

TÍNH TOÁN TỚI HẠN SỰ CỐ JCO BẰNG CHƯƠNG TRÌNH MCNP

NGUYỄN HỮU TIỆP, PHẠM TUẤN NAM, LÊ ĐẠI DIỄN.

Trung tâm An toàn hạt nhân, Viện Khoa học và Kỹ thuật hạt nhân

179 Hoàng Quốc Việt, Nghĩa Đô, Cầu Giấy, Hà Nội.

tiempngh@gmail.com

Tóm Tắt

Tính toán tới hạn là một trong những tính toán quan trọng trong đảm bảo an toàn của các cơ sở hạt nhân. Ngoài các cấu hình vùng hoạt của lò phản ứng, vấn đề tới hạn còn là một trong những vấn đề quan trọng trong lưu trữ, vận chuyển các nhiên liệu hạt nhân và đặc biệt là trong các cơ sở xử lý nhiên liệu hạt nhân. Tai nạn JCO xảy ra tại cơ sở xử lý nhiên liệu hạt nhân tại TOKAI-MURA ngày 30/9/1999. Đây là sự cố tới hạn hạt nhân khi dung dịch Uranyl được đổ vào thùng kết tủa vượt quá giới hạn cho phép.

Trong bài báo này các tác giả tập trung vào việc tìm hiểu sơ đồ của cơ cấu tới hạn, và quá trình xảy ra tới hạn. Bằng việc sử dụng chương trình MCNP, đã thực hiện tính toán hệ số nhân và hệ số phản hồi. Các kết quả tính toán phân tích thu được là phù hợp với các tính toán phân tích trước đây. Qua việc phân tích tai nạn JCO nhằm mục đích nâng cao nhận thức về phân tích an toàn hạt nhân nói chung và phân tích an toàn tới hạn nói riêng khi Việt nam đang có nhiều nỗ lực trong việc đẩy mạnh các ứng dụng của năng lượng nguyên tử vào mục đích hòa bình.

Từ khóa : *JCO, k-eff, tới hạn, MCNP.*

I. MỞ ĐẦU

Để hiểu rõ hơn về cơ cấu tới hạn và trạng thái tới hạn, nhóm tác giả đã tập trung vào phân tích cơ cấu tới hạn và tính toán giá trị hệ số nhân trong tai nạn hạt nhân JCO bằng chương trình tính toán MCNP. Các kết quả hoàn toàn phù hợp với kết quả tính toán khác.

Kết quả tính toán cho thấy rõ tầm quan trọng của việc tuân thủ các quy trình xử lý nhiên liệu hạt nhân để đảm bảo an toàn, Tại tai nạn hạt nhân JCO, các công nhân đã vi phạm quy trình xử lý nhiên liệu, và đổ dung dịch nhiên liệu vào thùng kết tủa vượt quá giá trị cho phép, tại thời điểm tai nạn trong thùng kết tủa của nhà máy có khoảng 16.6 kg uran được làm giàu tới 18.8 %, tất cả trong thùng hình trụ có đáy dạng nón. Cơ cấu này khiến cho hình học và khối lượng tới hạn đều đạt được, vì vậy tai nạn tới hạn đã xảy ra.

II. DIỄN BIẾN SỰ CỐ [1]

Tại JCO trong mỗi lần pha chế nhiên liệu cần chuẩn bị khoảng 16.6 kg U(18.8) dưới dạng chất lỏng Uranyl nitrate để xử lý, phục vụ việc chế tạo nhiên liệu lò phản ứng sau đó. Quá trình được tách ra làm nhiều bước. Các nhân viên vận hành bắt đầu công việc pha chế nhiên liệu hạt nhân vào ngày 29 tháng 09.

Có hai sai khác cơ bản giữa quy trình đã đề ra và thực tế thực hiện:

Bảng 1: Hình học bình kết tua.

Thùng chứa nhiên liệu		
Thể tích tổng cộng, lít	100.0	
Chiều cao tổng cộng, cm	61.0	
Phần hình trụ	Đường kính trong, cm	45.0
	Chiều cao, cm	56.5
Phần dạng nón ở đáy	Bề dày lớp vỏ, cm	0.3
	Đường kính trong, cm	45.0
	Chiều cao, cm	4.5
	Bề dày lớp vỏ, cm	0.3

Bảng 2: Bảng mô tả vật liệu trong cơ cấu tới hạn.

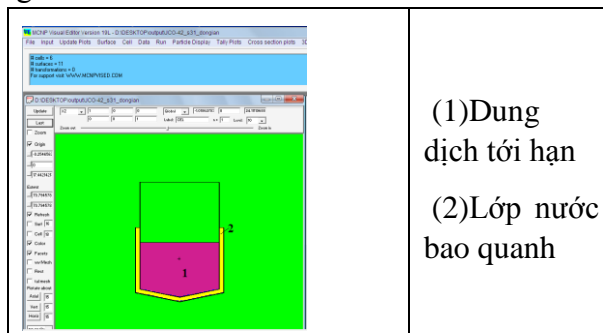
	Không khí	Dung dịch	Nước	Vỏ
Mật độ (g/cm³)	0.00117	1.52	1	7.93
H	7.0459e-7	0.0604	0.06732	-
O	0.010877e-3	0.037816	0.03342	-
N	0.03784e-3	1.896e-3	-	-
U-235	-	1.764271e-4	-	-
U-238	-	7.62014924e-4	-	-
Si	-	-	-	0.0047
Fe	-	-	-	0.057
Mn	-	-	-	0.001736
Cr	-	-	-	0.018
Ni	-	-	-	0.00809

3.2. Phân tích kết quả.

Như đã trình bày ở phần trên, hoạt động pha chế nhiên liệu U_3O_8 được tiến hành trong 2 ngày, chia làm 2 giai đoạn, giai đoạn đầu hòa tan 4 lô và 3 lô được hòa tan tiếp trong ngày hôm sau (tổng 7 lô có khối lượng U_3O_8 là 16.6 kg).

Mô phỏng bình kết tua bằng chương trình tính toán MCNP

Mô hình bình kết tua được mô phỏng và sử dụng trong các tính toán bằng chương trình MCNP được thể hiện trong hình 2.



- (1) Dung dịch tới hạn
- (2) Lớp nước bao quanh

Hình 2. Thùng kết tua sử dụng trong nhà máy JCO khi đổ đầy dung dịch hòa tan 4 lô bột U_3O_8 đạt tới hạn, được mô phỏng trong MCNP code.

Bảng 3. Kết quả tính toán hệ số nhân hiệu dụng trong quá trình hòa tan 7 lô U_3O_8

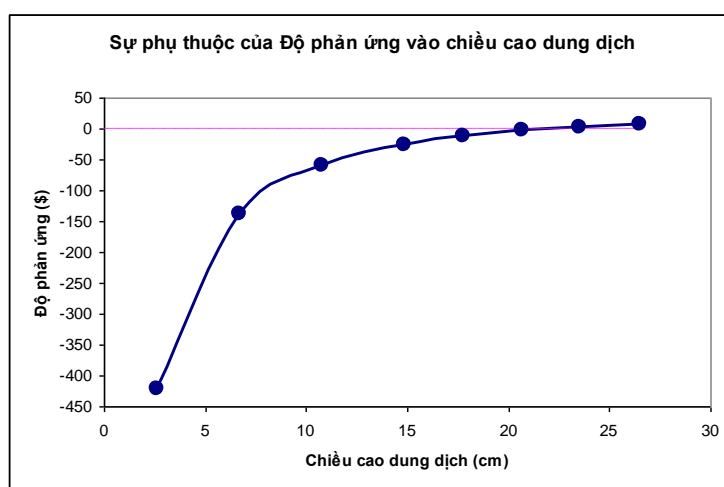
Lô	Thể tích dung dịch nhiên liệu (lít)	Chiều cao cột dung dịch nhiên liệu (cm)	Hệ số nhân hiệu dụng k-eff	Độ phản ứng (\$)	Độ lệch chuẩn (MCNP)
1	6.5	7.087	0.26698	-422.399	0.00056
2	13.0	11.173	0.52890	-137.033	0.00075
3	19.5	15.261	0.72272	-59.024	0.00082
4	26.0	19.347	0.85617	-25.844	0.00085
5	30.6	22.240	0.92385	-12.681	0.00085
6	35.2	25.132	0.97741	-3.556	0.00084
7	39.8	28.024	1.02171	3.269	0.00091

Kết quả tính toán chỉ ra rằng đến khi hoàn thành việc đưa lô thứ 7 vào thùng kết tủa thì mới xảy ra hiện tượng tới hạn. Điều này hoàn toàn phù hợp với thực tế.

Khi không có lớp nước xung quanh thùng chứa dung dịch k-eff = 0.98088, hệ số nhân đã giảm xuống, do vậy hiện tượng tới hạn cũng giảm bớt.

Trong thực tế vận hành thiết bị, vành nước bên ngoài có vai trò làm giảm nhiệt do các phản ứng hóa học xảy ra trong thùng trong quá trình khuấy. Khi sự cố xảy ra, lớp nước này lại trở thành môi trường làm chậm neutron, góp phần nâng cao mật độ các neutron nhiệt khi phản ứng phân hạch hạt nhân xảy ra. Cho nên khi người ta xử lý sự cố họ đã cố gắng tháo hết lớp nước xung quanh thùng kết tủa đi, với mong muốn giảm được hệ số nhân tới hạn.

Sự phụ thuộc của hệ số nhân hiệu dụng vào các lô dung dịch được đổ vào thùng khuấy (hình 4) và theo chiều cao dung dịch trong thùng (hình 5). Các kết quả cho thấy khi lô thứ 7 được đổ vào, tới hạn hạt nhân đã xảy ra.



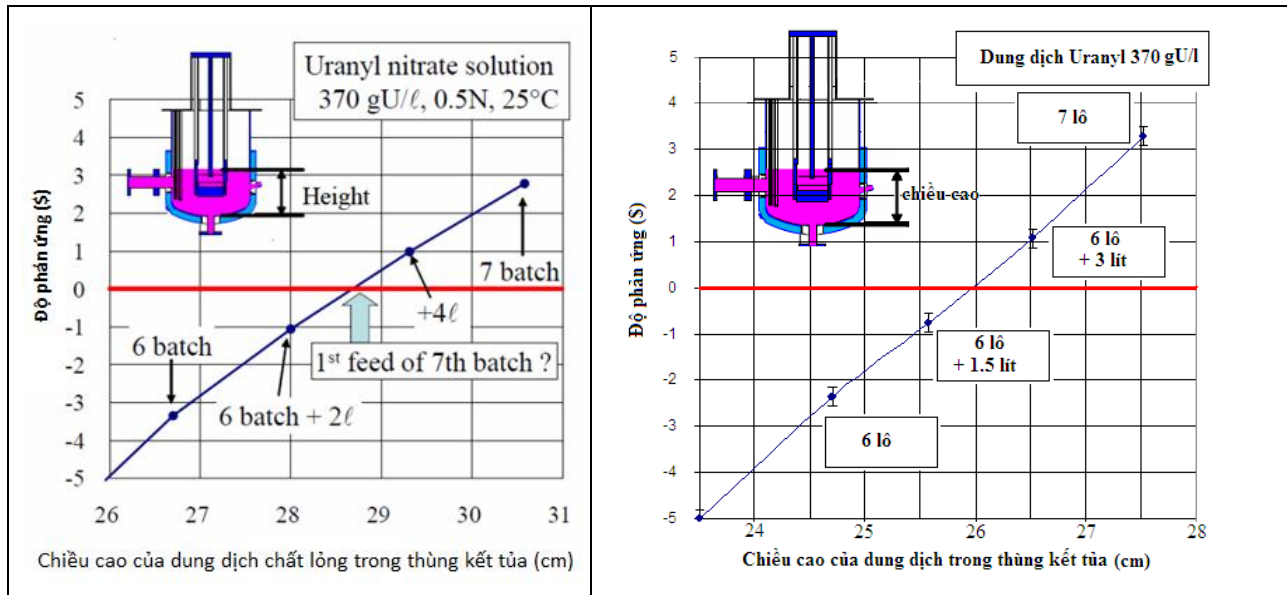
Hình 3. Sự thay đổi độ phản ứng theo chiều cao của dung dịch.

Để thấy rõ sự thay đổi của độ phản ứng đưa vào trong dung dịch, ta tính độ phản ứng tương ứng khi cho từ từ lô thứ 7 vào trong thùng kết tủa, mô phỏng lại quá trình đổ dần dần giống

như đưa thêm độ phản ứng dương vào cơ cấu tới hạn. Bằng cách cho thể tích dung dịch tăng từ từ và tính toán, ở đây ta cho cụ thể là 1.5 lít trong mỗi lần chạy chương trình.

Bảng 4. Thay đổi độ phản ứng khi pha thêm 1.5l dung dịch từ từ vào thùng kết tủa.

Lô	Thể tích ddnl (lít)	Chiều cao cột dung dịch nhiên liệu (cm)	Hệ số nhân hiệu dụng k-eff	Độ phản ứng (\$)
1	35.2	25.132	0.98655	-2.097
2	36.7	26.075	0.99303	-1.079
3	38.2	27.018	1.00700	1.069
4	39.8	28.024	1.02171	3.27



Hình 4. So sánh kết quả với tính toán của [2].

Các kết quả tính toán và so sánh với kết quả [2] được thể hiện trong hình 6.

3.3 Tính toán cho bài toán k-eff phụ thuộc hình học bình kết tủa (Bài toán hình học ngăn ngừa trạng thái tới hạn).

Bảng 5. Thông số hình học đang tính :

Thùng chứa nhiên liệu		
Thể tích tổng cộng, lít		100.0
Chiều cao tổng cộng, cm		61.0
Phần hình trụ	Đường kính trong, cm	45.0
	Chiều cao, cm	56.5
	Bề dày lớp vỏ, cm	0.3
Phần dạng nón ở đáy	Đường kính trong, cm	45.0
	Chiều cao, cm	4.5
	Bề dày lớp vỏ, cm	0.3

Ta sẽ thay đổi các thông số hình học của trụ chứa nhiên liệu (thùng kết tủa) , cụ thể ta sẽ thay đổi bán kính của trụ, từ đó tính được chiều cao của dung dịch nhiên liệu với thể tích dung dịch nhiên liệu không thay đổi $V= 39.8$ lít.

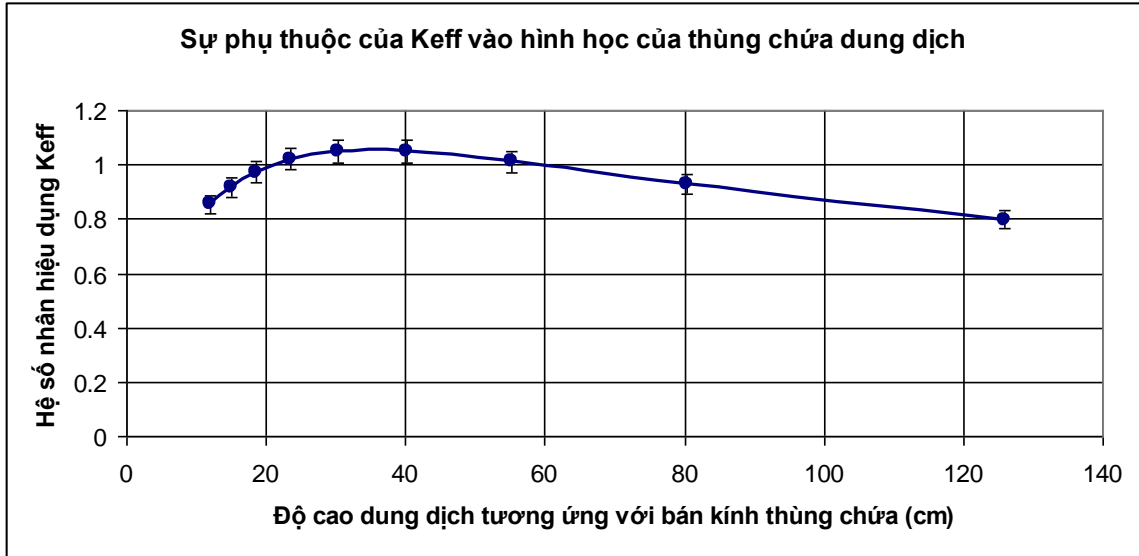
Cụ thể ta xét bảng sau :

Bảng 6. Các thông số hình học khác nhau của trụ chứa nhiên liệu:

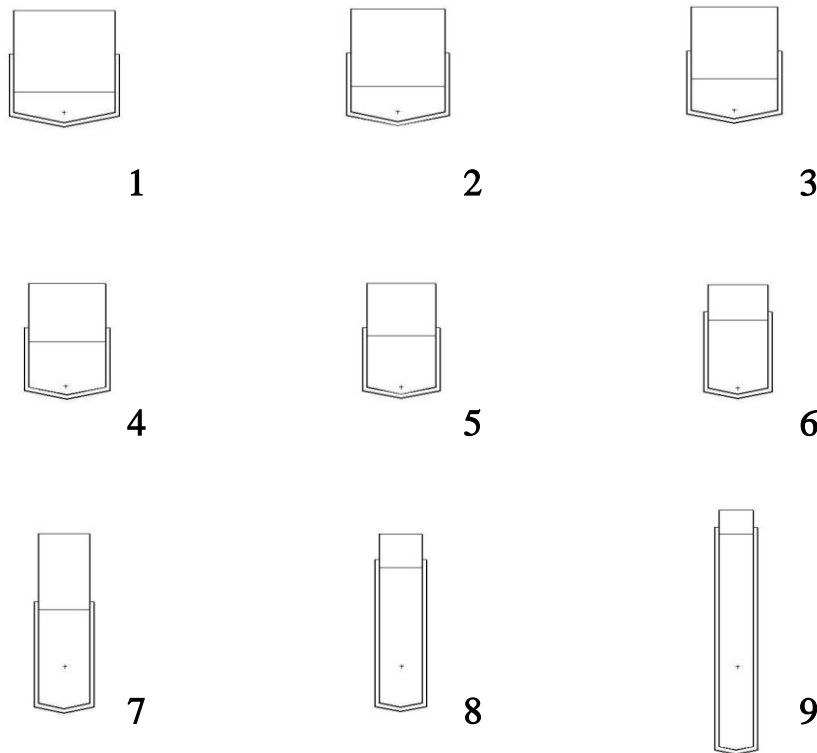
Trường hợp	Bán kính (cm)	Chiều cao trụ nón (cm)	Thể tích trụ nón (lít)	Thể tích nhiên liệu (lít)	Chiều cao dung dịch nhiên liệu (cm)
1	30	6	5.6548	39.8	12.076
2	27.5	5.5	4.3556	39.8	14.919
3	25	5	3.2727	39.8	18.603
4	22.5	4.5	2.3856	39.8	
5	20	4	1.6755	39.8	
6	17.5	3.5	1.1224	39.8	
7	15	3	0.706	39.8	
8	12.5	2.5	0.409	39.8	80.246
9	10	2	0.209	39.8	126.02

Bảng 7. Các giá trị k-eff theo các hình học khác nhau của trụ chứa nhiên liệu :

Trường hợp	Chiều cao dung dịch nhiên liệu	Bán kính trụ dung dịch chứa nhiên liệu	<i>k-eff</i>
1	12.076	30	0.85388 ± 0.00083
2	14.919	27.5	0.91618 ± 0.00092
3	18.603	25	0.97340 ± 0.00088
4	23.524	22.5	1.02171 ± 0.00091
5	30.338	20	1.04661 ± 0.00089
6	40.200	17.5	1.04747 ± 0.00088
7	55.305	15	1.01066 ± 0.00085
8	80.246	12.5	0.92930 ± 0.00094
9	126.02	10	0.79875 ± 0.00093



Hình 5. Sự phụ thuộc của Keff vào hình học của dung dịch nhiên liệu



Hình 6. Các loại hình học của thùng chứa nhiên liệu.

Nhóm tác giả đã tính toán tới hạn của sự cố với 1 số cấu hình khác nhau của hình học với thể tích nhiên liệu không đổi, kết quả là với 1 độ giàu và lượng nhiên liệu nhất định ta có thể tính và thiết

kế được hình học của thùng hợp lý nhằm đảm bảo an toàn ngay cả khi các công nhân không chấp hành thủ tục theo quy định.

Cùng một thể tích nhiên liệu như nhau, được đổ vào thùng khác nhau, kết quả là các hệ số nhân thu được cũng khác nhau. Đặc biệt, hệ số nhân có chiều hướng tăng dần khi diện tích tiếp xúc với bình nhỏ dần. Vậy có thể kết luận rằng, hình học ngăn ngừa trạng thái tới hạn là cơ cấu có khả năng ngăn ngừa được sự đạt kích thước tới hạn, với cùng một lượng dung dịch ở trong kết cấu có hình học không thuận lợi (không ngăn ngừa trạng thái tới hạn). Kết quả này hoàn toàn phù hợp với lý thuyết về “điều kiện tới hạn của lò phản ứng” được trình bày trong tài liệu [3].

V. KẾT LUẬN

Tai nạn JCO là một trong những tai nạn tới hạn hạt nhân xảy ra tại cơ sở chế biến nhiên liệu hạt nhân. Tai nạn cho thấy việc vi phạm quy trình thao tác như đã được phân tích ngay sau khi tai nạn xảy ra.

Việc sử dụng chương trình MCNP nhằm mô phỏng thùng khuấy đảo dung dịch cho thấy các kết quả thu được phù hợp với các kết quả tính toán khác, qua đó cho thấy việc sử dụng các mô phỏng Monte-Carlo là công cụ quan trọng trong đánh giá an toàn tới hạn cũng như trong nhiều bài toán mô phỏng khác trong tính toán an toàn bức xạ hạt nhân.

VI. TÀI LIỆU THAM KHẢO.

[1] GUNZO UCHIYAMA, KAZUO WATANABE, MASAKATSU MIYAUCHI, YOSHIHIRO OGASHI, YOSHINORI NAKAHARA, HIROYUKI FUKAYA, JUN INAGAWA, DAISKE SUZUKI, TAKASHI SONODA, NOBUAKI KOHNO, KATSUBUMI GUNJI, MITSUO ITO and TAKESHI SATO, “Analysis of a Uranium Solution for Evaluating the Total Number of Fissions in the JCO Criticality Accident in Tokai-mura”, J. RADIAT. RES., 42: SUPPL., S11–S16 (2001).

[2] TETSUJI IMANAKA, “Transport Calculation of Neutrons Leaked to the Surroundings of the Facilities by the JCO Criticality Accident in Tokai-mura”, J. RADIAT. RES., 42: SUPPL., S31–S44 (2001).

[3] NGÔ QUANG HUY, “Vật lý lò phản ứng hạt nhân” NXB Đại học quốc gia Hà Nội (2004).

CALCULATE ACCIDENT CRITICAL JCO BY MCNP CODE

NGUYEN HUU TIEP, PHAM TUAN NAM , LE DAI DIEN.

Nuclear Safety Center, Institute of Nuclear Science and Technology

179 Hoang Quoc Viet, Nghia Do, Cau Giay, Ha Noi.

tiépnh@gmail.com

Abstract

One of the calculation to ensure safety of nuclear facilities is critical calculation. Out of the configuration of the reactor operation, the critical issue is the important in storage, transport of nuclear fuel and especially in the establishment of nuclear fuel processing. The JCO accident occurred at nuclear fuel processing facility in TOKAI-MURA 30/09/1999. This is critical nuclear accidents when the solution is poured into barrels Uranyl precipitation exceeded the allowable limit.

In this paper the authors focus on understanding the structure diagram of the critical and critical process occurs. By using the MCNP program, has made multipliers factor and the feedback coefficients. The calculate results show that the results of the authors are consistent with the calculated assessment of previous analyzes. Through the JCO accident analysis and pointed out the role, significance of the safety-critical calculate to raise knowleaque about nuclear safety analysis in general and safety-critical analysis in particular when Vietnam being a lot of efforts in promoting the application of atomic energy to peaceful purposes.