

Bài báo nghiên cứu

**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), Việt Nam***Tác giả liên hệ: Nguyễn Tiến Vũ – Email: vunt.re@dnri.vn**Ngày nhận bài: 09-12-2020; ngày nhận bài sửa: 28-4-2021; ngày duyệt đăng: 10-6-2021***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 93,0 °C, nhiệt độ cực đại chất làm nguội 72,0 °C và tỉ số cực tiểu khởi điểm sôi bọt (ONBR) 1,46 khi nhiệt độ nước lồi vào 45,0 °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 98,0 °C và tỉ số khởi điểm sôi lớn hơn 1,30. 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 khởi điểm sôi bọt lớn hơn 1,30. 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: DNBR; mất điện lưới; nhiệt độ vỏ bọc; ONB; PARET/ANL.V7.5; phân tích an toàn; PLTEMP/ANL.V4.2; RIA; thủy nhiệt; trạng thái chuyển tiếp và sự cố; trạng thái dừng; VVR-KN

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

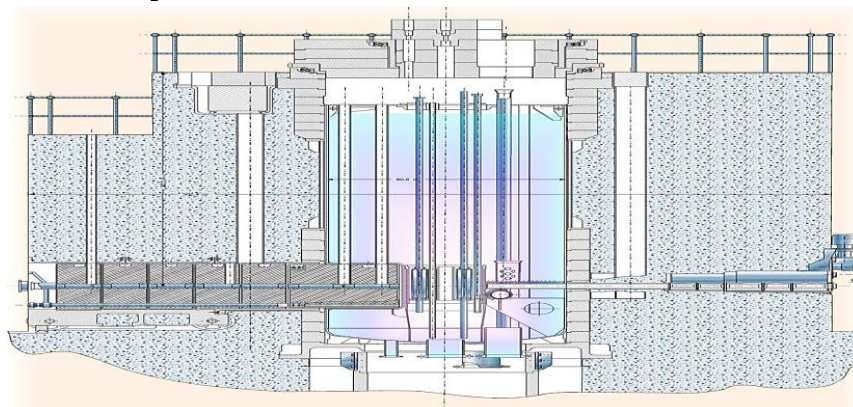
Cite this article as: Nguyen Tien Vu, Nguyen Nhi Dien, Huynh Ton Nghiem, Nguyen Kien Cuong, & Vo Doan Hai Dang (2021). Thermal hydraulics calculation and safety analysis for 10MW multipurpose research reactor using VVR-KN low enriched fuel. *Ho Chi Minh City University of Education Journal of Science*, 18(6), 1134-1145.

trí thí nghiệm và xây dựng kế hoạch ứng phó sự cố (International Atomic Energy Agency, 2008). Liên quan đến dự án xây dựng Trung tâm Nghiên cứu khoa học công nghệ hạt nhân(RCNEST), với LPU_{NC} mới đã được thông qua chủ trương đầu tư và đang chuẩn bị để thực hiện giai đoạn tiếp theo là Nghiên cứu khả thi dự án, với LPU_{NC} đa mục tiêu công suất 10 MW mà phía đối tác Nga đề xuất xây dựng tại RCNEST (Nguyen et al., 2019) thì có thể thấy rằng việc phân tích an toàn cho LPU_{NC} mới là hết sức cần thiết nhằm đảm bảo LPU hoạt động an toàn và có hiệu quả khi được xây dựng ở nước ta trong tương lai gần.

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 lí. 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, cụ thể: nhiệt độ vỏ bọc không vượt quá 98,0 °C, nhiệt độ chất tải nhiệt không vượt quá 108,0 °C và tỉ số khối điểm sôi lớn hơn 1,30 (Arinkin, 2014; Hanan, & Garner, 2015; Nakipov, 2015). 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 điểm sôi lớn hơn 1,30 (Arinkin, 2014; Hanan, & Garner, 2015; Nakipov, 2015).

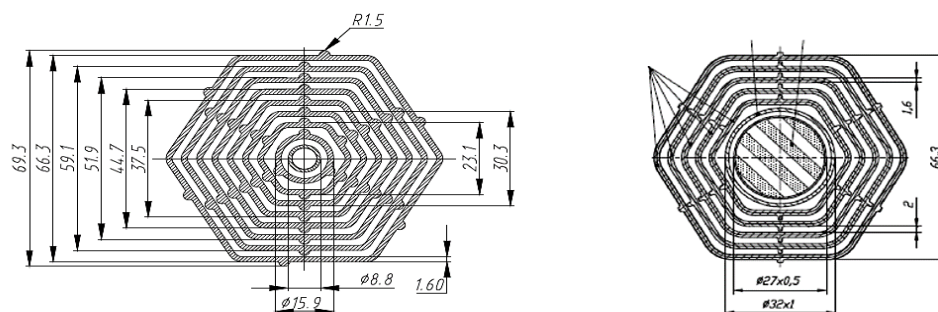
LPU có vùng hoạt động đặt trong thùng lò với đường kính trong 2,30 m, chiều cao mức nước khoảng 5,30 m, sử dụng nước nhẹ làm chậm và làm nguội, vành phản xạ bằng berily. Vùng hoạt động LPU được nạp tải các bó nhiên liệu (BNL) loại VVR-KN độ giàu 19,75% với 2 loại là loại tiêu chuẩn và loại có thanh điều khiển. Việc làm mát vùng hoạt động thực hiện bằng đối lưu cưỡng bức với dòng chảy xuống, tổng lưu lượng khoảng 900 m³/h (Arinkin, 2014).

Để điều khiển LPU, 9 thanh điều khiển được sử dụng trong vùng hoạt động bao gồm: 1 thanh điều khiển tự động (AR) được làm từ thép không gỉ với mật độ 7,80 g/cm³. Hai thanh an toàn (AZ1 và AZ2) và 6 thanh bù trừ (KC1-KC6) được làm bằng B₄C với mật độ 1,69 g/cm³ là loại vật liệu hấp thụ mạnh Neutron.



Hình 1. Mặt cắt thẳng đứng LPU VVR (Arinkin, 2014)

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 B₄C. Độ dày của mỗi thanh nhiên liệu là 1,60 mm, phần chứa nhiên liệu là hỗn hợp UO₂+Al có độ dày 0,70 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 ²³⁵U trong BNL FA-1 và FA2 tương ứng là 248,20 g và 197,60 g, mật độ trung bình của uran trong nhiên liệu khoảng 2,80 g/cm³, bản vẽ chi tiết của BNL được trình bày ở Hình 2.



Hình 2. Mặt cắt ngang bó nhiên liệu FA-1 và FA-2(Arinkin, 2014)

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 đã được công bố (Arinkin, 2014; Arne, & M, 2015, 2016; CHATZIDAKIS et al., 2012; Hanan, & Garner, 2015; International Atomic Energy Agency, 2019; Nakipov, 2015).

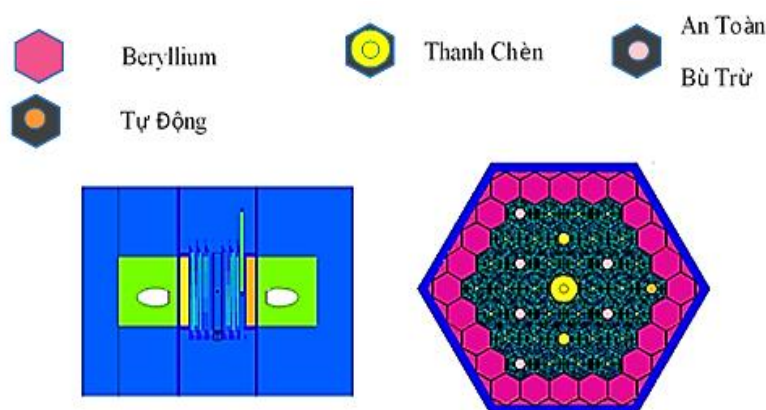
Chương trình PLTEMP/ANL-V4.2 được sử dụng để tính toán phân tích, xác định các thông số thủy nhiệt cơ bản cũng như một số thông số an toàn khác ở trạng thái dừng. PLTEMP mô hình hóa các kênh làm mát giữa các tấm nhiên liệu thành các kênh độc lập với các thông số liên quan được trình bày ở Bảng 3. Các phần nhiên liệu và vỏ nhiên liệu được mô tả dưới dạng các tấm riêng biệt (Arne, & M, 2015).

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 lò 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 (Arne, & M, 2016).

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 10 MW. Số BNL điều khiển trong vùng hoạt của mỗi chu trình là không đổi, tức là luôn có 9 BNL FA-2 trong vùng hoạt của mỗi chu trình. Phân tích an toàn thực hiện tại kênh nóng nhất đối với vùng hoạt cân bằng với cấu hình nạp tải được trình bày ở Hình 3.



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

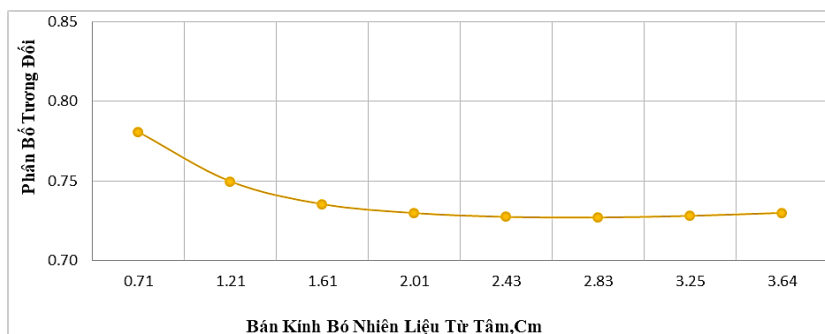
Các thông số neutron của vùng hoạt như phân bố công suất, phân bố công suất theo chiều cao và bán kính bó nhiên liệu được trình bày ở Hình 4, 5. Giá trị hiệu dụng các thanh điều khiển được trình bày ở Hình 6, phản hồi nhiệt độ của chất tải nhiệt ở Bảng 1, Các thông tin liên quan tới vùng hoạt chu trình 6 được trình bày ở Bảng 2 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

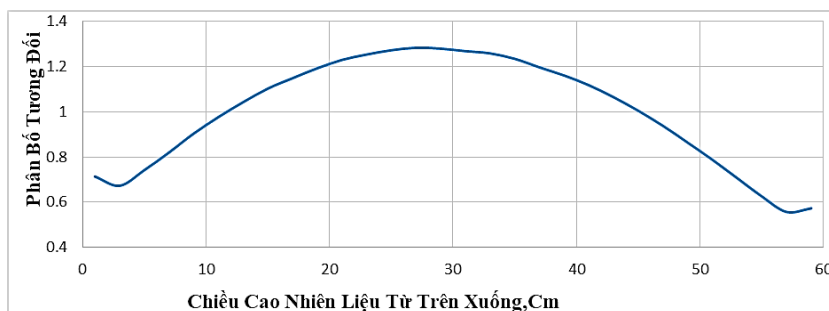
Thông số	Giá trị		
Nhiệt độ chất tải nhiệt (K)	294<T<350	350<T<400	294<T<400
Độ phản ứng (\$)	-1,14184E-02	-1,24056E-02	-1,18841E-02

Bảng 2. Các thông số cơ bản vùng hoạt

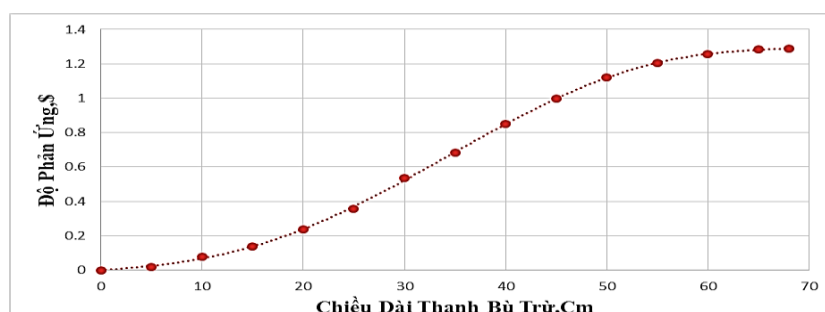
Công suất (MW)	Lưu lượng qua vùng hoạt (m ³ /h)	Số BNL tiêu chuẩn	Số thanh berily	Số BNK điều khiển	Thời gian vận hành (Ngày)	Độ cháy cực đại (%)	Độ phản ứng dự trữ (\$)
10	900	27	22	9	86	56,064	13,753



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

3. Kết quả tính toán phân tích an toàn

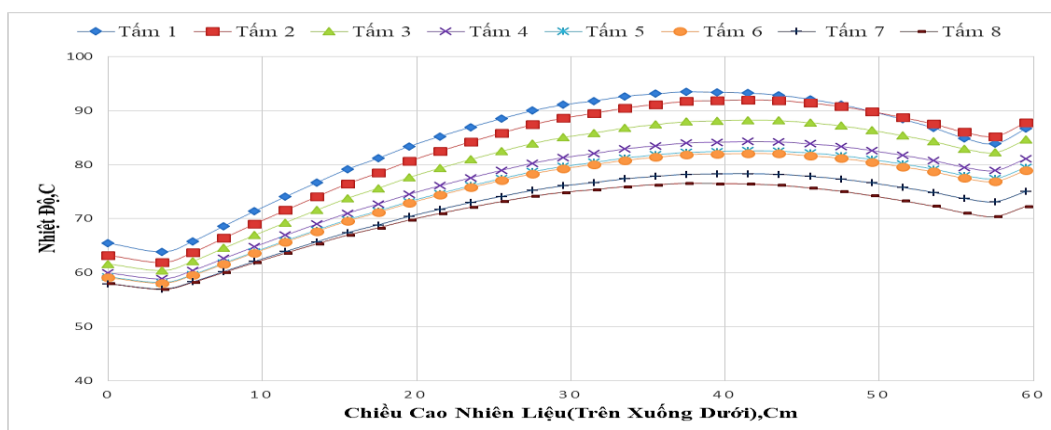
3.1. Các thông số thủy nhiệt ở trạng thái vận hành ổn định

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 ($< 1^{\circ}\text{C}$) nên có thể coi nhiệt độ giữa 2 tấm vỏ bọc là tương đương nhau.

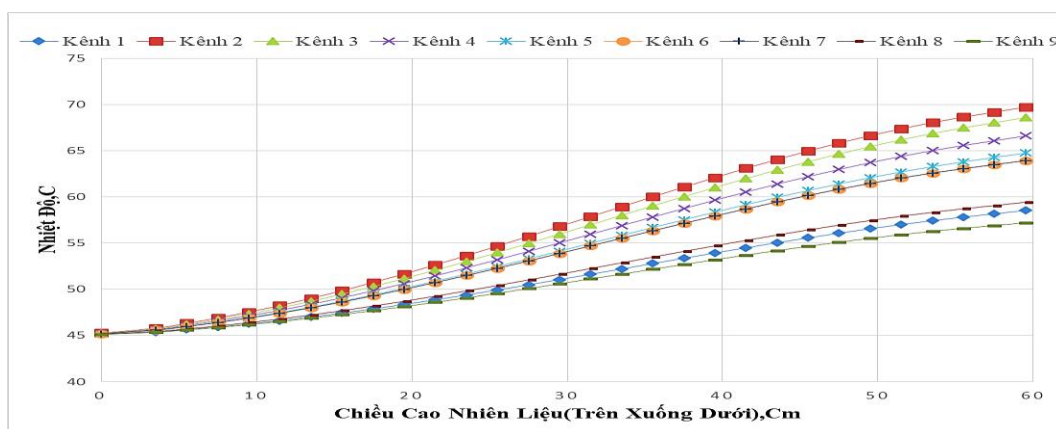
Bảng 3. Các thông số thủy lực các kênh tải nhiệt bên trong BNL

Kênh	Tiết diện, m ²	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 nóng nhất của vỏ bọc nhiên liệu là 93,50 °C ở vị trí 37,50 cm tương ứng với chiều cao ở tấm 1 được giải thích bởi 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 nóng nhất là 70,0 °C ở lõi ra kênh thứ 2. Do đây là kênh làm mát nằm giữa tấm nhiên liệu có phân bố công suất cao nhất là tấm 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

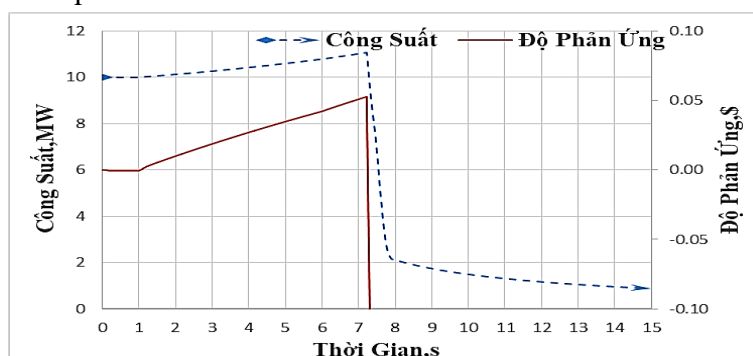
Các thông số	Công suất (MW)	Cực tiểu ONBR	Nhiệt độ cực đại vỏ bọc nhiên liệu (°C)	Nhiệt độ cực đại chất tải nhiệt (°C)
Giá trị tính toán	10	1,48	93,5	70,0
Giá trị cho phép từ nhà sản xuất	10	> 1,30	< 98,0	< 108,0

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

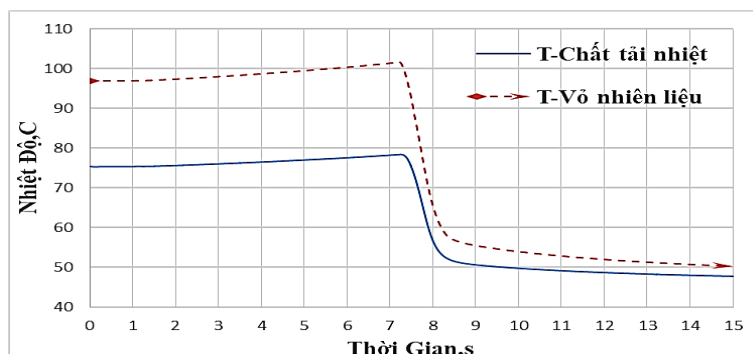
Theo tài liệu hướng dẫn của Cơ quan Năng lượng Nguyên tử Quốc tế (International Atomic Energy Agency, 2008) và tham khảo các sự cố điển hình được sử dụng trong phân tích chuyển tiếp LPU đã được công bố trong các tài liệu (Arinkin, 2014; Hanan, & Garner, 2015; Nakipov, 2015) chương trình PARET được sử 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 lưu lượng của một bơm, 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 0,40 cm/s, sau 1 s 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 6,90 s và sau 0,30 s độ trễ của hệ điều khiển tại thời điểm sau 7,20 s LPU bị dập bởi tín hiệu công suất với công suất cực đại là 11,10 MW. Nhiệt độ nóng nhất của chất tải nhiệt là 78,40 °C của vỏ bọc nhiên liệu là 101,60 °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 dập bởi tín hiệu liên quan đến chu kỳ.



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

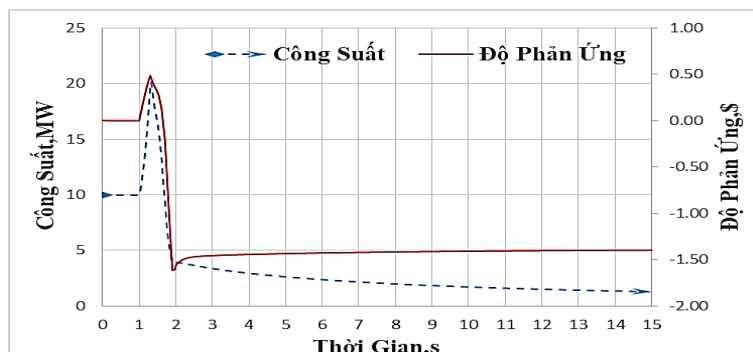


Hình 10. Nhiệt độ chất tải nhiệt, vỏ bọc nhiên liệu khi xảy ra sự cố rút thanh điều khiển

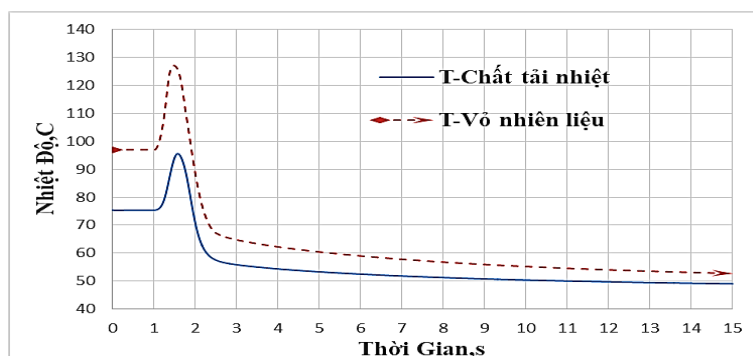
3.2.2. Sự cố đưa vào độ phản ứng dương do thí nghiệm

Hình 11 trình bày kết quả tính toán với giả thiết đưa vào độ phản ứng dương 1,50 % trong vòng 1 s tương đương với khoảng 2,0 \$ trong vùng hoạt với việc đưa vào độ phản ứng rất lớn LPU bị đập bởi tín hiệu chu kỳ ngay tại thời điểm 1,30 s với công suất cực đại ở mức 20,10 MW.

Hình 12 cho thấy nhiệt độ nóng nhất của chất tải nhiệt là 95,60 °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 1 s 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.



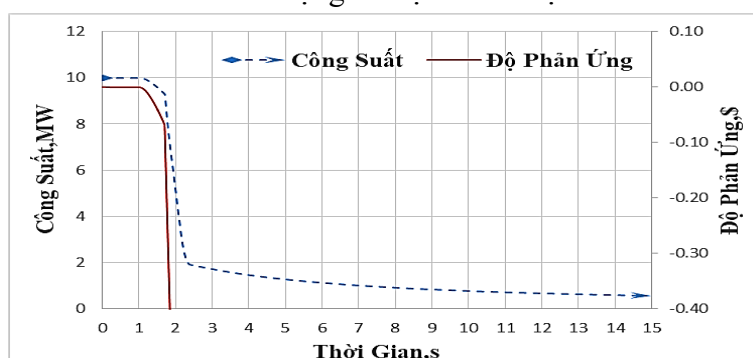
Hình 11. Công suất và độ phản ứng khi xảy ra sự cố đưa vào độ phản ứng do thí nghiệm



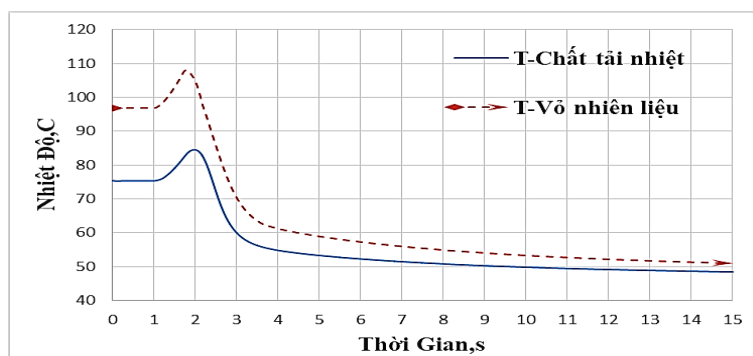
Hình 12. Nhiệt độ chất tải nhiệt, vỏ nhiên liệu khi xảy ra sự cố độ phản ứng do thí nghiệm

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 $\frac{1}{2}$ 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 1 s 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. Sau 0,30 s 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 1,60 s bởi độ trễ của hệ điều khiển công suất và nhiệt độ giảm nhanh chóng với nhiệt độ nóng nhất của chất tải nhiệt là 84,50 °C của vỏ bọc nhiên liệu là 108,0 °C cách xa khỏi điểm làm biến dạng vỏ bọc nhiên liệu.



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

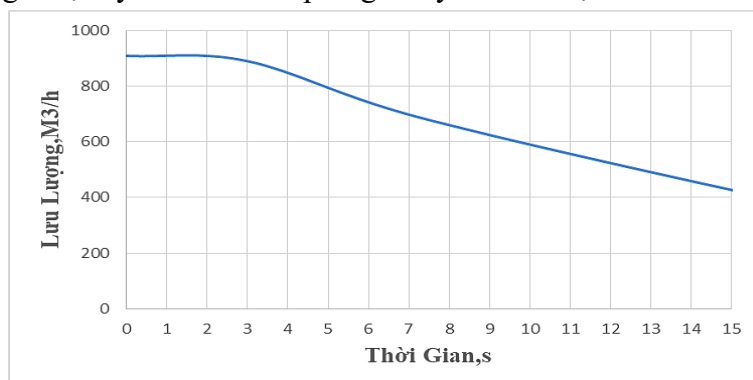


Hình 14. Nhiệt độ chất tải nhiệt, vỏ nhiên liệu khi xảy ra sự cố mất bơm

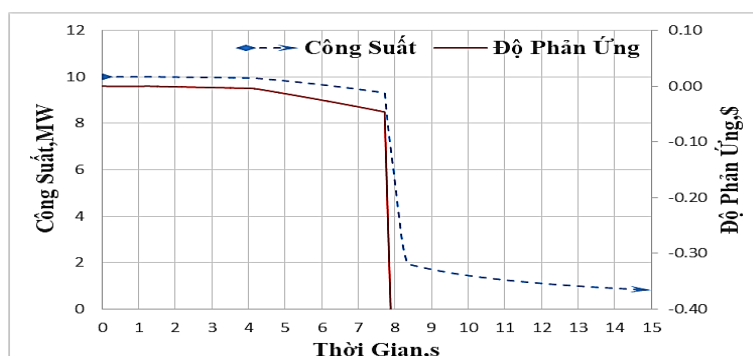
3.2.4. Sự cố mất nguồn điện lưới

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 44,0 s (Nakipov, 2015). Lưu 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 7,40 s lưu lượng chất tải nhiệt giảm xuống mức 80% và 0,30 s sau đó LPU bị đập

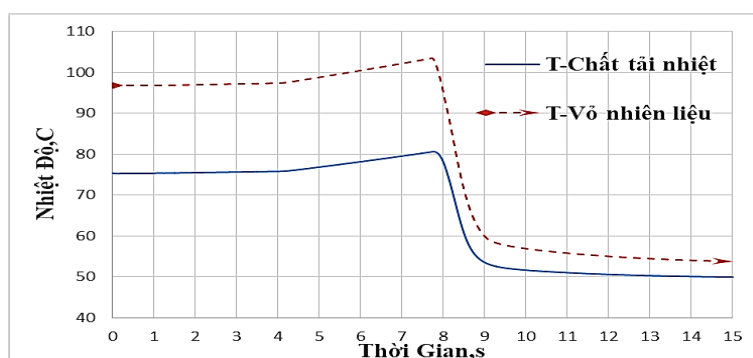
nhanh chóng với nhiệt độ nóng nhất của chất tải nhiệt là $80,60\text{ }^{\circ}\text{C}$ của vỏ bọc nhiên liệu là $103,60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Các giá trị này hoàn toàn đáp ứng các yêu cầu được đưa ra bởi nhà sản xuất.



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 nóng nhất chất tải nhiệt thấp hơn $108,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Nhiệt độ nóng nhất của vỏ bọc nhiên liệu thấp hơn $98,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, khi xảy ra sự cố không vượt quá $110,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, tỉ số cực tiểu khởi điểm sôi bọt (ONBR) lớn hơn 1,30 hoàn toàn được đáp ứng.

Kết quả phân tích còn 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.

❖ **Tuyên bố về quyền lợi:** Các tác giả xác nhận hoàn toàn không có xung đột về quyền lợi.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Arinkin, F. (2014). SAR Descriptive Sections, Deliverable 15.2 under ANL-issued Work Order 7J-00141- 0015.
- Arne, P. O., & M, K. (2015). A Users Guide to The PLTEMP/ANL V4.2 Code. <https://publications.anl.gov/anlpubs/2016/01/121096.pdf>
- Arne, P. O., & M, K. (2016). A User Guide to PARET/ANL. Retrieved from <https://publications.anl.gov/anlpubs/2019/03/151186.pdf>
- Chatzidakis, S., Ikononopoulos, A., & Day, E. S. (2012). PARENT-ANL modelling of a SPERT IV experiment under different departure from nucleate boiling correlations. *Nuclear Technology*, 117. Retrieved from <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.13182/NT12-A13332>
- Hanan, N. A., & Garner, P. L. (2015). Neutronics, Steady-State, and Transient Analyses for the Kazakhstan VVR-K Reactor with LEU Fuel. Retrieved from <https://www.osti.gov/servlets/purl/1351289>
- International Atomic Energy Agency. (2008). Safety Analysis for Research Reactors. No.55. https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1321_web.pdf
- International Atomic Energy Agency. (2019). Benchmarking Against Experimental Data Of Neutronics And Thermo-hydraulic Computational Methods And Tools For Operation And Safety Analysis Of Research Reactors. *IAEA-TECDOC-1879*. Retrieved from https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-1879_web.pdf
- Nakipov, D. (2015). Steady-State and Accident Analysis for the VVR-K Reactor, Deliverable 15.3 under ANL-issued Work Order 7J-00141-0015.
- Nguyen, N. D., Luong, B. V., Le, V. V., Huynh, T. N., Nguyen, K. C., Nguyen, M. T., Pham, Q. H., Tran, Q. D., Vo, D. H.D., & Nguyen, M. H. (2019). *Nghien cuu, tinh toan cac dac trung notron, thuy nhiet va phan tich an toan lo phan ung hat nhan nghien cuu do Lien bang Nga de xuat cho trung tam Khoa hoc va Cong nghe hat nhan Viet Nam [Research, calculation of neutron characteristics, thermal hydraulics and Safety Analysis for research reactor proposed by Russia for Vietnam Research Centre for Nuclear Energy Science and Technology]*.

**THERMAL HYDRAULICS CALCULATION
AND SAFETY ANALYSIS FOR 10MW MULTIPURPOSE 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), Vietnam

**Corresponding author: Nguyen Tien Vu – Email: vunt.re@dnri.vn*

Received: December 09, 2020; Revised: April 28, 2021; Accepted: June 10, 2021

ABSTRACT

The PLTEMP/ANL.V4.2 and PARET/ANL.V7.5 codes were used for thermal hydraulics calculation and safety analysis of a high-power multipurpose research reactor using low enriched fuel VVR-KN. At a steady condition, the calculation results show that the maximum temperatures of fuel cladding surface and coolant were about 93.0°C and 72.0°C, respectively and the minimum Onset of Nucleate Boiling Ratio (ONBR) was approximately 1.46 when the inlet coolant temperature was 45.0°C and the coolant flow rate was 5.60 kg/s. These thermal hydraulics parameters completely met the safety requirements of the fuel supplier that the maximum temperature of the fuel cladding surface is not allowed to exceed 98°C and ONBR is higher than 1.30. For safety analysis, some accident scenarios were analyzed consisting of reactivity insert accident (RIA) and partial and total loss of coolant (LOFA) when a small break of the primary loop or station blackout occurred. At the 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 1.30. The obtained results are useful for the safety evaluation of the proposed core configurations using VVR-KN fuel with six cycles from initial to equilibrium cores.

Keywords: Cladding temperature; LOCA; ONB; PARET/ANL.V7.5; PLTEMP/ANL.V4.2; RIA; safety analysis; steady state; thermal hydraulics; transient/accident conditions; VVR-KN