

## TÍNH TOÁN CHẾ ĐỘ THỦY NHIỆT TRONG VÙNG HOẠT CỦA Lò PHẢN ỨNG HẠT NHÂN ĐÀ LẠT

NGÔ PHÚ KHÁNG

Lò phản ứng hạt nhân Đà Lạt được khôi phục lại từ lò TRIGAMARK II theo kiểu lò bể bơi IVV của Liên xô. Vùng hoạt của nó được đặt trong bể nước cất dưới độ sâu cỡ chừng 5m. Nhiên liệu sử dụng cho lò là loại VVR-M2 gồm 3 lớp, mỗi lớp dày 2,5mm kể cả vỏ bọc nhôm. Việc làm nguội vùng hoạt dựa trên cơ chế đối lưu tự nhiên của nước trong bể lò. Hệ thống vòng I mang nhiệt lượng giải phóng ra của lò trao cho hệ thống vòng II qua bộ trao đổi nhiệt và thải ra ngoài khí quyển nhờ tháp làm nguội.

Dưới đây sẽ trình bày phương pháp và kết quả tính toán lý thuyết chế độ thủy nhiệt của lò phản ứng hạt nhân Đà Lạt ở chế độ hoạt động bình thường. Bài báo sẽ xét đến ảnh hưởng của các yếu tố khác nhau đến cơ chế nước chảy và phân bố các trường nhiệt độ trong lò và đưa ra một vài đánh giá sơ bộ an toàn hoạt động của lò về phương diện nhiệt.

### 1. PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN

Việc tính toán chế độ thủy nhiệt của lò phản ứng hạt nhân Đà Lạt được bắt đầu từ việc xác định lưu lượng nước qua vùng hoạt. Ở chế độ dừng, đại lượng này được xác định từ điều kiện cân bằng cột áp đối lưu và các tổn thất thủy lực trên đường đi. Nếu ta ký hiệu  $a$  là độ dài tính từ ống nước vòng I nơi đổ vào bể lò đến giá đỡ giếng hút thì có thể phân biệt 2 trường hợp sau đây:

#### 1. Trường hợp $0 \leq a \leq H_2$

Phương trình cân bằng thủy lực có dạng:

$$9,81[\rho_6 H_1 + \rho_5(H_2 - a) + \rho_4 a - \rho_1 H_1 - \rho_2 H_2] = P_1 + P_2 + SP_4 + P_5 + P_6 \quad (1.1)$$

Trong đó:  $P_1$  là tổn thất thủy lực qua vùng hoạt:

$$P_1 = \left(\lambda_1 \frac{H_1}{D_1} + \xi_1\right) \frac{(\chi G_k / S_1)^2}{2\rho_1} \quad (1.2)$$

$P_2$  là tổn thất thủy lực qua giếng hút:

$$P_2 = \left(\lambda_2 \frac{H_2}{D_2} + \xi_2\right) \frac{(\chi G_k / S_2)^2}{2\rho_2} \quad (1.3)$$

$P_4$  là tổn thất thủy lực qua khoảng không gian giữa thành giếng hút và thùng lò tính từ ống nước vòng I nơi đổ vào bể lò đến giá đỡ giếng hút:

$$P_4 = \left( \lambda_4 \frac{a}{D_4} + \xi_4 \right) \frac{(\psi G_k / S_4)^2}{2\rho_4} \quad (1.4)$$

$P_5$  là tổn thất thủy lực qua khoảng không gian giữa thành giếng hút và thùng lò tính từ ống nước vòng I nơi đổ vào bể lò đến mặt cắt ngang phía trên của vành phản xạ graphit:

$$P_5 = \left( \lambda_5 \frac{H_2 - a}{D_5} + \xi_5 \right) \frac{(\chi G_k / S_5)^2}{2\rho_5} \quad (1.5)$$

$P_6$  là tổn thất thủy lực qua khoảng không gian giữa vành phản xạ graphit và thùng lò:

$$P_6 = \left( \lambda_6 \frac{H_1}{D_6} + \xi_6 \right) \frac{(\chi G_k / S_6)^2}{2\rho_6} \quad (1.6)$$

$S$  là đại lượng đặc trưng của dòng chảy:

$$S = \begin{cases} -1 & \text{nếu } G \leq G_k \\ 1 & \text{nếu } G > G_k \end{cases} \quad (1.7)$$

## 2. Trường hợp $a > H_2$

Phương trình cân bằng thủy lực có dạng:

$$9,81[\rho_4 H_2 + \rho_5(a - H_2) + \rho_6(H_1 + H_2 - a) - \rho_1 H_1 - \rho_2 H_2] = P_1 + P_2 + S(P_4 + P_5) + P_6 \quad (1.8)$$

Trong đó:  $P_1$  và  $P_2$  có dạng như biểu thức (1.2) và (1.3):

$P_4$  là tổn thất thủy lực qua khoảng không gian giữa thành giếng hút và thùng lò:

$$P_4 = \left( \lambda_4 \frac{H_2}{D_4} + \xi_4 \right) \frac{(\psi G_k / S_4)^2}{2\rho_4} \quad (1.9)$$

$P_5$  là tổn thất thủy lực qua khoảng không gian giữa vành phản xạ graphit và thùng lò tính từ ống nước vòng I nơi đổ vào bể lò đến mặt cắt ngang phía trên của vành phản xạ:

$$P_5 = \left( \lambda_5 \frac{a - H_2}{D_5} + \xi_5 \right) \frac{(\psi G_k / S_5)^2}{2\rho_5} \quad (1.10)$$

$P_6$  là tổn thất thủy lực qua khoảng không gian giữa vành phản xạ graphit và thùng lò tính từ ống nước vòng I nơi đổ vào bể lò đến mặt cắt ngang phía dưới của vành phản xạ:

$$P_6 = \left( \lambda_6 \frac{H_1 + H_2 - a}{D_6} + \xi_6 \right) \frac{(\chi G_k / S_6)^2}{2\rho_6} \quad (1.11)$$

$S$  được xác định tương tự như ở phần 1 theo (1.7).

Các ký hiệu sử dụng trong các biểu thức trên có ý nghĩa như sau:

$G$  - Lưu lượng nước qua vùng hoạt.

$G_k$  - Lưu lượng nước vòng I.

$\chi = G/G_k$ .

$\psi = 1 - \chi$  (nếu  $G > G_k$  thì  $\psi = \chi - 1$ ).

$H_1$  - Chiều cao vùng hoạt.

$H_2$  - Chiều cao giếng hút.

$\rho_i$  - Khối lượng riêng của nước ở nhiệt độ  $T_i$  ( $i = 1, 2, 4, 5, 6$ ).

$D_i$  - Đường kính thủy lực vùng  $i$  ( $i = 1, 2, 4, 5, 6$ ).

$S_i$  - Tiết diện nước chảy qua vùng  $i$  ( $i = 1, 2, 4, 5, 6$ ).

$\xi_i$  - Trở kháng địa phương vùng  $i$  ( $i = 1, 2, 4, 5, 6$ ).

$\lambda_i$  - Hệ số ma sát vùng  $i$  ( $i = 1, 2, 4, 5, 6$ ).

Sau khi xác định được lưu lượng nước qua vùng hoạt đối với thanh nhiên liệu nóng nhất ta sẽ tìm được sự phân bố theo chiều cao:

- Nhiệt độ nước:

$$T = T_v + \frac{4 \int_0^z q_s(z')/c_p(T) dz'}{w\rho D_1} \quad (1.12)$$

- Nhiệt độ bề mặt thanh nhiên liệu

$$T_s = T + q_s(z)/\alpha \quad (1.13)$$

Trong đó:  $q_s(z) = N_R K_T K_S F(z)/F_R$  là thông lượng nhiệt qua bề mặt thanh nhiên liệu

$N_R$  là công suất nhiệt của lò phản ứng.

$K_T$  là phần nhiệt giải phóng trong nhiên liệu.

$K_S$  là hệ số không đồng đều theo bán kính lò.

$F_R$  là diện tích bề mặt trao đổi nhiệt của nhiên liệu.

$T_v$  là nhiệt độ nước lỏng vào vùng hoạt.

$c_p(T)$  là nhiệt dung riêng của nước ở nhiệt độ  $T$ .

$w\rho$  là vận tốc khối lượng.

$\alpha$  là hệ số trao đổi nhiệt qua bề mặt thanh nhiên liệu.

$F(z)$  là hàm phát nhiệt theo chiều cao lò và nó có dạng:

$F(z) = (A + Bz) \cos(Cz)$ ;  $A$ ,  $B$  và  $C$  là những hằng số được xác định từ đo đạc thực nghiệm.

## 2. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN.

Các tính toán được thực hiện bằng phương pháp số trên máy tính Apple II tại Viện Nghiên cứu hạt nhân Đà Lạt. Số liệu vào được cho trong bảng 1. Tính chất vật lý của nước phụ thuộc vào nhiệt độ được biểu diễn dưới dạng giải tích theo kết quả của V. N. Vaxerchuc.

Trong các bảng 2 ÷ 8 là kết quả tính toán các chế độ làm việc khác nhau của lò có xét đến ảnh hưởng của:

- Vị trí đặt ống nước vòng I đổ vào bể lò  $a(m)$ .

- Nhiệt độ nước vòng I lối vào bể lò  $T_k(^{\circ}C)$ .

- Lưu lượng nước vòng I  $G_k(m^3/h)$

- Chiều cao giếng hút  $H_2(m)$ .

- Số lượng bó nhiên liệu  $n$ .

- Diện tích lỗ trống giá đỡ giếng hút  $S_3(m^2)$ .

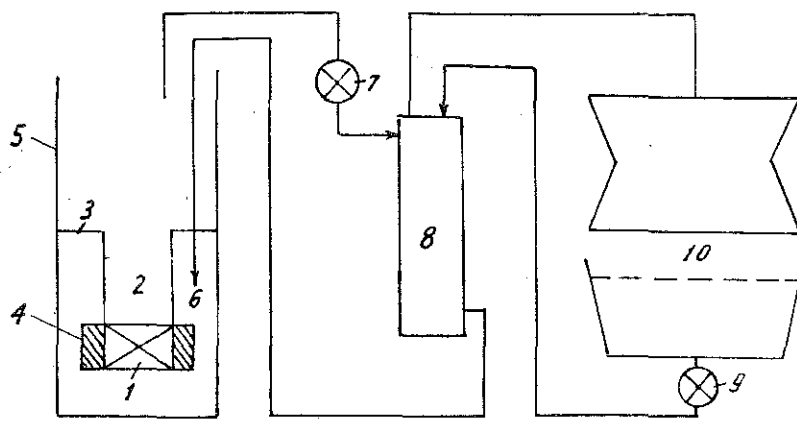
- Công suất nhiệt của lò phản ứng  $N_R(Kw)$ .

Các thông số thủy nhiệt quan trọng thu nhận được từ tính toán gồm:

- Lưu lượng nước qua vùng hoạt  $G(m^3/h)$ .

- Nhiệt độ cực đại của nước trong vùng hoạt  $T^{\max}(^{\circ}C)$ .

- Nhiệt độ cực đại của bề mặt thanh nhiên liệu  $T_s^{\max}(^{\circ}C)$ .



Sơ đồ hệ thống tải nhiệt của lò phản ứng Đà Lạt

1. Vùng hoạt. 2. Giếng hút, 3. Giá đỡ giếng hút, 4. Vành phản xạ graphit, 5. Thùng lò, 6. Ống nước vòng I đổ vào bể lò, 7. Bơm vòng I, 8. Bình trao đổi nhiệt, 9. Bơm vòng II, 10. Tháp làm nguội.

Bảng 1. Các số liệu vào cần cho tính toán

Đại lượng	Ký hiệu	Giá trị
Đường kính thủy lực vùng hoạt (m)	$D_1$	0,006
Đường kính thủy lực giếng hút (m)	$D_2$	0,5
Bề dày thành giếng hút (m)	$\delta$	0,01
Trở kháng lối vào và ra vùng hoạt	$\xi_1$	3
Chiều cao vùng hoạt (m)	$H_1$	0,6
Hệ số không đồng đều theo bán kính lò	$K_s$	1,7
Phần nhiệt giải phóng trong nhiên liệu	$K_T$	0,95
Đường kính trong của thùng lò (m)	$D_b$	2
Đường kính ngoài của vành phản xạ (m)	$D_n$	1,0414
Tiết diện nước chảy qua 1 bó nhiên liệu ( $m^2$ )	$S_{TBC}$	0,000585
Diện tích trao đổi nhiệt của 1 bó nhiên liệu ( $m^2$ )	$F_{TBC}$	0,228

Bảng 2 cho ta biết kết quả tính toán ứng với những giá trị khác nhau của độ dài tính từ nơi đặt ống nước vòng I đổ vào bể lò đến giá đỡ giếng hút a. Ta thấy rằng khi a nằm trong khoảng 0,4m đến 1,5m thì nhiệt độ cực đại của nước và bề mặt thanh nhiên liệu đạt giá trị nhỏ hơn so với những nơi khác. Bảng 3 là kết quả tính toán khi thay đổi nhiệt độ nước vòng I lối vào bể lò  $T_k$ . Ta thấy rằng khi  $T_k$  thay đổi  $10^\circ C$  thì nhiệt độ cực đại bề mặt thanh nhiên liệu chỉ thay đổi cỡ chừng  $5^\circ C$ . Bảng 4 biểu diễn kết quả tính toán khi thay đổi lưu lượng nước vòng I  $G_k$ . Với cấu trúc hiện tại, việc tăng  $G_k$  lên cao hơn  $50m^3/h$  hoặc giảm  $G_k$  xuống cỡ chừng  $28m^3/h$  sẽ không làm ảnh hưởng đến chế độ thủy nhiệt trong vùng hoạt lò phản ứng. Bảng 5 cho ta biết tác dụng rõ rệt của giếng hút trong việc làm nguội lò phản ứng. Ảnh hưởng của số lượng bó nhiên liệu

*Bảng 2. Kết quả tính toán cho những vị trí khác nhau của ống nước vòng I đổ vào bể lò ( $T_k = 3^\circ C$ ,  $G_k = 50m^3/h$ ,  $H_2 = 2m$ ,  $n = 89$ ,  $S_3 = 1,2m^2$ ,  $N_R = 5kw$ )*

$a(m)$	$G(m^3/h)$	$T^{max}(^\circ C)$	$T_s^{max}(^\circ C)$
0	27,930	53,71	99,28
0,2	27,929	53,70	99,28
0,4	27,927	53,69	99,27
0,6	27,927	53,69	99,27
0,8	27,927	53,69	99,27
1,0	27,927	53,69	99,27
1,2	27,927	53,69	99,27
1,4	27,927	53,69	99,27
1,6	27,922	53,70	99,27
1,8	29,922	53,70	99,27
2,0	27,911	53,70	99,28
2,2	27,658	53,76	99,40
2,4	27,390	53,83	99,55
2,6	27,104	53,92	99,72

*Bảng 3. Kết quả tính toán khi thay đổi nhiệt độ nước vòng I lối vào bể lò ( $a = lm$ ,  $G_k = 50m^3/h$ ,  $H_2 = 2m$ ,  $n = 89$ ,  $S_3 = 1,2m^2$ ,  $N_R = 500kw$ )*

$T_k(^\circ C)$	$G(m^3/h)$	$T^{max}(^\circ C)$	$T_s^{max}(^\circ C)$
25	25,871	50,53	96,69
30	27,927	53,69	99,27
35	29,913	57,14	102,17

đến chế độ thủy nhiệt của lò được biểu diễn trong bảng 6. Do tiết diện nước chảy qua vùng hoạt và diện tích bề mặt trao đổi nhiệt của nhiên liệu phụ thuộc vào số lượng bó nhiên liệu nên khi thay đổi  $n$  sẽ làm thay đổi các thông số thủy nhiệt của lò. Trong bảng 7 là kết quả tính toán cho trường hợp khi thay đổi diện tích lỗ trống giá đỡ giếng hút  $S_3$ . Ta thấy rằng ở chế độ hoạt động bình thường, các lỗ trống giá đỡ giếng hút có ảnh hưởng xấu đến chế độ thủy nhiệt của lò.

*Bảng 4. Kết quả tính toán khi thay đổi lưu lượng nước vòng I ( $a = lm$ ,  $T_k = 30^\circ C$ ,  $H_2 = 2m$ ,  $n = 89$ ,  $S_3 = 1,2m^2$ ,  $N_R = 500kw$ )*

$G_k(m^3/h)$	$G(m^3/h)$	$T^{max}(^\circ C)$	$T_s^{max}(^\circ C)$
100	27,946	53,67	99,24
75	27,934	53,68	99,25
50	27,927	53,69	99,27
40	27,926	53,69	99,26
30	27,925	53,69	99,26
20	22,988	61,54	108,52

*Bảng 5. Kết quả tính toán khi thay đổi chiều cao giếng hút ( $a = lm$ ,  $T_k = 300^\circ C$ ,  $G_k = 50m^3/h$ ,  $n = 89$ ,  $S_3 = 1,2m^2$ ,  $N_R = 500kw$ )*

$H_2(m)$	$G(m^3/h)$	$T^{max}(^\circ C)$	$T_s^{max}(^\circ C)$
0	12,249	84,16	135,40
1	22,306	59,67	106,84
2	27,927	53,69	99,27
3	32,182	50,55	95,00

*Bảng 6. Kết quả tính toán khi thay đổi số lượng bó nhiên liệu ( $a = lm$ ,  $T_k = 300^\circ C$ ,  $G_k = 50m^3/h$ ,  $H_2 = 2m$ ,  $S_3 = 1,2m^2$ ,  $N_R = 500kw$ )*

$n$	$G(m^3/h)$	$T^{max}(^\circ C)$	$T_s^{max}(^\circ C)$
89	27,927	53,69	99,27
94	28,700	53,05	96,61
100	29,599	52,34	93,73

Trong trường hợp bơm nước tuần hoàn vòng I không làm việc ta mới thấy rõ tác dụng của chúng [1]. Bảng 8 trình bày kết quả tính toán cho các mức công suất lò khác nhau để ta thấy được giá trị các thông số thủy nhiệt khi lò hoạt động ở công suất nhỏ hơn công suất danh định của nó.

*Bảng 7. Kết quả tính toán khi thay đổi diện tích lỗ trống giá đỡ giếng hút ( $a = 1m, T_k = 300^\circ C, G_k = 50m^3/h, H_2 = 2m, n = 89, N_R = 500kw$ )*

$S_3(m^2)$	$G(m^3/h)$	$T^{max}(^\circ C)$	$T_s^{max}(^\circ C)$
1,2	27,927	53,69	99,27
0,5	27,943	53,67	99,24
0,1	28,436	53,26	98,70
0,05	29,791	52,20	97,27
0,02	34,884	48,95	92,74
0,01	40,175	46,45	89,04
0,005	44,384	44,89	86,25
0,001	48,775	43,55	82,76

*Bảng 8. Kết quả tính toán khi thay đổi công suất lò phản ứng ( $a = 1m, T_k = 300^\circ C, G_k = 50m^3/h, H_2 = 2m, n = 89, S_3 = 1,2m^2$ )*

$N_R(kw)$	$G(m^3/h)$	$T^{max}(^\circ C)$	$T_s^{max}(^\circ C)$
500	27,927	53,69	99,27
400	25,003	51,16	89,03
300	21,673	48,30	78,03
200	17,714	44,92	65,92
100	12,541	40,54	52,01

### 3. KẾT LUẬN

Các kết quả tính toán lý thuyết trên đây cho phép ta rút ra được những kết luận quan trọng sau:

- Nhiệt độ cực đại trên bề mặt thanh nhiên liệu nóng nhất nhỏ hơn nhiều so với nhiệt độ bắt đầu sôi bề mặt (nhiệt độ bắt đầu sôi bề mặt của lò phản ứng Đà Lạt ứng với công suất 500kw là  $116^\circ C$ ). Điều đó chứng tỏ rằng lò phản ứng Đà Lạt hoạt động an toàn về phương diện nhiệt ở công suất danh định.

- Việc đặt ống nước vòng I đổ vào bể lò như hiện nay là tối ưu nhất về phương diện nhiệt.

- Việc tăng giảm lưu lượng nước vòng I trong một dải rộng không làm thay đổi các thông số thủy nhiệt trong vùng hoạt chứng tỏ rằng cơ chế làm nguội lò bằng đối lưu tự nhiên thể hiện rất rõ rệt.

- Giếng hút đóng vai trò rất quan trọng trong việc làm nguội vùng hoạt lò phản ứng.

Địa chỉ:

Viện Nghiên cứu hạt nhân Đà Lạt

Nhận ngày 3/10/1989

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Ngô Phú Kháng. Nghiên cứu chế độ nhiệt thủy động và biện pháp tăng công suất của lò phản ứng hạt nhân Đà Lạt - tài liệu nội bộ - Đà Lạt 1987.
2. Nghiên cứu nhiệt thủy động của lò phản ứng hạt nhân Đà Lạt - Phần 1. Viện nghiên cứu hạt nhân Đà Lạt- viện Cơ học Hà nội. Đà Lạt 1986.

### SUMMARY

#### THERMAL-HYDRAULICAL CALCULATION FOR THE DALAT NUCLEAR RESEARCH REACTOR

This paper concerns with thermal-hydraulic calculation for the core domain of the Dalat nuclear reactor in the nominal regime of works. On the base of this calculation some conclusions on thermal safety of the reactor are conducted.