

# Nghiên cứu phương pháp chụp ảnh cắt lớp điện toán thể hệ thứ tư khảo sát tháp công nghiệp kích thước lớn

Đặng Nguyễn Thế Duy\*, Nguyễn Thanh Châu,  
Trần Thanh Minh, Nguyễn Văn Chuẩn, Nguyễn Ngọc Nhật Anh

Trung tâm Ứng dụng kỹ thuật hạt nhân trong công nghiệp,  
Viện Năng lượng nguyên tử Việt Nam

Ngày nhận bài 1/7/2019; ngày chuyển phân biện 4/7/2019; ngày nhận phân biện 5/8/2019; ngày chấp nhận đăng 19/8/2019

## Tóm tắt:

Ngay sau khi thể hệ thứ nhất được phát minh vào cuối thập niên 60 của thế kỷ XX, công nghệ chụp cắt lớp điện toán (CT) đã phát triển một cách nhanh chóng chỉ trong khoảng thời gian hơn 10 năm sau đó. Thể hệ thứ 3 thương mại xuất hiện vào năm 1975, giúp giải quyết các vấn đề về thời gian đo đạc của hai thể hệ trước đó. Năm 1976, thể hệ thứ tư ra đời để giải quyết tiếp các vấn đề về kích thước mẫu, ảnh tròn giả và độ ổn định chung của thiết bị. Ngày nay, bên cạnh CT trong y tế, phạm vi ứng dụng của CT ngày càng được mở rộng, với nhu cầu thực tiễn gia tăng nhanh chóng. CT được xem như là một công cụ kiểm tra không phá hủy hiện đại, áp dụng trên các đối tượng có kích thước từ vài mm cho đến vài mét trong rất nhiều lĩnh vực kinh tế - xã hội, trong đó có việc kiểm tra khảo sát thiết bị, tháp lọc hóa dầu đang vận hành. Trung tâm Ứng dụng kỹ thuật hạt nhân trong công nghiệp (CANTI) là một trong số ít đơn vị tại Việt Nam đã và đang nghiên cứu, thiết kế và chế tạo thiết bị CT công nghiệp. Bài báo trình bày về kết quả nghiên cứu, chế tạo phần cứng cơ khí thiết bị CT thể hệ thứ tư khảo sát tháp công nghiệp kích thước lớn, các thuật toán tái tạo ảnh và quan trọng nhất là hình học dựng ảnh thể hệ thứ tư. Một số kết quả thử nghiệm trên mẫu thử trong phòng thí nghiệm cũng được trình bày ở bài báo này.

**Từ khóa:** ART, chụp cắt lớp điện toán, CT, CT thể hệ thứ tư.

**Chỉ số phân loại:** 2.3

## **Mở đầu**

Chụp cắt lớp điện toán CT là một công cụ chẩn đoán hiệu quả trong y tế từ nhiều năm qua. Với các tính năng ưu việt, CT đã được ứng dụng rất rộng rãi trong nhiều lĩnh vực khác. Từ thời điểm được phát minh vào những năm cuối thập niên 60 của thế kỷ trước, cho đến nay đã có 7 thể hệ CT thương mại được sử dụng trong y tế, công nghiệp, nghiên cứu khoa học và được phân ra thành 3 nhóm theo độ phân giải bao gồm: nanoCT, microCT và macroCT. Thiết bị nanoCT hiện nay có thể đạt đến độ phân giải dưới 100 nm với kích thước mẫu cỡ vài mm. Công nghệ microCT có độ phân giải không gian từ vài μm đến 100 μm với kích thước mẫu không quá 100 mm. MacroCT bao gồm cả CT y tế với độ phân giải không gian từ 0,1 mm đến vài mm. Một số thiết bị CT công nghiệp sử dụng máy gia tốc tuyến tính có thể chụp được các mẫu van cỡ lớn với khối lượng lên tới 7 tấn [1], khoảng cách từ máy phát đến đầu dò lên đến vài mét [2]. Đa số thiết bị CT nêu trên sử dụng máy phát tia X và được vận hành trong nhà. Một số rất ít thiết bị CT công nghiệp có thể di chuyển để ứng dụng trên các đối tượng ngoài công trường. Khả năng của các thiết bị dạng này tuy hạn chế, hình ảnh đạt được có độ phân giải không gian không cao, thời

gian chụp lâu nhưng vẫn có nhiều tiềm năng ứng dụng để giải quyết các bài toán trong quá trình vận hành các thiết bị công nghiệp, đặc biệt trong công nghiệp lọc hóa dầu.

Tháp công nghiệp luôn có hình trụ tròn, cao, thành tháp bằng thép dày, xung quanh tháp có nhiều kết cấu như sàn công tác, các ống dẫn, van... Do đó thiết bị CT khảo sát tháp cần có cấu trúc cơ khí tinh gọn, tránh vướng víu các cấu kiện bên ngoài tháp khi vận hành. Hình 1B mô tả cấu hình CT thể hệ thứ tư khảo sát tháp công nghiệp được đề xuất trong chương trình hợp tác kỹ thuật về chụp cắt lớp điện toán công nghiệp của Cơ quan Năng lượng nguyên tử quốc tế (IAEA) [3]. Cấu hình này cần rất nhiều đầu dò phóng xạ bố trí cố định trên một đường tròn quanh tháp. Một nguồn phóng xạ hoạt độ cao, không được che chắn sẽ chạy quanh một đường tròn có đường kính nhỏ hơn đường tròn đầu dò. Cấu hình này có ưu điểm về kích thước và nguyên lý vận hành. Kích thước cơ khí của cấu hình nhỏ hơn rất nhiều so với cấu hình thể hệ thứ ba (hình 1A) với cùng kích thước mẫu. Tuy nhiên nhược điểm của cấu hình là hình ảnh sẽ có độ phân giải thấp, liều bức xạ khi vận hành rất cao do nguồn phóng xạ hoàn toàn không được che chắn.

\*Tác giả liên hệ: Email: theduy@canti.vn

# A research into the fourth generation computed tomography method for investigation of large-sized industrial towers

Nguyen The Duy Dang\*, Thanh Chau Nguyen, Thanh Minh Tran, Van Chuan Nguyen, Ngoc Nhat Anh Nguyen

Centre for Applications of Nuclear Technique in Industry, Vietnam Atomic Energy Institute

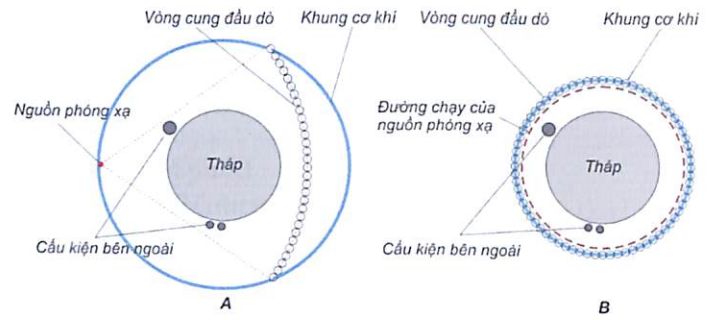
Received 1 July 2019; accepted 19 August 2019

**Abstract:**

Right after the invention of first generation scanner in the late 1960s of the 20<sup>th</sup> century, the computed tomography (CT) technology had developed rapidly within 10 years later. The third generation scanner was introduced into the market in 1975 to solve the problem of measurement time of previous generations. In 1976, the first scanner of the fourth generation was available to solve the problem of object size, ring artifacts as well as the general stability of the third generation. Nowadays along with medical imaging, CT has been widely used in many fields with an increasing demand. CT is considered as the modern non-destructive testing tool that can be applied on object sizes ranging from millimeters to meters in many socio-economic fields, including the inspection of currently running equipment and petrochemical towers. In Vietnam, Center for Applications of Nuclear Technique in Industry (CANTI) is one of very few organizations that has carried out the research, design and construction of industrial CT scanners. This paper presents the results on the research and manufacture of the hardware of the fourth generation CT scanner for inspecting large-sized industrial towers, the image reconstruction algorithms, and the most important, the geometric matrix for image reconstruction. Test results on the laboratorial specimen is also presented in this paper.

**Keywords:** ART, computed tomography, CT, fourth generation CT.

**Classification number:** 2.3



Hình 1. Cấu hình CT thế hệ thứ ba (A) và cấu hình thế hệ thứ tư khảo sát tháp công nghiệp (B).

Tại Việt Nam, nhu cầu sử dụng các kỹ thuật tiên tiến và hiệu quả để kiểm tra tình trạng hoạt động của tháp lọc hóa dầu trong khi vận hành ngày càng tăng cao. Một số bài toán cụ thể như kiểm tra tình trạng gạch/bê tông chịu lửa trong hệ thống tái sinh xúc tác, kiểm tra tình trạng vùng vật liệu đệm, tầng phá sương trong tháp chưng cất chỉ có thể giải quyết bằng kỹ thuật bức xạ như soi gamma hoặc chụp cắt lớp điện toán. Đứng trước nhu cầu đó, nhóm nghiên cứu về hình ảnh hạt nhân tại CANTI đã nghiên cứu và phát triển thành công phương pháp chụp cắt lớp khảo sát tháp công nghiệp có kích thước đến 2 m. Phương pháp chụp dựa trên cấu hình cơ khí thế hệ thứ tư nhưng với số lượng đầu dò hạn chế (8 đầu dò NaI(Tl) có kích thước tinh thể 50x50 mm). Thành công của nghiên cứu là tiền đề cho CANTI hoàn thiện thiết bị nhằm mở rộng phạm vi ứng dụng, góp phần khai thác và vận hành hiệu quả, an toàn các nhà máy công nghiệp.

**Cơ sở lý thuyết và phương pháp thực hiện**

*Nguyên lý chụp cắt lớp điện toán*

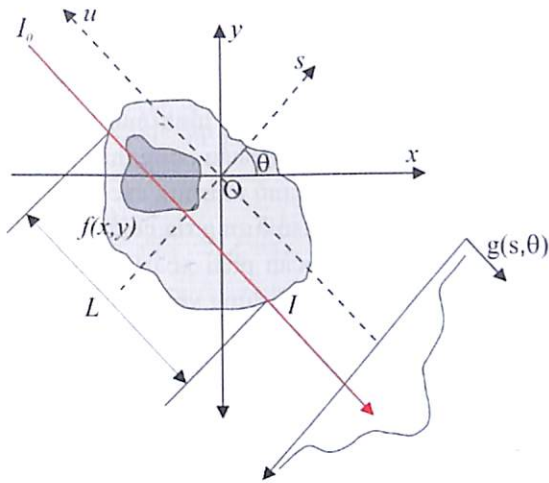
Phương pháp chụp ảnh cắt lớp CT xác định được phân bố mật độ vật chất trong mẫu vật dựa trên tính toán từ tập số liệu hình chiếu (số liệu các phép đo phóng xạ). Đặc trưng của phương pháp là ở cách bố trí thu thập dữ liệu trên lát cắt vật thể. Một số lượng lớn các phép đo được ghi nhận trên một lát cắt, trong đó mỗi phép đo liên quan đến vị trí của nguồn kết hợp với vị trí của đầu dò.

Xét trường hợp một chùm bức xạ có cường độ ban đầu  $I_0$  đi qua mẫu vật như biểu diễn ở hình 2. Cường độ chùm bức xạ  $I$  sau khi đi qua mẫu vật như sau:

$$I = I_0 \cdot \exp \left[ - \int_L f(x,y) du \right] \tag{1}$$

Giá trị chiếu  $g(s,\theta)$  là tích phân đường (line integral) qua mẫu vật và được xác định theo phương trình (2). Tích phân này được gọi là tổng tia (ray sum):

$$g(s,\theta) = \left[ \int_L f(x,y) du \right] = \ln \left( \frac{I_0}{I} \right) \tag{2}$$



Hình 2. Phép lấy hình chiếu vật thể tại góc  $\theta$  sử dụng chùm tia song song.

Ta có thể thấy, mặt phẳng  $uOs$  là mặt phẳng  $xOy$  xoay một góc xoay  $\theta$ . Trong không gian 2 chiều, mối liên hệ giữa mặt phẳng gốc và mặt phẳng đã xoay một góc  $\theta$  như sau:

$$\begin{aligned} s &= x \cdot \cos\theta + y \cdot \sin\theta & x &= s \cdot \cos\theta - u \cdot \sin\theta \\ y &= s \cdot \sin\theta + u \cdot \cos\theta & u &= -x \cdot \sin\theta + y \cdot \cos\theta \end{aligned} \quad (3)$$

Thế (3) vào (2), ta được:

$$g(s, \theta) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) \delta(x \cdot \cos\theta + y \cdot \sin\theta - s) \cdot dx dy \quad (4)$$

$$g(s, \theta) = \int_{-\infty}^{\infty} f(s \cdot \cos\theta - u \cdot \sin\theta, s \cdot \sin\theta + u \cdot \cos\theta) \cdot du \quad (5)$$

Kết hợp toàn bộ các tập hình chiếu trên tất cả các góc khác nhau sẽ thu được một tập số liệu 2 chiều  $G(s, \theta)$ , hay còn gọi là sinogram (do ảnh 2 chiều của bộ số liệu có những vệt hình sóng sin). Sự biến đổi tập hợp  $f(x, y)$  sang sinogram  $G(s, \theta)$  được gọi là biến đổi Radon. Biến đổi Radon ở một góc  $\theta$  xác định được trình bày như sau:

$$g(s, \theta) = R\{f(x, y)\} = \int_{-\infty}^{\infty} f(s \cdot \cos\theta - u \cdot \sin\theta, s \cdot \sin\theta + u \cdot \cos\theta) \cdot du \quad (6)$$

Biến đổi Radon ngược (iRadon) là quá trình ngược của biến đổi Radon, tức là quá trình tái dựng lại hình ảnh từ dữ liệu hình chiếu đo được bằng cách sử dụng các thuật toán khác nhau.

$$f(x, y) = R^{-1}\{G(s, \theta)\} \quad (7)$$

Các thuật toán phổ biến được áp dụng trong kỹ thuật chụp cắt lớp điện toán bao gồm các thuật toán tái tạo đại số (ART), chiếu ngược có lọc (FBP), tối đa hóa kỳ vọng (EM), trong đó thuật toán FBP được sử dụng phổ biến nhất.

### Hình học dựng ảnh thể hệ thứ tư

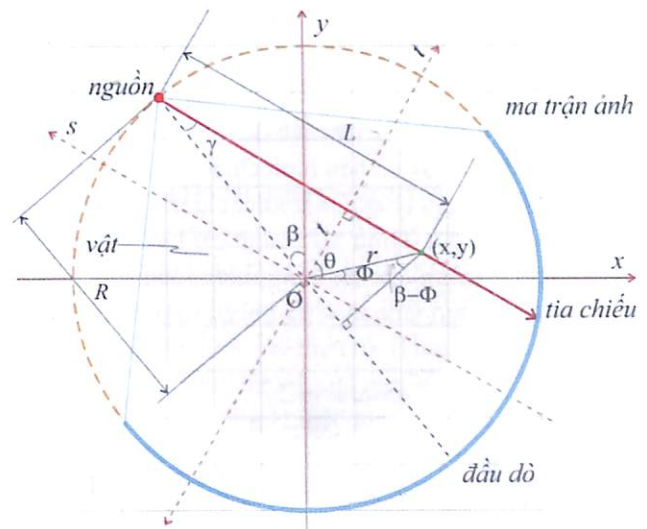
Dựng ảnh chụp cắt lớp điện toán là một quá trình tính toán giá trị của từng điểm ảnh dựa trên số liệu hình chiếu đo đạc thông qua các thuật toán. Các giá trị được tính cần một địa chỉ đúng trên ma trận ảnh để góp phần hiển thị thành

hình ảnh. Trong cấu hình CT thể hệ thứ tư, bất kỳ tia chiếu nào đều có thể xác định được bởi 2 tham số  $\gamma$  và  $\beta$ , trong đó  $\gamma$  là góc được tạo bởi tia đang tính với tia đi qua tâm, và  $\beta$  là góc tạo bởi tia đi qua tâm nêu trên và trục y như mô tả trong hình 3.  $\gamma$  được gọi là góc dò và xác định vị trí của một tia trong chùm tia hình quạt.

Một tia chiếu  $g(\gamma, \beta)$  trong chùm tia chiếu hình quạt là một tia chiếu  $g(s, \theta)$  trong chùm tia song song nếu các điều kiện sau được thỏa mãn:

$$\begin{aligned} \theta &= \beta + \gamma \\ s &= R \sin\gamma \end{aligned} \quad (8)$$

Với  $R$  là khoảng cách giữa nguồn phát và tia đi qua tâm hệ đo,  $L$  là khoảng cách từ nguồn phát đến điểm ảnh  $(x, y)$ .



Hình 3. Hình học cấu hình thể hệ thứ tư.

Biến đổi Radon trong trường hợp chùm tia hình quạt như sau:

$$g(\gamma, \beta) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) \delta(L - \sqrt{R^2 + x^2 - 2Rx \cos\beta - y^2}) \cdot dx dy = \ln\left(\frac{I_0}{I_\beta(\gamma)}\right) \quad (9)$$

Quá trình dựng ảnh cần sử dụng một ma trận hình ảnh hệ thống. Hình 3 mô tả hình học cấu hình thể hệ thứ tư được sử dụng để xác định vị trí điểm ảnh cần tái tạo. Với cấu hình quạt thể hệ thứ tư, phương pháp xác định vị trí điểm ảnh qua tia chiếu được tính như sau:

$$x = L \cdot \sin(\gamma + \beta) - R \cdot \sin\beta \quad (10)$$

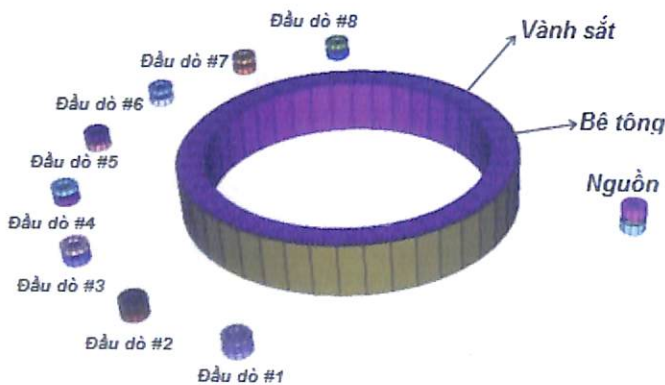
$$y = -L \cdot \cos(\gamma + \beta) + R \cdot \cos\beta \quad (11)$$

$$\text{Với: } L(x, y, \beta) = \sqrt{[R + x \cdot \sin\beta - y \cdot \cos\beta]^2 + [x \cdot \cos\beta + y \cdot \sin\beta]^2} \quad (12)$$

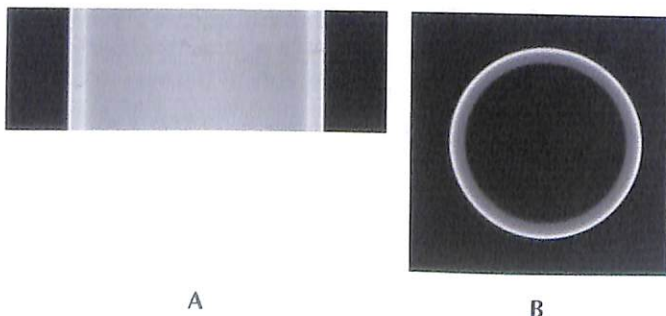
$$\gamma = \tan^{-1} \left[ \frac{x \cdot \cos\beta + y \cdot \sin\beta}{R + x \cdot \sin\beta - y \cdot \cos\beta} \right] \quad (13)$$

**Mô phỏng cấu hình thể hệ thứ tư bằng phần mềm mô phỏng các quá trình hạt nhân**

Việc kiểm chứng hình học dựng ảnh được thực hiện thông qua số liệu mô phỏng trước khi tiến hành thiết kế chi tiết và chế tạo phần cứng cơ khí. Hình 4 mô tả cấu hình đo đặc số liệu hình chiếu thể hệ thứ tư bằng chương trình mô phỏng các quá trình hạt nhân (MCNP). Cấu hình bao gồm 01 nguồn phóng xạ Co-60 được chuẩn trực chỉ với góc mở 95° và khe mở chuẩn trực 20 mm cố định, 8 đầu dò nhấp nháy NaI(Tl) có kích thước tinh thể 50x50 mm được che chắn bởi chì có độ dày thay đổi từ 20-70 mm với một khe mở có độ mở vô tận, chiều cao khe mở thay đổi từ 2-20 mm. Nguồn và đầu dò được bố trí trên cùng một khung tròn có đường kính 2500 mm. Mẫu vật hình tròn có đường kính ngoài 1500 mm với hai lớp vật liệu: bê tông nhẹ có mật độ 1,2 g/cm<sup>3</sup> dày 100 mm bên trong và thành thép có mật độ 7,8 g/cm<sup>3</sup> dày 10 mm bên ngoài. Kết quả mô phỏng đã lựa chọn được kích thước khe mở đầu dò tối ưu: dày tối thiểu 20 mm và cao 20 mm. Bộ số liệu hình chiếu mô phỏng đã được thu thập với 128 hình chiếu, mỗi hình chiếu có 128 tia chiếu như mô tả ở hình 5A. Hình 5B là ảnh cắt lớp tái dựng từ bộ số liệu hình chiếu mô phỏng bằng thuật toán FBP với hình học dựng ảnh đã mô tả theo (10), (11), (12) và (13).



Hình 4. Cấu hình đo đặc thể hệ thứ tư mô phỏng bằng MCNP.

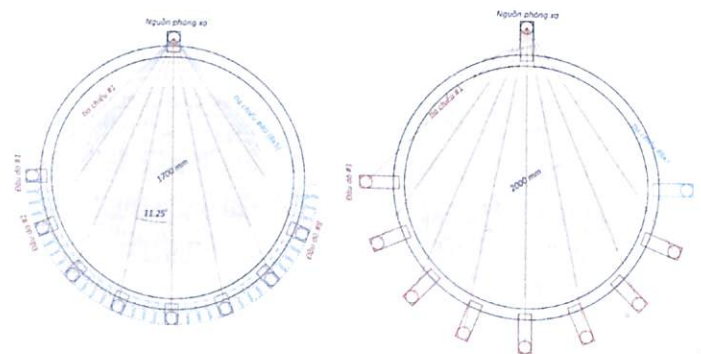


Hình 5. Bộ số liệu hình chiếu (Sinogram) từ kết quả mô phỏng MCNP (A) và hình ảnh tái dựng bằng thuật toán FBP và hình học dựng ảnh thể hệ thứ tư (B).

**Kết quả và thảo luận**

**Thiết kế và chế tạo phần cứng thiết bị CT thể hệ thứ tư**

Căn cứ kết quả mô phỏng và hình ảnh từ số liệu mô phỏng được tái dựng, cấu hình phần cứng thiết bị CT thể hệ thứ tư đã được thiết kế như mô tả trong các hình 6 và 7. Ở mỗi góc chiếu, căn cứ vào số lượng tia chiếu cần thiết trên mỗi hình chiếu, 8 đầu dò cần phải xoay thêm một số lần trong khi nguồn phóng xạ vẫn đứng yên. Hình 6A minh họa trường hợp các đầu dò xoay thêm 4 lần để mỗi hình chiếu có 40 tia chiếu. Sau khi đo đặc xong 8 tia chiếu đầu tiên (các đường liền nét màu đỏ), 8 đầu dò sẽ cùng quay lần lượt thêm 4 lần, mỗi lần 4,5° để đo các tia chiếu trung gian (các đường nét đứt màu xanh). Với yêu cầu kích thước của khung xoay cơ khí là nhỏ nhất, nguồn và đầu dò được bố trí như mô tả ở hình 6A khi mẫu vật có kích thước đến 1700 mm. Đối với mẫu có kích thước từ 1700 đến 2000 mm, nguồn và đầu dò sẽ được bố trí như hình 6B.

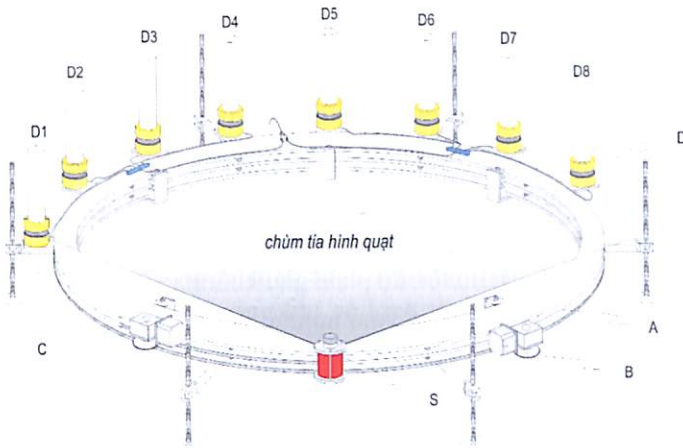


(A) Kích thước mẫu đến 1700 mm (B) Kích thước kính mẫu đến 2000 mm

Hình 6. Thiết kế nguyên lý phần cứng thiết bị CT cấu hình thể hệ thứ 4.

Khung quay cơ khí A trong hình 7 là một khung hình vành khăn có 3 lớp: lớp dưới cùng cố định làm sàn tựa cho các con lăn quay hai lớp trên, lớp này có một vòng ray xích chạy quanh đường kính ngoài; lớp thứ hai là lớp làm sàn tựa để quay lớp trên cùng, lớp thứ hai này cũng có một vòng ray xích chạy quanh đường kính ngoài. Nguồn phóng xạ được lắp cố định vào lớp thứ hai. 8 đầu dò được lắp cố định vào lớp trên cùng. Động cơ B và hộp số được lắp cố định vào lớp thứ hai, bánh răng gắn vào trục hộp số chạy trên ray xích của lớp dưới cùng. Động cơ C và hộp số được lắp cố định vào lớp trên cùng, bánh răng gắn vào trục quay của hộp số chạy trên ray xích của lớp thứ hai. Hộp số giảm tốc có cấu tạo kiểu trục vít - bánh vít, do đó lớp khung thứ hai và thứ ba không thể tự xoay hoặc tự trượt nếu động cơ không quay. Khi cần thay đổi hình chiếu, động cơ B sẽ quay kéo lớp thứ hai và lớp trên cùng xoay (nguồn và đầu dò cùng xoay). Khi

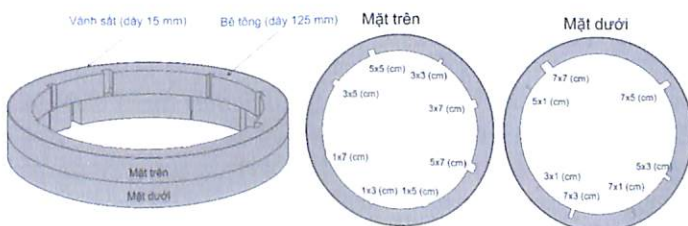
cần tăng số tia chiếu, động cơ C sẽ quay kéo lớp trên cùng quay (nguồn đứng yên, đầu dò xoay). Khung quay cơ khí hình vành khăn được gia công từ nhiều mảnh ghép nhỏ để dễ vận chuyển và dễ lắp đặt vào các thiết bị công nghiệp cố định trong nhà máy.



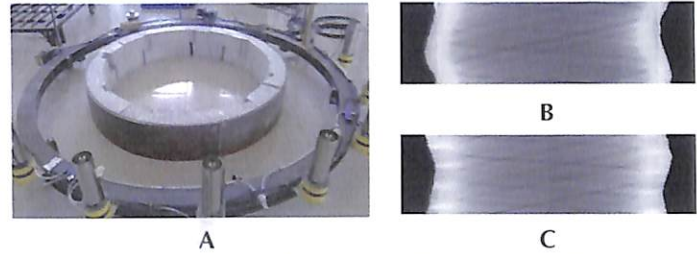
Hình 7. A: khung quay cơ khí 3 lớp, B: động cơ và hộp số điều khiển xoay thay đổi hình chiếu, C: động cơ và hộp số điều khiển xoay thay đổi tia chiếu, D: khối chì che chắn đầu dò, S: chuẩn trực chứa nguồn phóng xạ.

**Thử nghiệm thiết bị trên mẫu vật trong phòng thí nghiệm**

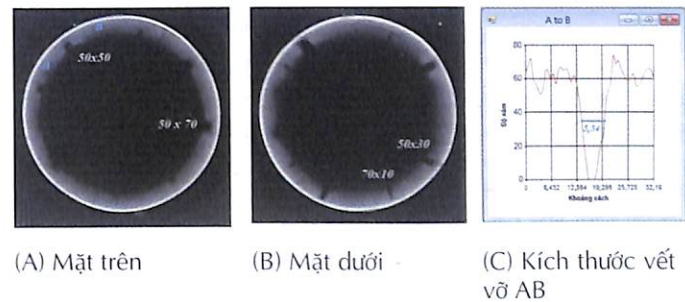
Mẫu thiết bị chụp CT thể hệ thứ tư đã được gia công chế tạo theo các thông số từ tính toán mô phỏng và thiết kế kỹ thuật như đã trình bày ở các phần trên. Phần mềm tái dựng hình ảnh cắt lớp đã được xây dựng dựa trên thuật toán FBP và hình học dựng ảnh thể hệ thứ tư. Thiết bị đã được thử nghiệm trên một mẫu vật mô phỏng tháp công nghiệp để kiểm chứng và đánh giá phương pháp chụp ảnh CT thể hệ thứ tư khảo sát các vật thể có kích thước lớn. Hình 8 mô tả cấu trúc của mẫu mô phỏng một đoạn tháp công nghiệp có đường kính 1500 mm, thành bằng thép dày 15 mm và một lớp bê tông dày 125 mm có nhiều vết nứt vỡ bên trong. Hình 9A chụp thiết bị cùng mẫu vật, hình 9B là bộ số liệu hình chiếu mặt trên của mẫu vật, hình 9C là bộ số liệu hình chiếu mặt dưới của mẫu vật. Hình 10 là hình ảnh tái dựng từ các bộ số liệu hình chiếu thu được bằng thuật toán FBP.



Hình 8. Cấu trúc mẫu tháp có gạch/bê tông chịu lửa bên trong.



Hình 9. Thiết bị CT và mẫu (A), bộ số liệu hình chiếu 128 hình chiếu x 512 tia chiếu mặt trên của mẫu (B) và bộ số liệu hình chiếu 128 hình chiếu x 512 tia chiếu mặt dưới của mẫu (C).



Hình 10. Hình cắt lớp tái dựng từ các bộ số liệu hình chiếu bằng thuật toán FBP.

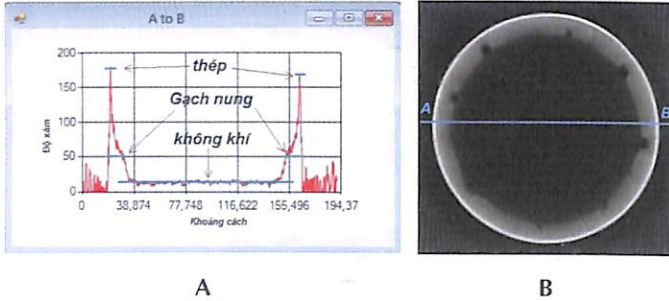
Đánh giá một cách định tính có thể thấy rằng hình ảnh CT tái dựng có chất lượng tốt và ít nhiễu. Vị trí và kích thước của các vết nứt vỡ được thể hiện rõ. Bằng công cụ phần mềm tái tạo ảnh, kích thước ngang của một số vết nứt vỡ được xác định và trình bày ở bảng 1. Kết quả cho thấy sai số xác định càng lớn khi kích thước vết vỡ càng nhỏ, lên đến 54% ở kích thước 10 mm. Trong trường hợp này, nguyên nhân chính là do kích thước của điểm ảnh. Với bộ số liệu 512 tia chiếu, kích thước của 1 điểm ảnh vào khoảng 7,5x7,5 mm. Do đó vết nứt có chiều ngang 10 mm sẽ được hiển thị ít nhất bằng 2 pixel, tương đương 15 mm. Để giảm sai số này về mức 10%, số tia chiếu cần thiết sẽ vào khoảng 800, tương đương 100 lần dịch chuyển trung gian của đầu dò.

Bảng 1. Kích thước ngang các vết nứt vỡ thực tế và đo đạc qua hình ảnh tái dựng.

Kích thước vết vỡ thực tế (sâu x ngang) (mm)	Kích thước ngang trên hình ảnh (mm)	Sai số tương đối (%)
Mặt trên: 30x70	76,8	9,7
Mặt trên: 50x50	55,4	10,8
Mặt dưới: 50x30	33,9	13,0
Mặt dưới: 70x10	15,4	54,0

Hình 11A là giản đồ giá trị điểm ảnh của đoạn thẳng AB trên hình ảnh cắt lớp (hình 11B) cho thấy 3 vùng mật độ khác nhau rất rõ: thép (giá trị độ xám: 170-175), bê tông (giá trị độ xám: 50) và không khí (giá trị độ xám: 15). Bảng 2 là các giá trị về mật độ, hệ số hấp thụ khối ( $\mu/\rho$ ), hệ số hấp thụ tuyến tính ( $cm^{-1}$ ) [4], giá trị độ xám trên hình ảnh của thép,

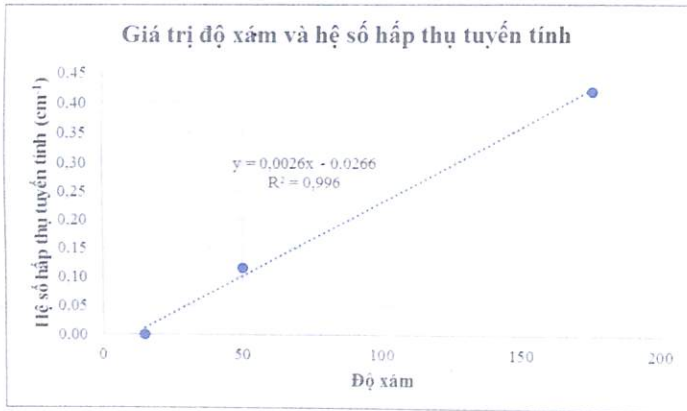
bê tông và không khí. Hình 12 thể hiện sự tương quan tuyến tính của các giá trị tái tạo ở thang độ xám và hệ số hấp thụ tuyến tính của vật liệu đối với giá trị trung bình của năng lượng các tia gamma phát ra nguồn Co-60.



Hình 11. Giải đồ giá trị điểm ảnh (A) ở thang độ xám của đoạn thẳng AB trên ảnh tái dựng bằng thuật toán FBP (B).

Bảng 2. Mật độ, hệ số hấp thụ khối, hệ số hấp thụ tuyến tính, giá trị độ xám của các vật liệu.

	Mật độ (g/cm <sup>3</sup> )	Hệ số hấp thụ khối (cm <sup>2</sup> /g) với gamma 1,25 MeV	Hệ số hấp thụ tuyến tính (1/cm) với gamma 1,25 MeV	Giá trị độ xám trên ảnh tái tạo
Thép	7,8	0,054	4,17x10 <sup>-1</sup>	175
Bê tông	2,2	0,058	1,16x10 <sup>-1</sup>	50
Không khí	0,001225	0,057	6,97x10 <sup>-5</sup>	15



Hình 12. Sự tương quan tuyến tính giữa giá trị độ xám tái tạo và hệ số hấp thụ tuyến tính của các vật liệu.

## Kết luận

Phương pháp chụp CT thể hệ thứ tư khảo sát tháp công nghiệp kích thước lớn đã được nghiên cứu và xây dựng thành công. Mẫu thiết bị CT thể hệ thứ tư đã được chế tạo với cấu hình đo đặc 1 nguồn phóng xạ và 8 đầu dò nhấp nháy NaI(Tl) bố trí trên một khung tròn đồng tâm với khung xoay cơ khí. Phần mềm tái dựng ảnh cắt lớp với các thuật toán thông dụng đã được lập trình thành công dựa trên hình học dựng ảnh thể hệ thứ tư. Các kết quả thử nghiệm cho thấy hình ảnh tái dựng từ bộ số liệu hình chiếu thể hệ thứ tư đúng với hình dạng và kích thước của mẫu. Hình ảnh có độ phân giải mật độ tốt, độ phân giải không gian đủ để khảo sát các đối tượng trong công nghiệp. Kích thước khung cơ khí cho phép khảo sát được các tháp lọc hóa dầu có đường kính lên đến 2 m với nhiều thành phần vật liệu như thép, bê tông... Giải pháp xoay đầu dò trung gian để tăng số tia thật sự hữu ích với điều kiện số đầu dò hạn chế, từ đó thiết bị cần ít máy đo hạt nhân hơn, giá thành thiết bị từ đó cũng giảm đáng kể. Người sử dụng có thể chủ động thiết lập thay đổi số tia chiếu dựa vào điều kiện thực tế trên công trường, từ đó có thể tiết kiệm được thời gian đo đặc hay tăng cường chất lượng ảnh trong một số trường hợp.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] L. de Chiffire, S. Carmignato, J.P. Kruth, R. Chmitt, A. Weckenmann (2014), "Industrial application of computer tomography", *CIRP Annals*, **63(2)**, pp.655-667.
- [2] Daniel Schnebark (2004), *CT scan of NASA Booster Nozzle*, Lawrence Livermore National Laboratory, USA.
- [3] International Atomic Energy Agency (2008), *Industrial Process Gamma Tomography*, IAEA TecDoc 1589.
- [4] <https://www.nist.gov/pml/x-ray-mass-attenuation-coefficients>, *NIST X-ray Attenuation Databases*.