

# TÍNH TOÁN MỘT SỐ THÔNG SỐ VẬT LÝ CỦA BỘ NHIÊN LIỆU LÒ VVER-1000 BẰNG MCNP

NGUYỄN VĂN HIỆN, NGUYỄN THỊ CẨM NHUNG

*Viện Khoa học và Kỹ thuật Hạt nhân, 179 Hoàng Quốc Việt, Cầu Giấy, Hà Nội*

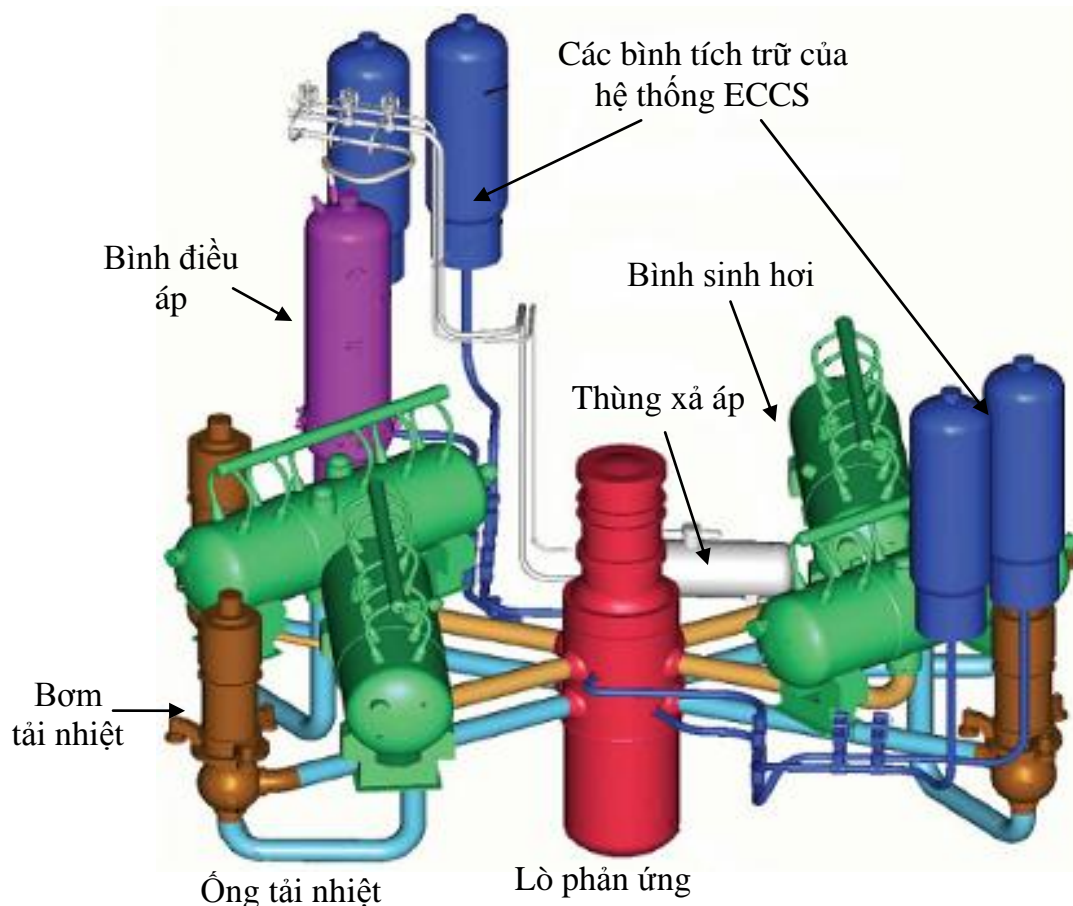
*Email: [nguyenvanhien0111@yahoo.com](mailto:nguyenvanhien0111@yahoo.com); [nhung912@yahoo.com.vn](mailto:nhung912@yahoo.com.vn)*

**Tóm tắt:** Báo cáo này giới thiệu các đặc trưng của bộ nhiên liệu (BNL) loại LEU và MOX của lò VVER-1000 và kết quả tính hệ số nhân vô hạn  $k_{inf}$  và phân bố thông lượng neutron bằng chương trình MCNP. Mô hình bộ nhiên liệu LEU và MOX là một hình lục giác có bước 23.6 cm, bao gồm bốn loại ô mạng với bộ nhiên liệu LEU, và sáu loại ô mạng với bộ nhiên liệu MOX. Mỗi ô mạng cũng là một hình lục giác nhỏ có bước bằng 1.275 cm. Kết quả tính toán  $k_{inf}$  của BNL LEU là 1.1360, của BNL MOX là 1.1601, phù hợp rất tốt với các kết quả trong báo cáo của OECD/NEA. Các kết quả tính toán khác cũng tương đối rõ ràng và mang tính thực tiễn cao.

**Từ khóa:** Bộ nhiên liệu lò VVER-1000, MCNP,  $k_{inf}$  và thông lượng neutron.

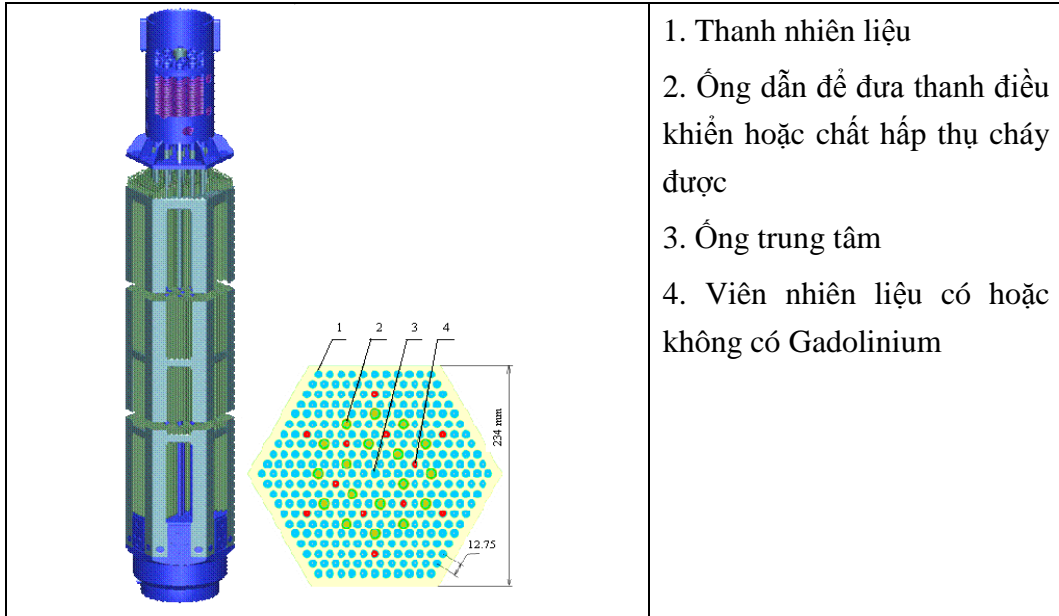
## I. Mở đầu

Chính Phủ Việt Nam đã quyết định nhập lò phản ứng VVER của Nga cho NMDHN Ninh Thuận 1, vì vậy việc nghiên cứu về công nghệ và tính toán các đặc trưng của lò VVER (loại VVER-1000 hoặc VVER-1200) là rất cần thiết. Hệ thống tải nhiệt [4, 5] của NMDHN loại VVER bao gồm lò phản ứng, 4 bình sinh hơi nằm ngang, bình điều áp và 4 bơm tải nhiệt.



Hình 1.1. Hệ thống tải nhiệt lò phản ứng VVER-1000

- Vùng hoạt lò phản ứng VVER-1000 có chứa 163 bó nhiên liệu [4, 5]. Mỗi bó nhiên liệu lò VVER-1000 (hình 1.2) gồm 312 thanh nhiên liệu được gắn trên các giá đỡ song song có dạng hình lục giác bằng thép không gỉ. Mỗi bó đều có một ống dẫn trung tâm để đưa các thiết bị đo vào.

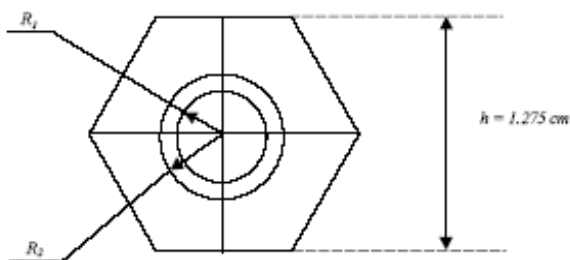


Hình 1.2. Cấu trúc bó nhiên liệu.

- Hai bó nhiên liệu tiêu biểu cho lò VVER-1000 của Nga là [1].  
 + Bó nhiên liệu LEU với 12 thanh chất hấp thụ cháy được U-Gd (Bó nhiên liệu UGD)  
 + Bó nhiên liệu MOX với 12 thanh chất hấp thụ cháy được U-Gd (Bó nhiên liệu MOXGD)  
 Mỗi BNL trên gồm 312 thanh nhiên liệu, 18 thanh dẫn (để dẫn thanh điều khiển hoặc có nút đẩy) và một ô ở trung tâm để chứa thiết bị đo.

## II. Mô hình hóa bó nhiên liệu lò VVER-1000

Mô hình bó nhiên liệu UGD và MOXGD dùng để tính toán là một hình lục giác có bước  $H = 23.6$  cm, bao gồm các ô mạng (các cell) [1]. Bó nhiên liệu UGD gồm 331 ô mạng được chia làm 04 loại (hình 2.1), còn bó nhiên liệu MOXGD gồm 331 ô mạng được chia thành 06 loại (hình 2.2). Mỗi ô mạng là một hình lục giác tương tự có kích thước ngoài giống nhau  $h = 1.275$  cm.



Giá trị của các bán kính R1 và R2 tùy thuộc vào loại ô mạng trong các bó nhiên liệu và có thể có giá trị như trong bảng 2.1.

Bảng 2.1: Mô tả hình học các loại ô mạng

Tên ô mạng	Các bán kính (cm)
Ô nhiên liệu	R1 = 0.386; R2 = 0.4582
Ô trung tâm	R1 = 0.48; R2 = 0.5626
Ô ống dẫn	R1 = 0.545; R2 = 0.6323

Ô nhiên liệu có thể chứa một trong số các nhiên liệu sau (xem bảng 2.2):

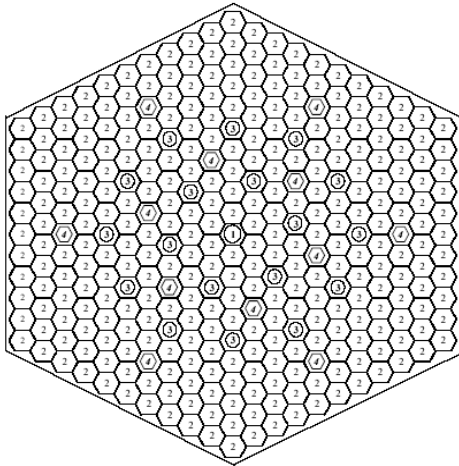
- Ô nhiên liệu trong bó UGD: U1 hoặc GD1,
- Ô nhiên liệu trong bó MOXGD: PU1, PU2, PU3 hoặc GD1,

Thành phần vật liệu của các BNL được cho trong bảng 2.2 dưới đây [1]:

Bảng 2.2: Mô tả vật liệu của các loại ô mạng

Tên Vật liệu	Mô tả	Thành phần đồng vị (atoms/barn cm <sup>3</sup> )
Vật liệu của các loại thanh nhiên liệu		
U1	Nhiên liệu LEU với độ giàu 3.7% <sup>235</sup> U	<sup>235</sup> U 8.6264E-4, <sup>16</sup> O 4.6063E-2, <sup>238</sup> U 2.2169E-2
PU1	Nhiên liệu MOX với độ giàu Pu bằng 2.0%	<sup>235</sup> U 4.2672E-4, <sup>239</sup> Pu 4.2414E-4 <sup>238</sup> U 2.1025E-2, <sup>240</sup> Pu 2.7250E-5 <sup>16</sup> O 4.3047E-2, <sup>241</sup> Pu 4.5228E-6
PU2	Nhiên liệu MOX với độ giàu Pu bằng 3.0%	<sup>235</sup> U 4.2209E-4, <sup>239</sup> Pu 6.3621E-4 <sup>238</sup> U 2.0797E-2, <sup>240</sup> Pu 4.0875E-5 <sup>16</sup> O 4.3045E-2, <sup>241</sup> Pu 6.7842E-6
PU3	Nhiên liệu MOX với độ giàu Pu bằng 4.2%	<sup>235</sup> U 4.1652E-5, <sup>239</sup> Pu 8.9071E-4 <sup>238</sup> U 2.0522E-2, <sup>240</sup> Pu 5.7225E-5 <sup>16</sup> O 4.3043E-2, <sup>241</sup> Pu 9.4980E-6
GD1	Nhiên liệu LEU với độ giàu 3.6% <sup>235</sup> U	<sup>235</sup> U 7.2875E-5, <sup>155</sup> Gd 1.8541E-4 <sup>238</sup> U 1.9268E-2, <sup>156</sup> Gd 2.5602E-4 <sup>16</sup> O 4.1854E-2, <sup>157</sup> Gd 1.9480E-4 <sup>152</sup> Gd 2.5159E-6, <sup>158</sup> Gd 3.0715E-4 <sup>154</sup> Gd 2.7303E-5, <sup>160</sup> Gd 2.6706E-4
Thành phần vật liệu không phải là nhiên liệu		
CL1	Vỏ Zirconium	Zr 4.259E-2      Hf 6.597E-6 Nb 4.225E-4
MOD1	Chất làm chậm với tỷ lệ axit Bo là 0.6 g/kg, T <sub>m</sub> = 575K, γ = 0.7235 g/cm <sup>3</sup>	H 4.843E-2 <sup>10</sup> B 4.794E-6 <sup>16</sup> O 2.422E-2, <sup>11</sup> B 1.942E-5
MOD2	Chất làm chậm, không có axit Bo, T <sub>m</sub> = 575K, γ = 0.7235 g/cm <sup>3</sup>	H 4.843E-2 <sup>10</sup> B 0.0 <sup>16</sup> O 2.422E-2, <sup>11</sup> B 0.0

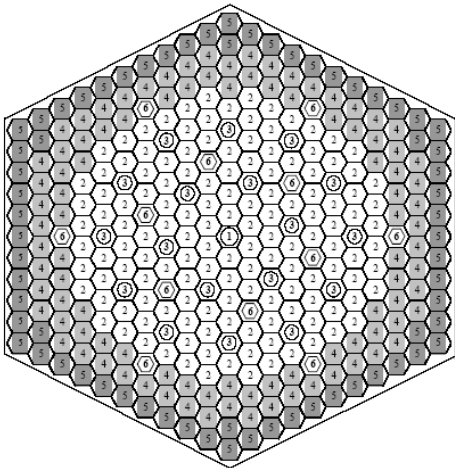
MOD3	Chất làm chậm, không có axit Bo, $T_m = 300K, \gamma = 1.0033 \text{ g/cm}^3$	H 6.717E-2 $^{10}\text{B}$ 0.0 $^{16}\text{O}$ 3.358E-2, $^{11}\text{B}$ 0.0
------	--	---



Các loại ô:

1. Ô trung tâm
2. Ô nhiên liệu (chứa vật liệu U1)
3. Ô ống dẫn
4. Ô nhiên liệu (chứa vật liệu GD1)

Hình 2.1. Tiết diện ngang của bó nhiên liệu LEU dùng để mô hình hóa



Các loại ô:

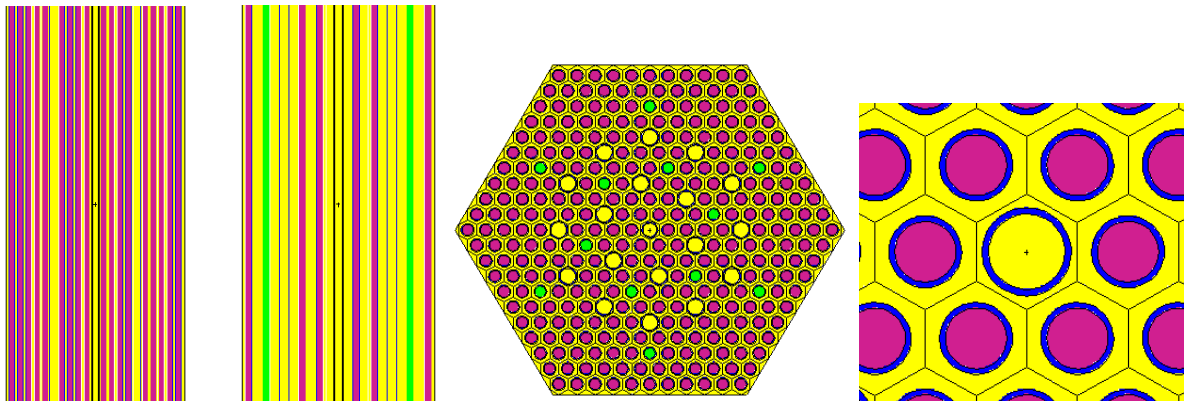
1. Ô trung tâm
2. Ô nhiên liệu (chứa vật liệu PU3, độ giàu 4,2% Pu)
3. Ô ống dẫn
4. Ô nhiên liệu (chứa vật liệu PU2, độ giàu 3,0% Pu)
5. Ô nhiên liệu (chứa vật liệu PU1, độ giàu 2,0% Pu)
6. Ô nhiên liệu (chứa vật liệu GD1)

Hình 2.2. Tiết diện ngang của bó nhiên liệu MOX dùng để mô hình hóa

### Kết quả mô hình hóa hai loại bó thanh nhiên liệu LEU và MOX

a) Bó nhiên liệu LEU:

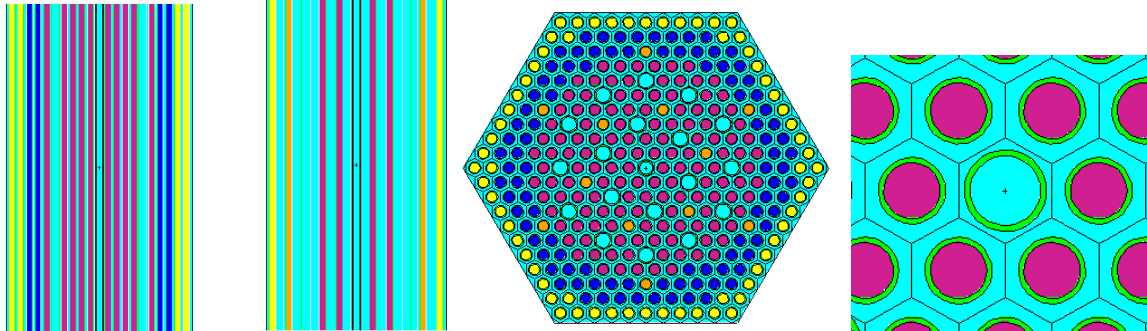
Mặt cắt theo trục XZ, YZ và XY của mô hình BNL LEU được mô tả ở hình 2.3 dưới đây.



Hình 2.3 Mô hình bó nhiên liệu LEU

- Giải thích: - Ô màu vàng ở giữa là ô trung tâm  
 - Các ô màu vàng còn lại là ô ống dẫn  
 - Các ô màu xanh là các ô nhiên liệu U-Gd  
 - Các ô màu tím đậm chứa nhiên liệu UO<sub>2</sub> có độ giàu 3.7%
- b) Mô hình bó nhiên liệu MOX:

Mặt cắt theo trục XZ, YZ và XY của mô hình BNL MOX được mô tả ở hình 2.4 dưới đây.



Hình 2.4 Mô hình bó nhiên liệu MOX

- Giải thích: - Ô màu xanh nhạt ở giữa là ô trung tâm  
 - Các ô màu xanh nhạt còn lại là ô ống dẫn  
 - Các ô màu vàng đậm là các ô nhiên liệu U-Gd  
 - Các ô màu vàng nhạt ngoài cùng là các ô nhiên liệu MOX có độ giàu 2,0% Pu  
 - Các ô màu xanh đậm là các ô nhiên liệu MOX có độ giàu 3,0 % Pu  
 - Các ô màu tím sẫm chứa nhiên liệu MOX có độ giàu 4.2% Pu

**Nhận xét:** So với cấu trúc thật của bó nhiên liệu lò VVER-1000, các mô hình trên đã được đơn giản hóa đi như không có phân rỗng ở giữa viên nhiên liệu, không có khe khí giữa viên nhiên liệu và lớp vỏ Zircaloy, không có các đai bảo vệ xung quanh bó nhiên liệu, không mô tả phần đầu và phần đuôi của bó nhiên liệu vv.

### III. Kết quả tính một số thông số vật lý của bó nhiên liệu lò VVER-1000.

#### 3.1. Kết quả tính hệ số nhân vô hạn k-inf.

Bằng cách sử dụng công cụ MCNP [2, 3, 6], với thư viện số liệu ENDF/B-VI, để tính hệ số nhân vô hạn  $k_{inf}$  cho bó nhiên liệu sạch (độ cháy bằng 0), ở nhiệt độ 20 °C (tức 293K), ta thu được kết quả:

- + Với bó nhiên liệu UGD:  $k_{inf} = 1.1360 \pm 0.00005$
- + Với bó nhiên liệu MOXGD:  $k_{inf} = 1.1601 \pm 0.00007$

So sánh với kết quả của tài liệu [1]

- + Với bó nhiên liệu UGD: Bảng 3.1: So sánh kết quả tính k-inf của bó nhiên liệu LEU

Code	MCU	TVSM	WIMS8A	HELIOS	MULTICELL	Mean	MCNP
k-inf	1.1353	1.1353	1.1328	1.1355	1.1363	1.1350	<b>1.1360</b>
Sai số	0.000	0.000	-0.002	0.000	0.001		<b>0.0009</b>

- + Với bó nhiên liệu MOXGD: Bảng 3.2: So sánh kết quả tính k-inf của bó nhiên liệu MOX

Code	MCU	TVSM	WIMS8A	HELIOS	MULTICELL	Mean	MCNP
k-inf	1.1551	1.1585	1.1494	1.1595	1.1606	1.1566	<b>1.1601</b>
Sai số	-0.002	0.002	-0.007	0.003	0.004		<b>0.003</b>

**Nhận xét:** Kết quả tính toán  $k_{inf}$  bằng MCNP phù hợp rất tốt với giá trị Mean trong báo cáo của OECD/NEA [1], với sai số là 0,1% với bó nhiên liệu LEU và 0,3% đối với bó nhiên liệu MOX.

Kết quả tính  $k_{inf}$  theo độ giàu nhiên liệu U235 được cho trong bảng dưới đây:

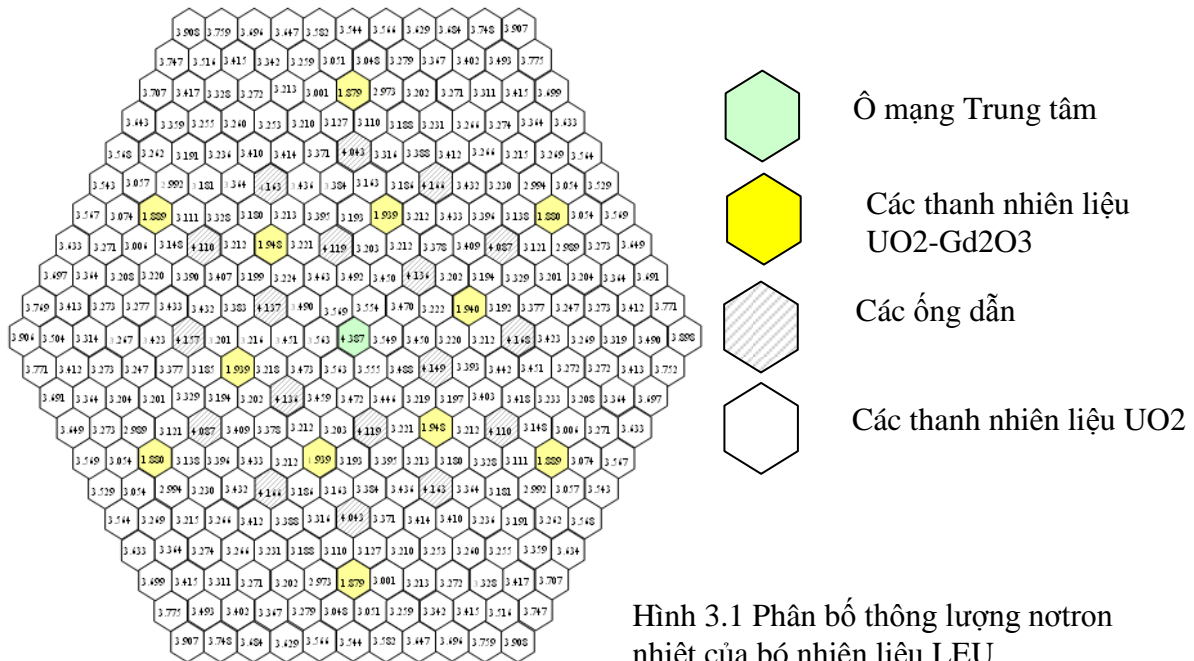
Độ giàu U235	2.1 %	3.2 %	3.7 %	4.2 %	4.4 %
Kết quả $k_{inf}$	1.14777	1.27667	1.31987	1.34854	1.35753
Sai số	0.00011	0.00011	0.00018	0.00011	0.00013

**Nhận xét:** Hệ số nhân vô hạn  $k_{inf}$  tỷ lệ với độ giàu nhiên liệu U 235. Độ giàu U 235 càng lớn, số các hạt nhân U 235 càng nhiều, càng tạo ra nhiều phản ứng phân hạch nên sẽ càng sinh ra thêm nhiều neutron thứ cấp, do đó hệ số nhân  $k_{inf}$  càng cao.

### 3.2. Kết quả tính phân bố thông lượng neutron

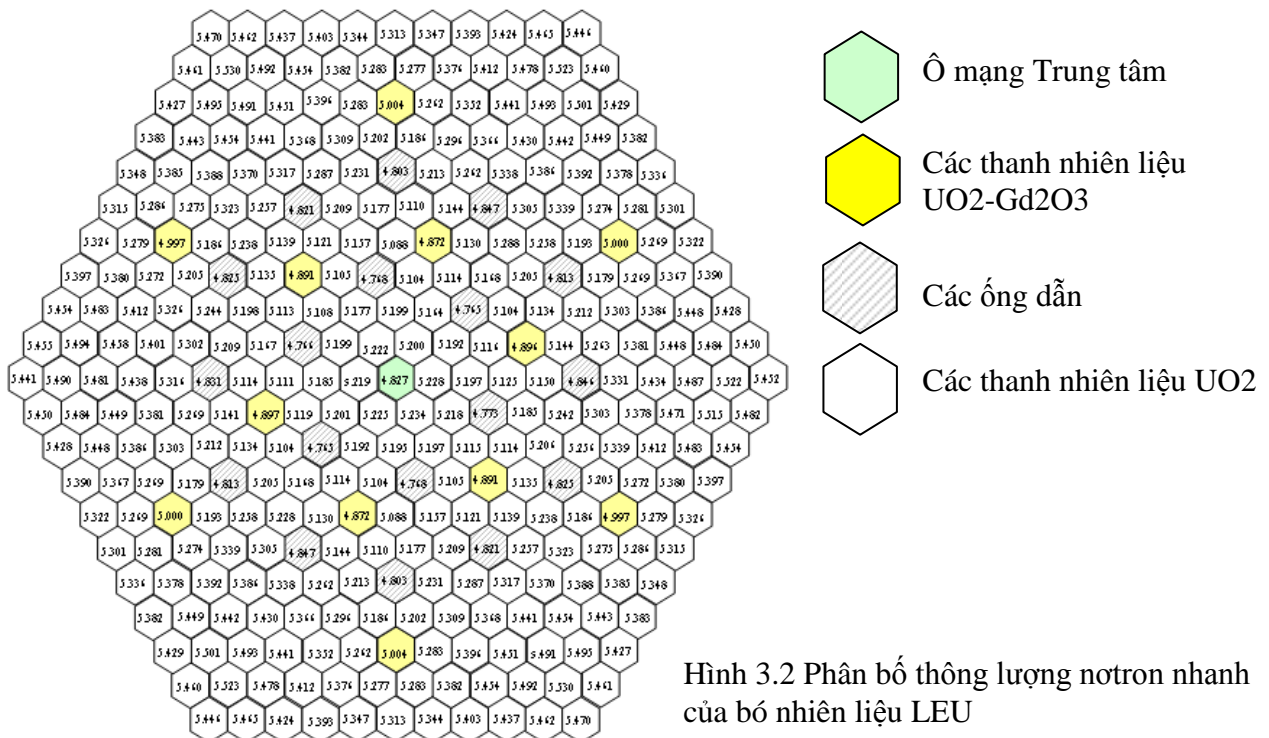
- Kết quả tính phân bố thông lượng neutron nhiệt, nhanh của hai loại bó nhiên liệu LEU và MOX được cho trong các hình từ 3.1 đến 3.4 với đơn vị là ( $10^{-5}$  số hạt/cm<sup>2</sup>).

#### Phân bố thông lượng neutron nhiệt của bó nhiên liệu LEU



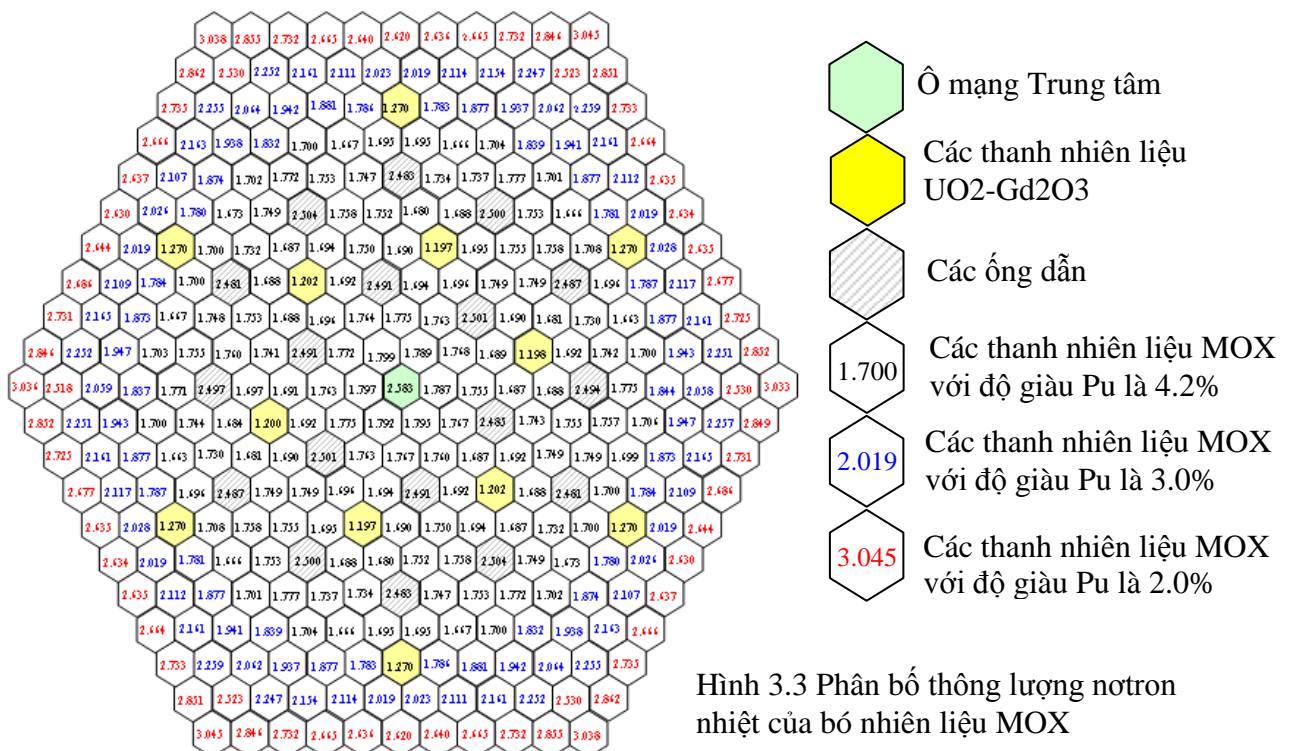
#### Phân bố thông lượng neutron nhanh của bó nhiên liệu LEU





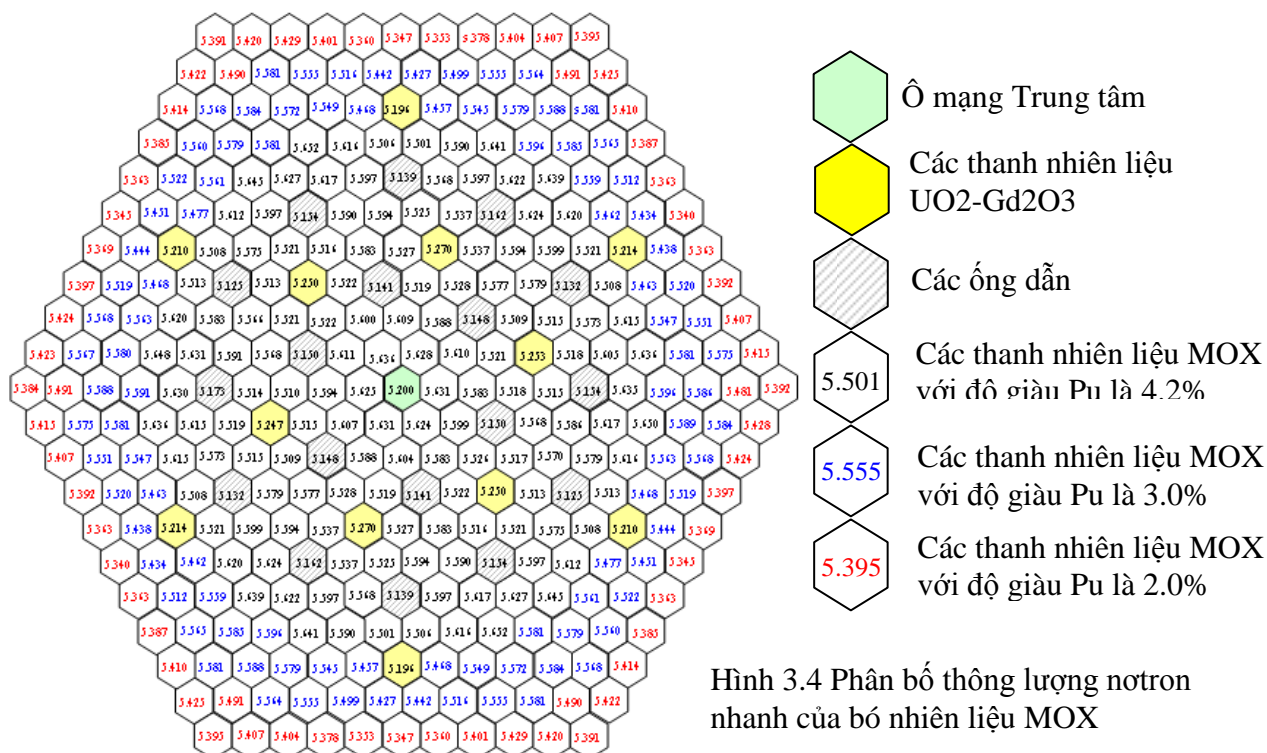
Hình 3.2 Phân bố thông lượng neutron nhanh của bó nhiên liệu LEU

### Phân bố thông lượng neutron nhiệt của bó nhiên liệu MOX



Hình 3.3 Phân bố thông lượng neutron nhiệt của bó nhiên liệu MOX

### Phân bố thông lượng neutron nhanh của bó nhiên liệu MOX



Hình 3.4 Phân bố thông lượng neutron nhanh của bố nhiên liệu MOX

**Nhận xét:** Từ các kết quả tính này, ta có thể rút ra một số nhận xét:

- + Các ô mạng ở vành ngoài cùng có giá trị thông lượng neutron (cả nhiệt và nhanh) lớn hơn các ô cùng loại khác là vì chúng ta đã sử dụng điều kiện biên phản xạ trong tính toán.
- + Tại các ô mạng là các ống dẫn và ô trung tâm có thông lượng neutron nhiệt lớn vì chúng chỉ chứa nước nên có khả năng làm chậm neutron lớn.
- + Các ô mạng chứa nhiên liệu UO<sub>2</sub>-Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> có chứa chất hấp thụ Gd nên giá trị thông lượng neutron (cả nhiệt và nhanh) thấp hơn các ô mạng khác.

## Kết luận

Các bố nhiên liệu LEU và MOX đã được mô phỏng theo các yêu cầu đặt ra. Đó là một hình lục giác có bước 23.6 cm, bao gồm bốn loại ô mạng với bố nhiên liệu LEU, và sáu loại ô mạng với bố nhiên liệu MOX. Mỗi ô mạng cũng là một hình lục giác nhỏ có bước bằng 1.275 cm. Các kết quả tính toán thu được như hệ số nhân vô hạn và phân bố thông lượng neutron là tương đối rõ ràng, có tính thực tiễn cao và có thể kết hợp với việc phân tích an toàn thủy nhiệt. Các kết quả tính toán này tuy áp dụng cho bố nhiên liệu lò phản ứng VVER-1000 nhưng mang nhiều ý nghĩa thực tiễn trong định hướng tính toán lớn hơn như là tính toàn lò hay tính một số cơ cấu tới hạn thực nghiệm mà trên đó chúng ta có thể trao đổi kết quả tính toán với một số nhóm tính toán khác.

## Tài liệu tham khảo

- [1] A VVER1000 LEU and MOX Assembly Computational Benchmark, OECD/NEA 2002, J. Gehin – ORNL – United States; M. Kalugin and D. Shkarovsky – RRC-KI Russian Federation.
- [2] J. F. Briesmeister, Ed., “MCNP – A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 4C”, LA-13709-M (April 2000).
- [3] Robert Jeraj, Tomaz Zagar and Matjaz Ravnik, “Monte Carlo simulation of the Triga Mark II Benchmark experiment with burned fuel”, Nuclear Technology, VOL 137, March 2002.



- [4] Phạm Tuấn Nam và cộng sự, “Tính toán một số tham số vật lý – thủy nhiệt trong kênh tải nhiệt của LPU VVER1000”, Báo cáo tổng kết đề tài cấp cơ sở năm 2010, mã số CS/10/04-05.
- [5] Nguyễn Tùng Sơn và các cộng sự, “Tìm hiểu công nghệ lò phản ứng nước áp lực cải tiến thế hệ III, VVER1000”, Báo cáo tổng kết nhiệm vụ cấp cơ sở năm 2010.
- [6] Nguyễn Văn Hiện và các cộng sự, “Tính toán tới hạn và các thông số đặc trưng của lò Đà Lạt nạp tải nhiên liệu LEU bằng MCNP4c2”, Báo cáo tổng kết nhiệm vụ cấp cơ sở năm 2010.

## **CALCULATE SOME CHARACTERISTIC PARAMETERS OF VVER-1000’S FUEL ASSEMBLY BY MCNP CODE**

**Abstract:** This report presents the features of the LEU and MOX Fuel Assemblies (FA) of the VVER-1000 reactor, and calculation result of infinite neutron multiplication factor  $k_{inf}$  and neutron flux distribution by MCNP code. LEU’s and MOX’s models are hexagonal prism with the pitch equal 23.6 cm, including four types of cell for LEU FA and six types of cell for MOX FA. Each cell is also small hexagonal prism with the pitch equal 1.275 cm. The calculation result of  $k_{inf}$  of LEU FA is 1.1360, and of MOX FA is 1.1601, very good agreement with the results in OECD/NEA report. The other calculation results are also relatively clear and highly practical.

**Key words:** VVER-1000’s Fuel assembly, MCNP,  $k_{inf}$  and neutron flux.