối cảnh thể hiện thiết kế của điểm kết nối của các đường ống vào và ra với ngăn trao đổi nhiệt,

Fig.3a-3c là các hình vẽ thể hiện thiết kế của ngăn trao đổi nhiệt,

Fig.4a-4c thể hiện các hàm theo thời gian theo tính toán (I) và theo thử nghiệm (II) của áp suất trong thiết bị tạo hơi nước, công suất nhiệt của bộ trao đổi nhiệt và lưu lượng chất tải lạnh trong vòng SG PHRS trong khi làm mát nhà máy điện hạt nhân trong trường hợp xảy ra sự cố,

Fig.5a-5d thể hiện các hàm theo thời gian của áp lực phía trên lõi, nhiệt độ chất tải lạnh ở cửa ra của lõi, công suất kênh hệ thống và nhiệt độ tối đa của lớp sơn phủ phân tử nhiên liệu trong khi làm mát nhà máy điện hạt nhân trong trường hợp xảy ra sự cố.

Mô tả chi tiết sáng chế

Hệ thống được yêu cầu bảo hộ là sự kết hợp của các vòng tuần hoàn chất tải lạnh (nước). 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 một vòng tuần hoàn này.

Vòng tuần hoàn này (Fig. 1) bao gồm thiết bị tạo hơi nước (1) và bộ trao đổi nhiệt nhiều ngăn (2) được đặt phía trên thiết bị tạo hơi nước (1) bên trong bể cấp nước làm mát (3). Các ngăn của bộ trao đổi nhiệt (2) được kết nối với thiết bị tạo hơi nước (1) bằng đường ống vào (4) và đường ống ra (5) sao cho khoang trong của bộ trao đổi nhiệt (2) được kết nối với khoang hơi nước của thiết bị tạo hơi nước (1), nghĩa là vòng tuần hoàn hệ thống được khép kín trong khoảng không bên trong hệ thống này.

Bộ trao đổi nhiệt này được chia thành mười sáu ngăn trao đổi nhiệt song song, mỗi ngăn bao gồm hai nửa ngăn (xem Fig. 2, 3). Mối quan hệ giữa độ dài nửa ngăn (L) và đường kính ống góp (D) trong ngăn này phải đáp ứng tiêu chuẩn sau: $L/D \leq 20$.

Ngăn của bộ trao đổi nhiệt (2) (Fig. 3a và 3c) bao gồm ống góp trên (6) và ống góp dưới (7) được nối thông với nhau bởi các ống trao đổi nhiệt (8) và cút nối trên hình chữ T (9) và cút nối dưới hình chữ T (10) được lắp trên các ống góp này để kết nối với đường ống vào (4) và đường ống ra (5).

Theo phương án ưu tiên, các ống (8) có các phần đầu được uốn cong (kết nối với các ống góp) và các phần giữa thẳng. Các phần được uốn cong này nghiêng xuống một góc ít nhất là 10° so với đường thẳng nằm ngang. Phần này bao gồm hai loại ống (8) có các cấu hình cong khác nhau: các ống “ngắn” (8a) và các ống “dài” (8b) (Fig. 3b). Các loại ống này xen kẽ nhau, tạo ra kết cấu so le của các ống trao đổi nhiệt theo hàng.

Theo phương án cụ thể này của sáng chế dùng cho Nhà máy điện nguyên tử (Nuclear Power Plant - NPP) Leningrad-2, các ngăn trao đổi nhiệt này nằm dưới mực nước ($H=5,8$ m) trong phần dưới của bể (3) này. Chùm ống trao đổi nhiệt của mỗi ngăn bao gồm 140 ống được uốn cong có đường kính ngoài/trong là 16/12 mm được kết nối với các ống góp vào trên và các ống góp ra dưới có đường kính ngoài/trong là 108/90 mm. Độ dài của nửa ngăn của các ống góp trên và ống góp dưới này là 960 mm. Khoảng cách tối thiểu giữa các ống trao đổi nhiệt bất kỳ liền kề nhau là 50 mm. Khoảng cách giữa các ống góp này là 1,95 m, và độ dài ống trung bình của ngăn là 2,124 m. Diện tích bề mặt truyền nhiệt của mỗi ngăn là $14,1$ m². Vì vậy, phương án thiết kế cụ thể này có tổng diện tích bề mặt truyền nhiệt của mỗi kênh hệ thống là 239 m².

Đường kính ngoài/trong của phần chính của đường ống vào (4) đến điểm phân nhánh là 273/233 mm, và đường kính ngoài/trong của phần chính của đường ống ra (5) sau điểm phân nhánh là 108/90 mm.

Để triệt tiêu hiệu ứng ống góp trong khi vận hành mười sáu ngăn trao đổi nhiệt song song, thiết kế hệ thống không có các đầu phân phối và thu hồi chung. Vì mục đích này, các phần của đường ống vào (4) và đường ống ra (5) của vòng tuần hoàn được thiết kế dưới dạng cụm các đường ống song song được phân nhánh được kết nối riêng với mỗi ngăn trao đổi nhiệt (xem Fig. 1). Mỗi ngăn trao đổi nhiệt có kết nối riêng dưới dạng phần (14) từ đường ống vào (4) và kết nối riêng dưới dạng phần (15) tới đường ống ra (5) (Fig. 2). Các phần (14) và (15) này được kết nối với các ống góp (6) và (7) tại các tâm điểm chia ngăn trao đổi nhiệt thành hai nửa ngăn nói trên (xem Fig. 2, Fig. 3).

Theo phương án ưu tiên của sáng chế, đường ống vào (4) có điểm phân nhánh trên cùng (11) phân chia đường ống (4) thành hai nhánh, mỗi nhánh được phân chia tiếp thành hai nhánh, v.v. Vì vậy, đường ống vào này được chia thành 16 nhánh, mỗi nhánh được kết nối với cút nối trên hình chữ T (9) của ngăn liên quan. Điểm trên cùng của đường ống vào này được đặt bên ngoài bề cấp nước làm mát. Hai nửa ngăn trao đổi nhiệt cùng nhau tạo thành mỗi trong số 16 ngăn trao đổi nhiệt được kết nối với cút nối trên hình chữ T (9) và cút nối dưới hình chữ T (10).

Đường ống ra (5) có điểm phân nhánh dưới (12) có cách phân nhánh tương tự với các nhánh của nó được kết nối với các cút nối dưới hình chữ T (10) của các ngăn này.

Mối quan hệ giữa tổn hao áp lực trong các ống trao đổi nhiệt ΔP_{tube} với tổn hao áp lực dọc theo chiều dài của ống góp trên ΔP_{head} đáp ứng tiêu chuẩn sau:

$$\Delta P_{\text{tube}}/\Delta P_{\text{head}} \geq 1,5.$$

Đường ống vào từ điểm phân nhánh đường ống chung đến điểm trên cùng này nghiêng lên so với đường thẳng nằm ngang, và nghiêng xuống trong phần giữa điểm trên cùng này và ống góp trên của thiết bị trao đổi nhiệt. Đường ống ra cũng nghiêng xuống. Góc nghiêng xuống của đường ống ít nhất là 10° . Có ngoại lệ đối với một số phần đường ống có độ nghiêng lớn hơn 10° , với mối quan hệ giữa độ dài L_{sec} và đường kính D_{sec} của chúng đáp ứng tiêu chuẩn: $L_{\text{sec}}/D_{\text{sec}} \leq 10$.

Hai van khởi động (13) có các đường kính danh nghĩa khác nhau được lắp song song trên đường ống ra (5): “to” và “nhỏ”. Các van này tạo ra sự kích hoạt tự động hệ thống theo chế độ làm mát liên quan. Ở chế độ chờ, các van khởi động này được đóng lại.

Theo một phương án cụ thể của sáng chế, van khởi động “nhỏ” có đường kính danh nghĩa là DN50 được lắp trên đường ống phụ $57 \times 5,5$ mm được kết nối với đường xuống chính bởi các cút nối hình chữ T. Van điều khiển thủ công được lắp sau van khởi động “nhỏ” trên đường ống phụ này để điều chỉnh lưu lượng nước ngưng. Van điện từ được sử dụng làm van khởi động “nhỏ”. Van này thường được mở.

Van khởi động “to” có đường kính danh nghĩa là DN100 được lắp trên đường ống giữa các điểm kết nối của đường ống phụ với van “nhỏ”. Tương tự, van điều khiển thủ công được lắp trên phần này để điều chỉnh lưu lượng nước ngưng. Van vận hành bằng điện được sử dụng làm van “to”. Van này thường được đóng. Van “to” này tự động mở khi nhận được tín hiệu từ hệ thống điều khiển quy trình tự động (APCS - automatic process control system). Công suất tối đa của một kênh SG PHRS có van “to” mở ở nhiệt độ nước 30°C trong bể này là khoảng 52 MW. Khi van “nhỏ” được vận hành trong các điều kiện tương tự, công suất này là khoảng 28 MW.

Hệ thống theo sáng chế vận hành như sau.

Để bắt đầu vận hành, mở một trong các van khởi động (13). Điều này khởi động vòng tuần hoàn chất tải lạnh tự nhiên với hơi nước được cấp từ khoang hơi nước của thiết bị tạo hơi nước (1) đến các ngăn của bộ trao đổi nhiệt (2) thông qua đường ống vào (4). Hơi nước được ngưng tụ trong bộ trao đổi nhiệt và nước ngưng được tạo thành được tháo vào thiết bị tạo hơi nước (1) thông qua đường ống ra (5). Khi hơi nước được ngưng tụ bên trong ống của bộ trao đổi nhiệt (2), nhiệt năng được truyền từ chất tải lạnh trong vòng tuần hoàn cho nước làm mát trong bể (3). Sau khi nước làm mát được gia nhiệt đến điểm sôi, hơi nước được tạo ra từ khối nước trong bể này, sau đó được thải ra môi trường. Vì vậy, nhiệt năng được tháo từ thiết bị tạo hơi nước ra môi trường.

Để minh chứng bằng thử nghiệm về khả năng vận hành và hiệu suất của thiết kế SG PHRS được đề xuất, một nghiên cứu toàn diện đã được thực hiện trên SG PHRS quy mô lớn tại Viện Nghiên cứu và Thiết kế công nghệ điện Polzunov (NPO CKTI). Hệ số tương đồng về thể tích và công suất của mô hình so với nguyên mẫu thực xấp xỉ bằng 1:110.

Fig.4 thể hiện các kết quả nghiên cứu mô phỏng làm mát nhà máy điện hạt nhân trong trường hợp xảy ra sự cố với khối phát điện bị tắt cho thấy sự phụ thuộc của áp lực trong mô hình thiết bị tạo hơi nước (a), công suất nhiệt (b) và lưu lượng chất tải lạnh (c) vào thời gian xử lý tai nạn được mô phỏng. Đường I thể hiện các giá trị được tính toán bằng cách sử dụng mã KORSAR, và đường II thể hiện dữ liệu thử nghiệm.

Các kết quả được tính toán và thử nghiệm của nghiên cứu này thể hiện rằng hệ thống được yêu cầu bảo hộ loại bỏ nhiệt một cách đáng tin cậy mà không có sự nhiễu loạn về nhiệt độ và lưu lượng dòng chảy chất tải lạnh và tạo ra sự giảm áp lực mạnh mẽ trong thiết bị tạo hơi nước. Không có hiện tượng va đập nước trong khi khởi động và làm mát nhà máy. Ngoài ra, các dữ liệu được tính toán và thử nghiệm này là khá tương đồng.

Fig.5 thể hiện các kết quả tính toán đối với tai nạn vượt ra khỏi thiết kế với khối phát điện bị tắt dài hạn trong 24 giờ, cho thấy sự phụ thuộc của áp lực phía trên lõi (a), nhiệt độ chất tải lạnh tại cửa ra của lõi (b), công suất kênh SG PHRS (c), và nhiệt độ lớp sơn phủ phần tử nhiên liệu tối đa (d) vào thời gian xử lý tai nạn.

Như được chứng minh bằng kết quả tính toán và thử nghiệm, hệ thống được yêu cầu bảo hộ với các thông số nêu trên tạo ra sự tuần hoàn chất tải lạnh tự nhiên mạnh mẽ trong khi loại bỏ nhiệt ra khỏi các thiết bị tạo hơi nước trong tất cả các chế độ sự cố nhà máy điện hạt nhân khi hệ thống này hoạt động.

Vi vậy, hệ thống được yêu cầu bảo hộ này tạo ra sự làm mát hiệu quả và đáng tin cậy cho nhà máy điện hạt nhân trong tất cả các chế độ sự cố có thể xảy ra. Việc áp dụng hệ thống này trong khi xảy ra các sự cố liên quan đến khối phát điện bị tắt và nguồn cung cấp nước bị hỏng hoàn toàn bảo đảm sự vận hành tự thân của nhà máy điện hạt nhân trong 24 giờ sau khi xảy ra sự cố.

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Hệ thống loại bỏ nhiệt thụ động ra khỏi lò phản ứng nước áp lực thông qua thiết bị tạo hơi nước bao gồm ít nhất một vòng tuần hoàn chất tải lạnh bao gồm thiết bị tạo hơi nước (1) và bộ trao đổi nhiệt nhiều ngăn (2) được đặt phía trên thiết bị tạo hơi nước (1) bên trong bể cấp nước làm mát (3) và được kết nối với thiết bị tạo hơi nước (1) bằng đường ống vào (4) và đường ống ra (5), bộ trao đổi nhiệt (2) bao gồm ống góp dưới (7) và ống góp trên (6) được nối thông với nhau bởi các ống trao đổi nhiệt (8), và với các van khởi động (13) có các đường kính danh nghĩa khác nhau được lắp trên đường ống ra (5), trong đó bộ trao đổi nhiệt này được chia thành các ngăn được đặt song song đáp ứng yêu cầu:

$L/D \leq 20$, trong đó:

L là độ dài nửa ngăn,

D là đường kính ống góp,

và các phần của đường ống vào (4) và đường ống ra (5) của vòng tuần hoàn được thiết kế dưới dạng cụm các đường ống song song được phân nhánh được nối riêng với mỗi trong số các ngăn của bộ trao đổi nhiệt (2) nêu trên.

2. Hệ thống theo điểm 1, trong đó bộ trao đổi nhiệt (2) được thiết kế sao cho tạo ra mối tương quan giữa tổn hao áp lực trong các ống trao đổi nhiệt ΔP_{tube} với tổn hao áp lực dọc theo chiều dài của ống góp trên ΔP_{head} đáp ứng tiêu chuẩn sau:

$$\Delta P_{\text{tube}}/\Delta P_{\text{head}} \geq 1,5.$$

3. Hệ thống theo điểm 1, trong đó ít nhất một phần của đường ống vào (4) từ điểm phân nhánh đường ống chung đến điểm trên cùng nghiêng lên một góc ít nhất 10° so với đường thẳng nằm ngang.

4. Hệ thống theo điểm 3, trong đó đường ống vào (4) từ điểm phân nhánh đường ống chung đến điểm trên cùng bao gồm các đoạn nghiêng lên một góc nhỏ hơn 10° so với đường thẳng nằm ngang, có độ dài L_{sec1} và đường kính D_{sec1} , đáp ứng tiêu chuẩn sau: $L_{\text{sec1}}/D_{\text{sec1}} \leq 10$.

5. Hệ thống theo điểm 1, trong đó ít nhất một phần của đường ống vào (4) từ điểm trên cùng đến ống góp trên của bộ trao đổi nhiệt nghiêng xuống một góc ít nhất là 10° so với đường thẳng nằm ngang.

6. Hệ thống theo điểm 5, trong đó đường ống vào (4) từ điểm trên đến ống góp trên của bộ trao đổi nhiệt có các phần nghiêng xuống một góc nhỏ hơn 10° so với đường thẳng nằm ngang, có độ dài L_{sec2} và đường kính D_{sec2} , đáp ứng tiêu chuẩn sau: $L_{\text{sec2}}/D_{\text{sec2}} \leq 10$.

7. Hệ thống theo điểm 1, trong đó ít nhất một phần của đường ống ra (5) từ ống góp dưới của bộ trao đổi nhiệt đến điểm kết nối nhánh vào đường ống chung nghiêng xuống một góc ít nhất là 10° so với đường thẳng nằm ngang.

8. Hệ thống theo điểm 7, trong đó đường ống ra (5) từ ống góp dưới của bộ trao đổi nhiệt đến điểm kết nối nhánh vào đường ống chung có các phần nghiêng xuống một góc nhỏ hơn 10° so với đường thẳng nằm ngang, có độ dài L_{sec3} và đường kính D_{sec3} , đáp ứng tiêu chuẩn sau: $L_{\text{sec3}}/D_{\text{sec3}} \leq 10$.
9. Hệ thống theo điểm 1, trong đó điểm trên cùng của đường ống vào (4) được đặt bên ngoài bể cấp nước làm mát.
10. Hệ thống theo điểm 1, trong đó các ống trao đổi nhiệt (8) theo hàng của các ngăn của bộ trao đổi nhiệt (2) được đặt so le.
11. Hệ thống theo điểm 1, trong đó khoảng cách tối thiểu giữa các ống trao đổi nhiệt bất kỳ liền kề nhau (8) trong ngăn của bộ trao đổi nhiệt (2) là 50 mm.
12. Hệ thống theo điểm 1, trong đó các ống trao đổi nhiệt (8) trong ngăn của bộ trao đổi nhiệt (2) có các phần nghiêng xuống một góc ít nhất là 10° so với đường thẳng nằm ngang.
13. Hệ thống theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 12, trong đó hệ thống này bao gồm bốn kênh độc lập, mỗi kênh chứa một trong các vòng tuần hoàn này.

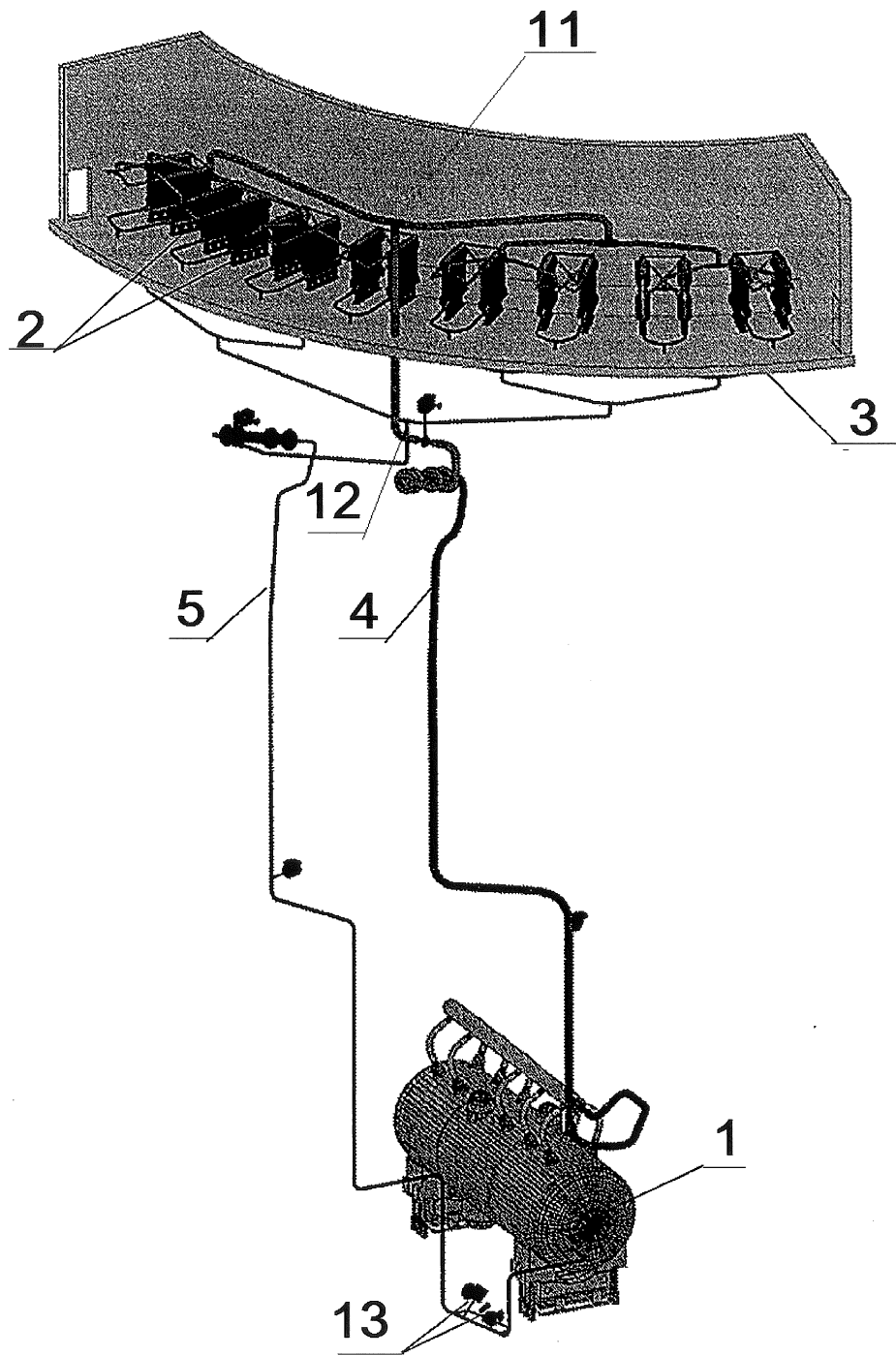


FIG.1

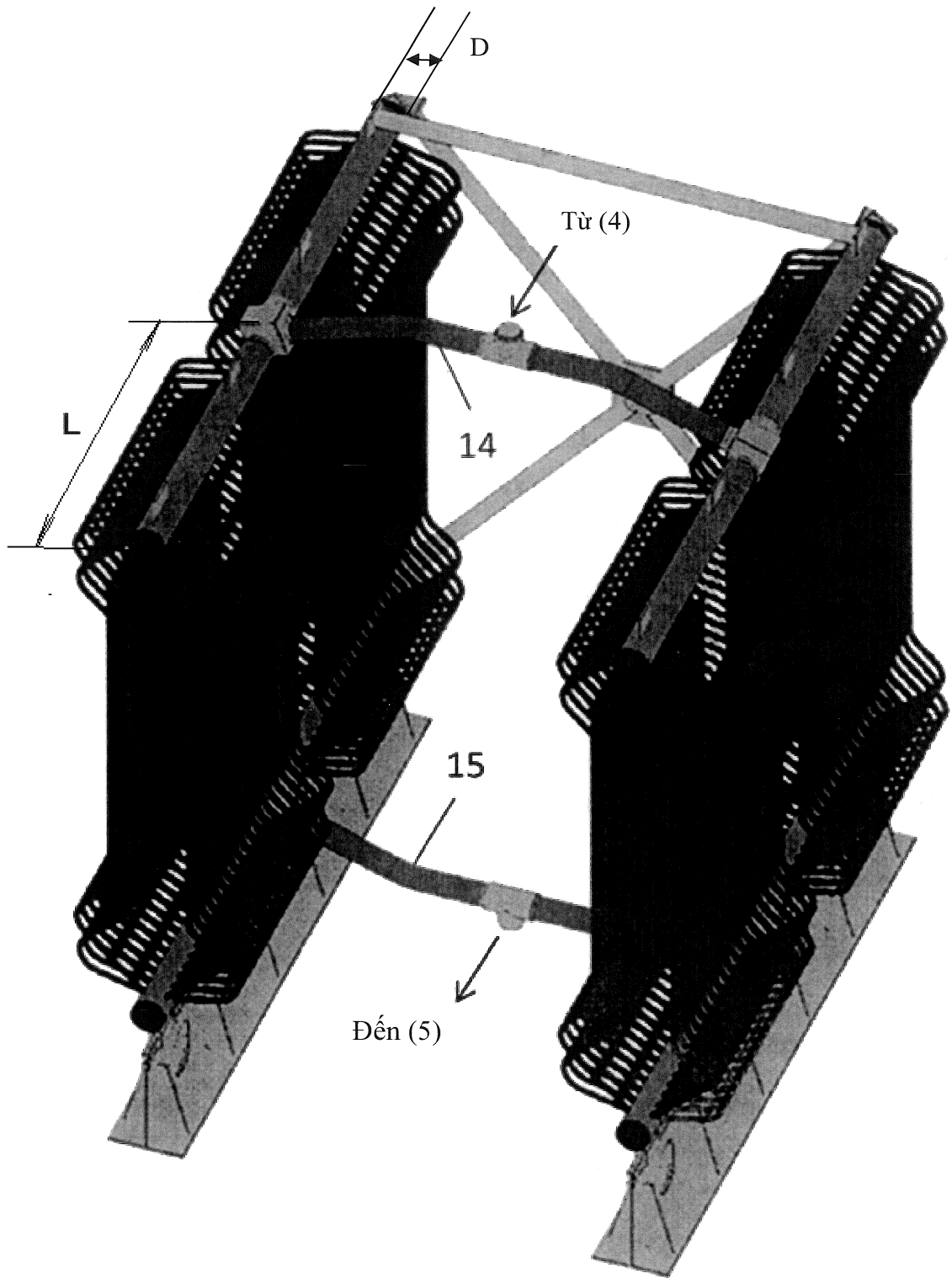


FIG.2

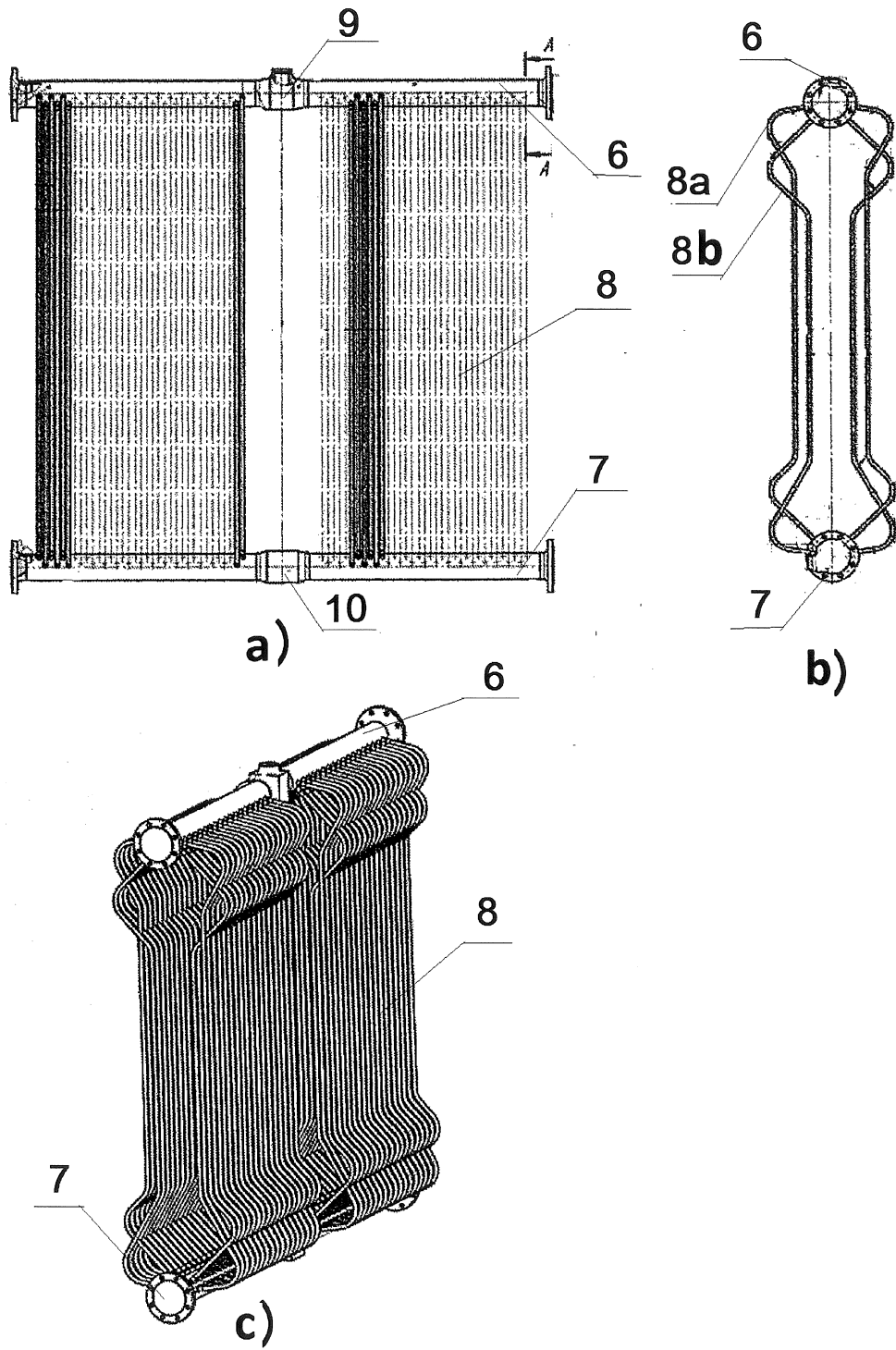
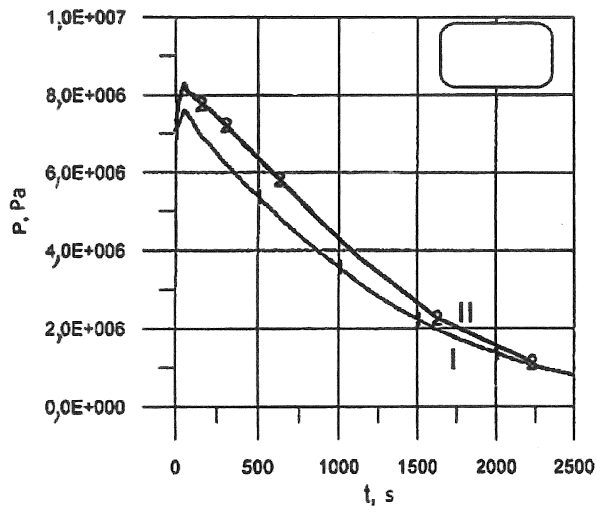
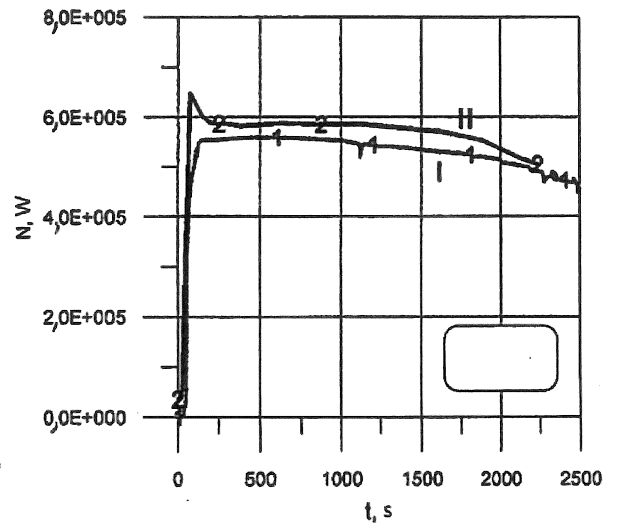


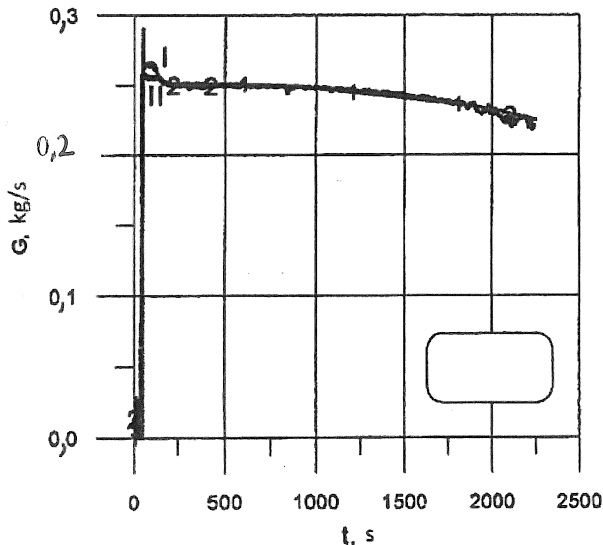
FIG.3



a)



b)



c)

FIG.4

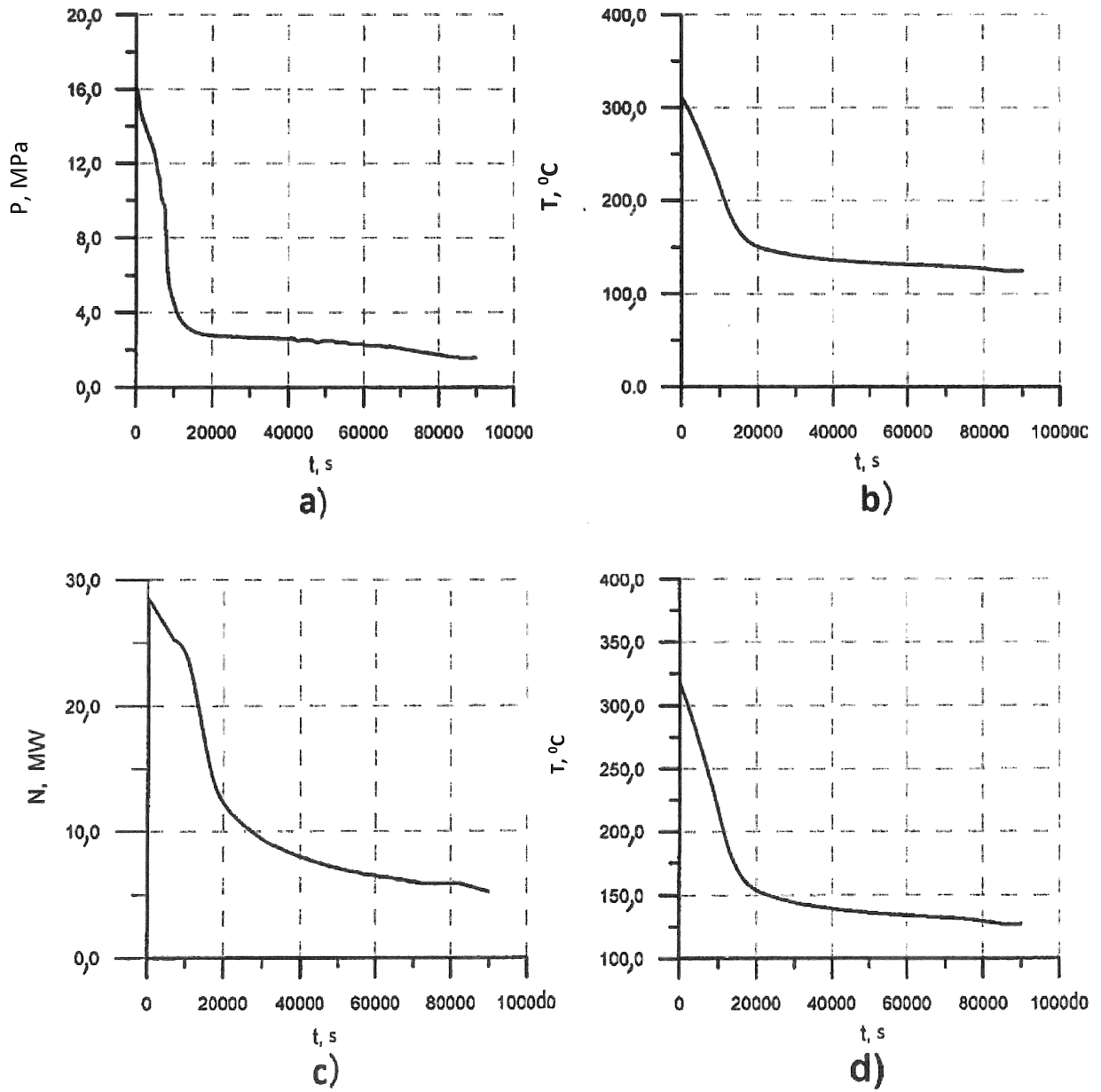


FIG.5