

NGHIÊN CỨU TAI NẠN ĐỨT GÃY ỚNG TẢI NHIỆT TRONG THIẾT BỊ SINH HƠI CỦA NHÀ MÁY ĐIỆN HẠT NHÂN KOZLODUY DÙNG CHƯƠNG TRÌNH RELAP5/Mod 3.2

Lê Trần Chung¹, Nguyễn Minh Tuân²

- 1. Trung tâm Năng lượng hạt nhân, Viện KHKT Hạt nhân*
- 2. Trung tâm Lò phản ứng, Viện Nghiên cứu hạt nhân*

Tóm tắt: Công nghệ lò VVER-1000 là công nghệ đã được lựa chọn để xây dựng nhà máy điện hạt nhân Ninh Thuận 1 ở nước ta, việc tìm hiểu, nghiên cứu công nghệ và phân tích an toàn cho lò VVER-1000 đang là các yêu cầu đòi hỏi cấp thiết hiện nay. Báo cáo này trình bày kết quả nghiên cứu sự cố SGTR (Steam Generator Tube Rupture). Sự cố này là sự cố giả định có thể xảy ra trong cuộc đời của một NMDHN. Đối tượng nghiên cứu là lò phản ứng VVER-1000 tổ máy số 6, nhà máy Kozloduy, Bulgaria. Phương pháp nghiên cứu là sử dụng chương trình nhiệt thủy động RELAP5/Mod 3.2 để mô hình hoá các hệ thống, chức năng và thực hiện các tính toán, phân tích trạng thái của nhà máy khi xảy ra sự cố sự cố SGTR.

Từ khoá: Thiết bị sinh hơi, Ống, Vòng tuần hoàn, Đứt/gãy, Bơm tuần hoàn vòng I, Bình điều áp, Bình tích nước, Hệ thống bơm áp suất cao, Hệ thống bơm áp suất thấp, Van an toàn, Van xả BRU-K, Van xả BRU-A, Đường cấp nước chính, Đường cấp nước sự cố, Lưu lượng, Mức nước, Công suất lò.

1. MỞ ĐẦU

Trong báo cáo, sự cố giả định là sự cố SGTR (đứt/gãy ống trao đổi nhiệt trong thiết bị sinh hơi). Mục đích của nghiên cứu là đánh giá mức độ trầm trọng, khả năng tải nhiệt cho vùng hoạt theo cơ chế đối lưu tự nhiên qua các vòng tuần hoàn trao đổi nhiệt (Loop) không bị sự cố và giải pháp điều khiển nhằm khắc phục, giảm nhẹ thiệt hại. Các vấn đề được lựa chọn phân tích là:

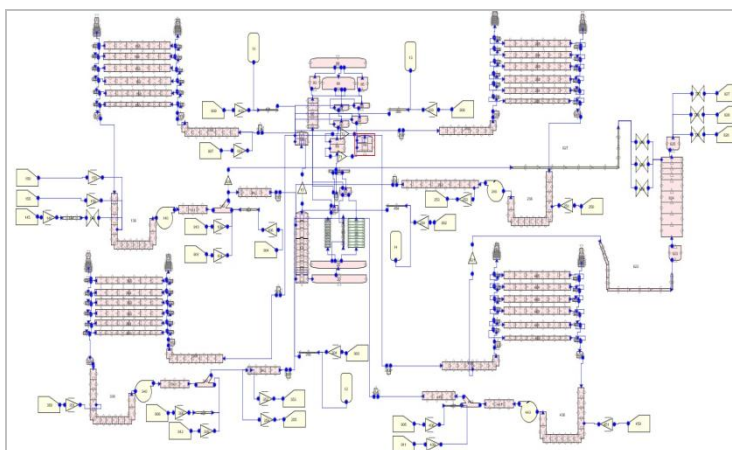
- Đánh giá sự cố SGTR phụ thuộc vị trí đứt/gãy của ống;
- Đánh giá sự cố SGTR phụ thuộc số lượng ống đứt/gãy;
- Sự cố đứt/gãy 10 ống và giải pháp giảm nhẹ hậu quả sự cố.

Đối tượng nghiên cứu được lựa chọn là lò phản ứng VVER-1000, tổ máy số 6, nhà máy Kozloduy, Bulgaria. Phương pháp nghiên cứu là sử dụng chương trình nhiệt thủy động RELAP5/Mod 3.2 để mô hình hoá các hệ thống, chức năng và thực hiện các tính toán phân tích trạng thái của nhà máy khi xảy ra sự cố sự cố SGTR. Các số liệu lò VVER-1000 tổ máy số 6, nhà máy Kozloduy dùng trong nghiên cứu được lấy từ tài liệu [1], đây là 1 bài toán IAEA benchmark.

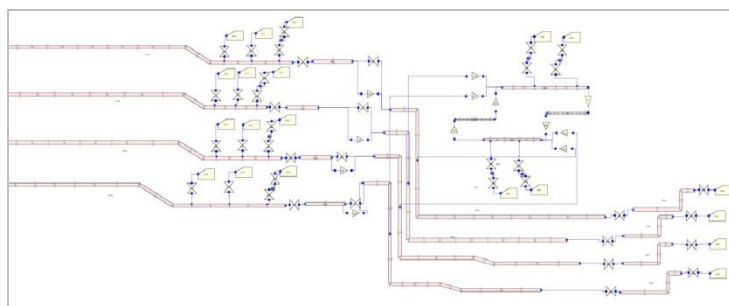
Bảng 1. Một số thông số cơ bản

Số tt	Các thông số chính	Giá trị
1	Công suất nhiệt (MW)	3120
2	Áp suất lõi ra vùng hoạt (MPa)	15.957
3	Mức nước bình điều áp (m)	8.920
4	Nhiệt độ lõi vào vùng hoạt ($^{\circ}$ K)	564
5	Nhiệt độ lõi ra vùng hoạt ($^{\circ}$ K)	594
6	Áp suất vòng II (MPa)	6.27
7	Nhiệt độ nước cấp vòng II ($^{\circ}$ K)	493
8	Nhiệt độ nước cấp sơ cấp vòng II ($^{\circ}$ K)	313

Trên cơ sở các số liệu cung cấp trong tài liệu [1] về hình học, vật liệu, sơ đồ các hệ thống, chức năng, điều kiện ban đầu, điều kiện biên và đặc biệt là RELAP5 base input, một input RELAP5/Mod 3.2 cho mục đích phân tích lò tổ máy số 6, nhà máy Kozloduy đã được phát triển. Input bao gồm Time step control cards, Trip and control data, Hydro-dynamic component data, Heat structure data, Reactor kinetics data và các hệ thống như Main coolant pump, Pressurizer, Primary circuit blowdown make-up system, Hydro accumulator, High pressure injection system, Low pressure injection system, Safety valve, BRU-A, BRU-K, Main feedwater line và Emergency feed waterline.



Hình 1.1. Mô hình Relap5/Mod 3.2 vòng I nhà máy Kozloduy



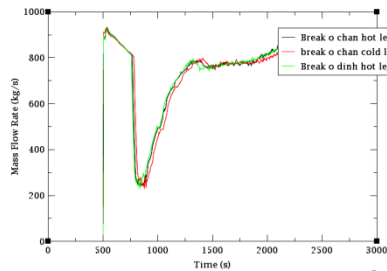
Hình 1.2. Mô hình Relap5/Mod 3.2 vòng II nhà máy Kozloduy

2. KẾT QUẢ PHÂN TÍCH

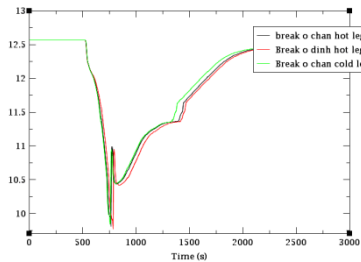
2.1. Trạng nhiệt thủy động nhà máy phụ thuộc vị trí ống đứt/gãy.

Giả thiết đưa ra trong phân tích là lò phản ứng đang vận hành ổn định ở 100% mức công suất và xảy ra một vết rách ở thời điểm 500 s có tiết diện rách tương đương với tiết diện đứt/gãy 10 ống truyền nhiệt trong SG. Vết rách được khảo sát lần lượt ở các vị trí là chân

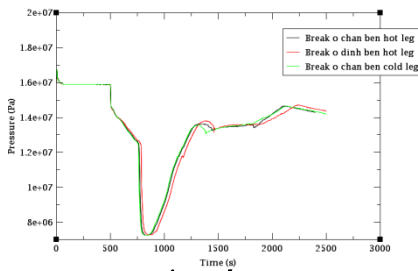
ống chữ U bên phía đầu đẩy của bơm (kênh nóng), vị trí trên cùng của ống chữ U bên phía đầu đẩy của bơm, chân ống chữ U bên phía đầu hút của bơm (kênh lạnh). Khi xảy ra rách, lưu lượng chất tải nhiệt thoát qua vết rách cực đại khoảng 930 kg/s, áp suất trong bình điều áp giảm nhanh → dẫn đến việc đập lò theo tín hiệu mức áp suất thấp ở thời điểm khoảng 750 s → dừng 4 bơm vòng I và đóng van cấp hơi cho turbine với thời gian trễ tương ứng là 10 s và 0.5 s. Hệ thống các van xả BRU-K được giả thiết là hỏng (giả thiết làm cho sự cố thêm trầm trọng), còn các hệ thống đảm bảo an toàn khác làm việc bình thường. Kết quả tính toán lưu lượng nước thoát qua vết rách, mức nước trong thùng lò phản ứng, áp suất phía vòng I và II được trình bày trên các Hình 2.1.1 – 2.1.4 dưới đây:



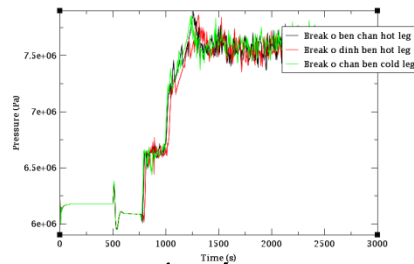
Hình 2.1.1. Lưu lượng nước qua vết rách



Hình 2.1.2. Mức nước trong thùng lò



Hình 2.1.3. Áp suất vòng I

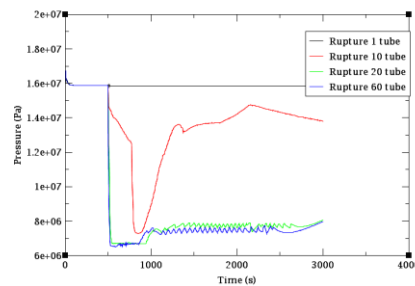
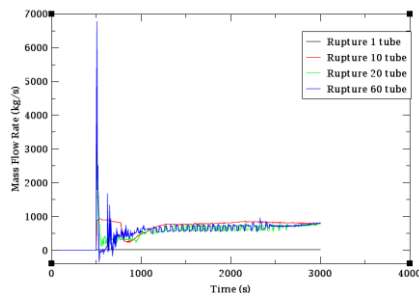


Hình 2.1.4. Áp suất vòng II

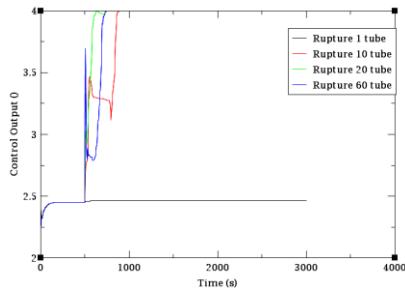
Kết quả tính toán cho thấy không có sự khác biệt nhiều về trạng thái thủy nhiệt của nhà máy khi xảy ra đứt/gãy ống truyền nhiệt ở các vị trí khác nhau trong SG. Đây là điểm khác biệt giữa công nghệ VVER do Nga sản xuất và công nghệ của các loại lò phản ứng do Westinghouse sản xuất. Lò VVER có SG nằm ngang còn của Westinghouse có SG thẳng đứng.

2.2. Trạng nhiệt thủy động nhà máy phụ thuộc vào số lượng ống đứt/gãy

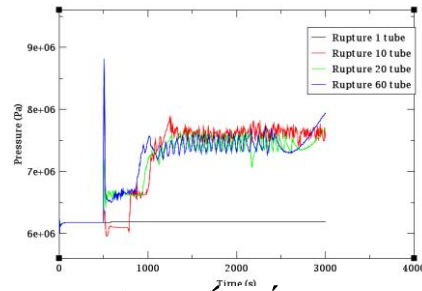
Trong phân tích này, các điều kiện ban đầu của nhà máy tương tự như các điều kiện nêu trong Mục 2.1 và vết rách xảy ra ở chân ống chữ U bên phía đầu đẩy của bơm Loop 1 có tiết diện rách tương đương với số lượng ống đứt/gãy giả thiết là 1, 10, 20 và 60 ống. Tính toán nhằm mục đích so sánh một số đặc trưng nhiệt thủy cho 4 kịch bản đứt/gãy nêu trên. Các kết quả chính được trình bày lần lượt trong các Hình 2.2.1 – 2.2.8 dưới đây:



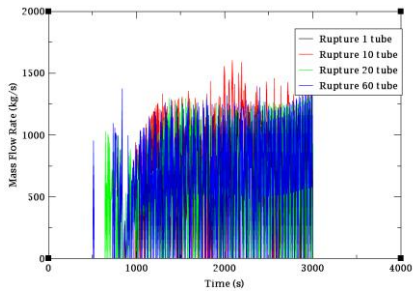
Hình 2.2.1. Lưu lượng chất tải nhiệt qua vết rách



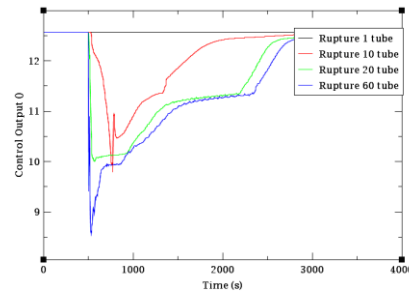
Hình 2.2.2. Áp suất vòng I



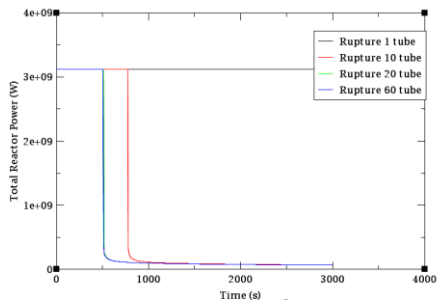
Hình 2.2.3. Mức nước trong SG ở Loop 1



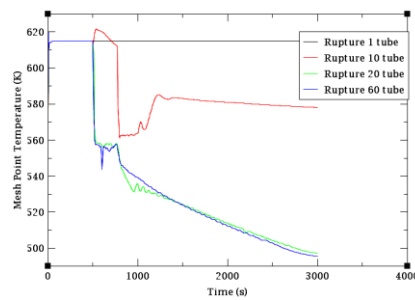
Hình 2.2.4. Áp suất vòng II



Hình 2.2.5. Lưu lượng hơi-nước qua BRU-A



Hình 2.2.6. Mức nước trong vùng hoạt



Hình 2.2.7. Công suất nhiệt của lò

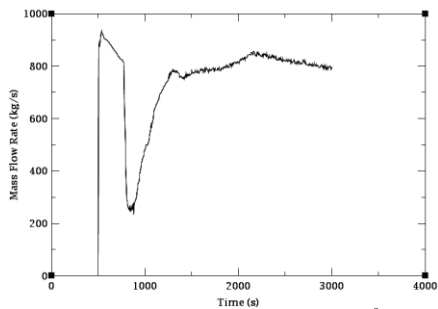
Hình 2.2.8. Nhiệt độ vỏ bọc thanh nhiên liệu

Kết quả tính toán cho thấy rằng số lượng ống đứt/gãy càng nhiều → lưu lượng chất tải nhiệt qua vết rách càng lớn (Hình 2.2.1) → áp suất vòng I giảm nhanh (Hình 2.2.2) → tín hiệu đập lò càng được khởi phát sớm (Hình 2.2.7). Riêng trường hợp đứt/gãy 1 ống hệ thống kiểm soát và bù trừ thể tích vòng I (Primary circuit blowdown make-up system) hoàn toàn bù được lượng nước rò thoát qua vòng II → áp suất vòng I được duy trì → không có tín hiệu đập lò. Trường hợp đứt/gãy 10 ống thời gian đập lò chậm hơn so với 2 trường hợp đứt/gãy 20, 60 ống khoảng 300 s, điều này làm cho nhiệt độ cực đại bề mặt thanh nhiên liệu xuất hiện 1 pick ở thời điểm ngay sau khi xảy ra đứt/gãy. Tuy nhiên, nhiệt độ cũng chỉ vào khoảng 620 °K (Hình 2.2.7, Hình 2.2.8), rất thấp so với ngưỡng an toàn là 1070 °C). Trong loại sự cố này, việc tải nhiệt từ vòng I sang vòng II được thực hiện nhờ 2 cơ chế là cơ chế đối lưu tự nhiên trên 3 Loop không bị sự cố và cơ chế tải nhiệt trực tiếp qua ống đứt gãy với lưu lượng trung bình khoảng 800 -1000 kg/s. Sự cố SGTR nguy hiểm là ở chỗ nước nhiễm xạ vòng I thoát sang phía vòng II qua các ống đứt/gãy và được xả thẳng ra ngoài môi trường nhà máy qua các van xả áp BRU-A, lưu lượng có thể đạt đến 1200 kg/s (xả theo chế độ xung) trên mỗi Loop ở trường hợp đứt/gãy 60 ống (Hình 2.2.5). Như vậy sự cố càng trầm trọng khi số lượng ống đứt/gãy càng nhiều.

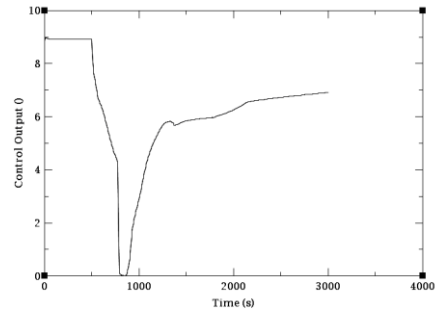
2.3. Trạng nhiệt thủy động nhà máy trong trường hợp đứt/gãy 10 ống và giải pháp giảm nhẹ hậu quả của sự cố

2.3.1. Trạng nhiệt thủy động nhà máy trong trường hợp đứt/gãy 10 ống

Trong phân tích này, các giả thiết tương tự như phân tích trong **Mục 2.2** với số lượng ống đứt/gãy là 10 tại Loop 1. Mục tiêu chính của nghiên cứu là làm rõ trạng thái nhiệt thủy động của nhà máy trong trường hợp không có sự can thiệp của người điều khiển.

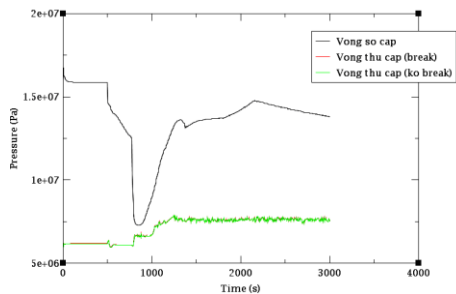


Hình 2.3.1.1. Lưu lượng nước qua vết rách

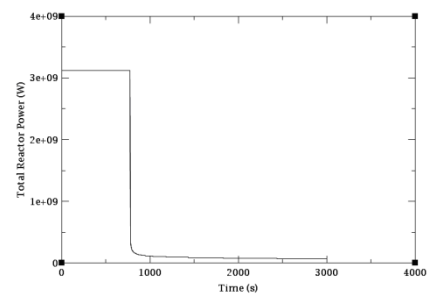


Hình 2.3.1.2. Mức nước trong Pressurizer

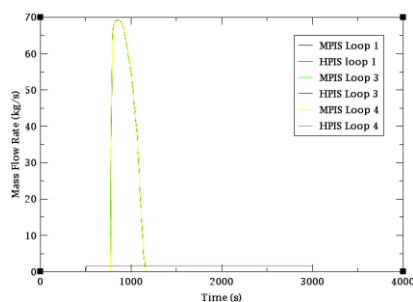
Sự cố xảy ra ở thời điểm 500 s, trong vòng 300 s tiếp theo, do áp suất chênh lệch áp suất rất lớn giữa vòng I và vòng II (Hình 2.3.1.3) → lưu lượng chất tải nhiệt thoát từ vòng I sang vòng II khá lớn khoảng 900 kg/s (Hình 3.3.1) → mức nước trong SG ở Loop 1 tăng nhảy vọt (Hình 2.3.1.6), mực nước trong bình điều áp giảm xuống mức 0, áp suất vòng I giảm xuống mức khoảng 7.0 MPa, mức nước trong thùng lò giảm xuống dưới 10m (Hình 2.3.1.8), nhiệt độ bề mặt thanh nhiên liệu tăng (Hình 2.3.1.9) → Xuất hiện tín hiệu dập lò, dừng bơm vòng I, đóng van cấp hơi cho turbine, khởi phát hệ bơm áp suất trung bình MPIS (Medium Pressure Injection System) và cao HPIS (High Pressure Injection System) (Hình 2.3.1.5). Khi dừng các bơm vòng I, nhờ cơ chế đổi lưu tự nhiên, trên các Loop 2, 3, 4 nước tải nhiệt vẫn được tuần hoàn với lưu lượng khoảng 200 kg/s (Hình 3.3.1.10). Riêng ở Loop 1 (Loop sự cố) xuất hiện dòng chảy ngược qua bơm, dòng chảy ngược này chảy qua các ống đứt/gãy sang phía vòng II do áp suất vòng I lớn hơn phía vòng II. Do van cấp hơi cho turbine đóng và mức nước phía vòng II trong SG tăng → áp suất vòng II tăng → khởi phát tín hiệu mở các van xả BRU-A → chất tải nhiệt xả ra ngoài môi trường nhà máy qua BRU-A (Hình 2.3.1.7).



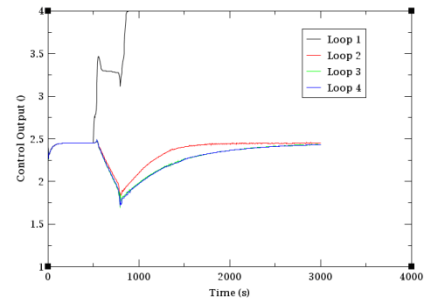
Hình 2.3.1.3. Áp suất vòng I và II của Loop 1



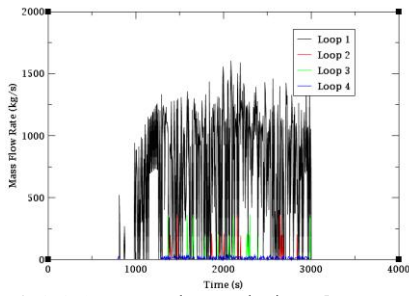
Hình 2.3.1.4. Công suất nhiệt lò phản ứng



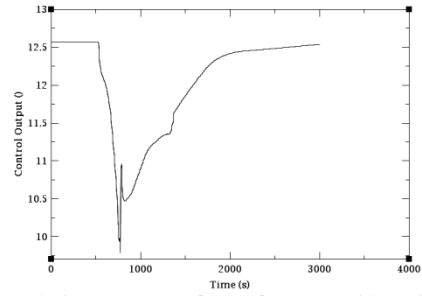
Hình 2.3.1.5. Lưu lượng nước qua MPIS và HPIS



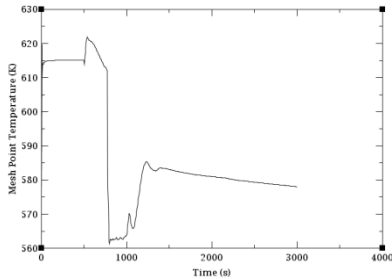
Hình 2.3.1.6. Mức nước trong SG



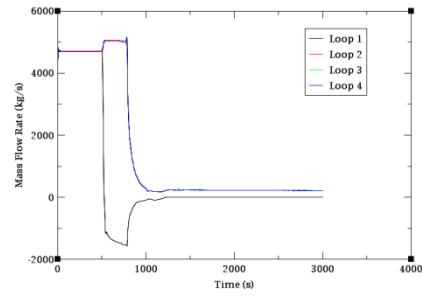
Hình 2.3.1.7. Lưu lượng hơi-nước qua BRU-A



Hình 2.3.1.8. Mức nước trong thùng lò



Hình 2.3.1.9. Nhiệt độ vỏ bọc thanh nhiên liệu

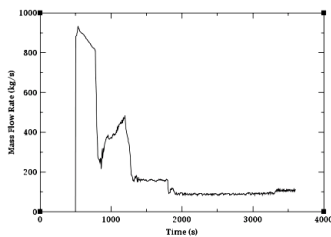


Hình 3.3.1.10. Lưu lượng nước qua các bơm vòng I

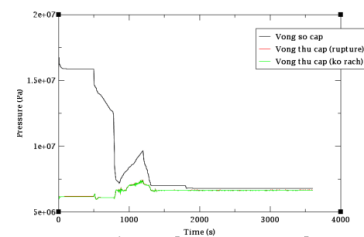
2.3.2. Giải pháp giảm nhẹ hậu quả của sự cố

Qua phân tích ở các Mục 2.2 và Mục 2.3.1 cho thấy sự cố SGTR có thể để lại hậu quả nghiêm trọng về phóng xạ cho môi trường khi số lượng ống đứt/gãy là lớn, nguyên nhân chính là do sự chênh áp khá cao giữa vòng I và vòng II. Việc khắc phục sự cố trong trường hợp này chủ yếu dựa vào các thao tác của người vận hành, thiệt hại càng thấp khi thời gian khắc phục sự cố càng ngắn. Chiến lược điều khiển là giảm áp cho phía vòng I nhằm cân bằng áp suất của 2 vòng. Khi áp suất 2 vòng cân bằng → lưu lượng chất tải nhiệt từ vòng I sang vòng II sẽ triệt tiêu.

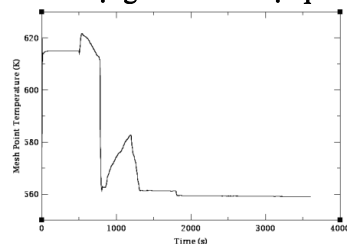
Giải pháp kỹ thuật đưa ra ở đây là chủ động tắt các bơm của hệ cấp nước sự cố áp suất trung bình MPIS và áp suất cao HPIS. Để minh họa giải pháp, trong phân tích này, sự cố giả thiết là sự cố đứt/gãy 10 ống và việc tắt cưỡng bức lần lượt các bơm MPIS và HPIS bắt đầu thực hiện ở thời điểm 200 s sau khi có tín hiệu đập lò. Các kết quả tính toán được trình bày trong các Hình 2.3.2.1 - 2.3.2.5 dưới đây:



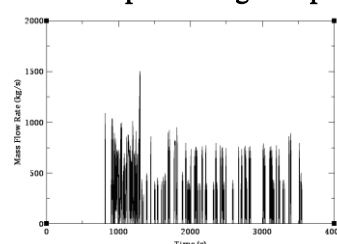
Hình 2.3.2.1. Lưu lượng nước tải nhiệt qua vết rách



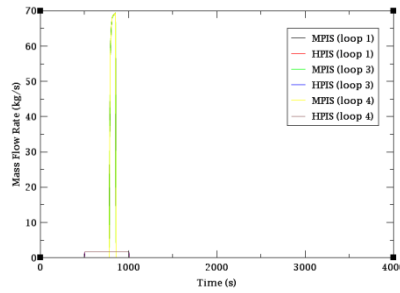
Hình 2.3.2.2. Áp suất vòng sơ cấp và thứ cấp



Hình 2.3.2.3: Nhiệt độ vỏ bọc thanh nhiên liệu



Hình 2.3.2.4: Lưu lượng hơi qua BRU-A



Hình 2.3.2.5. Lưu lượng nước của hệ MPIS và HPIS

Khi so sánh kết quả tính toán áp suất vòng I và vòng II (Hình 2.3.1.3 và Hình 2.3.2.2) cho 2 trường hợp không có can thiệp (Mục 2.3.1) và có can thiệp tắt các bơm MPIS và HPIS (Mục 2.3.2) cho thấy trong trường hợp có can thiệp trạng thái cân bằng áp suất giữa 2 vòng có thể đạt được ở thời điểm 2000 s. Sau thời điểm này lưu lượng qua vết rách chỉ còn khoảng 100 kg/s (Hình 2.3.2.1), ở thời điểm này nhân viên vận hành chỉ cần tăng thêm lưu lượng đường cấp nước giảm áp trong bình điều áp là có thể triệt tiêu hoàn toàn lưu lượng rách.

3. KẾT LUẬN

Báo cáo đã thực hiện một số nghiên cứu tính toán trạng thái nhiệt thủy động của nhà máy điện hạt nhân Kozloduy, Bulgaria công nghệ VVER-1000 khi xảy ra sự cố SGTR dùng chương trình RELAP5/Mod 3.2. Các kết quả tính toán cho thấy trạng thái nhiệt thủy động của nhà máy không phụ thuộc nhiều vào vị trí đứt/gãy ống nhưng rất phụ thuộc vào số lượng ống bị đứt gãy trong SG. Giải pháp người vận hành chủ động tắt các bơm của hệ thống ECCS bao gồm hệ MPIS và hệ HPIS cho thấy mục tiêu cân bằng áp suất giữa vòng I và II nhanh chóng đạt được.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] VVER-1000 Coolant Transient Benchmark. Vol. I: Main Coolant Pump (MCP) switching O - Final Specifications, Nuclear Engineering Program, USA, INRNE, Academy of Sciences, Bulgaria, Nuclear Power Plant Kozloduy, Bulgaria. 2002.
- [2] RELAP5/MOD3.2 CODE MANUAL
- [3] A simulation of a steam generator tube rupture in a VVER – 1000 plant. M.R. Nematollahi, A. Zare, School of engineering Shiraz University, Zand Aveme Shiraz. Iran. 13 February 2008.

STUDY OF STEAM GENETAROR TUBE RUPTURE ACCIDENT IN KOZLODUY NUCLEAR POWER PLAN USING RELAP5

Le Tran Chung¹, Nguyen Minh Tuan²

1. *Nuclear Energy Center, Institute for Science and Technology*
2. *Reactor Center, Nuclear Research Institute*

Abstract: VVER-1000 technology is the technology selected to build Ninh thuan 1 Nuclear Power Plan (NPP) in our country, the study of technology and safety analysis for VVER-1000 reactor are pressing requirements today. This report presents study results of steam generator tube rupture accident (SGTR). This postulated accident may be occurred in the life time of a nuclear power plan. The candidate selected in this study is VVER-1000 unit 6 of Kozloduy in Bulgaria. The study method is to use RELAP5/Mod 3.2 thermal hydraulics computer code to model the systems, functions of NPP and to perform calculation and analysis of unit behaviors during SGTR accident.

Key words: Steam generator, Tube, Loop, Rupture, BRU-K, BRU-A, Main coolant pump, Pressurizer, Hydro accumulator, High pressure injection system, Low pressure injection system, Safety valve, BRU-A, BRU-K, Main feedwater line, Emergency feed waterline, Mass flow rate, Water level, Reactor power.