

# TÍNH TOÁN THỦY NHIỆT VÀ PHÂN TÍCH AN TOÀN LÒ PHẢN ỨNG NGHIÊN CỨU ĐA MỤC TIÊU CÔNG SUẤT 10 MW SỬ DỤNG NHIÊN LIỆU VVR-KN ĐỘ GIÀU THẤP

Nguyễn Tiến Vũ, Nguyễn Nhị Điền, Huỳnh Tôn Nghiêm, Nguyễn Kiên Cường,  
Võ Đoàn Hải Đăng

Trung tâm Lò phản ứng, Viện Nghiên cứu hạt nhân Đà Lạt,  
Viện Năng lượng Nguyên tử Việt Nam (VINATOM)  
Địa chỉ: 01 Nguyễn Tử Lực, Đà Lạt, Lâm Đồng  
E-mail: [vunt.re@dnri.vn](mailto:vunt.re@dnri.vn)

## Tóm tắt

Các chương trình tính toán PLTEMP/ANL.V4.2 và PARET/ANL.V7.5 được sử dụng để tính toán thủy nhiệt và phân tích an toàn Lò Phản ứng nghiên cứu công suất danh định 10 MW sử dụng nhiên liệu VVR-KN độ giàu thấp. Ở trạng thái vận hành ổn định, nhiệt độ vỏ bọc nhiên liệu của bó nhiên liệu (BNL) nóng nhất không vượt quá 93 °C, nhiệt độ cực đại chất làm nguội 72 °C và tỉ số cực tiểu khối điếm sôi bọt (ONBR) 1,46 khi nhiệt độ nước lồi vào 45 °C. Các thông số thủy nhiệt này hoàn toàn đáp ứng yêu cầu về an toàn do nhà sản xuất nhiên liệu đề ra với nhiệt độ vỏ bọc không vượt quá 98 °C và tỉ số khối điếm sôi lớn hơn 1,3. Về khía cạnh phân tích an toàn, các tình huống chuyển tiếp/sự cố được thực hiện phân tích bao gồm: khi thêm vào độ phản ứng (RIA), lưu lượng bơm vòng một bị giảm do vỡ đường ống hoặc mất hoàn toàn lưu lượng bơm vòng một khi mất hoàn toàn điện lưới. Tại ngưỡng công suất 110% so với công suất danh định trong quá trình tính toán chuyển tiếp, nhiệt độ vỏ bọc nhiên liệu tại bó nhiên liệu nóng nhất không vượt quá 110 °C và tỉ số khối điếm sôi lớn hơn 1,3. Từ các kết quả tính toán đạt được cho thấy các cấu hình vùng hoạt đề nghị sử dụng nhiên liệu VVR-KN với 6 chu trình nhiên liệu đến vùng hoạt cân bằng hoàn toàn đáp ứng yêu cầu về an toàn thủy nhiệt trong điều kiện vận hành ổn định, quá trình chuyển tiếp và sự cố.

**Từ khóa:** Thủy nhiệt, phân tích an toàn, PLTEMP/ANL.V4.2, PARET/ANL.V7.5, VVR-KN, trạng thái dừng, trạng thái chuyển tiếp và sự cố, RIA, mất điện lưới, nhiệt độ vỏ bọc, ONB, DNBR.

## 1. Giới thiệu

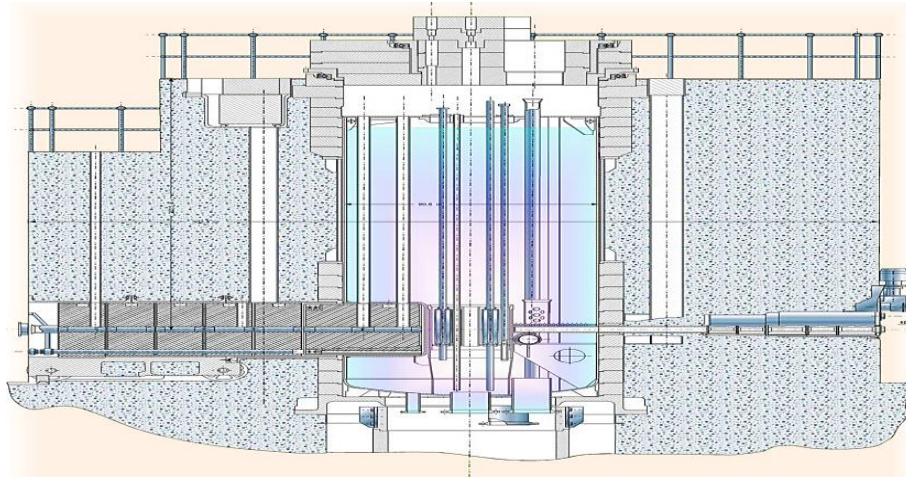
Mục đích của việc phân tích an toàn cho lò phản ứng nghiên cứu (LPUNC) là nhằm chứng minh và khẳng định cho các cơ quan quản lý và pháp quy lò phản ứng đảm bảo an toàn trong thiết kế và vận hành bằng cách sử dụng các công cụ phân tích thích hợp thường là các phần mềm chương trình tính toán. Phân tích an toàn cũng rất quan trọng trong việc xây dựng các thủ tục vận hành, các chương trình kiểm tra, đề xuất sửa đổi cấu hình hoặc bố trí thí nghiệm và xây dựng kế hoạch ứng phó sự cố [1].

Trong quá trình tính toán toán thiết kế, Lò phản ứng (LPU) công suất 10 MW sử dụng nhiên liệu độ giàu thấp VVR-KN thuộc kiểu bể bơi được xem xét tính toán phân tích an toàn sau khi đã được tính toán chi tiết về Vật lý. Chương trình PLTEMP/ANL.V4.2 được sử dụng để tính toán các thông số thủy nhiệt ở trạng thái vận hành ổn định để so sánh với các yêu cầu về an toàn do nhà sản xuất nhiên liệu đề ra với nhiệt độ vỏ bọc không vượt quá 98 °C và tỉ số khối điếm sôi lớn hơn 1,3[2-4]. Chương trình PARET/ANL.V7.5 được sử dụng để phân tích an toàn trong trường hợp xảy ra sự cố cần đảm bảo các yêu cầu về an toàn được đưa ra bao gồm nhiệt độ vỏ bọc nhiên liệu tại bó nhiên liệu nóng nhất không vượt quá 110 °C, nhiệt độ chất tải nhiệt không vượt quá 108,0 °C và tỉ số khối điếm sôi lớn hơn 1,3[2-4].

LPU có vùng hoạt được đặt trong thùng lò với đường kính trong 2,3 m, chiều cao mức nước khoảng 5,3 m, sử dụng nước nhẹ làm chậm và làm nguội, vành phản xạ bằng berily. Vùng hoạt LPU được nạp tải các bó nhiên liệu (BNL) loại VVR-KN độ giàu 19,75% với 2 loại là loại

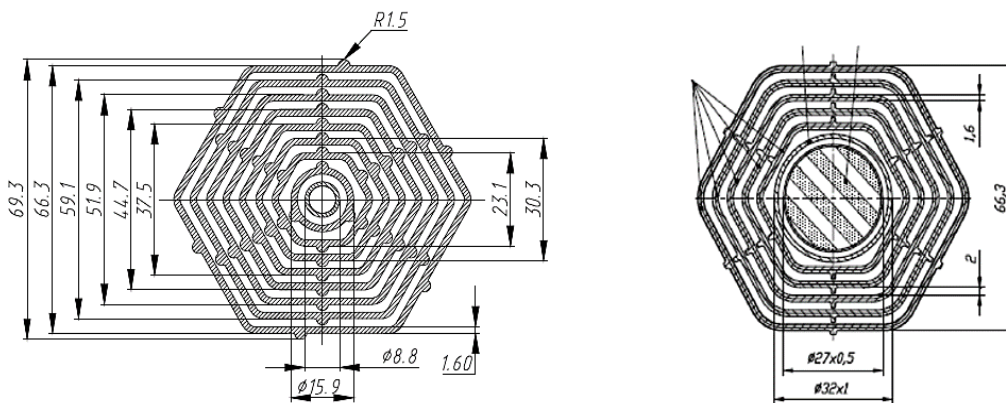
tiêu chuẩn và loại có thanh điều khiển. Việc làm mát vùng hoạt được thực hiện bằng đối lưu cưỡng bức với dòng chảy xuống, tổng lưu lượng khoảng 900 m<sup>3</sup>/h [2].

Để điều khiển LPU, 9 thanh điều khiển được sử dụng trong vùng hoạt bao gồm: 1 thanh điều khiển tự động (AR) được làm từ thép không gỉ với mật độ 7,8 g/cm<sup>3</sup>. Hai thanh an toàn (AZ1 và AZ2) và 6 thanh bù trừ (KC1-KC6) được làm bằng B<sub>4</sub>C với mật độ 1,69 g/cm<sup>3</sup> là loại vật liệu hấp thụ mạnh neutron.



Hình 1. Mặt cắt thẳng đứng LPU VVR[2].

LPU sử dụng 2 loại BNL VVR-KN: FA-1 và FA-2. FA-1 là loại nhiên liệu tiêu chuẩn có 7 thanh nhiên liệu hình lục giác đồng tâm và 1 thanh nhiên liệu hình trụ tròn ở tâm. Loại FA-2 gồm 5 thanh nhiên liệu hình lục giác và hình trụ tròn ở tâm đóng vai trò dẫn hướng cho thanh điều khiển là thép không gỉ hay B<sub>4</sub>C. Độ dày của mỗi thanh nhiên liệu là 1,6 mm, phần chứa nhiên liệu là hỗn hợp UO<sub>2</sub>+Al có độ dày 0,7 mm, vỏ nhiên liệu là hợp kim nhôm SAV-1 có độ dày 0,45 mm. Khoảng cách giữa các thanh nhiên liệu là 2 mm tạo thành các kênh tải nhiệt cho thanh nhiên liệu. Chiều cao phần nhiên liệu là 600 mm với khối lượng <sup>235</sup>U trong BNL FA-1 và FA2 tương ứng là 248,2 g và 197,6 g, mật độ trung bình của uranium trong nhiên liệu khoảng 2,8 g/cm<sup>3</sup>, bản vẽ chi tiết của BNL được trình bày ở Hình 2.



Hình 2. Mặt cắt ngang bố nhiên liệu FA-1 và FA-2[2].

## 2. Chương trình và mô hình tính toán

### 2.1. Chương trình tính toán

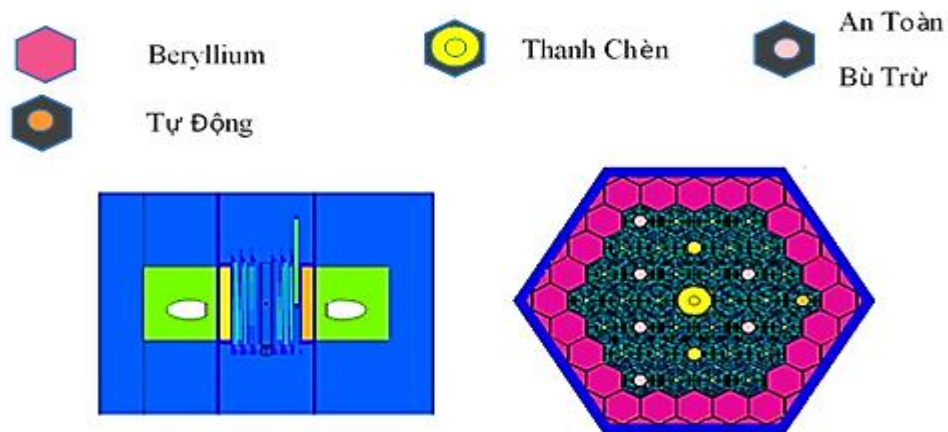
Các chương trình tính toán được sử dụng cho phân tích an toàn đã được thương mại và được hiệu lực hóa thông qua việc so sánh với các kết quả thí nghiệm cũng như các kết quả tính toán từ các chương trình tính toán khác [2-6].

Chương trình PLTEMP/ANL-V4.2 được sử dụng để tính toán phân tích, xác định các thông số thủy nhiệt cơ bản cũng như một số thông số an toàn khác ở trạng thái dừng. PLTEMP mô hình hóa các kênh làm mát giữa các tấm nhiên liệu thành các kênh độc lập với các thông số liên quan được trình bày ở Bảng 3. Các phần nhiên liệu và vỏ nhiên liệu được mô tả dưới dạng các tấm riêng biệt.[5]

Chương trình PARET được sử dụng từ năm 1969 tại phòng thí nghiệm quốc gia Idaho (INL) để phân tích các sự kiện/sự cố khi đưa độ phản ứng vào vùng hoạt LPU nghiên cứu hoặc thử nghiệm làm nguội bằng nước nặng hoặc nước nhẹ với nhiên liệu dạng tấm hoặc trụ. Chương trình PARET cũng thích hợp trong ứng dụng cho loại BNL dạng cong khi bán kính cong lớn hơn so với chiều dày của tấm nhiên liệu. Phiên bản chương trình PARET/ANL được phát triển tại phòng thí nghiệm quốc gia Argonne (ANL) và đã được sử dụng cho chương trình chuyển đổi nhiên liệu LPU để xác định diễn biến của quá trình chuyển tiếp hoặc sự cố độ phản ứng. Chương trình PARET/ANL lấy mô hình nhiên liệu trong vùng hoạt như một kênh đại diện. Kênh này bao gồm một tấm nhiên liệu dạng tấm hoặc trụ bao gồm vỏ bọc nhiên liệu, khe hở với nước làm mát ở mỗi bên. Về hình học, các kênh làm mát cho một tấm nhiên liệu có kích thước giống hệt nhau (đối xứng gương) nhưng chúng có thể có độ dày khác nhau trong mỗi kênh. Có thể có nhiều kênh trong mô hình tính toán nhưng mỗi kênh là độc lập và kết hợp qua phản hồi độ phản ứng ảnh hưởng đến toàn bộ vùng hoạt [6].

### 2.2. Mô hình tính toán

Vùng hoạt cân bằng được xác lập qua 6 chu trình nhiên liệu, công suất vận hành của LPU lúc này là 10MW. Số BNL điều khiển trong vùng hoạt của mỗi chu trình là không đổi. Phân tích an toàn tại kênh nóng nhất đối với vùng hoạt cân bằng với cấu hình nạp tải được trình bày ở Hình 3. Vùng hoạt có 27 BNL tiêu chuẩn và 9 BNL là thanh điều khiển.



Hình 3. Mặt cắt ngang và thẳng đứng vùng hoạt LPU.

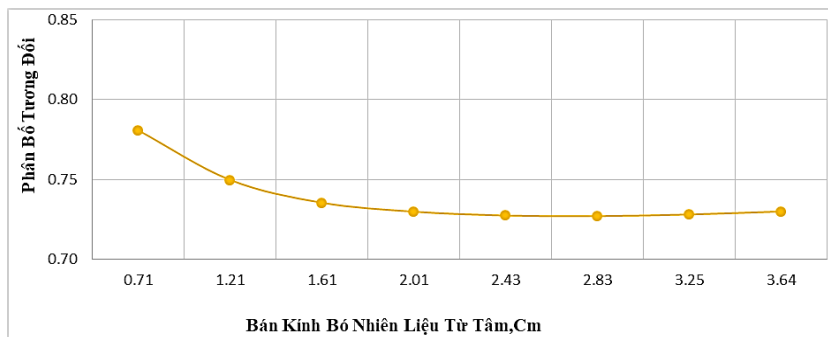
Các thông số neutron của vùng hoạt như phân bố công suất, phân bố công suất theo chiều cao và bán kính bó nhiên liệu được trình bày ở Hình 4-5. Giá trị hiệu dụng các thanh điều khiển được trình bày ở Hình 6, phản hồi nhiệt độ của chất tải nhiệt ở Bảng 1, ... được tính toán chi tiết bằng các hệ chương trình MCNP và MCNP-REBUS, sau đó được đưa vào input của các chương trình tính toán thủy nhiệt.

Bảng 1. Phản hồi nhiệt độ chất tải nhiệt.

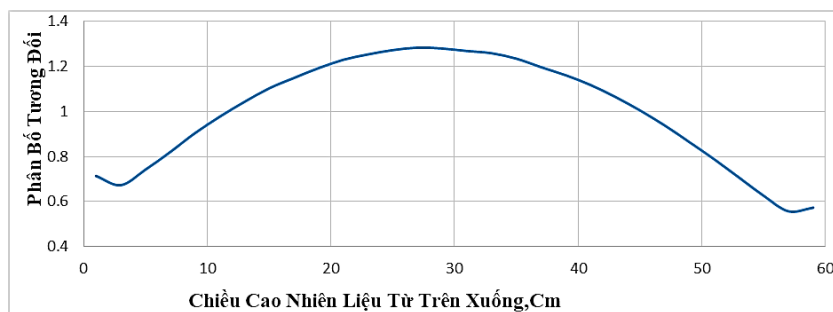
Thông số	Giá trị		
Nhiệt độ chất tải nhiệt (K)	294<T<350	350<T<400	294<T<400
Độ phản ứng ( $\beta$ )	-1,14184E-02	-1,24056E-02	-1,18841E-02

Bảng 2. Các thông số cơ bản vùng hoạt.

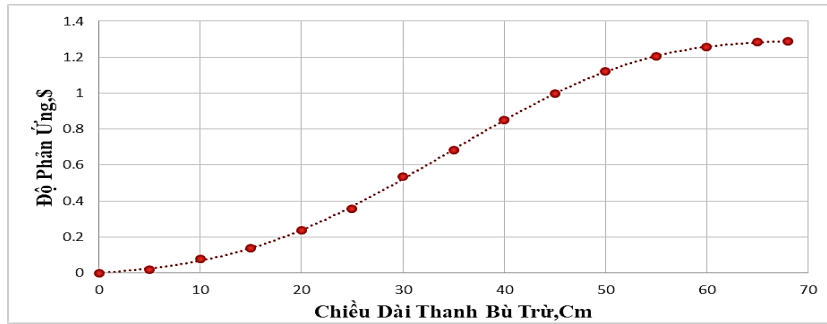
Công suất (MW)	Lưu lượng qua vùng hoạt ( $m^3/h$ )	Số BNL tiêu chuẩn	Số thanh berily	Số BNK điều khiển	Thời gian vận hành (Ngày)	Độ cháy cực đại (%)	Độ phản ứng dự trữ ( $\beta$ )
10	900	27	22	9	86	56,064	13,753



Hình 4. Phân bố công suất nhiệt bên trong BNL nóng nhất theo chiều bán kính.



Hình 5. Phân bố công suất nhiệt BNL nóng nhất theo chiều cao.



Hình 6. Giá trị hiệu dụng của thanh bù trừ.

Quá trình tính toán các thông số thủy nhiệt ở thái dừng và trạng thái chuyển tiếp/sự cố thực hiện với kênh nóng nhất khi LPU hoạt động ở công suất 10 MW, nhiệt độ nước lõi vào vùng hoạt tối đa là 45 °C, áp suất 0,135 MPa, hai bơm cung cấp lưu lượng 900 m<sup>3</sup>/h qua vùng hoạt. Hệ điều khiển LPU đập lò khi có sự cố lúc công suất vượt quá 110% công suất danh định, chu kỳ LPU dưới 10 s, lưu lượng chất tải nhiệt dưới 80% lưu lượng danh định. Độ trễ từ lúc hệ điều khiển đưa ra tín hiệu đập lò cho đến lúc các thanh điều khiển rơi hoàn toàn vào vùng hoạt là 0,3s.

### 3. Kết quả tính toán phân tích an toàn

#### 3.1. Các thông số thủy nhiệt ở trạng thái vận hành ổn định

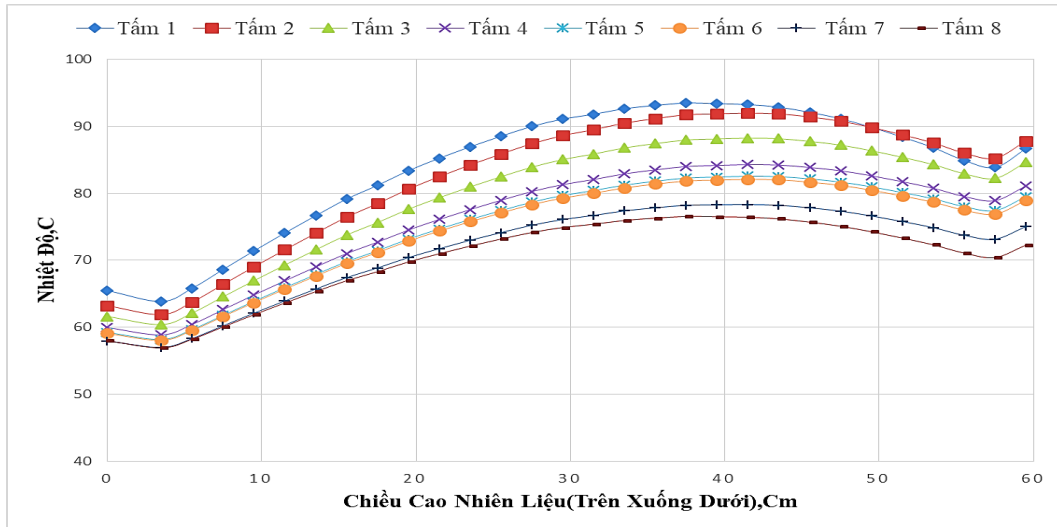
Chương trình PLTEMP mô hình hóa BNL FA-1 thành các kênh độc lập và các thanh nhiên liệu được đánh số thứ tự từ tâm bó nhiên liệu ra ngoài. Như vậy có 8 tấm nhiên liệu, 9 kênh nước tải nhiệt giữa các thanh nhiên liệu với các thông số được trình bày ở Bảng 3, mỗi thanh nhiên liệu sẽ có 2 lớp vỏ bọc 2 bên tương ứng với các tấm riêng biệt nhưng do kích thước của mỗi tấm nhiên liệu và vỏ nhiên liệu là rất mỏng nên sự chênh lệch giữa 2 lớp vỏ bọc nhiên liệu là khá nhỏ (< 1 °C) nên có thể coi nhiệt độ giữa 2 tấm vỏ bọc là tương đương nhau.

Bảng 3. Các thông số thủy lực các kênh tải nhiệt bên trong BNL.

Kênh	Tiết diện, m <sup>2</sup>	Chu vi ướt, m	Đường kính thủy lực, m	Độ rộng, m
1	4,74E-04	0,469697	4,03E-03	0,220193
2	4,17E-04	0,432542	3,86E-03	0,195509
3	3,67E-04	0,383175	3,83E-03	0,170826
4	3,17E-04	0,333808	3,80E-03	0,146162
5	2,67E-04	0,284441	3,75E-03	0,121459
6	2,16E-04	0,235074	3,68E-03	0,096775
7	1,66E-04	0,185707	3,58E-03	0,072092
8	1,36E-04	0,125436	4,35E-03	0,044925
9	6,59E-05	0,067544	3,90E-03	-

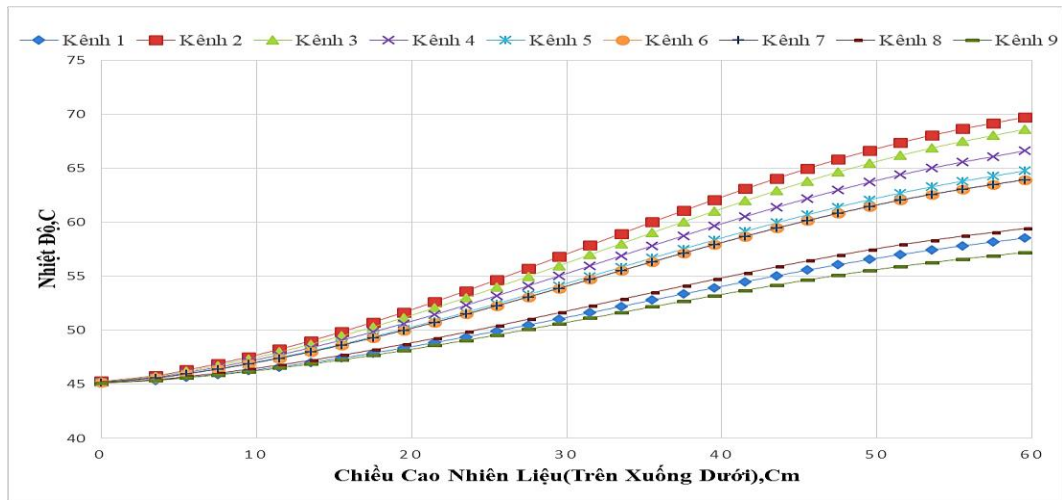
Kết quả tính toán bởi chương trình PLTEMP được trình bày ở Hình 7 cho thấy nhiệt độ cực đại của vỏ bọc nhiên liệu là 93,5 °C ở vị trí 37,5 cm tương ứng với chiều cao ở tấm 1 do kết quả tính toán neutron cho thấy phân bố công suất cực đại nằm ở tấm số 1.





Hình 7. Nhiệt độ vỏ bọc nhiên liệu.

Nhiệt độ các kênh làm mát được trình bày ở Hình 8, với nhiệt độ cực đại là 70,0 °C ở lõi ra kênh thứ 2. Do đây là kênh làm mát nằm giữa tám nhiên liệu có phân bố công suất cao nhất là tám số 1 và số 2.



Hình 8. Nhiệt độ chất tải nhiệt.

Tại mức công suất 10 MW và Lò vận hành ổn định, các thông số an toàn được xác định và đảm bảo đúng yêu cầu từ nhà sản xuất đối với các thông số cơ bản này. Kết quả tính toán các thông số an toàn được thể hiện trong Bảng 4.

Bảng 4. Kết quả các thông số thủy nhiệt từ chương trình PLTEMP

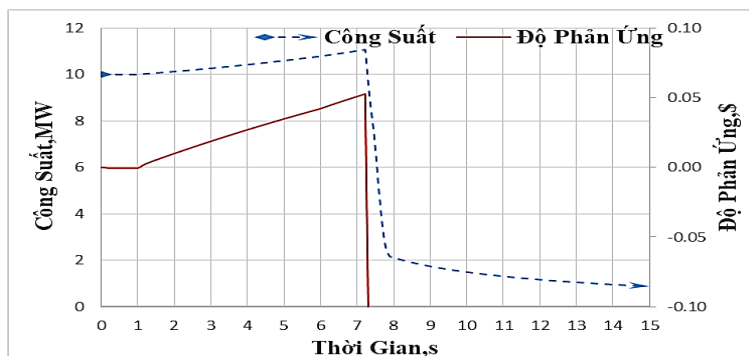
Công Suất (MW)	Cực tiểu ONBR	Cực tiểu DNBR	Nhiệt độ cực đại vỏ bọc nhiên liệu (°C)	Nhiệt độ cực đại chất tải nhiệt (°C)	Nhiệt độ cực đại nhiên liệu (°C)
10	1,477	3,568	93,5	70,0	97,6

### 3.2. Phân tích an toàn trạng thái chuyển tiếp/sự cố

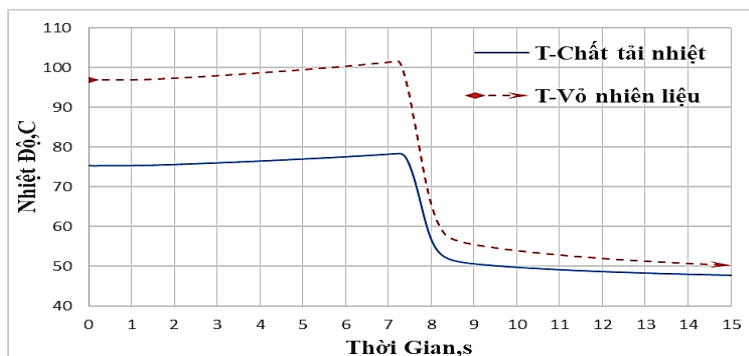
Theo tài liệu hướng dẫn của Cơ quan Năng lượng Nguyên tử Quốc tế (IAEA)[1], chương trình PARET được sử dụng để phân tích các sự cố được lựa chọn sau: 1) Sự cố rút thanh điều khiển ra khỏi vùng hoạt, 2) Sự cố đưa vào độ phản ứng dương do thí nghiệm, 3) Mất một bom, 4) Sự cố mất nguồn điện lưới.

#### 3.2.1. Sự cố rút không kiểm soát một thanh điều khiển

Hình 9 trình bày kết quả tính toán với giả thiết là một thanh bù trừ bị rút ra khỏi vùng hoạt với tốc độ 0,4 cm/s, sau 1s từ thời điểm thanh điều khiển được rút ra khỏi vùng hoạt công suất và nhiệt độ bắt đầu tăng. Công suất LPU chạm ngưỡng 110% tại thời điểm 6,9s và sau 0,3s độ trễ của hệ điều khiển tại thời điểm sau 7,2 s LPU bị đập bởi tín hiệu công suất với công suất cực đại là 11,1 MW. Nhiệt độ cực đại của chất tải nhiệt là 78,4 °C của vỏ bọc nhiên liệu là 101,6 °C được trình bày ở Hình 10 hoàn toàn đáp ứng các giới hạn nhiệt được quy định bởi nhà sản xuất. Trong trường hợp sự cố đưa ra do tốc độ rút thanh điều khiển khá chậm tức là độ phản ứng đưa vào khá nhỏ theo thời gian nên LPU không bị đập bởi tín hiệu chủ kỳ.



Hình 9. Công suất và độ phản ứng khi xảy ra sự cố rút thanh điều khiển.



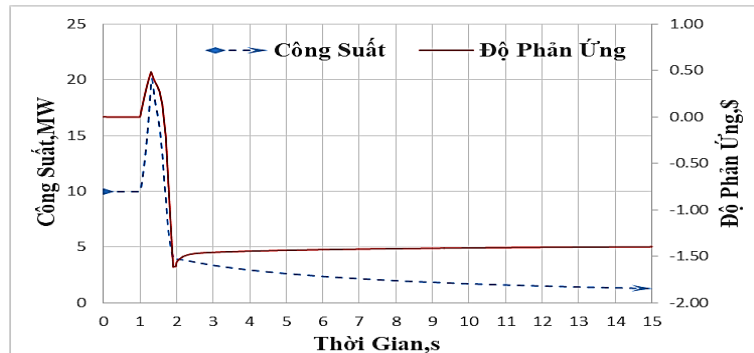
Hình 10. Nhiệt độ chất tải nhiệt, vỏ bọc nhiên liệu khi xảy ra sự cố rút thanh điều khiển.

#### 3.2.2. Sự cố đưa vào độ phản ứng dương do thí nghiệm

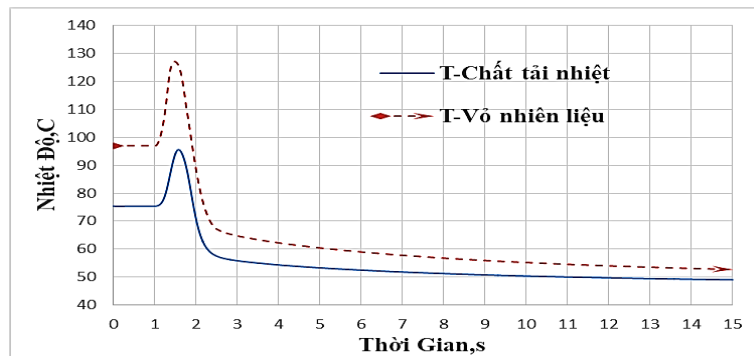
Hình 11 trình bày kết quả tính toán với giả thiết đưa vào độ phản ứng dương 1,5% trong vòng 1s tương đương với khoảng 2 \$ trong vùng hoạt với việc đưa vào độ phản ứng rất lớn LPU bị đập bởi tín hiệu chu kỳ ngay tại thời điểm 1,3s với công suất cực đại ở mức 20,1 MW.

Hình 12 cho thấy nhiệt độ cực đại của chất tải nhiệt là 95,6 °C, của vỏ bọc nhiên liệu là 127,0 °C lớn hơn giá trị cho phép là 110,0 °C song quá trình này là rất ngắn, trong thời gian

chưa tới 1s và ngay sau đó hệ thống bảo vệ sự cố đã đưa lò về trạng thái dưới tới hạn, đồng thời nhiệt độ vỏ bọc đã được hạ xuống thấp nên không có khả năng gây tổn hại đến vỏ bọc nhiên liệu.



Hình 11. Công suất và độ phản ứng khi xảy ra sự cố đưa vào độ phản ứng do thí nghiệm.

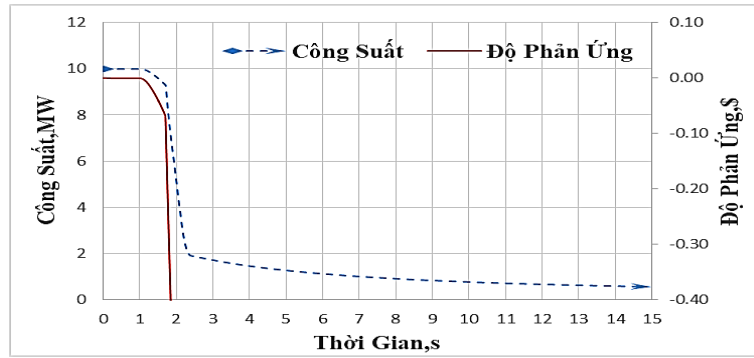


Hình 12. Nhiệt độ chất tải nhiệt, vỏ nhiên liệu khi xảy ra sự cố độ phản ứng do thí nghiệm.

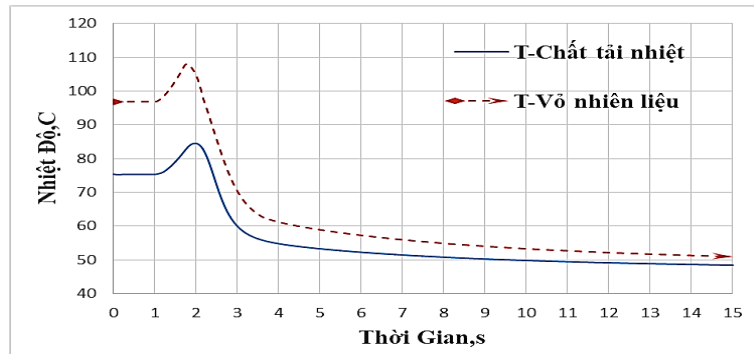
### 3.2.3. Mất hoàn toàn lưu lượng một bơm

Giả thiết là đường ống một bơm bị vỡ làm mất toàn bộ lưu lượng của một bơm, tổng lưu lượng làm mát giảm tuyến tính xuống còn 1/2 trong vòng 1 s. Hình 13 và Hình 14 trình bày công suất, độ phản ứng và nhiệt độ của vỏ bọc nhiên liệu khi xảy ra sự cố. Kết quả cho thấy lưu lượng làm mát bắt đầu giảm từ thời điểm 1s làm cho nhiệt độ vỏ bọc và chất làm mát tăng lên dẫn đến công suất LPU giảm dần do hiệu ứng phản hồi nhiệt độ[7]. Sau 0,3s lưu lượng làm mát giảm xuống mức 80% lưu lượng danh định LPU bị đập bởi tín hiệu lưu lượng chất làm mát tại thời điểm 1,6s bởi độ trễ của hệ điều khiển công suất và nhiệt độ giảm nhanh chóng với nhiệt độ cực đại của chất tải nhiệt là 84,5 °C của vỏ bọc nhiên liệu là 108,0°C cách xa khởi điểm làm biến dạng vỏ bọc nhiên liệu.





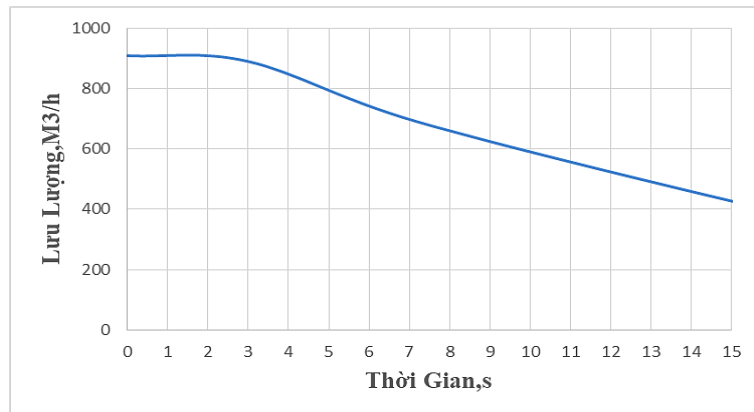
Hình 13. Công suất và độ phản ứng khi xảy ra sự cố mất một bơm.



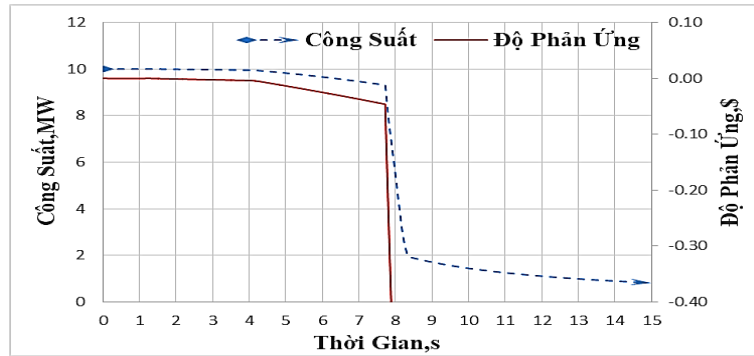
Hình 14. Nhiệt độ chất tải nhiệt, vỏ nhiên liệu khi xảy ra sự cố mất bơm.

### 3.2.4. Sự cố mất nguồn điện lưới

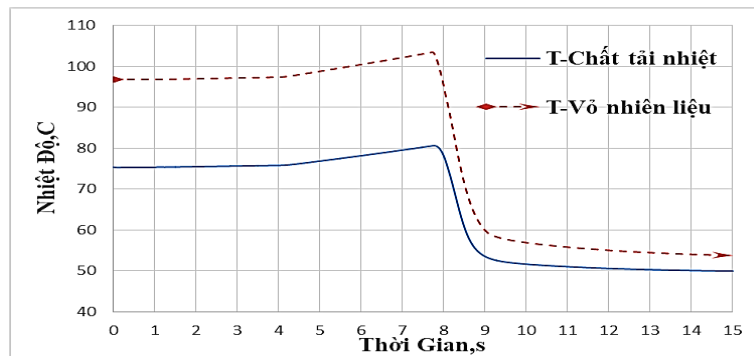
Giả thiết là mất nguồn điện lưới dẫn đến 2 bơm làm mát bị dừng, nhưng lưu lượng của nước làm mát không giảm về 0 ngay lập tức mà quá trình này kéo dài trong vòng 44 s [4]. Lưu lượng nước làm mát giảm khi mất điện lưới được trình bày trong Hình 15. Kết quả phân tích được trình bày ở Hình 16 và Hình 17. Tương tự như trường hợp mất hoàn toàn lưu lượng một bơm, khi lưu lượng chất tải nhiệt bắt đầu giảm làm cho nhiệt độ chất tải nhiệt tăng nhẹ dẫn đến công suất LPU giảm dần do hiệu ứng phản hồi nhiệt độ. Cho tới thời điểm 7,4s lưu lượng chất tải nhiệt giảm xuống mức 80% và 0,3s sau đó LPU bị dập nhanh chóng với nhiệt độ cực đại của chất tải nhiệt là 80,6 °C của vỏ bọc nhiên liệu là 103,6 °C. Các giá trị này hoàn toàn đáp ứng các yêu cầu được đưa ra bởi nhà sản xuất.



Hình 15. Lưu lượng chất tải nhiệt giảm theo thời gian khi mất điện lưới.



Hình 16. Công suất và độ phản ứng khi xảy ra sự cố mất điện lưới.



Hình 17. Nhiệt độ chất tải nhiệt, vỏ bọc nhiên liệu khi xảy ra sự cố mất điện lưới.

#### 4. Kết luận

Các kết quả tính toán phân tích thủy nhiệt tại trạng thái dừng cũng như trong các tình huống chuyển tiếp/sự cố đáp ứng tốt yêu cầu từ nhà sản xuất đối với nhiên liệu VVR-KN. Các thông số như nhiệt độ cực đại chất tải nhiệt thấp hơn 108,0 °C, nhiệt độ cực đại của vỏ bọc nhiên liệu thấp hơn 98,0 °C, khi xảy ra sự cố không vượt quá 110 °C, tỉ số cực tiểu khởi điểm sôi (ONBR) lớn hơn 1,3 hoàn toàn được đáp ứng.

Kết quả phân tích cho thấy hệ thống bảo vệ sự cố LPU sẽ nhanh chóng đưa LPU về trạng thái dưới tới hạn bởi các tín hiệu bảo vệ sự cố trước khi LPU có bất kỳ tổn hại nào liên quan đến an toàn, nhất là tổn hại liên quan đến hư hỏng vỏ bọc nhiên liệu làm phát tán các sản phẩm phân hạch.

#### 5. Tài liệu tham khảo

1. IAEA, Safety Analysis for Research Reactors, No.55, 2008.
2. Yu. S. Cherepnin, S. A. Sokolov, S. Yu. Bulkin, V. A. Lukichev, O. V. Kravtsova, A. I. Radaev, “Conversion of the VVR-K research reactor to low-enriched fuel as the basis for the development and introduction of the VVRKN fuel assemblies in existing and advanced pool-type research reactors”, NIKIET, Moscow, Russia.
3. N. A. Hanan and P. L. Garner Research and Test Reactor Department, Argonne National Laboratory (ANL), “Neutronics, Steady-State, and Transient Analyses for the Kazakhstan VVR-K Reactor with LEU Fuel”, 2015.

4. D. Nakipov, “Steady-State and Accident Analysis for the VVR-K Reactor”, Deliverable 15.3 under ANL-issued Work Order 7J-00141-0015, Institute of Nuclear Physics, Almaty, Kazakhstan, 2015.
5. Arne P. Olson, M. Kalimullah, “A Users Guide to The PLTEMP/ANL V4.2 Code”, ANL/RERTR, Argonne National Laboratory, July, 2015.
6. Arne P. Olson, B. Dionne, A. Martin-Lafleche and M. Kalimullah, “A User Guide to PARET/ANL”, Version 7.5r82160803, Argonne National Laboratory, September, 2016.
7. Ngô Quang Huy, Vật lý lò phản ứng hạt nhân, NXB Đại Học Quốc Gia Hà Nội, 2004

## **THERMAL HYDRAULICS CALCULATION AND SAFETY ANALYSIS FOR MULTI-PURPOSE AND 10MW RESEARCH REACTOR USING VVR-KN LOW ENRICHED FUEL**

Nguyen Tien Vu, Nguyen Nhi Dien, Huynh Ton Nghiem, Nguyen Kien Cuong,  
Vo Doan Hai Dang

*Reactor Center – Nuclear Research Institute - Vietnam Atomic Energy Institute (VINATOM)  
01 Nguyen Tu Luc Street, Dalat, Lamdong, Vietnam*

*E-mail: [yunt.re@dnri.vn](mailto:yunt.re@dnri.vn)*

### **Abstract**

The PLTEMP/ANL.V4.2 and PARET/ANL.V7.5 codes were used for thermal hydraulics calculation and safety analysis of multi-purpose and high power research reactor using low enriched fuel VVR-KN. At steady state condition, calculation results show that the maximum temperature of surface fuel cladding and coolant temperature was about 93 °C and 72 °C respectively; minimum Onset of Nucleate Boiling Ratio (ONBR) was approximately equal to 1.46 when inlet coolant temperature was 45 °C and coolant flow rate was 5.6 kg/s. These thermal hydraulics parameters were completely met safety requirements of the fuel supplier including the maximum temperature of the fuel cladding surface must not exceeded 98 °C and ONBR is higher than 1.3. In the safety analysis aspect, some accident scenarios were analyzed consisting reactivity insert accident (RIA), partial and total loss of coolant (LOCA) flow rate when the small break of primary loop or station blackout occurred. At 110% of nominal power and during accident conditions, the maximum temperature of fuel cladding was not higher than 110 °C and ONBR was higher than 1.3. The obtained results are useful for safety evaluation of proposal core configurations using VVR-KN fuel with 6 cycles from initial to equilibrium cores.

**Keyword:** *Thermal hydraulics, safety analysis, PLTEMP/ANL.V4.2, PARET/ANL.V7.5, VVR-KN, steady state, transient/accident conditions, RIA, LOCA, cladding temperature, ONB.*