

TỔNG QUAN VỀ CHẾ ĐỘ HÓA NƯỚC SỬ DỤNG TRONG VÒNG THỨ CẤP NHÀ MÁY ĐIỆN HẠT NHÂN VỚI Lò VVER-1000/1200

Nguyễn Thị Kim Dung, Nguyễn Nho Luân

Trung tâm phân tích, Viện Công nghệ xạ hiếm, 48 Láng Hạ - Đống Đa – Hà Nội

Tóm tắt

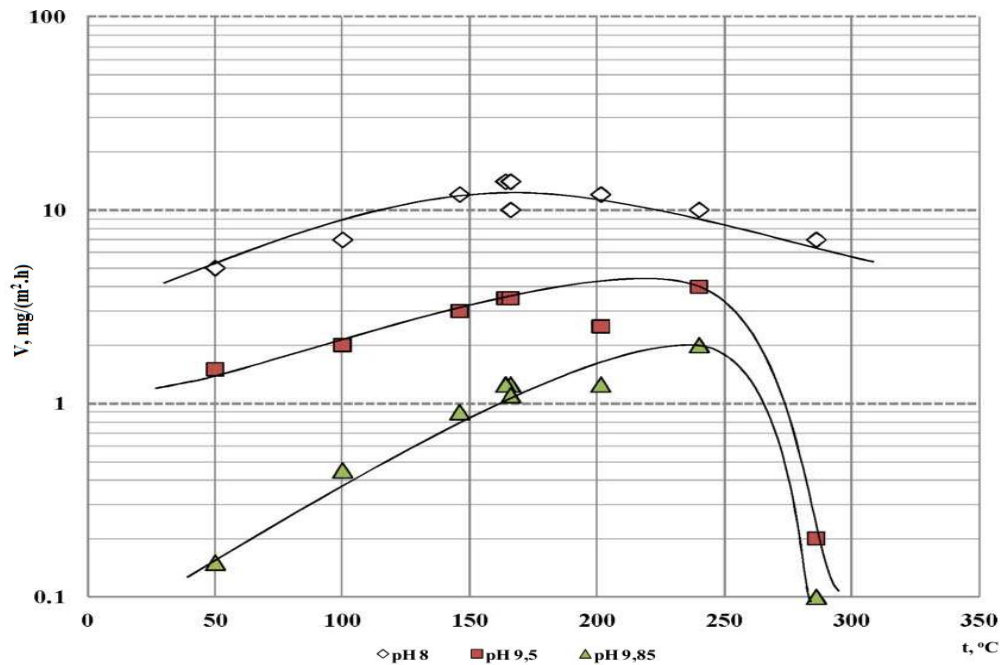
Việc áp dụng chế độ hóa nước hợp lý là yếu tố quan trọng để đảm bảo độ tin cậy và an toàn của nhà máy điện hạt nhân(NMĐHN). Bài báo này trình bày tổng quan về chế độ hóa nước trong đó hydrazine-ammoniac, morpholine hoặc ethanolamine được sử dụng để điều chỉnh độ pH và ngăn ngừa ăn mòn trong vòng hai NMĐHN với các lò VVER-1000/1200. Các số liệu thử nghiệm tại một số NMĐHN trên thế giới cho thấy rằng chế độ hóa nước morpholine và chế độ hóa nước ethanolamine có nhiều ưu điểm so với chế độ hóa nước truyền thống hydrazine-ammoniac.

Từ khóa: chế độ hóa nước, nhà máy điện hạt nhân, VVER-1000, VVER-1200, hydrazine-ammoniac, morpholine, ethanolamine

1. Tổng quan về các chế độ hóa nước

Tác động ăn mòn của môi trường hoạt động vòng hai NMĐHN lên vật liệu làm các thiết bị của hệ thống nhà máy dẫn đến phá hủy giới hạn và điều kiện an toàn vận hành NMĐHN. Trong quá trình hoạt động NMĐHN với lò VVER-1000, cấu cặn trên bề mặt ống trao đổi nhiệt nổi hơi là một trong những tác nhân chính gây hư hỏng đường ống do ăn mòn ứng suất. Thành phần cấu cặn trên ống trao đổi nhiệt nổi hơi là sản phẩm ăn mòn từ các thiết bị và đường ống của chu trình nước vòng hai thâm nhập vào nổi hơi qua nước cấp. Một trong những bài toán quan trọng về việc thiết lập chế độ hóa nước tối ưu của vòng hai là việc tìm kiếm quá trình ăn mòn trang thiết bị hoạt động trong vùng hơi ẩm và các dòng hai pha. Để kiểm soát quá trình ăn mòn, yếu tố chìa khóa chính là độ pH của môi trường nước. Hình 1 đưa ra kết quả thực nghiệm về sự phụ thuộc của tốc độ ăn mòn thép Ct20 vào độ pH và nhiệt độ trong môi trường vòng thứ cấp NMĐHN lò VVER [1]. Như ta thấy, ở bất kỳ nhiệt độ nào trong khoảng $0 \div 350$ °C, ứng với độ pH càng cao thì tốc độ ăn mòn của thép càng thấp. Khi áp dụng chế độ hóa nước vòng hai hydrazine-ammoniac, do hệ số phân bố của ammoniac cao, pha nước của hỗn hợp hơi nước -

nước có giá trị pH giảm, do vậy không thể đảm bảo được sự bảo vệ cần thiết cho thép và vì thế quá trình ăn mòn kim loại tăng lên.



Hình 1: Tốc độ ăn mòn của thép Ct20 trong chu trình nước ngưng – nước cấp vòng thứ cấp NMDHN lò VVER [1]

Giữa những năm 80, người ta đã cố gắng tìm kiếm các amin thay thế hydrazine-ammoniac cho việc xử lý nước vòng hai NMDHN với lò VVER. Khi đó, tiêu chí cơ bản để lựa chọn chất thay thế liên quan đến tính kiềm và hệ số phân bố giữa hai pha “hơi nước – nước” của chúng. Có khoảng 10 loại amin đã được đưa vào thử nghiệm và khả dĩ hơn cả trong số đấy là morpholine và ethanolamine.

Bảng 1

So sánh một số đặc tính của ammoniac, morpholine và ethanolamine [2]

Amin	Công thức	Khối lượng phân tử	Hệ số phân bố giữa hơi nước và nước		
			25 °C	150 °C	300 °C
Ammoniac	NH ₃	17	30,20	10	3,23
Morpholine	C ₄ H ₈ ONH	87	0,12	0,77	1,29
Ethanolamine	C ₂ H ₄ (OH)NH ₂	61	0,004	0,11	0,489

1.1 Chế độ hóa nước hydrazine-ammoniac

Chế độ hóa nước hydrazine-ammoniac được sử dụng ở những nhà máy hạt nhân lò VVER đầu tiên. Ammoniac và hydrazine được đưa vào vòng thứ cấp thông qua bơm nước cấp. Ammoniac giữ cho độ pH trong nước ở $9,1 \pm 0,1$ và nhờ đó kìm hãm quá trình ăn mòn. Độ pH

đó không phải là tối ưu, để có thể hạn chế ăn mòn sắt cần đảm bảo độ pH ở mức 10...11. Tuy nhiên, độ pH cao như vậy sẽ làm tăng ăn mòn ở các ống hợp kim đồng của bình ngưng tụ và thiết bị gia nhiệt áp suất thấp do tăng khả năng tạo phức của ammoniac với đồng trong hợp kim. Vì thế, trong chế độ hóa nước hydrazine-ammoniac truyền thống, nồng độ ammoniac không được vượt quá 1000 µg/kg.

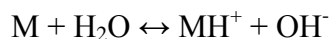
Hydrazine - N₂H₄ là chất khử mạnh và trong nước có khả năng liên kết với oxy, kể cả trong hợp chất như oxit sắt hoặc oxit đồng. Khi nhiệt độ cao hơn 150 °C thì hydrazine phân hủy sinh ra ammoniac và khí nitơ.

Nhược điểm của chế độ hóa nước hydrazine-ammoniac là chế độ hóa nước này yếu trong việc hạn chế việc đóng cáu và tích cặn oxit trong nồi hơi dẫn đến nồi sinh hơi phải tẩy rửa thường xuyên. Trong thành phần cặn được tẩy rửa, sắt chiếm gần 70 %, Ca 4 % và đồng chiếm khoảng 26 %. Việc có mặt của cặn cặn đồng gây nên ăn mòn tăng cường trên bề mặt ống trao đổi nhiệt nồi hơi. Trên thực tế, các bộ lọc ở thiết bị khử muối bị hao mòn chủ yếu do ammoniac. Để giảm tác động của điểm hạn chế này, người ta sử dụng nhựa trao đổi cation gốc ammoniac, bên cạnh đó người ta giảm lượng ammoniac. Ngoài ra, ammoniac và nhất là hydrazine rất độc.

1.2 Chế độ hóa nước với chất điều chỉnh là morpholine

Chế độ hóa nước morpholine được sử dụng rộng rãi ở Pháp. Từ giữa những năm 80 của thế kỷ 20, chế độ hóa nước morpholine được sử dụng trong các NMDHN với lò áp lực ở Mỹ và Canada, mặc dù một số module không sử dụng vật liệu là hợp kim đồng. Ở chế độ này, người ta cho thêm các amin khác mà vẫn giữ việc định lượng hydrazine nhưng với hàm lượng bé hơn[3].

Khi hòa tan trong nước, cũng như ammoniac, morpholine là bazơ yếu, nó phân ly để tạo thành dạng phức tạp hơn, có khả năng tạo phức amin và anion OH⁻. Thông thường, phản ứng của morpholine với nước có thể được viết như sau:



Sản phẩm tạo thành làm tăng độ pH và có khả năng tạo phức amin, đóng vai trò như một chất ức chế ăn mòn. Morpholine có lợi thế hơn ammoniac là ở chỗ nó bền hơn ammoniac ở nhiệt độ cao (khoảng 30 lần), cũng như có hệ số phân bố giữa nước và hơi nước nhỏ hơn nhiều. Tức là, trong môi trường hai pha, phần lớn morpholine được giữ trong nước.

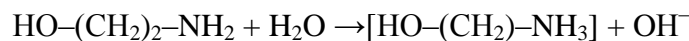
Nhược điểm của morpholine là độc, đắt tiền, để đạt được cùng độ pH so với chế độ hydrazine-ammoniac thì cần một lượng lớn morpholine. Khi phân hủy ở nhiệt độ cao, nó tạo thành các axit hữu cơ (acetic, formic, v.v.). Vì vậy, các sản phẩm này theo các đường đường

trích lấy hơi từ tuabin thâm nhập vào các thiết bị gia nhiệt cao áp, gia nhiệt hạ áp và thiết bị tách ẩm. Những chất này có thể tích lũy và gây ăn mòn tăng cường. Ngoài ra, sản phẩm phân hủy trên khi đi vào công đoạn khử muối là nguyên nhân gây nên sự lão hóa sớm của các thiết bị lọc trao đổi ion.

1.3 Chế độ hóa nước với chất điều chỉnh là ethanolamine

Ethanolamine (ETA- $\text{HO}-(\text{CH}_2)_2-\text{NH}_2$) thuộc nhóm amin, có tính kiềm cao hơn morpholine, hòa tan tốt vào nước và rượu. ETA là một trong những amin tốt nhất để điều chỉnh việc xử lý môi trường vòng hai và hiện tại được sử dụng rất nhiều ở các NMDHN của Mỹ, Nhật, Hàn, Nam Phi và một số nước khác với lò áp lực, ở Nga, Slovakia với lò VVER. Ethanolamine được sử dụng để tổng hợp chất hoạt động bề mặt, chất ức chế ăn mòn, trong môi trường nước nó cũng tạo nên môi trường kiềm. Ở nhiệt độ cao, hệ số phân bố giữa hơi và nước của ETA thậm chí còn ưu việt hơn morpholine (Bảng 1) [3].

Phản ứng của ethanolamine với nước:



Hàm lượng đồng hòa tan trong nước cấp khi sử dụng ethanolamine là gần $1 \mu\text{g}/\text{dm}^3$, lớn hơn khi dùng morpholine nhưng vẫn ở mức chấp nhận được (“ТНД 95.1.06.02.002-04”) [4].

2. Kinh nghiệm sử dụng chế độ hóa nước vòng thứ cấp dùng morpholine và các amin bậc cao hơn làm chất điều chỉnh ở các nhà máy điện hạt nhân trên thế giới

2.1 Chế độ hóa nước dùng morpholine là chất điều chỉnh

Như đã nói ở trên, với lý do giảm quá trình ăn mòn-xói mòn các thiết bị và đường ống trong chu trình nước được làm từ thép hợp kim và tác dụng trung hòa của amin với các axit mạnh ở môi trường hai pha của vòng hai mà ở phần lớn các NMDHN người ta dùng chế độ hóa nước với việc thêm morpholine và các amin cao hơn (chủ yếu là ethanolamine và dimethylamine).

Ở vòng hai nhà máy điện HN lò áp lực nói chung và lò VVER nói riêng có các thiết bị được làm từ hợp kim đồng nên người ta có thể dùng chế độ hóa nước morpholine (với độ pH nước cấp 9,2-9,4) thay thế cho chế độ hóa nước AVT. Do hệ số phân bố của morpholine bé hơn nên có đặc tính tốt hơn so với ammoniac, đặc biệt, trong môi trường vòng hai giảm đáng kể quá trình ăn mòn-xói mòn thiết bị, đường ống.

Ở các NMDHN lò VVER-1000 của Ukraina chế độ hóa nước morpholine được vận hành ở ba block NMDHN Nam-Ukraine và 2 block NMDHN Zaporizhia. Ở các block 1,2,3 NMDHN

Nam-Ukraine, sau khi chế độ hóa nước morpholine được sử dụng sau vài năm, hàm lượng sắt trong nước cấp giảm xuống mức 4-5 $\mu\text{g/kg}$, và độ pH trong nước xả đáy nồi hơi tăng lên 9,0-9,1. Việc chuyển sang chế độ hóa nước morpholine vòng hai của các block số 4 và 5 NMDHN Zaporizhia AĐC cho phép độ pH của nước cấp ổn định ở mức 9,1-9,2, còn nước xả đáy 8,7-8,9. Khi đó, hàm lượng sắt trong nước cấp nồi hơi giảm trung bình từ 8,3 $\mu\text{g/kg}$ xuống 4,7 $\mu\text{g/kg}$ [3].

Thực nghiệm thêm morpholine vào block số 1 NMDHN Rostov được thực hiện với mục đích giảm thiểu tốc độ ăn mòn thiết bị vòng hai và giảm sản phẩm ăn mòn vật liệu nồi hơi. Chỉ số đặc trưng cho quá trình ăn mòn vòng hai là nồng độ sắt và đồng trong nước cấp cho nồi hơi.

Bảng 2 đưa ra giá trị pH ở 25 °C vận hành trong các dòng của chu trình nước ngưng - nước cấp và hơi ở block số 1 NMDHN Rostov trong giai đoạn thử nghiệm thêm morpholine. Khi chuyển sang chế độ morpholine, độ pH trong môi trường tăng lên và khá ổn định.

Bảng 2

Độ pH₂₅°C trong chu trình nước ngưng - nước cấp và hơi của block số 1 NMDHN Rostov [5]

Giá trị pH ₂₅ °C	Nước ngưng tuabin sau bơm số 2	Nước ngưng chính sau thiết bị gia nhiệt áp thấp số 4	Nước cấp sau thiết bị gia nhiệt áp cao	Nước xả nồi hơi	Hơi của nồi hơi	Bộ tách ẩm – gia nhiệt	Nước ngưng hơi đun nóng
Trung bình	9,06	9,04	9,05	8,96	9,03	9,02	9,04
Nhỏ nhất	8,97	8,89	9,03	8,83	8,97	8,92	8,93
Lớn nhất	9,19	9,18	9,18	9,05	9,16	9,12	9,15

Sự ổn định của nồng độ sắt trong nước cấp nồi hơi nằm trong mức 5-6 $\mu\text{g/kg}$ sau hai tuần đưa morpholine vào. Khi block hoạt động ổn định với việc thêm morpholine thì nồng độ sắt trong nước cấp duy trì ổn định ở mức 5,2 $\mu\text{g/kg}$ (từ 5 đến 6,5 $\mu\text{g/kg}$).

Bảng 3

Nồng độ sắt trung bình trong môi trường làm việc vòng thứ cấp với chế độ morpholine [5]

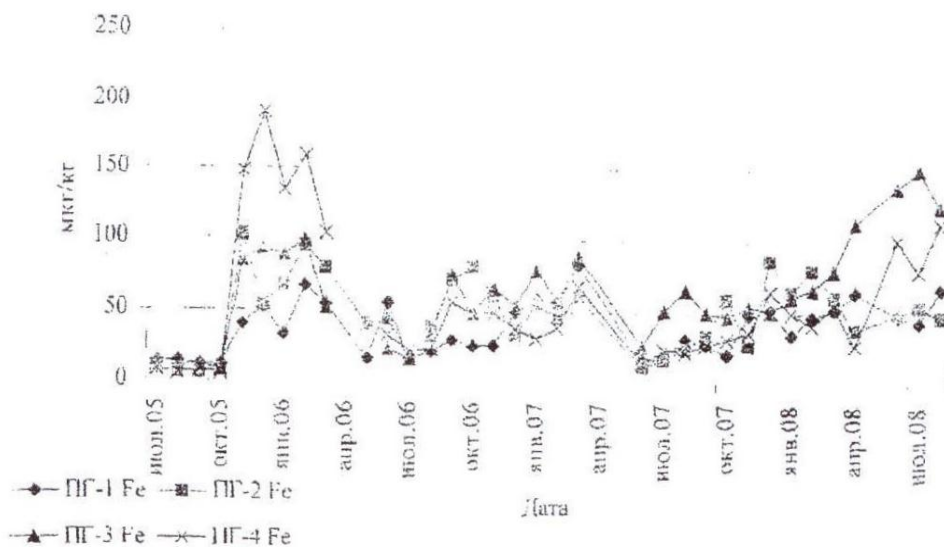
Khoảng thời gian làm việc ở chế độ morpholine	Thông số				
	Giá trị trung bình			Tốc độ tích lũy sắt trong nồi hơi, g/h (kết tủa sắt trong nồi hơi, %)	Sắt trong nước xả từ nồi hơi, %
	C _{Fe-nước cấp} , mcg/kg	C _{Fe-hơi} , mcg/kg	C _{Fe-nước xả} , mcg/kg		
7/2005- 8/2008.	5,14	< 5	58,5	2,5 (32,7*)	9,4

* Ở chế độ hydrazine-amoniac

Như đã chỉ ra ở bảng 3, khi áp dụng chế độ hóa nước morpholine và khi làm việc ổn định, lượng sắt trong nước xả tăng lên so với lượng sắt trong nước cấp: từ 1% khi dùng chế độ

hóa nước hydrazine-ammoniac lên đến giá trị trung bình là 9,4 %. Khi dùng chế độ morpholine tỉ lệ phần trăm của sắt trên bề mặt trao đổi nhiệt từ 60% ở chế độ hydrazin-amoniac giảm xuống mức 33 % . Sự tích lũy sản phẩm ăn mòn (sắt) ở chế độ morpholine giảm xuống.

Hình 2 chỉ ra sự thay đổi của nồng độ sắt trong nước xả nồi hơi trong block số 1 NMDHN Rostov khi áp dụng chế độ hóa nước morpholine [5].



Hình 2. Sự thay đổi của nồng độ sắt trong nước xả từ nồi hơi

2.2 Chế độ hóa nước dùng ethanolamine (ETA) là chất điều chỉnh

Ở NMDHN Balakovo của Nga, người ta tiến hành thêm ethanolamine vào vòng hai ở các block số 2 và 3 [3]. Trước đây, các block này sử dụng chế độ hóa nước hydrazine-amoniac.

Thử nghiệm trên cho kết quả như sau:

- Nồng độ sắt trung bình trong nước cấp nồi hơi trong block số 3 giảm xuống 74% khi so sánh với chế độ hóa nước hydrazine-amoniac: khi nồng độ sắt trong nước cấp là 6,9 $\mu\text{g}/\text{kg}$ trong chế độ hóa nước hydrazine-amoniac và 1,8 $\mu\text{g}/\text{kg}$ trong chế độ hóa nước ethanolamine;

- Nồng độ đồng khi chuyển sang chế độ hóa nước ethanolamine ở block số 3 cũng giảm 36%: từ 1,52 $\mu\text{g}/\text{kg}$ trong chế độ hóa nước hydrazine-amoniac xuống 0,97 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ở chế độ hóa nước ethanolamine;

- Ở block số 2 độ giảm nồng độ sắt đạt 72% (từ 6,6 xuống 1,82 $\mu\text{g}/\text{kg}$) và đồng 51% (từ 1,64 xuống 0,8 $\mu\text{g}/\text{kg}$);

Bảng 4 đưa ra kết quả biến đổi độ pH (ở 25 °C) ở các tuyến khác nhau của vòng thứ cấp khi áp dụng chế độ hóa nước AVT (hàm lượng ammoniac 1,2-1,3 mg/kg) và chế độ hóa nước

ETA (hàm lượng ethanolamine khoảng 2 mg/kg). Ở đây giá trị pH_T ở nhiệt độ cao được tính toán nhờ phần mềm ChemWORD (EPRI).

Bảng 4

Kết quả thay đổi độ pH (ở 25°C) và độ pH_T của các tuyến nước/hơi nước trong vòng thứ cấp với chế độ hóa nước hydrazine-ammoniac và chế độ hóa nước ethanolamine [3].

Tên		Nước ngưng	Nước cấp nồi hơi	Phần hơi của thiết bị gia nhiệt áp cao	Nước xả đáy nồi hơi	Hơi nước nồi hơi	Nước ngưng từ thiết bị tách ẩm
pH (25°C)	AVT	9.5	9.4	9.5	9.2	9.6	-
	ETA	9.25	9.2	9.2	9.6	9.3	-
pH_T	AVT	9.5	6.28	6.26	5.95	5.95	5.93
	ETA	9.2	6.37	6.41	6.23	6.23	6.35

Như đã nhìn thấy ở bảng 4, khi dùng chế độ hóa nước AVT (độ pH của nước cấp bằng 9,5) thì độ pH_T ở trong nước xả đáy nồi hơi là 5,95. Khi dùng chế độ hóa nước ETA (độ pH nước cấp bằng 9,25) thì độ pH_T của nước xả đáy là 6,23, điều này sẽ làm tình trạng ăn mòn giảm.

Bảng 5 đưa ra độ pH (ở 25°C) và độ pH_T tính toán của các tuyến trong vòng thứ cấp khi dùng chế độ hóa nước ETA ở NMĐHN với lò VVER-1000 với sự hỗ trợ của phần mềm code MULTEQ. Ở đây, khi tính toán độ pH nước xả đáy, người ta lấy số liệu thực nghiệm trung bình từ thử nghiệm của NMĐHN Balakovo lò VVER-1000 (nồng độ clorid 20 µg/kg, sulfat 40 µg/kg và natri 25 µg/kg) [3].

Bảng 5

So sánh độ và độ pH_T của các tuyến nước/hơi nước trong vòng thứ cấp với chế độ hóa nước hydrazine-ammoniac và chế độ hóa nước ethanolamine [3]

Giá trị pH tại các vị trí kiểm soát		Nước cấp nồi hơi (220 °C)	Nước xả đáy nồi hơi (280 °C)	Hơi nước trong nồi hơi (280 °C)	Nước ngưng (40 °C)
pH (ở 25°C)	AVT	9.2 (0.5)	8.72 (0.12)	9.14 (0.42)	9.11 (0.38)
	ETA	9.21 (1.5)	9.62 (6.0)	9.21 (1.5)	9.19 (1.4)
pH_T	AVT	6.06	5.7	5.84	8.64
	ETA	6.16	6.24	5.96	8.73

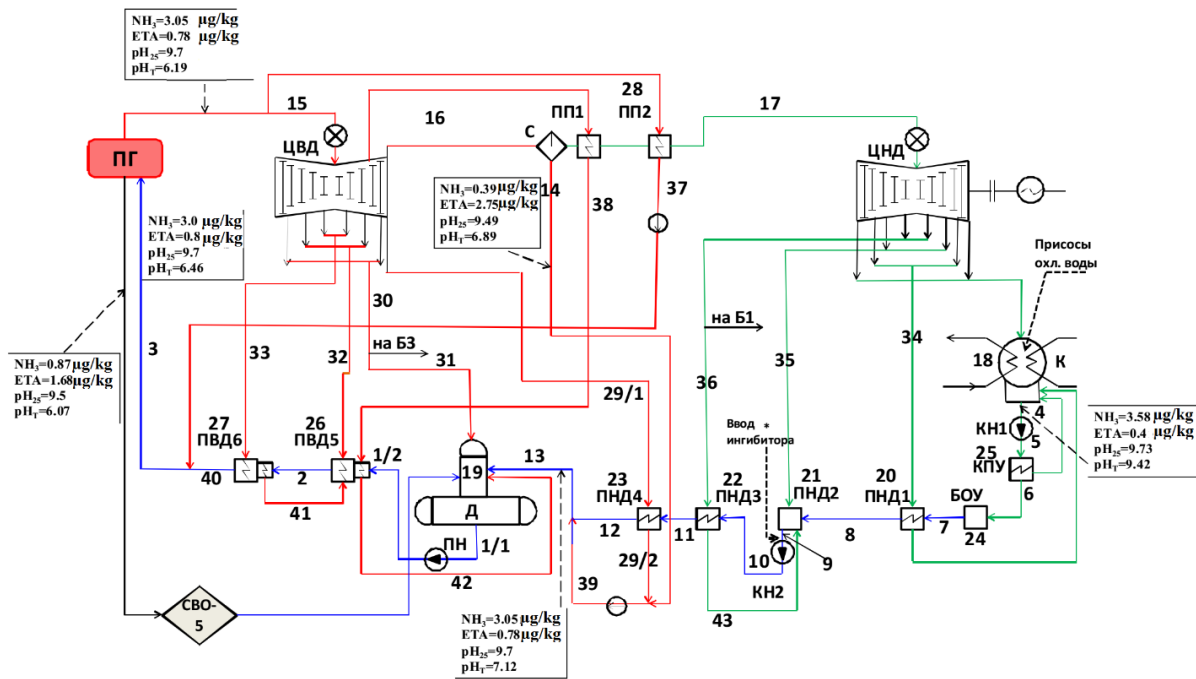
Trong ngoặc là nồng độ AVT hoặc ETA

Như vậy, kết quả tính toán chỉ ra rằng, khi chuyển từ chế độ hiện thời hydrazine-amoniac sang chế độ hóa nước ethanolamine thì:

- Làm đồng đều độ pH ở các chu trình của vòng thứ cấp, đặc biệt, trong môi trường hai pha và giữ ổn định độ pH của nước cấp ở mức 9.2 còn ở nước xả đáy là 9.6;

- Giảm quá trình ăn mòn – xói mòn các thiết bị và đường ống trong vòng hai được làm từ thép cacbon, qua đó làm giảm sản phẩm ăn mòn chứa sắt trong nước cấp (nhỏ hơn $5 \mu\text{g}/\text{kg}$), và do đó, tốc độ đóng cặn trên bề mặt ống trao đổi nhiệt nổi hơi giảm.

Đối với lò VVER-1200, V.G. Kritsky và các cộng sự ở công ty "ATOMPROEKT", St. Petersburg, Nga, bằng phương pháp mô hình hóa đã đưa ra đề xuất sử dụng chế độ hóa nước dùng ethanolamine và ammoniac là chất điều chỉnh. Hình 3 cho ta thấy phân bố nồng độ ethanolamine và ammoniac trong vòng thứ cấp NMĐHN lò VVER-1200 [1].



Hình 3: Tính toán phân bố nồng độ ETA và NH_3 trong vòng thứ cấp NMĐHN lò VVER-1200 [1]

3. Kết luận

1. Kinh nghiệm vận hành NMĐHN với lò VVER chỉ ra rằng, yếu tố chính ảnh hưởng đến tuổi thọ và khả năng làm việc của nồi hơi là chế độ hóa nước vòng thứ cấp. Việc điều chỉnh độ pH rất quan trọng trong việc hạn chế ăn mòn thiết bị và đường ống trong vòng thứ cấp nhất là trong môi trường hai pha.

2. Để giảm sản phẩm ăn mòn trong nồi hơi thì trong thời điểm hiện tại và tương lai gần, ở vòng thứ cấp có thể dùng các chế độ hóa nước sau:

- chế độ hydrazine-ammoniac với độ pH nước cấp 9.4-9.8 (AVT)
- chế độ hydrazine-ammoniac với độ pH nước cấp cao > 9.8 (High AVT) dùng cho NMĐHN với vòng thứ cấp không có các thiết bị cấu tạo từ hợp kim đồng.

- chế độ hóa nước với việc dùng morpholine làm chất điều chỉnh
- chế độ hóa nước với việc dùng ethanolamine (hoặc dimethylamine) làm chất điều chỉnh

3. Khi trong vòng thứ cấp của NMDHN có các thiết bị, đường ống làm từ hợp kim đồng (bình ngưng tuabin, thiết bị gia nhiệt áp suất thấp) thì phải dùng chế độ hóa nước với morpholine hoặc ethanolamine. Chế độ hóa nước morpholine và nhất là chế độ hóa nước ethanolamine sẽ làm cho độ pH ở tất cả các chu trình của vòng thứ cấp đồng đều, đặc biệt là ở môi trường hai pha. Độ pH của nước cấp được giữ ở mức 9.2, còn nước xả đáy là 8.9-9.1 với chất điều chỉnh là morpholine và 9.6 với chất điều chỉnh là ethanolamine. Qua đó giảm sản phẩm ăn mòn thiết bị, đường ống của vòng thứ cấp dẫn đến làm giảm cấu cặn bám trên bề mặt trao đổi nhiệt của các ống nổi hơi, tránh hư hỏng nổi hơi do ăn mòn ứng lực.

4. Chế độ hóa nước dùng ethanolamine và ammoniac làm chất điều chỉnh của V.G. Kritsky và các cộng sự qua tính toán cho thấy đây là chế độ khá tốt trong việc duy trì độ pH, hạn chế ăn mòn, bảo vệ thiết bị vòng thứ cấp NMDHN với lò VVER-1200.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. В.Г. Крицкий, И.Г.Березина, А.В. Гаврилов, Е.А. Моткова, Е.В. Зеленина, Н.А. Прохоров “Моделирование миграции продуктов коррозии во 2-м контуре АЭС с реактором ВВЭР-1200”, 2015.

2. Тяпков В.Ф., Ерпылева С.Ф., Быкова В.В., Богданов А.Л. Опыт ведения водно-химического режима второго контура на АЭС с ВВЭР-1000 с дозированием органических аминов, 2010.

3. Брыков С.И., Сиряпина Л.А., Архипов О.П., Тяпков В.Ф., Ерпылева С.Ф. “Оптимизация водно-химического режима второго контура аэс с ВВЭР-1000”, 2014.

4. ГНД 95.1.06.02.002-04 «Водно-химический режим второго контура атомных электростанций с реакторами типа ВВЭР. Технические требования к качеству рабочей среды. Коррекционная обработка гидразин-гидратом, морфолином, гидроокисью лития» - ГОСАТОМ Украины. 2004 - 22 с.

5. Временные нормы. Водно-химический режим второго контура энергоблока № 1 Ростовской АЭС в период дозирования морфолина. Нормы качества рабочей среды и их средства обеспечения.

6. Деревянко, О.В. “Предаварийные физические процессы и надежный теплоотвод в ядерных энергоустановках”, Одесса: Наука и техника, 2014. — 264 с.