

XÂY DỰNG CẤU HÌNH NẠP TẢI VÙNG HOẠT CHO Lò PHẢN ỨNG VVER-1200/V491

TRẦN VĨNH THÀNH⁽¹⁾, TRẦN VIỆT PHÚ

Viện Khoa học và Kỹ thuật Hạt nhân – 179 Hoàng Quốc Việt, Hà Nội

Email: tranvinhthanh.vn@gmail.com⁽¹⁾

Tóm tắt: Báo cáo trình bày phương pháp xây dựng cấu hình nạp tải vùng hoạt lò phản ứng VVER-1200/V491. Dựa trên thông số vật lý của các loại bó nhiên liệu, cấu hình nạp tải vùng hoạt được thiết lập bằng hai cách: (1) suy luận từ cấu hình vùng hoạt của lò phản ứng VVER-1000/V392 và (2) xây dựng từ chương trình tính toán tối ưu vùng hoạt LPO-V. Cuối cùng, các thông số vật lý và an toàn cho vùng hoạt lò phản ứng như: Hệ số nhân neutron hiệu dụng, phân bố công suất, hệ số neutron trễ hiệu dụng, hệ số phản hồi độ phản ứng theo nhiệt độ nhiên liệu và chất làm chậm được tính toán và kiểm nghiệm bằng chương trình SRAC.

Từ khóa: *Cấu hình nạp tải vùng hoạt, Tính toán tối ưu vùng hoạt, VVER-1200/V491, VVER-1000/V392, LPO-V, SRAC*

I. MỞ ĐẦU

Lò phản ứng VVER-1000/V392 và VVER-1200/V491 được coi là những ứng viên lựa chọn cho Nhà máy điện Hạt nhân (NMDHN) Ninh Thuận I. Việc nghiên cứu các đặc trưng vật lý và an toàn của các loại lò phản ứng này đã được quan tâm thực hiện tại Trung tâm Năng lượng Hạt Nhân (TTNLHN) và Trung tâm An toàn Hạt nhân thuộc Viện Khoa học và Kỹ thuật Hạt nhân (VKHKTHN).

Đối với đối tượng lò phản ứng VVER-1000/V392, nhóm nghiên cứu tại TTNLHN - VKHKTHN đã thực hiện các tính toán vật lý trong khuôn khổ một Đề tài cấp Bộ [1] và đã có các kết quả được đánh giá tốt, phù hợp với các thông số trong Báo cáo phân tích an toàn ISAR [2].

Hiện nay, đối tượng lò phản ứng VVER-1200/V491 đã được lựa chọn cho NMDHN Ninh Thuận I. Các thông số thiết kế của loại lò phản ứng này đã được Liên Bang Nga chuyển giao cho Việt Nam qua báo cáo Phân tích an toàn khả thi FS-SAR. Tuy nhiên, những thông số thiết kế trong FS-SAR chưa được chi tiết, cụ thể là cấu hình nạp tải nhiên liệu cho vùng hoạt lò phản ứng tại các chu trình chưa được cung cấp. Để tiếp tục thực hiện việc đánh giá các tính chất vùng hoạt của lò phản ứng VVER-1200, việc tìm ra cấu hình nạp tải nhiên liệu là cần thiết.

Theo như FS-SAR VVER-1200/V491, các bó nhiên liệu của lò phản ứng VVER-1200 được cải tiến từ bó nhiên liệu của lò VVER-1000 với sự khác biệt chỉ nằm ở chiều dài nhiên liệu. Bó nhiên liệu của lò phản ứng VVER-1200 có chiều dài lớn hơn 15cm khi so với bó nhiên liệu của lò phản ứng VVER-1000[5].

Với hiểu biết trên, nhóm thực hiện báo cáo suy luận và phỏng đoán rằng: khi đặc trưng vật lý của các bó nhiên liệu lò phản ứng VVER-1200 được chứng minh giống như các đặc trưng bó nhiên liệu của lò phản ứng VVER-1000 thì có thể áp dụng cấu hình nạp tải của các loại lò phản ứng VVER-1000 cho lò phản ứng VVER-1200. Các cấu hình được tham khảo để nạp tải cho lò phản ứng VVER-1200 trong báo cáo này là cấu hình vùng hoạt của lò phản ứng VVER-1000/V392 và VVER-1000/V446 tại NMDHN Bushehr – Iran.[6]

Ngoài ra, nhóm nghiên cứu tại TTNLHN đã phát triển chương trình LPO-V để tìm kiếm cấu hình tối ưu của vùng hoạt lò phản ứng VVER[3]. Chương trình LPO-V thực hiện việc hoán đổi vị trí sắp xếp của các bó nhiên liệu trong vùng hoạt, chọn ra cấu hình tối ưu của vùng hoạt theo hàm mục tiêu là hệ số nhân neutron hiệu dụng (k_{eff}) của vùng hoạt lớn nhất có thể và đỉnh phân bố công suất trong vùng hoạt không vượt quá giá trị 1.5[3].

Như vậy, cùng với việc tham khảo cấu hình nạp tải nhiên liệu của lò phản ứng VVER-1000, việc sử dụng chương trình LPO-V để tìm kiếm ra một cấu hình nhiên liệu mới cho lò phản ứng VVER-1200 cũng đã được chú ý.

II. NỘI DUNG

Báo cáo thực hiện việc tìm kiếm các cấu hình nạp tải nhiên liệu cho vùng hoạt lò phản ứng VVER-1200 theo các bước sau:

- Tính toán k_{eff} của các bó nhiên liệu lò phản ứng VVER-1200 bằng chương trình SRAC[4] và so sánh với các bó nhiên liệu của lò phản ứng VVER-1000. Tiếp đó, cấu hình nạp tải nhiên liệu cho vùng hoạt của lò phản ứng VVER-1000 được áp dụng để nạp tải cho vùng hoạt lò phản ứng VVER-1200
- Sử dụng chương trình LPO-V để tìm kiếm các cấu hình vùng hoạt của lò phản ứng VVER-1200
- Dùng chương trình SRAC tính toán và so sánh các cấu hình nạp tải vùng hoạt của lò phản ứng VVER-1200, sau đó đánh giá hệ số phản hồi theo nhiệt độ nhiên liệu (FTC) và chất làm chậm (MTC) của vùng hoạt lò phản ứng VVER-1200

II.1. Các chương trình tính toán SRAC và LPO-V

Chương trình SRAC được phát triển bởi Cơ quan Năng lượng Nguyên tử Nhật Bản (JAEA) là chương trình tính toán tất định lò phản ứng gồm 107 nhóm năng lượng, sử dụng phương pháp xác suất va chạm (CPM) trong tính toán thanh và bó nhiên liệu, đưa ra được các bộ hằng số nhóm của thanh và bó nhiên liệu, các kết quả sau đó được đưa vào mô đun CITATION sử dụng phương pháp sai phân hữu hạn (FDM) để tính toán vùng hoạt lò phản ứng. [4]

Chương trình LPO-V được phát triển bởi nhóm nghiên cứu tại TTNLHN là chương trình tính toán tối ưu cấu hình vùng hoạt lò phản ứng. LPO-V gồm 2 mô đun chính:[3]

- Mô đun tính toán vật lý cấu hình vùng hoạt: Trong mô đun này, LPO-V sử dụng phương pháp FDM, trong đó có lược bỏ một số thông số đầu ra, mục đích là để rút gọn thời gian tính toán cấu hình vùng hoạt, đưa ra 2 thông số là k_{eff} và đỉnh phân bố công suất lò phản ứng.
- Mô đun tìm kiếm cấu hình vùng hoạt tối ưu: Trong mô đun này, chương trình LPO-V sử dụng phương pháp mô phỏng tối ưu có chỉnh sửa (ISA) kết hợp phương pháp tìm kiếm Tabu để tìm ra cấu hình vùng hoạt đáp ứng tiêu chí k_{eff} cao nhất có thể và đỉnh phân bố công suất dưới giá trị 1.5 nằm trong giới hạn an toàn cho phép.

II.2. Các bó nhiên liệu của lò phản ứng VVER-1200/V491

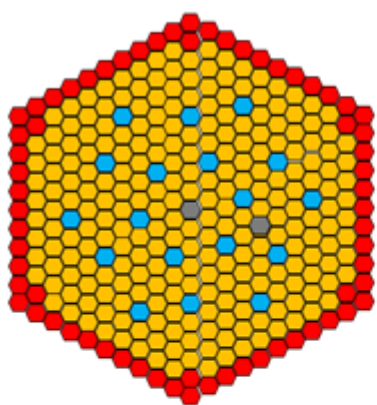
Theo báo cáo FS-SAR, tại chu trình nhiên liệu đầu tiên, lò phản ứng VVER-1200/V491 có 3 loại bó nhiên liệu với độ giàu khác nhau. Các thông số chi tiết của những loại bó nhiên liệu này được liệt kê trong Bảng 1.[5]

Bảng 1: Các bó nhiên liệu tại chu trình đầu tiên của lò phản ứng VVER-1200/V491

Chu trình nhiên liệu đầu tiên					
Loại bó nhiên liệu (Độ giàu trung bình)	Số lượng	Các thanh nhiên liệu (độ giàu)		Bề rộng bó nhiên liệu (cm)	Chiều dài bó nhiên liệu (cm)
		Loại I	Loại II		
1.6	54	311 (1.6)	-	23.6	368
2.4	67	311 (2.4)	-	23.6	368
3.62	42	247 (3.7)	66 (3.3)	23.6	368

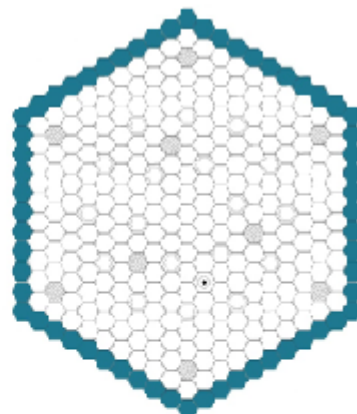
Dạng hình học của các bó nhiên liệu trong lò phản ứng VVER-1200 được đưa ra trong Hình 1.

Bó nhiên liệu VVER-1200/V491



- Ống dẫn
- Ống nước trung tâm và thiết bị đo
- Thanh nhiên liệu loại 1
- Thanh nhiên liệu loại 2

Bó nhiên liệu VVER-1000/V392



- Ống cho ICID
- Kênh ống căn hướng
- Thanh nhiên liệu có độ giàu ban đầu (loại 1)
- Thanh nhiên liệu có độ giàu (loại 2)
- Thanh nhiên liệu Gd

Hình 1: Các bó nhiên liệu của lò phản ứng VVER-1200/V491 (trái) và VVER-1000/V392 (phải)

Từ Hình 1 có thể dễ dàng nhận thấy sự khác biệt trong cách bố trí các thanh nhiên liệu của bó nhiên liệu trong 2 loại lò phản ứng. Trong bó nhiên liệu của lò VVER-1000/V392, một thanh nhiên liệu được đặt tại trung tâm bó nhiên liệu, vị trí của ống chứa thiết bị đo được đặt phía ngoài. Đối với bó nhiên liệu của lò VVER-1200/V491, vị trí của ống chứa thiết bị đo cũng giống như trong bó nhiên liệu VVER-1000/V392, tuy nhiên tại trung tâm bó nhiên liệu là một ống nước.

Trong báo cáo này, cùng với việc tìm hiểu cấu hình nạp tải từ lò phản ứng VVER-1000/V392, nhóm nghiên cứu cũng tìm hiểu cấu hình nạp tải trong các phiên bản khác của

NMĐHN sử dụng lò phản ứng VVER-1000. Trong đó, lò phản ứng VVER-1000/V446 trong NMĐHN Bushehr tại Iran sử dụng các loại bó nhiên liệu có cấu hình và độ giàu giống như các thông số của lò VVER-1200/V491 [6][7]. Như vậy, việc xem xét cấu hình nạp tải nhiên liệu của lò phản ứng VVER-1000/V446 của Iran cũng được nhóm nghiên cứu thực hiện.

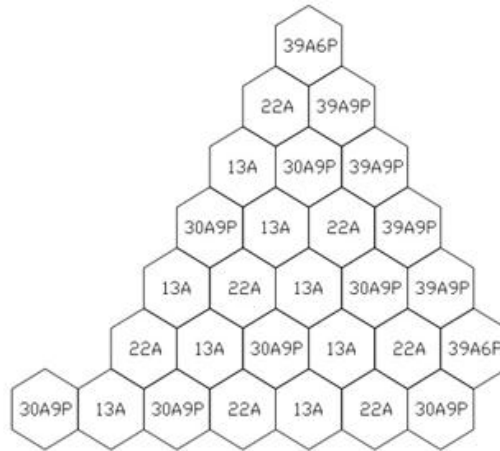
Các kết quả hệ số nhân neutron vô hạn (*k_{inf}*) của các bó nhiên liệu của lò phản ứng VVER-1200/V491 được trình bày trong Bảng 2 và có so sánh các kết quả tính toán đối với các bó nhiên liệu của lò phản ứng VVER-1000/V392 đã được thực hiện trong khuôn khổ Đề tài cấp Bộ 2014-2015 [1]

Bảng 2: Hệ số nhân neutron vô hạn của các bó nhiên liệu trong lò phản ứng VVER-1200/V491 và VVER-1000/V392 tại chu trình nhiên liệu đầu tiên

Loại bó	<i>k_{inf}</i>	Loại bó	<i>k_{inf}</i>
	VVER-1000/V392		VVER-1200/V491
13A	1.1302	1.6	1.16007
22A	1.30822	-	-
30A9P	1.28843	2.4	1.27508
39A9P	1.3605	3.62	1.37141
39A6P	1.39289	-	-

Trong Bảng 2, giá trị *k_{inf}* đối với 2 loại lò phản ứng VVER-1000/V392 và VVER-1200/V491 được đưa ra. Từ bảng trên có thể nhận thấy bó nhiên liệu độ giàu 1.6% w/o có *k_{inf}* gần nhất với hệ số nhân của bó nhiên liệu 1.3% w/o (bó 13A), bó nhiên liệu độ giàu 2.4% w/o gần với hệ số nhân của bó nhiên liệu 3.0% w/o gồm 9 thanh Gd (bó 30A9P) và bó nhiên liệu độ giàu 3.62% w/o có hệ số nhân vô hạn gần nhất với hệ số nhân của bó nhiên liệu 3.9% w/o gồm 9 thanh Gd (bó 39A9P) của lò VVER-1000/V392. Các giá trị *k_{inf}* của các bó nhiên liệu lò phản ứng VVER-1200/V491 còn nhiều sai khác với *k_{inf}* của các bó nhiên liệu trong lò VVER-1000/V392 (~2000 pcm). Tuy nhiên, việc tính toán trên giúp đưa ra nhận định để phân loại các vị trí của các bó nhiên liệu trong lò VVER-1200/V491.

Hình 2 đưa ra cấu hình nạp tải của lò phản ứng VVER-1000/V392 tại chu trình đầu tiên.[2]

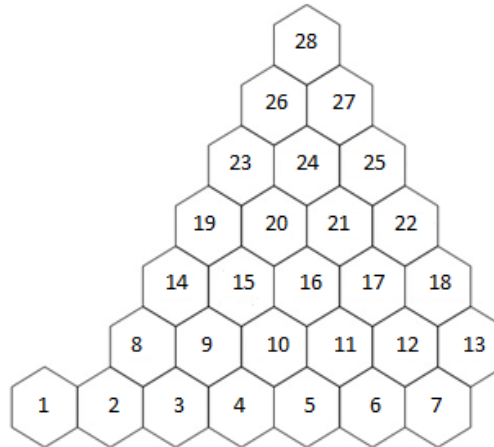


Hình 2: Cấu hình nạp tải nhiên liệu lò phản ứng VVER-1000/V392 tại chu trình đầu tiên

Do các bó nhiên liệu của lò phản ứng VVER-1000/V392 và VVER-1200/V491 có cấu hình và độ giàu khác nhau, nên hệ số *kinf* đối với các loại bó nhiên liệu này cũng khác nhau. Tuy vậy, từ Hình 2 vẫn dễ dàng nhận thấy được cấu hình nạp tải nhiên liệu được sắp đặt như sau: Các bó nhiên liệu có độ giàu cao được bố trí ở vành ngoài của vùng hoạt, tiếp đó là các bó nhiên liệu có độ giàu thấp và trung bình, tại tâm vùng hoạt bố trí các bó nhiên liệu có độ giàu trung bình. Việc sắp xếp cấu hình nhiên liệu như vậy về mặt định tính có thể dự đoán được tác dụng làm đều phân bố công suất trong vùng hoạt, đảm bảo các giới hạn an toàn đối với vùng hoạt.

Từ những nhận định trên, đối với các bó nhiên liệu của lò phản ứng VVER-1200, có thể sắp xếp các bó nhiên liệu có độ giàu 3.62% w/o ở vành ngoài của vùng hoạt, các bó nhiên liệu có độ giàu 1.6% w/o và 2.4% w/o ở giữa vùng hoạt và các bó nhiên liệu có độ giàu 1.6% w/o được đặt ở tâm vùng hoạt.

II.3. Các cấu hình vùng hoạt cho lò phản ứng VVER-1200/V491



Hình 3: Số thứ tự các bó nhiên liệu trong 1/6 vùng hoạt lò phản ứng VVER-1200

Hình 3 đưa ra thứ tự đánh số của 28 bó nhiên liệu trong 1/6 vùng hoạt lò phản ứng VVER-1000 và VVER-1200. Từ việc tính toán tìm kiếm cấu hình bằng chương trình LPO-V và tham khảo các cấu hình nạp tải của lò phản ứng VVER-1000/V392 và VVER-1000/V446 của Iran, các cấu hình nạp tải và hệ số nhân của vùng hoạt lò phản ứng VVER-1200/V491 được đưa ra theo Bảng 3.

Bảng 3: Hệ số nhân và cấu hình nạp tải vùng hoạt khi tính toán bằng LPO-V và khi tham khảo các cấu hình nạp tải của các lò phản ứng VVER-1000

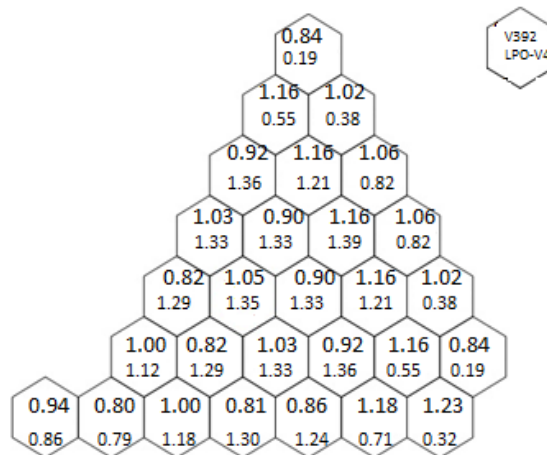
Cấu hình tham khảo	VVER-1000/V392	VVER-1000/V446	LPO-V1	LPO-V2	LPO-V3	LPO-V4
<i>k-eff</i>	1.213683	1.213262	1.25572	1.25603	1.25571	1.25652
Số thứ tự	Loại bỏ	Loại bỏ	Loại bỏ	Loại bỏ	Loại bỏ	Loại bỏ
1	2	2	2	2	2	2
2	1	1	1	1	1	1
3	2	2	1	1	1	2
4	1	1	2	2	2	2
5	1	2	2	2	2	2
6	2	1	3	3	3	1
7	3	3	1	1	1	1
8	2	2	1	3	1	2
9	1	1	2	2	2	2
10	2	2	2	2	2	2
11	1	1	2	2	2	3
12	2	2	3	3	3	1
13	3	3	1	1	1	1
14	1	1	3	2	3	2
15	2	2	2	2	2	2
16	1	1	2	2	2	2
17	2	2	3	3	3	3
18	3	3	1	1	1	1
19	2	2	2	2	2	2
20	1	1	2	2	2	2
21	2	2	3	3	3	3
22	3	3	1	1	2	3
23	1	1	2	2	2	3

24	2	2	3	3	3	3
25	3	3	2	1	1	3
26	2	2	3	3	3	1
27	3	3	1	1	1	1
28	3	3	1	1	1	1

Các kết quả từ Bảng 3 cho thấy sự khác biệt khá lớn giữa các cấu hình nạp tải nhiên liệu theo tham khảo và các cấu hình tính toán được bằng chương trình LPO-V. Giá trị *keff* khi suy luận từ cấu hình nạp tải của VVER-1000/V392 và VVER-1000/V446 có độ sai lệch ~ 42 pcm và có thể coi như không có sự chênh lệch nhiều.

Đối với 4 cấu hình nạp tải được đưa ra từ LPO-V, độ chênh lệch của *keff* trong các cấu hình cũng khá nhỏ (~30 – 60 pcm). Tuy nhiên, khi so sánh *keff* của 4 cấu hình tính toán được bởi LPO-V với 2 cấu hình suy luận từ các lò phản ứng VVER-1000, có sự sai khác khá lớn (~400 pcm). Một lý do giải thích cho sự sai khác trên của *keff* trong các trường hợp là bởi hàm mục tiêu của LPO-V chú trọng tìm kiếm cấu hình nhiên liệu để *keff* cao nhất có thể và chỉ loại bỏ các cấu hình có đỉnh phân bố công suất lớn hơn 1.5. Như vậy, các kết quả tính toán bởi LPO-V hoàn toàn có thể cho cấu hình nạp tải có hệ số *keff* lớn hơn các cấu hình được suy luận từ các lò phản ứng VVER-1000, tuy nhiên phân bố công suất sẽ có một số điểm thăng giáng mạnh.

II.4. Phân bố công suất và tỉ suất neutron trễ trong các vùng hoạt của lò phản ứng VVER-1200/V491



Hình 4: Phân bố công suất trong vùng hoạt lò phản ứng khi so sánh cấu hình suy luận từ VVER-1000/V392 và cấu hình tính toán từ LPO-V

Hình 4 đưa ra phân bố công suất so sánh trong 2 cấu hình vùng hoạt khi sử dụng cấu hình suy luận từ VVER-1000/V392 và cấu hình LPO-V4. Trong các ô lục giác ở Hình 4, số ở trên là phân bố công suất trong vùng hoạt được suy luận từ cấu hình VVER-1000/V392, số ở dưới là phân bố công suất trong cấu hình tính toán bởi LPO-V4.

Các kết quả từ Hình 4 cho thấy sự khác biệt khá lớn giữa các cấu hình nạp tải nhiên liệu theo tham khảo và các cấu hình tính toán được bằng chương trình LPO-V. Để nhận thấy phân bố công suất trong các bố nhiên liệu tại vùng hoạt khá gần giá trị 1, còn đối với cấu hình LPO-V4

có sự chênh lệch khá lớn. Trong cấu hình LPO-V4, các bó nhiên liệu có số thứ tự 7, 12,13, 18, 26, 27, 28 (xem Hình 3 và 4) ở rìa ngoài có phân bố công suất thấp, công suất của lò phản ứng chủ yếu tập trung ở lớp thứ 2 giữa tâm và vành ngoài của vùng hoạt. Định phân bố công suất trong cấu hình được suy ra từ VVER-1000/V392 là 1.23, giá trị thấp nhất là 0.8; đối với cấu hình LPO-V4, định phân bố công suất là 1.39, giá trị thấp nhất là 0.19.

Từ Bảng 3 và Hình 4, khó có thể khẳng định cấu hình được suy luận từ các lò phản ứng VVER-1000 hay cấu hình tính toán bởi LPO-V là tốt hơn. Đối với các cấu hình suy luận từ VVER-1000, phân bố công suất trong vùng hoạt dao động nhỏ cỡ ~ 0.2 , còn đối với các cấu hình từ LPO-V, phân bố công suất dao động lớn ~ 1.2 . Tuy vậy, các cấu hình nạp tải nhiên liệu tính toán bằng LPO-V luôn cho k_{eff} lớn hơn các cấu hình suy luận từ các lò phản ứng VVER-1000 ~ 400 pcm. Để đánh giá được cấu hình tốt và đảm bảo yêu cầu vận hành của lò phản ứng cũng như an toàn cho vùng hoạt lò phản ứng, các tính toán cháy và kết hợp vật lý - thủy nhiệt cần được thực hiện để đưa ra kết luận chính xác hơn. Đó là công việc sắp tới mà nhóm nghiên cứu tại TTNLHN sẽ tập trung tìm hiểu, tuy nhiên trong báo cáo này các kết quả đó chưa được trình bày.

Bảng 4: Bảng tỉ suất neutron trễ hiệu dụng và thời gian sống trung bình của neutron trễ được tính toán theo LPO-V và suy luận từ cấu hình của VVER-1000/V392

LPO-V4			Cấu hình suy luận từ VVER-1000/V392		
Nhóm	Hệ số neutron trễ hiệu dụng	Hằng số phân rã	Nhóm	Hệ số neutron trễ hiệu dụng	Hằng số phân rã
^{87}Br	2.05E-04	1.25E-02	^{87}Br	2.05E-04	1.25E-02
^{137}I	1.12E-03	3.17E-02	^{137}I	1.12E-03	3.17E-02
^{89}Br	1.10E-03	1.10E-01	^{89}Br	1.11E-03	1.10E-01
^{139}I	3.23E-03	3.20E-01	^{139}I	3.23E-03	3.20E-01
^{85}As	1.03E-03	1.35E+00	^{85}As	1.04E-03	1.35E+00
^9Li	3.46E-04	8.83E+00	^9Li	3.47E-04	8.84E+00
Tỉ suất neutron trễ hiệu dụng: 0.0070			Tỉ suất neutron trễ hiệu dụng: 0.0071		
Thời gian sống trung bình của neutron trễ: 13.11s			Thời gian sống trung bình của neutron trễ: 13.12s		

Bảng 4 đưa ra tỉ suất neutron trễ hiệu dụng (β_{eff}) và thời gian sống trung bình của neutron trễ trong cấu hình vùng hoạt LPO-V4 và cấu hình suy luận từ VVER-1000/V392. Từ bảng này có thể thấy được sự tương đồng giữa giá trị β_{eff} và thời gian sống trong hai trường hợp. Từ Bảng 4, tỉ suất neutron trễ đối với từng nhóm và hằng số phân rã của các nhóm không có sự khác biệt đối với các cấu hình tính toán từ LPO-V và suy luận từ VVER-1000/V392. Tỉ suất neutron hiệu dụng trong 2 trường hợp đưa ra đều có giá trị ~ 0.007 , thời gian sống trung bình của neutron trễ được tính toán từ đó cũng có giá trị ~ 13.11 s, các giá trị này gần như không có sự khác biệt giữa 2 loại cấu hình nạp tải. Từ đây có thể nhận thấy rằng ảnh hưởng của cấu hình nạp tải nhiên liệu trong các trường hợp suy luận từ các lò VVER-1000 và tính toán bởi LPO-V tới tỉ suất neutron trễ hiệu dụng là không nhiều.

II.5. Hệ số phản hồi độ phản ứng theo nhiệt độ nhiên liệu và chất làm chậm

Để tính toán hệ số phản hồi độ phản ứng theo nhiệt độ nhiên liệu, nhóm nghiên cứu cố định nhiệt độ của chất làm chậm là 579K, sau đó thực hiện tăng dần nhiệt độ của nhiên liệu từ 580K đến 1400K theo 41 bước, mỗi bước cách nhau 20K. Giá trị hệ số phản hồi độ phản ứng theo nhiệt độ nhiên liệu được tính theo công thức:

$$\alpha_{TFuel} = \frac{k_{eff}^{T_2} - k_{eff}^{T_1}}{(k_{eff}^{T_2} \times k_{eff}^{T_1}) \times \Delta T}$$

Đối với hệ số phản hồi độ phản ứng theo nhiệt độ chất làm chậm, nhóm nghiên cứu cố định nhiệt độ của nhiên liệu là 580K, sau đó tăng dần 1K nhiệt độ của chất làm chậm từ 564K đến 600K. Giá trị hệ số phản hồi độ phản ứng theo nhiệt độ chất làm chậm được tính theo công thức:

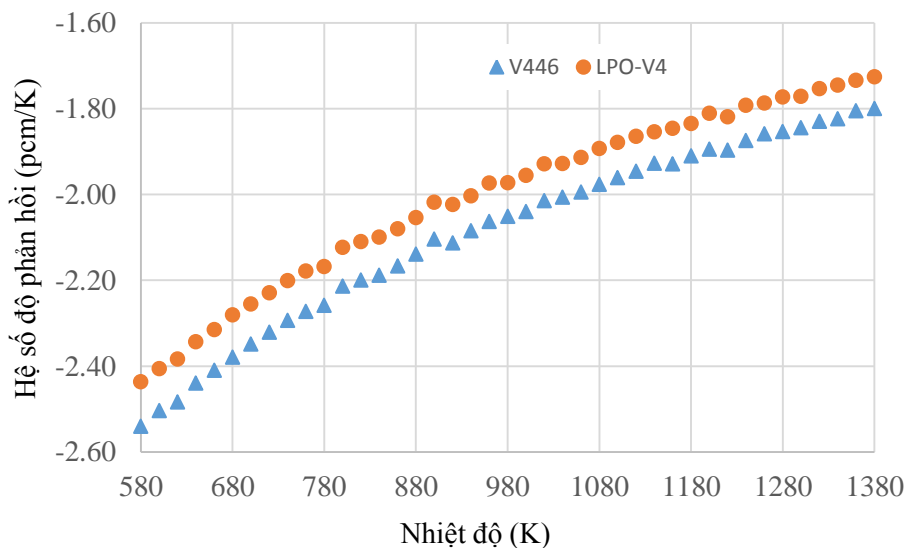
$$\alpha_{TMod} = \frac{k_{eff}^{T_2} - k_{eff}^{T_1}}{(k_{eff}^{T_2} \times k_{eff}^{T_1}) \times \Delta T}$$

Trong đó α_{TFuel} là hệ số phản hồi độ phản ứng theo nhiệt độ nhiên liệu

α_{TMod} là hệ số phản hồi độ phản ứng theo nhiệt độ chất làm chậm

$k_{eff}^{T_1}, k_{eff}^{T_2}$ là hệ số nhân neutron hiệu dụng tại nhiệt độ T_1 và T_2

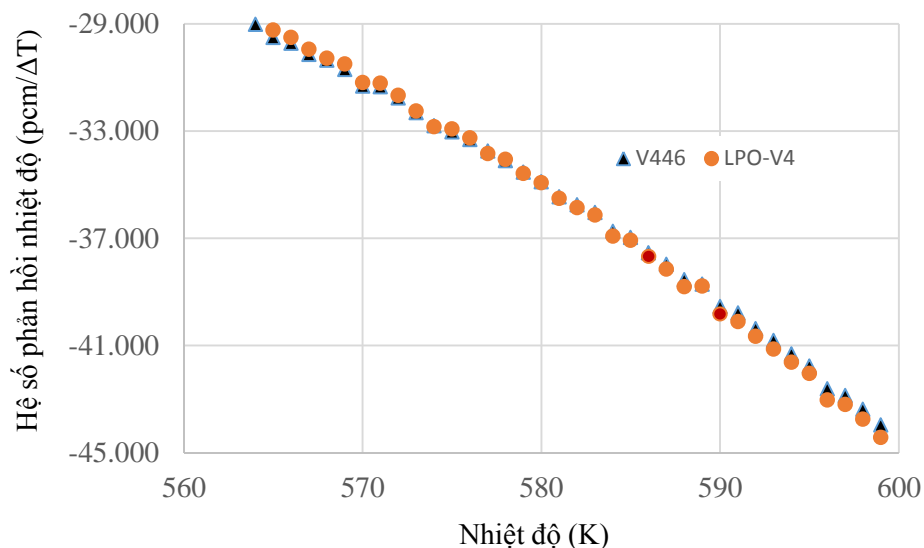
$\Delta T = T_2 - T_1$ là chênh lệch nhiệt độ (K)



Hình 5: Hệ số phản hồi độ phản ứng theo nhiệt độ nhiên liệu

Hình 5 đưa ra hệ số phản hồi độ phản ứng theo nhiệt độ nhiên liệu trong 2 cấu hình: (a) V446 là cấu hình nạp tải dựa trên cấu hình của lò phản ứng VVER-1000 của Iran và (b) LPO-V4 là cấu hình nạp tải được tính toán bằng chương trình LPO-V.

Các đường đặc trưng phản hồi theo nhiệt độ nhiên liệu của độ phản ứng khá đều từ ~ -2.4 pcm/ ΔT đến -1.8 pcm/ ΔT . Các giá trị hệ số phản hồi đều mang giá trị âm do hiệu ứng Doppler. Từ Hình 5 có thể thấy rằng các đường đặc trưng của 2 cấu hình VVER-1000/V446 của Iran và cấu hình LPO-V4 sai khác nhau giá trị rất nhỏ cỡ ~ 0.2 pcm/ ΔT . Điều này cho thấy rằng ảnh hưởng của cấu hình nạp tải nhiên liệu trong các trường hợp tính toán bởi LPO-V và các cấu hình suy luận từ lò phản ứng VVER-1000/V446 là không đáng kể.



Hình 6: Hệ số phản hồi độ phản ứng theo nhiệt độ chất làm chậm

Hình 6 đưa ra hệ số phản hồi độ phản ứng theo nhiệt độ chất làm chậm được tính theo 2 trường hợp: V446 là cấu hình nạp tải dựa trên lò phản ứng VVER-1000/V446 của Iran, cấu hình LPO-V4 là cấu hình tính toán bởi LPO-V. Từ Hình 6, nhận thấy hệ số phản hồi của 2 cấu hình đều thay đổi từ ~ -29 pcm/ ΔT đến ~ -45 pcm/ ΔT . Như vậy, hệ số phản hồi theo nhiệt độ chất làm chậm có đóng góp lớn trong phản hồi âm của lò phản ứng sử dụng neutron nhiệt. Trên Hình 6, hệ số phản hồi độ phản ứng theo chất làm chậm trong 2 trường hợp được đưa ra có giá trị rất gần nhau. Như vậy, các cấu hình nạp tải tính toán bởi LPO-V và cấu hình suy luận từ VVER-1000 không sai khác nhiều về hệ số phản hồi theo nhiệt độ chất làm chậm.

III. KẾT LUẬN

Báo cáo đã thực hiện tính toán đối với các bố nhiên liệu của lò phản ứng VVER-1200/V491. Sau khi so sánh hệ số nhân của các bố nhiên liệu lò phản ứng VVER-1200/V491 với lò phản ứng VVER-1000/V392 và VVER-1000/V446 của Iran, cùng với việc kết hợp chương trình tính toán tìm kiếm tối ưu cấu hình vùng hoạt LPO-V, nhóm nghiên cứu đã đề xuất và tính toán 6 cấu hình nạp tải nhiên liệu cho lò phản ứng VVER-1200/V491.

Các thông số đặc trưng cho vùng hoạt lò phản ứng là hệ số phản hồi độ phản ứng theo nhiệt độ nhiên liệu và chất làm chậm, tỉ suất neutron trễ hiệu dụng của một số cấu hình tiêu biểu đều không có sự khác biệt lớn giữa các cấu hình vùng hoạt. Giá trị $keff$ của các cấu hình suy luận từ lò phản ứng VVER-1000/V392 và VVER-1000/V446 thấp hơn khi so với các vùng hoạt tính toán bởi chương trình LPO-V, tuy vậy phân bố công suất trong cấu hình được suy luận lại đều hơn của cấu hình tính toán bởi LPO-V.

Về tổng quan, có thể nói rằng các cấu hình nạp tải cho vùng hoạt lò phản ứng VVER-1200/V491 được đề xuất trong báo cáo này đều có khả năng được sử dụng và đảm bảo an toàn. Tuy nhiên, việc đánh giá thời gian vận hành của nhiên liệu và các đặc trưng an toàn vận hành lò phản ứng cần phải được nghiên cứu kỹ hơn qua các tính toán cháy và kết hợp vật lý – thủy nhiệt. Đó cũng là hướng nghiên cứu mà TTNLHN – VKHKTHN quan tâm trong thời gian sắp tới.

IV. TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Trần Việt Phú, “Tính toán một số đặc trưng neutron của vùng hoạt lò VVER-1000”, *Đề tài cấp Bộ* (2014-2015)
- [2]. Risk Engineering LTD., Belene ISAR - Training course provided for Vietnam Atomic Energy Institute VINATOM, Sofia, Bungari, (15 Jan – 9 March 2012)
- [3]. Trần Việt Phú, “Nghiên cứu tối ưu thay đảo nhiên liệu lò VVER”, *Đề tài cấp Bộ* (2015-2016)
- [4]. K. Kumura, T. Kugo, K. Kaneko and K. Tsuchihashi, “SRAC2006: A comprehensive neutronics calculation code system”, JAEA-Data/Code (2007).
- [5]. Ninh Thuan 1 Nuclear Power Plant Project Feasibility Study, NT1.0-3.101-FS-01.03.01.06.02-rev02 (2015).
- [6]. S.Safaei Arshi, S.M.Mirvakili, F.Faghini, “Modified COBRA-EN code to investigate thermal-hydraulic analysis of the Iranian VVER-1000 core”, *Progress in Nuclear Energy* 52 (2010) p.589-595.
- [7]. Yashar Rahmani, Ali Pazirandeh, Mohammad B. Ghofrani, Mostafa Sadighi, “Calculation of the deterministic optimum loading pattern of the BUSHEHR VVER-1000 reactor using the weighting factor method”, *Annals of Nuclear Energy* 49 (2012) p.170-181.

DEVELOPING THE CORE LOADING PATTERN FOR THE VVER-1200/V491

Abstract: In this report we present the results of an investigation in developing the core loading pattern of the VVER-1200/V491. The loading pattern was developed in two ways: (1) Based on the core configuration of the VVER-1000/V392 and (2) Selected by the optimized method using in the LPO-V code. To estimate the developed core, several parameters such as the k-eff, power distribution, delayed neutron fraction, fuel and moderator temperature reactivity feedbacks are calculated by SRAC code.

Keywords: Core configuration, Optimized method, VVER-1200/V491, VVER-1000/V392, LPO-V, SRAC