

Kết hợp phương pháp gamma phát xạ và phương pháp đầu dò dạng điểm để tính hoạt độ của đồng vị phóng xạ bằng phân tích không phá hủy

Huỳnh Đình Chương¹, Trần Minh Sang¹, Lưu Gia Thiện², Võ Xuân Huyền³, Trần Thiện Thanh¹

Tóm tắt—Trong nghiên cứu này, phương pháp phát xạ gamma và phương pháp đầu dò dạng điểm được kết hợp để tính toán hiệu suất đối với nguồn phóng xạ bên trong thùng chứa chất thải phóng xạ. Từ đó, hoạt độ của đồng vị phóng xạ bên trong thùng thải đã được xác định. Kết quả cho thấy, vị trí nguồn được xác định bằng phương pháp gamma cắt lớp cho kết quả phù hợp tốt với giá trị thực nghiệm. Hoạt độ của đồng vị phóng xạ được tính toán có độ sai biệt dưới 13% đối với thành phần mẫu là vật liệu cát.

Từ khóa—phát xạ gamma, đầu dò dạng điểm, đồng vị phóng xạ, thùng thải.

1 GIỚI THIỆU

Phương pháp phân tích không phá hủy được sử dụng để xác định hoạt độ của đồng vị phóng xạ bên trong thùng chứa chất thải hạt nhân đã và đang thu hút sự quan tâm nghiên cứu bởi các nhà khoa học trong và ngoài nước. Cho đến nay, nhiều phương pháp khác nhau đã được đề xuất để xác định hoạt độ của đồng vị phóng xạ bên trong thùng thải. Nhìn chung, các phương pháp này chủ yếu dựa trên hai kỹ thuật đo cơ bản là quét gamma phân đoạn và quét gamma cắt lớp. Trong đó, phương pháp dựa trên kỹ thuật quét gamma phân đoạn có ưu điểm là quy trình phân tích đơn giản, nhanh chóng; tuy nhiên, hạn chế của các phương

pháp này là chỉ có thể phân tích cho các thùng thải có thành phần đồng nhất hoặc không đồng nhất theo dạng phân lớp đồng trục [1, 4-6]. Phương pháp dựa trên kỹ thuật quét gamma cắt lớp có thể ứng dụng để phân tích cho các thùng thải có thành phần bất kỳ (đồng nhất hoặc không đồng nhất bất quy tắc) và kết quả đo được cũng có độ chính xác tốt hơn so với kỹ thuật quét gamma phân đoạn; tuy nhiên, hạn chế của các phương pháp này là quy trình phân tích phức tạp, số lượng phép đo nhiều, tốn thời gian và yêu cầu cao về thiết bị [2]. Việc chuẩn hiệu suất của hệ thống phân tích thùng thải bằng mô phỏng Monte Carlo, sử dụng các phần mềm PENELOPE, đã được thực hiện và chứng minh tính hiệu quả của phương pháp [9]. Tuy nhiên, phương pháp Monte Carlo thì yêu cầu thời gian tính toán và độ chính xác của kết quả phân tích hoạt độ chịu ảnh hưởng lớn bởi thành phần vật liệu phải đồng nhất và cấu hình hệ đo thực nghiệm được đưa vào chương trình mô phỏng. Do vậy phương pháp này sẽ bị giới hạn khi giải quyết bài toán vật liệu không đồng nhất. Một phương pháp tính toán nhanh hiệu suất đỉnh của đầu dò NaI(Tl) trong phép đo thùng thải cũng được đưa ra để khắc phục hạn chế về thời gian tính toán của phương pháp Monte Carlo [3]. Vì phương pháp chuẩn hiệu suất bằng thực nghiệm rất khó để thực hiện bởi vì sự khó khăn trong việc tạo ra các mẫu thùng thải tham khảo có thành phần mẫu giống với mẫu phân tích, đặc biệt đối với các thùng thải phân tích có thành phần không đồng nhất.

Trong công trình này, phương pháp gamma cắt lớp và gamma phân đoạn được dùng để xác định vị trí của nguồn phóng xạ bên trong thùng

Ngày nhận: 24-08-2018, ngày chấp nhận đăng: 25-11-2018, ngày đăng: 31-12-2018

Huỳnh Đình Chương¹, Trần Minh Sang¹, Lưu Gia Thiện², Võ Xuân Huyền³, Trần Thiện Thanh^{1,*} – ¹Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG-HCM; ²Học viện Công nghệ BCVT Cơ sở TP.HCM; ³Trường Đại học Kiên Giang

*Email: ttthan@hcmus.edu.vn

thải. Sau đó, phương pháp đầu dò dạng điểm để xác định hiệu suất của đầu dò từ đó tính toán hoạt độ của đồng vị phóng xạ bên trong thùng thải. Độ sai biệt giữa giá trị thực tế của nguồn phóng xạ và giá trị tính toán là dưới 13%. Phương pháp kết hợp này cho kết quả nhanh chóng, chính xác và có thể áp dụng mở rộng cho việc phân tích hoạt độ của các đồng vị phóng xạ đối với các thành phần mẫu không đồng nhất được chứa bên trong thùng.

2 PHƯƠNG PHÁP

Bố trí thí nghiệm

Hệ đo hoạt độ của đồng vị phóng xạ bên trong thùng chứa chất thải bao gồm một thùng 220 lít được đặt trên một hệ xoay và một bộ khung dịch chuyển cơ khí gắn giá đỡ để đặt đầu dò. Khi được đặt vào bộ khung cơ khí này, đầu dò có thể di chuyển ba chiều trong không gian (sang trái, phải, lên, xuống hoặc di chuyển gần xa thùng thải) như Hình 1A. Hệ đo được điều khiển thông qua một bộ điều khiển nút để di chuyển giá đỡ đầu dò theo các chiều khác nhau và nút xoay bộ xoay theo hai

chế độ: từng bước góc và xoay liên tục như Hình 1B. Cần gạt để đặt góc tọa độ cho hệ xoay và màn hình hiển thị góc quay của thùng. Thùng thải được sử dụng trong nghiên cứu làm từ thép đường kính ngoài 57 cm, chiều cao 87 cm. Bên trong thùng thải chứa chất nền là cát mịn và khô và được xem như là vật liệu đồng nhất và đầu dò NaI(Tl) 7,62 cm × 7,62 cm được kết nối với chương trình chương trình Genie-2K thông qua thiết bị Osprey để ghi nhận phổ gamma và xử lý phổ gamma được phát ra từ nguồn phóng xạ. Trong nghiên cứu này, nguồn phóng xạ ^{60}Co có hoạt độ tại thời điểm đo là 11 μCi (sản xuất ngày 13 tháng 6 năm 2001) được cung cấp từ Viện Nghiên cứu Hạt nhân. Nguồn ^{60}Co là nguồn phát tia gamma có hai đỉnh năng lượng gamma là 1173 keV (99,85 %) và 1332 keV (99,9826 %) [10]. Thời gian bán rã của nguồn ^{60}Co khoảng 5,27 năm. Do kích thước nguồn nhỏ so với khoảng cách đo đặc nên nguồn phóng xạ được xem là nguồn dạng điểm.



(A)



(B)

Hình 1. Hệ đo hoạt độ của đồng vị phóng xạ bên trong thùng chứa chất thải (A) và bộ điều khiển (B)

Phương pháp tái tạo ảnh

Trong công trình này, phương pháp chiếu ngược được sử dụng để tái tạo ảnh từ các hình chiếu có được từ các tia song song. Trong đó, những hình chiếu thu được ở các góc khác nhau được chiếu lần lượt lên một mặt phẳng theo phương mà hình chiếu đó được ghi nhận. Giá trị mỗi pixel trong ảnh được tính bằng tổng giá trị

các hình chiếu giao nhau. Các ảnh chiếu khi chiếu ngược sẽ được tổng hợp lại trên một mặt phẳng. Giá trị của pixel sẽ tăng dần tại những vị trí có sự giao nhau giữa các hình chiếu. Ta có thể mô tả dưới dạng toán học công thức 1 [8]. Ở đây miền lấy tích phân từ 0 đến π , nghĩa là ta đang xét trong trường hợp các đầu dò quay từ góc 0° đến 180° để ghi nhận các hình chiếu.

$$b(x, y) = \int_0^{\pi} g(s, \theta) \cdot d\theta \quad (1)$$

Phương trình (1) có thể viết được dưới dạng rời rạc hóa như công thức (2).

$$b(x, y) = \sum_{k=1}^P g(s_k, \theta_k) \cdot \Delta\theta \quad (2)$$

Với P là số hình chiếu đạt được khi quay một góc π , θ_k là vị trí các đầu dò tại góc thứ k, $\Delta\theta$ là góc quay giữa hai hình chiếu liên tiếp ($\Delta\theta = \pi/P$), s_k là vị trí dọc theo các đầu dò. Từ đó, ta có thể tính được s_k theo phương trình (3) [2].

$$s_k = x \cdot \cos\theta_k + y \cdot \sin\theta_k \quad (3)$$

Tuy nhiên, phương pháp chiếu ngược ảnh tái tạo luôn bị nhòe và có chất lượng kém. Để giảm đi những hạn chế này, một hàm lọc thích hợp được sử dụng để tác dụng lên ảnh tái tạo. Phương pháp chiếu ngược có lọc được sử dụng để tăng cường độ phân giải của ảnh. Mỗi một dòng của ma trận hình chiếu chính là hình chiếu ứng với một góc quay được ghi nhận bởi đầu dò. Ta thực hiện tích chập một chiều lên từng hình chiếu cụ thể để lọc ảnh trước khi thực hiện phép chiếu ngược. Tuy nhiên, việc sử dụng tích chập để lọc ảnh trong miền không gian tốn khá nhiều thời gian tính toán. Để tránh đi hạn chế này trong quá trình lọc ảnh, ta có thể sử dụng phép biến đổi Fourier để chuyển từ miền không gian ảnh sang miền tần số và xử lý lọc trên tần số. Điều này làm cho phép toán được đơn giản và tốc độ tính toán nhanh hơn. Tùy theo mục đích lọc mà hàm lọc được chọn sao cho phù hợp. Trong miền tần số, các thành phần tần số thấp trong ảnh gây ra độ nhòe khi chiếu ngược, còn các thành phần tần số cao thì chứa nhiễu. Một số hàm lọc trong miền tần số thấp thường được sử dụng là các hàm Ram-Lak, Shepp-Logan, Cosin, Hamming, Hann [7] trong đó hàm Hann làm suy giảm nhiễu tốt nhất, làm cho ảnh mịn hơn. Vì thế, trong trường hợp nhiễu của ảnh lớn, thì hàm lọc Hann là phù hợp cho việc lọc ảnh. Do đó, hàm Hann được sử dụng cho việc lọc ảnh trong công trình nghiên cứu này.

Phương pháp đầu dò dạng điểm

Hoạt độ của nguồn phóng xạ A được tính toán theo công thức:

$$A = \frac{N}{\epsilon \cdot I_\gamma \cdot t} \quad (4)$$

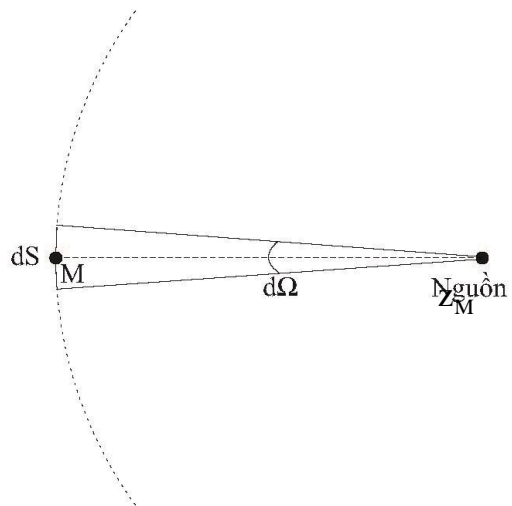
Trong đó, N là số đếm ghi nhận được tại đỉnh năng lượng toàn phần, ϵ là hiệu suất đỉnh năng lượng toàn phần của đầu dò, I_γ là xác suất phát gamma có năng lượng quan tâm của nguồn phát và t là thời gian ghi nhận của đầu dò. Như vậy để xác định được hoạt độ, chúng ta cần xác định được hiệu suất đỉnh năng lượng toàn phần ϵ của đầu dò.

Trong phương pháp đầu dò dạng điểm [8], đầu dò được coi là một điểm ngay tại tâm của bề mặt đầu dò (điểm M) và nguồn được xem là nguồn điểm. Giả sử điểm M đó cách nguồn điểm một khoảng là z_M . Nguồn sẽ nhìn điểm M một góc khối rất nhỏ là $d\Omega$ ứng với một diện tích dS như Hình 2. Khi đó, góc khối $d\Omega$ được tính bởi công thức (5).

$$d\Omega = \frac{dS}{4 \cdot \pi \cdot z_M^2} \quad (5)$$

Số tia gamma phát ra từ nguồn tới điểm M được tính bởi công thức: $N_M = A \cdot I_\gamma \cdot t \cdot d\Omega$. Từ (5) thay vào công thức này ta được công thức (6).

$$N_M = A I_\gamma t \frac{dS}{4 \cdot \pi \cdot z_M^2} \quad (6)$$



Hình 2. Hình học nguồn-điểm đầu dò

Giả sử đầu dò là một điểm N khác cách nguồn một khoảng là z_N . Tương tự như trên, số tia gamma đến từ nguồn đến điểm N được tính theo công thức (7).

$$N_N = AI_{\gamma} t \frac{dS}{4 \cdot \pi \cdot Z_N^2} \quad (7)$$

Mặt khác, hiệu suất đỉnh nội của đầu dò (ϵ_{ip}) được định nghĩa là tỷ số số bức xạ để lại hết năng lượng trong đầu dò (hiệu ứng quang điện) ghi nhận được trên tổng số bức xạ mang năng lượng đó tới đầu dò và ϵ_{ip} gần như không thay đổi (hằng số) đối với một đầu dò nhất định. Khi đó, ta có đẳng thức (8).

$$\epsilon_{ip} = \frac{N_M}{4\pi AI_{\gamma} t \frac{dS}{Z_M^2}} = \frac{N_N}{4\pi AI_{\gamma} t \frac{dS}{Z_N^2}} \quad (8)$$

Với N_M và N_N lần lượt là số đếm ghi nhận được bởi đầu dò tại vị trí M và N. Từ (8) thu được công thức (9).

$$\frac{\epsilon_M}{\epsilon_N} = \left(\frac{Z_N}{Z_M} \right)^2 \quad (9)$$

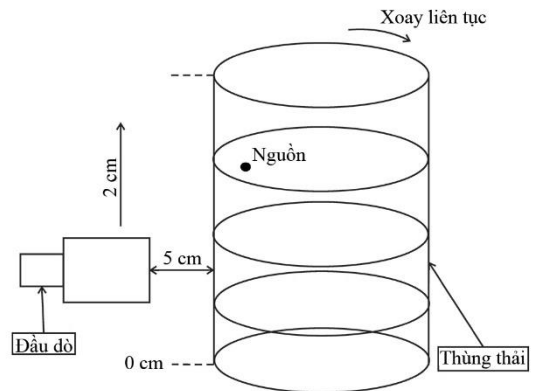
Với $\epsilon_M = \frac{N_M}{AI_{\gamma} t}$, $\epsilon_N = \frac{N_N}{AI_{\gamma} t}$ lần lượt là hiệu suất ghi nhận của đầu dò tại vị trí M và N.

Nếu xác định được hiệu suất ghi nhận đầu dò tại một khoảng cách, ta có thể xác định hiệu suất ghi nhận của đầu dò tại một khoảng cách bất kì bằng công thức số (9) một cách nhanh chóng và đơn giản.

3 KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Quét gamma phân đoạn

Nguồn phóng xạ được đặt vào một vị trí nhất định trong thùng thải cách tâm thùng 20 cm và cách mặt đất 84,7 cm được xem như là vị trí chuẩn ứng với là góc 0° . Đầu dò sẽ được đưa tới vị trí chính giữa tâm thùng sao cho bề mặt chuẩn trực đầu dò cách thành của thùng 5 cm rồi đưa xuống vị trí mép dưới của thùng thải như Hình 3. Sau đó sẽ tiến hành quét từ mép dưới lên mép trên của thùng thải với bước dịch chuyển là 2 cm. Mỗi phép đo như vậy, thùng sẽ được quay liên tục và thời gian mỗi phép đo là 20 phút. Tại vị trí mà số đếm tại đỉnh quang điện là cao nhất, đầu dò sẽ tiếp tục ghi nhận trên và dưới vị trí đó 3 cm với bước dịch chuyển là 0,5 cm nhằm xác định chính xác phân đoạn chứa nguồn.



Hình 3. Sơ đồ quét gamma phân đoạn chứa nguồn phóng xạ bên trong thùng

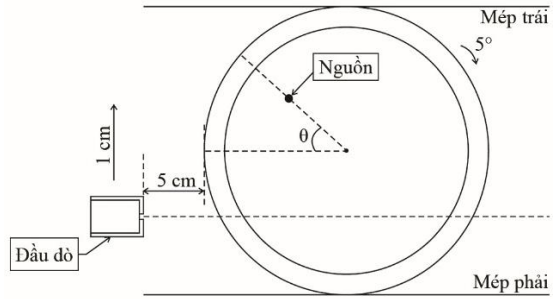
Kết quả thực nghiệm đã xác định được vị trí có số đếm cao nhất là 54 cm (tính từ mép dưới thùng). Tiếp tục cho đầu dò đo các vị trí trên và dưới vị trí có số đếm cao nhất 2 cm để xác định chính xác vị trí phân đoạn. Qua đó, xác định được vị trí có số đếm cao nhất ứng với vị trí phân đoạn chứa nguồn là $(54,0 \pm 0,2)$ cm.

Quét cắt lớp phân đoạn chứa nguồn

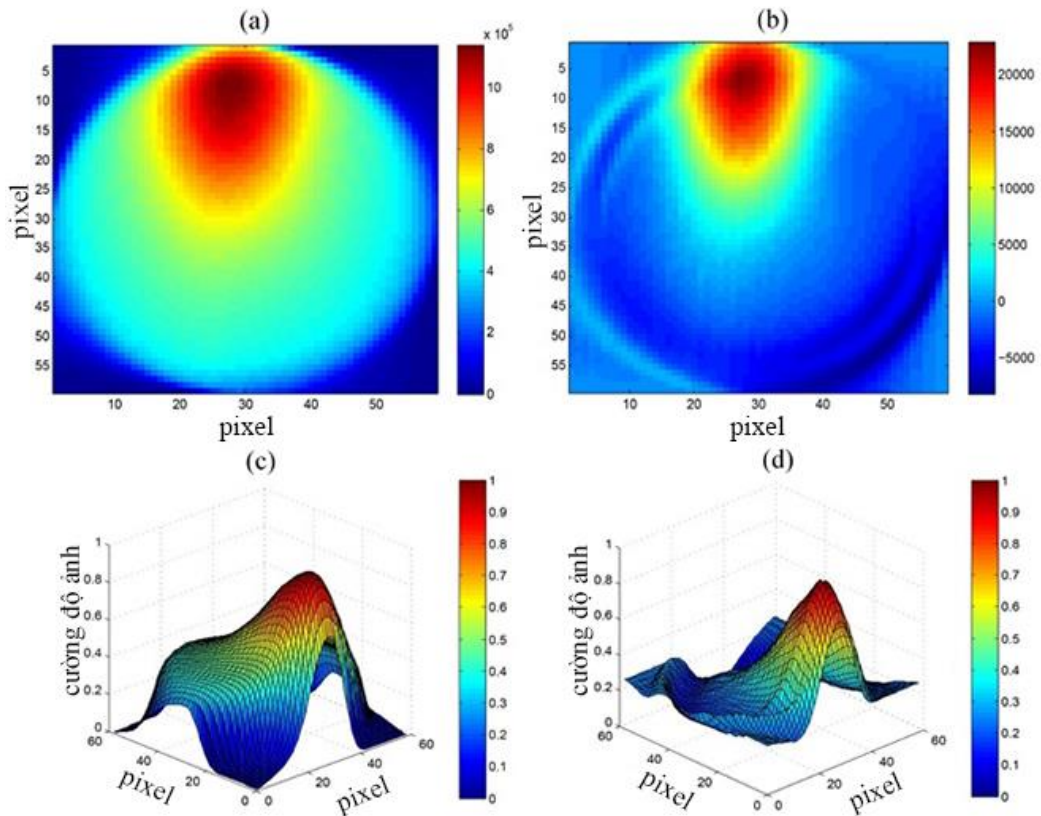
Sau khi tiến hành xác định phân đoạn chứa nguồn trong thùng thải, quét cắt lớp phân đoạn này được tiến hành để dựng ảnh cắt lớp của nguồn. Số liệu ghi nhận được theo phương ngang của thùng ứng với một góc quay được gọi là hình chiếu. Ở đây, ống chuẩn trực đầu dò dạng trụ được sử dụng để ghi nhận những chùm tia bức xạ được chiếu song song tới đầu dò. Do đó, số dữ liệu đo trên một hình chiếu là 59. Để tái tạo được ảnh cắt lớp, cần một tập hợp các hình chiếu ứng với những góc quay khác nhau. Trước tiên, đầu dò được đặt ở vị trí phân đoạn xác định chứa nguồn ở phép đo trước. Tiếp theo, di chuyển đầu dò theo phương ngang từ mép phải sang mép trái của thùng thải để ghi nhận một hình chiếu. Thời gian mỗi phép đo để ghi nhận là 100 giây. Sau đó, quay thùng theo một góc θ để ghi nhận hình chiếu tiếp theo. Thực hiện các phép đo như vậy để ghi nhận hình chiếu từ 0° cho tới 360° như Hình 4. Trong nghiên cứu này, các kỹ thuật tái tạo và xử lý ảnh được thực hiện trên ngôn ngữ lập trình MATLAB phiên bản R2012b. Do số dữ liệu thu được của mỗi phép thu hình chiếu theo phương ngang là 59 nên ảnh thu được sẽ có kích thước là 59×59 . Mỗi hình chiếu sẽ ứng với một góc quay

của thùng thái từ 0° và mỗi bước quay là 5° . Hình 5 cho thấy ảnh được tái tạo bằng phương pháp chiếu ngược và chiếu ngược có lọc. Độ nhòe do phương pháp chiếu ngược gây ra sau khi lọc đã giảm đi đáng kể. Độ tương phản giữa thùng và nền, nguồn và khu vực xung quanh tăng lên tương đối nhiều. Qua đó xác định được vị trí của nguồn phóng xạ. Sau khi lọc hình chiếu, bằng phương pháp chiếu ngược, việc dựng ảnh cắt lớp từ hình chiếu đã lọc được thực hiện. Gọi r_T và r_C lần lượt là khoảng cách từ tâm góc tọa độ tới vị trí nguồn được xác định trong thực nghiệm và trong ảnh cắt lớp. Do việc đặt nguồn vào thanh gỗ và cố định vào thùng bằng thủ công nên gây ra lệch so với vị trí mong muốn, việc xác định sai số này rất khó xác định nên chúng tôi dựa vào bề ngang thanh gỗ để tính sai số. Do đó, vị trí nguồn từ thực nghiệm được xác định là $r_{\text{Thực nghiệm}} = 58 \pm 1$ (cm). Trong ảnh, vị trí điểm ảnh có cường độ cao nhất (cực

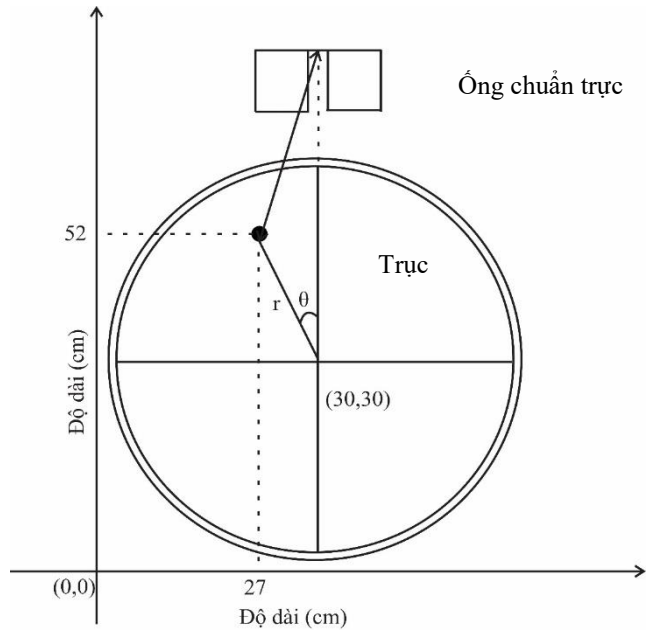
đại) ứng với vị trí của nguồn và vị trí cực đại này nằm ở pixel (27, 52) như Hình 6. Độ dài mỗi pixel là 1 cm nên vị trí nguồn nằm tại tọa độ $(x,y) = (27, 52)$ (cm). Từ đó, xác định được $r_{\text{Tính toán}} = 59 \pm 1$ (cm). Như vậy, vị trí xác định được từ ảnh phù hợp với thực nghiệm.



Hình 4. Sơ đồ quét cắt lớp thùng thái



Hình 5. Ảnh chiếu ngược không lọc và có lọc, (A) và (B) lần lượt là ảnh cắt lớp không lọc và có lọc, (C) và (D) lần lượt là đồ thị phân bố cường độ ảnh tương ứng



Hình 6. Kết quả xác định tọa độ nguồn trong thùng thải

Tính toán hoạt độ nguồn

Bảng 1 là kết quả tính toán hiệu suất bằng phương pháp đầu dò dạng điểm so sánh với kết quả thực nghiệm theo công thức (4). Kết quả cho thấy đối với các vị trí nguồn ít lệch khỏi trục

xuyên tâm thì độ sai biệt thấp nhưng khi lệch trục lớn thì độ sai biệt có thể lên tới 16% như trong Hình 6. Đây cũng là hạn chế của phương pháp đầu dò điểm ảo. Ngoài ra, hiệu suất tại đỉnh 1173 keV thấp hơn đỉnh 1332 keV là do sự suy giảm trong chất nền là cát đối với nghiên cứu này.

Bảng 1. So sánh hiệu suất đối với đồng vị ^{60}Co tại khoảng cách 20 cm

Góc (độ)	Năng lượng 1173 keV			Năng lượng 1332 keV		
	Hiệu suất thực nghiệm	Hiệu suất tính toán	Độ sai biệt (%)	Hiệu suất thực nghiệm	Hiệu suất tính toán	Độ sai biệt (%)
30	$1,12 \cdot 10^{-4}$	$1,15 \cdot 10^{-4}$	3	$1,39 \cdot 10^{-4}$	$1,26 \cdot 10^{-4}$	9
60	$2,58 \cdot 10^{-5}$	$2,35 \cdot 10^{-5}$	9	$2,80 \cdot 10^{-5}$	$2,68 \cdot 10^{-5}$	4
90	$5,70 \cdot 10^{-6}$	$5,99 \cdot 10^{-6}$	5	$6,51 \cdot 10^{-6}$	$7,03 \cdot 10^{-6}$	8
120	$1,79 \cdot 10^{-6}$	$1,91 \cdot 10^{-6}$	7	$2,11 \cdot 10^{-6}$	$2,31 \cdot 10^{-6}$	9
150	$8,47 \cdot 10^{-7}$	$9,28 \cdot 10^{-7}$	10	$1,06 \cdot 10^{-6}$	$1,15 \cdot 10^{-6}$	9
210	$8,31 \cdot 10^{-7}$	$9,28 \cdot 10^{-7}$	12	$1,02 \cdot 10^{-6}$	$1,15 \cdot 10^{-6}$	13
240	$1,66 \cdot 10^{-6}$	$1,91 \cdot 10^{-6}$	15	$2,02 \cdot 10^{-6}$	$2,31 \cdot 10^{-6}$	14
270	$5,18 \cdot 10^{-6}$	$5,99 \cdot 10^{-6}$	16	$6,14 \cdot 10^{-6}$	$7,03 \cdot 10^{-6}$	15
300	$2,12 \cdot 10^{-5}$	$2,35 \cdot 10^{-5}$	11	$2,35 \cdot 10^{-5}$	$2,68 \cdot 10^{-5}$	14
330	$9,99 \cdot 10^{-5}$	$1,15 \cdot 10^{-4}$	15	$1,17 \cdot 10^{-4}$	$1,26 \cdot 10^{-4}$	7

Hoạt độ của nguồn phóng xạ sau khi quét cắt lớp phân đoạn chứa nguồn được xác định với độ sai biệt được tính theo công thức (10) như trong Bảng 2. Kết quả cho thấy một lần nữa cho thấy tính phù hợp của phương pháp kết hợp để xác định hoạt độ của các đồng vị phóng xạ bên trong thùng với độ sai biệt so với giá trị thực tương đối thấp.

$$\Delta A = \left(\frac{|A - A_0|}{A_0} \right) \times 100\% \quad (10)$$

Ở những vị trí góc lớn, nguồn nằm cách xa so với đầu dò nghĩa là sự suy giảm qua vật chất thùng thải nhiều và có những vị trí nằm ngoài góc nhìn

của chuẩn trực làm cho quãng đường xuyên qua lớp chì nhiều hơn, điều đó làm cho sự sai biệt của các giá trị tính được so với giá trị thực trở nên lớn. Ngoài ra, do quá trình xử lý phổ chọn đường trừ nhiễu và tách các đỉnh năng lượng cũng dẫn đến những ảnh hưởng đến kết quả. Thêm vào đó, sai số của hoạt độ nguồn chuẩn trong nghiên cứu này cũng là một nguồn gốc để gây ra độ sai biệt trong kết quả tính toán. Tuy nhiên, những sự sai lệch này không quá lớn (< 20%). Qua đó thấy được phương pháp đã tính toán được đề xuất tương đối phù hợp và cho kết quả nhanh chóng.

Bảng 2. Kết quả xác định hoạt độ trong chụp ảnh cắt lớp thùng thải và sai lệch so với hoạt độ thực của nguồn

Vị trí nguồn	Hoạt độ đo được (μCi)	Hoạt độ thực (μCi)	Độ sai biệt (%)
Vị trí đồng trục với nguồn	12,0	11,0	7
Vị trí lệch trục với nguồn	12,5		13

4 KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, phương pháp quét gamma phân đoạn đã được sử dụng để xác định phân đoạn chứa nguồn phóng xạ bên trong thùng kín và đã xác định được phân đoạn có chứa nguồn cách mép dưới của thùng là 54 cm. Kết quả gamma cắt lớp bằng phương pháp chiếu ngược có lọc đã xác định được vị trí nguồn là 59 cm so với giá trị thực tế của nguồn là 58 cm cho kết quả đáng tin cậy. Tuy nhiên, ảnh thu được có độ nhiễu khá lớn nguyên nhân là do trong nghiên cứu này đường kính ống chuẩn trực là 1 cm. Kết quả tính toán hoạt độ nguồn sử dụng phương pháp đầu dò dạng điểm có độ sai biệt dưới 15%. Nguyên nhân là do sai số nguồn chuẩn, sự lệch trục của nguồn ở khoảng cách xa làm cho năng lượng gamma có thể xuyên qua mép của ống chuẩn trực.

Trong nghiên cứu tiếp theo, chúng tôi sẽ thực hiện nghiên cứu trong trường hợp thành phần chất nền giả đồng nhất và chứa nhiều nguồn phóng xạ trên trong thùng.

Lời cảm ơn: Nhóm tác giả chân thành cảm ơn những đóng góp vô cùng quý báu của các phân biện giúp bài báo hoàn chỉnh, rõ ràng và mạch lạc hơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]Y. Bai, E. Mauerhofer, D. Wang, R. Odoj, "An improved method for the non-destructive characterization of radioactive waste by gamma scanning", *Applied Radiation and Isotopes*, no. 67, pp. 1897–1903, 2009.
- [2]P. Bruyant, "Analytic and iterative reconstruction algorithms in SPECT", *Journal Of Nuclear Medicine*, vol. 43, no. 10, pp. 1343–1358, 2002.
- [3]H.Đ. Chương, L.T. Dân, V. H. Nguyễn, T.T. Thanh, C.V. Tạo, "Một mô hình tính toán giải tích để tính hiệu suất định năng lượng toàn phần cho đầu dò dạng trụ sử dụng trong phân tích thùng thải phóng xạ", *Tạp chí phát triển Khoa học và Công nghệ, Đại học Quốc gia Tp HCM*, pp. 71–80, 2016.
- [4]T.Q. Dung, "New measuring technique for assay of radioactive materials in waste drums", *Progress in Nuclear Energy*, no. 33, pp. 403–420, 1998.
- [5]P. Filb, "Relation Between the Activity of a High-Density Waste Drum and its Gamma Count Rate Measured with an Unshielded Ge-detector", *Applied Radiation Isotopes*, vol. 46, no. 8, pp. 805–812, 1995.
- [6]T. Krings, E. Mauerhofer, "Reconstruction of the isotope activity content of heterogeneous nuclear waste drums", *Applied Radiation and Isotopes*, no. 70, pp. 1100–1103, 2012.
- [7]S.W. Lee, C.L. Lee, H.M. Cho, H.S. Park, D.H. Kim, Y.N. Choi, H.J. Kim, "Effects of reconstruction parameters on image noise and spatial resolution in cone-beam computed tomography", *Journal of the Korean Physical Society*, vol. 59, no. 4, pp. 2825–2832, 2011.

[8] A. Netea, "The Ge(Li) spectrometer as a point detector", *Nuclear Instruments and Methods*, no. 91, pp. 513–2515, 1971.

spectrometry", *Applied Radiation and Isotopes*, no. 109, pp. 544–546, 2016.

[9] T.T. Thanh, H.T.K. Trang, H.D. Chuong, V.H. Nguyen, L.B. Tran, H.D. Tam, C.V. Tao, "A prototype of radioactive waste drum monitor by non-destructive assays using gamma

[10] Nucléide-lara (Library for gamma and alpha emissions) <http://laraweb.free.fr/> truy cập ngày 10 tháng 08 năm 2018.

Combination of the gamma emission tomography and the virtual point-detector methods for calculating radioactive waste drum by non-destructive assays

Huynh Dinh Chuong¹, Tran Minh Sang¹, Luu Gia Thien², Vo Xuan Huyen³, Tran Thien Thanh¹

¹University of Science, VNU-HCM;

² Posts and Telecommunications Institute of Technology in Ho Chi Minh city campus;

³ Kien Giang University

Corresponding author: tthanh@hcmus.edu.vn

Received: 24-08-2018; Accepted: 25-11-2018; Published: 31-12-2018

Abstract—In this study, the gamma emission tomography and the virtual point-detector method were combined to calculate the efficiency of the radionuclide inside the radioactive waste drum. Therefore, the radioactivity of the radionuclide inside the waste drum has been calculated. The

results showed that the source location was determined by the gamma emission tomography for good results with the experimental value. The discrepancies between measured and true activity were smaller than 13% for the sand matrix.

Keywords—gamma emission tomography, virtual point-detector, radionuclide, waste drum