NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO THIẾT BỊ CHỤP CẮT LỚP ĐIỆN TOÁN THẾ HỆ THỨ TƯ KHẢO SÁT THÁP CÔNG NGHIỆP CÓ ĐƯỜNG KÍNH < 2M

TRẦN THANH MINH, ĐẶNG NGUYỄN THẾ DUY, NGUYỄN VĂN CHUẨN, BÙI TRỌNG DUY, NGUYỄN THANH CHÂU

Trung tâm Ứng dụng kỹ thuật hạt nhân trong công nghiệp; 01, ĐT 723, Đà Lạt, Lâm Đồng

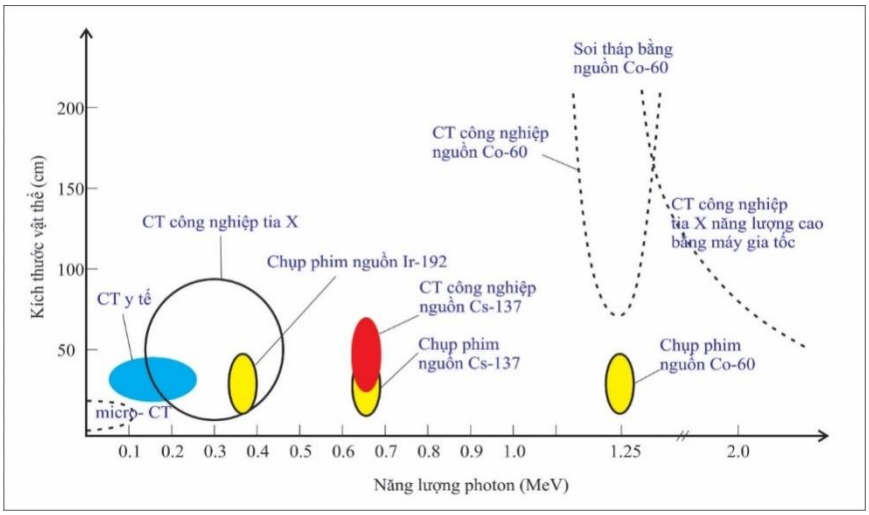
Email: minhtt@canti.vn

Tóm tắt: Ngày nay, kỹ thuật chụp cắt lớp điện toán CT đã trở thành một công cụ chẩn đoán tiêu chuẩn trong y tế và là một phương pháp kiểm tra không phá hủy hữu ích trong lĩnh vực công nghiệp. Các thiết bị CT sử dụng tia gamma có nhiều ưu điểm nổi trội khi ứng dụng trên các đối tượng kích thước lớn công nghiệp do gamma có khả năng xuyên sâu vào vật liệu có mật độ cao với giá thành thấp hơn máy phát tia X cùng năng lượng. Trong những năm qua, Trung tâm Ứng dụng kỹ thuật hạt nhân trong công nghiệp đã thiết kế và chế tạo nhiều thiết bị CT công nghiệp ứng dụng cho các đối tượng khác nhau như thiết bị CT thế hệ thứ nhất g-ORBIT, thiết bị CT thế hệ thứ 3 g-COMET và gần đây là thiết bị CT kích thước lớn g-OCTOPUS. Với việc sử dụng nguồn gamma Co-60 có hoạt độ từ khoảng 100 mCi và một mảng 08 đầu dò NaI(Tl) có kích thước 2 x 2 inch, thiết bị g-OTOPUS có thể ứng dụng hiệu quả trên đối tượng tháp công nghiệp có đường kính đến 2m.

Từ khoá: CT kích thước lớn, CT thế hệ thứ tư, CT công nghiệp

I. GIỚI THIỆU CHUNG

Chụp cắt lớp điện toán CT là một công cụ chẩn đoán hiệu quả và không thể thiếu trong y tế trong nhiều năm qua. Với những ưu điểm vượt trội, CT cũng đã được ứng dụng rất rộng rãi trong các lĩnh vực khác như công nghiệp và nghiên cứu khoa học. Trong khi thiết bị CT y tế chỉ phục vụ đối tượng là con người thì đối tượng ứng dụng của thiết bị CT công nghiệp đa dạng hơn rất nhiều. Đa số thiết bị CT công nghiệp phổ biến hiện nay được sử dụng trong nhà, sử dụng máy phát tia X, hình ảnh đạt được có độ phân giải không gian ở mức độ milimét, kích thước vật thể tối đa vào khoảng 300mm. Một số rất ít thiết bị CT công nghiệp có thể di chuyển để ứng dụng trên các đối tượng lớn hơn ngoài trời, đặc biệt là trên các đối tượng trong các nhà máy, công trường sản xuất. Khả năng của các thiết bị dạng này hạn chế, hình ảnh đạt được có độ phân giải không gian thấp, thời gian chụp lâu. Tuy nhiên, một vài thiết bị dạng này có khả năng ứng dụng trên các đối tượng có kích thước đến 2m [1].



Hình 1: Các thiết bị CT với kích thước và năng lượng bức xạ tương ứng

Hình 1 mô tả một cách tổng quát các chủng loại thiết bị CT sử dụng cho các mục đích khác nhau tương ứng với kích thước đối tượng và năng lượng bức xạ được sử dụng. Đối với các thiết bị CT ở cấp độ micromet, kích thước vật thể không quá 20cm thì tia X có năng lượng

thấp dưới 100 keV được sử dụng. CT trong y tế sử dụng tia X có năng lượng từ 60 cho đến dưới 200 keV. Các thiết bị CT công nghiệp cố định sử dụng cho đối tượng có kích thước dưới 50 cm sử dụng tia X có năng lượng lớn hơn 400 keV; năng lượng bức xạ cỡ 600 keV được sử dụng cho các đối tượng từ có kích thước từ 25 cm cho đến dưới 80 cm. Kích thước vật thể lớn hơn nữa thì năng lượng bức xạ cũng tăng tương ứng. Trong một số trường hợp với vật thể kích thước lớn, độ dày lớn, mật độ cao thì cần sử dụng đến tia X trên 2 MeV. Các thiết bị CT công nghiệp di động thường sử dụng nguồn đồng vị như Am-241, Se-75, Ir-192, Cs-137, hoặc Co-60.

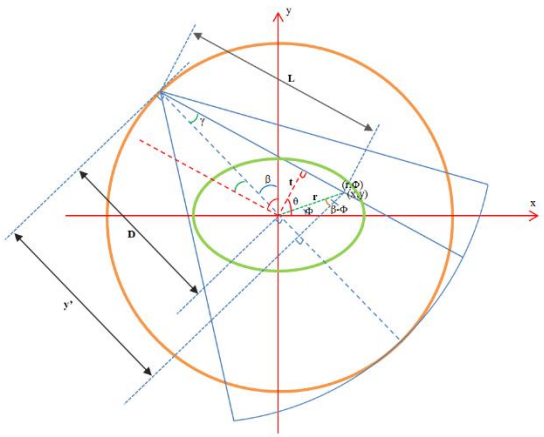
Trung tâm Ứng dụng kỹ thuật hạt nhân trong công nghiệp đã thiết kế và chế tạo được thiết bị chụp cắt lớp điện toán CT thế hệ thứ nhất có cấu hình 1 nguồn – 1 đầu dò [2,3] có tên g-GORBIT, thiết bị CT thế hệ thứ 3 cải tiến với 1 nguồn – 12 đầu dò [4,5] có tên g-COMET. Trong đó thiết bị g-GORBIT đã được xuất khẩu đến một số phòng thí nghiệm trên thế giới và đã được sử dụng khá hiệu quả [6]. Thiết bị g-COMET là sản phẩm của đề tài cấp nhà nước KC-05 "Nghiên cứu thiết kế và chế tạo chụp cắt lớp điện toán ứng dụng trong công nghiệp dầu khí ở Việt Nam" với phần mềm tái tạo hình ảnh i-COMET đã được đăng ký quyền tác giả. Với cấu hình hình quạt 12 đầu dò, g-COMET có thể chụp cắt lớp vật thể có đường kính 600 mm trong thời gian 2 giờ, tiết kiệm thời gian rất nhiều so với g-GORBIT.

Với kích thước đối tượng tối đa đến 600 mm, khá lớn so với các thiết bị CT công nghiệp cùng loại trên thế giới nhưng g-GORBIT và g-COMET chỉ có thể áp dụng trên đối tượng đường ống hoặc thiết bị công nghiệp kích thước nhỏ. Đáp ứng nhu cầu từ công nghiệp về khảo sát thiết bị có kích thước lớn hơn, Trung tâm hiện đang chế tạo và thử nghiệm một thiết bị có kích thước gantry lên đến 2,5m, có khả năng chụp cắt lớp các thiết bị có đường kính lên đến 2m. Phương pháp tái tạo hình ảnh ứng dụng cho cấu hình thiết bị tương ứng được mô tả trong phần II, phần III mô tả về phần cứng thiết bị, phần IV là một số kết quả thử nghiệm ban đầu trên vật mẫu và phần V là kết luận và hướng nghiên cứu, phát triển tiếp theo để hoàn thiện thiết bị.

II. PHƯƠNG PHÁP TÁI TẠO HÌNH ẢNH

Chụp cắt lớp điện toán CT là một quy trình gồm 3 bước cơ bản: i) đo đạc số liệu hình chiếu theo cấu hình của thiết bị, ii) tái tạo hình ảnh chụp cắt lớp từ bộ số liệu hình chiếu đo được và iii) xử lý, hiển thị và lưu trữ hình ảnh. Về cơ bản thì bước đo đạc số liệu được thực hiện theo 2 cấu hình cơ bản: i) cấu hình song song và ii) cấu hình chùm quạt. Hình ảnh chụp cắt lớp được tái tạo từ bộ số liệu hình chiếu bằng các thuật toán và hình học của cấu hình đo. Các thuật toán là các nguyên lý chung có thể áp dụng được cho các cấu hình đo đạc, điểm quan trọng nhất là việc xây dựng hình học đúng của cấu hình đo để áp dụng các thuật toán trên nó. Như vậy, để tái tạo hình ảnh từ bộ số liệu hình chiếu đo được từ một thiết bị, phải có phần mềm tái tạo hình ảnh tương ứng với hình học đo của thiết bị đó.

Thiết bị g-OCTOPUS là một thiết bị có cấu hình thế hệ thứ 3 cải tiến với hình học đo hình quạt. Hình học đo này khác với hình học đo của thế hệ thứ 3 thông thường ở đặc điểm về tâm của cung tròn bố trí đầu dò. Hình 4 mô tả hình học của cấu hình thế hệ thứ 3 thông thường, hình 5 mô tả hình học của một cấu hình thế hệ thứ 3 cải tiến. Các thông số tính toán cơ bản liên quan đến hình học trong việc tái tạo hình ảnh được trình bày ở các công thức từ (1) đến (6)



Hình 2: Hình học đo cấu hình thế hệ thứ 3

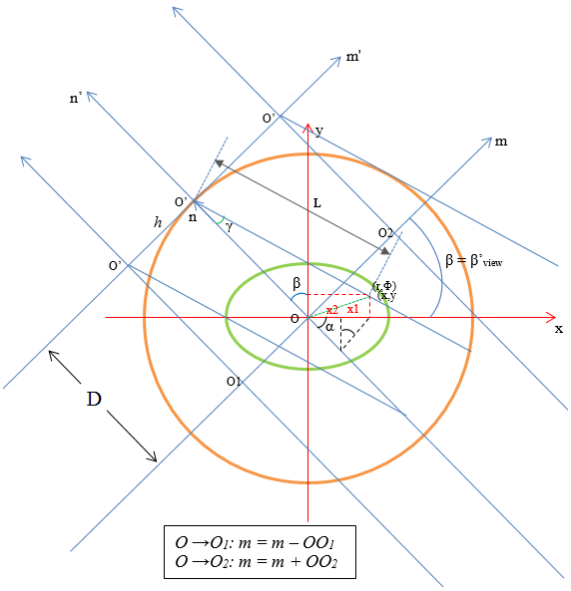
Các ký hiệu trên hình 2 bao gồm:

- D là khoảng cách từ nguồn đến tâm hệ đo,
- Điểm cần tính có tọa độ (x,y),
- γ là góc mở của chùm tia phân kỳ tại điểm đang xét,
- β là góc quay của các hình chiếu hợp với trục tung y.

Mối liên hệ giữa L, γ theo x, y:

$$L(x,y,\beta)=\sqrt{\left[D+x.\sin\beta-y.\cos\beta\right]^2+\left[x.\cos\beta+y.\sin\beta\right]^2} \quad (1)$$

$$\gamma=\tan^{-1}\left[\frac{x.\cos\beta+y.\sin\beta}{D+x.\sin\beta-y.\cos\beta}\right] \quad (2)$$



Hình 3: Hình học đo của cấu hình thế hệ thứ 3 cải tiến

Trường hợp cấu hình chùm tia phân kỳ thế hệ thứ 3 cải tiến.

$$L(x,y,\beta)=\sqrt{\left[D+x.\sin\beta-y.\cos\beta\right]^2+\left[x.\cos\beta+y.\sin\beta+h\right]^2} \quad (3)$$

$$\gamma=\tan^{-1}\left[\frac{x.\cos\beta+y.\sin\beta+h}{D+x.\sin\beta-y.\cos\beta}\right] \quad (4)$$

Trong kỹ thuật chụp cắt lớp CT, sự kết hợp của các hình chiếu ở tất cả các góc chiếu khác nhau sẽ thu được một tập số liệu 2 chiều hay còn gọi là sinogram $P(\beta,\gamma)$. Sự biến đổi giá trị hấp thụ tuyến tính tại điểm có tọa độ (x,y) sang sinogram $P(\beta,\gamma)$ được gọi là biến đổi Radon.

Trong trường hợp cấu hình thế hệ thứ 3 cải tiến, biến đổi Radon được mô tả như sau

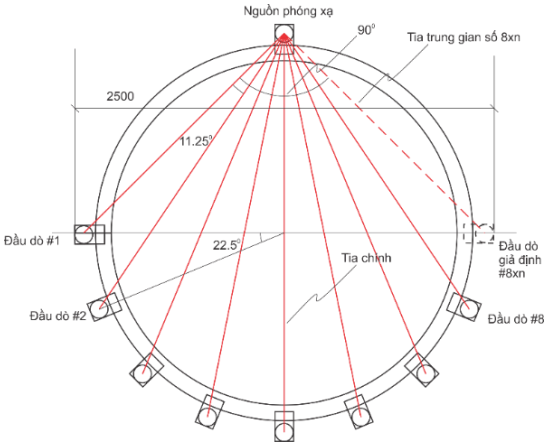
$$P(\beta,\gamma) = -\ln\left(\frac{I_\beta(\gamma)}{I_0}\right) = \int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty}\mu_{(\gamma,L)}d_l.d_\gamma \quad (5)$$

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.

$$\mu(x,y) = \Re^{-1}\{p(\beta,\gamma)\} \quad (6)$$

Các thuật toán phổ biến được áp dụng trong kỹ thuật chụp cắt lớp điện toán bao gồm thuật toán chiếu ngược có lọc (FBP) dùng phương pháp giải tích, thuật toán tái tạo đại số (ART) dùng phương pháp đại số và thuật toán tối đa hóa kỳ vọng (EM) dùng phương pháp thống kê. Hiện nay, số liệu đo đạc từ thiết bị g-OCTOPUS đã được cơ bản tái tạo thành công bằng thuật toán FBP. Các hình ảnh chụp từ các vật mẫu sẽ được giới thiệu trong phần tiếp theo của báo cáo này.

III. MÔ TẢ PHẦN CỨNG THIẾT BỊ

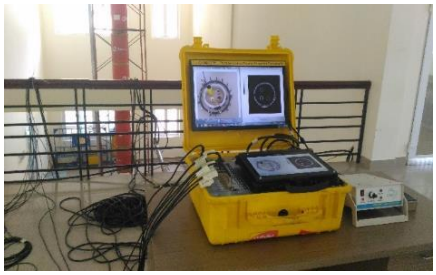


Hình 4: Mô tả cấu hình thiết bị

Thiết bị có tên là g-OCTOPUS với gantry có đường kính 2500 mm. Thiết bị sử dụng 1 nguồn phóng xạ Co-60 có hoạt độ khoảng 100mCi và 08 đầu dò nhấp nháy NaI (Tl) với kích thước tinh thể 2 x 2 inch. Nguồn và đầu dò được bố trí dạng hình quạt trên gantry ở các vị trí như mô tả trên Hình 2. Hai đầu dò cạnh nhau (ví dụ như đầu dò số 1 và đầu dò số 2) lệch nhau một góc 22.5^0 với tâm là tâm của gantry. Hai đầu dò này sẽ lệch nhau một góc 11.25^0 nếu lấy tâm là nguồn phóng xạ. Chùm tia phóng xạ dạng hình quạt phát ra từ nguồn có góc mở khoảng 95^0 sẽ bao phủ từ đầu dò #1 đến hết một đầu dò giả định #8n (với n là số lần dịch chuyển trung gian của các đầu dò). Với n lần dịch chuyển trung gian, số liệu thu nhận được trên 1 hình chiếu sẽ có 8n tia chiếu. Tùy vào từng bài toán cụ thể, số hình chiếu và số tia chiếu trên mỗi hình chiếu dễ dàng được thiết lập thông qua phần mềm điều khiển tự động. Hình 5a là hình chụp phần gantry của thiết bị và hình 3b chụp khối điều khiển tự động và thu nhận số liệu đo đạc. Gantry là một cơ cấu xoay có 3 lớp, ở đó lớp dưới cùng cố định, lớp giữa và lớp giữa có thể xoay tròn. Trên gantry ngoài nguồn phóng xạ và 8 đầu dò phóng xạ được chuẩn trực như thể hiện trong hình 5a thì còn có 2 động cơ bước M1 và M2. Trong đó M1 là động cơ vận hành 2 lớp trên của gantry xoay còn M2 chỉ vận hành để xoay lớp trên cùng của gantry.

Hình 5b là khối điều khiển tự động và thu nhận số liệu đo đạc phóng xạ. Khối điều khiển này có 2 khối con: i) khối điều khiển chuyển động và ii) khối 08 máy đo hạt nhân đơn kênh. Hai khối này vận hành đồng bộ với nhau qua phần mềm điều khiển tự động và thu nhận số liệu. Khối 08 máy đo hạt nhân đơn kênh kết nối với 08 đầu dò NaI(Tl) thông qua các bộ cáp đồng trục dài 25m. Mạch điều khiển trung tâm kết nối và điều khiển các máy đo hạt nhân. Việc thiết lập cao thế làm việc cho đầu dò, ngưỡng đo, thời gian đo được thực hiện hoàn toàn qua máy tính. Số liệu đo từ mỗi kênh được gửi về máy tính theo từng bó số liệu sau mỗi 50

miligiây. Do đó, thời gian đo cho mỗi phép đo phải là bội số của 50, ví dụ 100, 250, 500, 1000 giây.



5a 5b

Hình 5a: Phần gantry của thiết bị và **5b:** khối điều khiển tự động và thu nhận số liệu

IV. MỘT SỐ KẾT QUẢ THỬ NGHIỆM

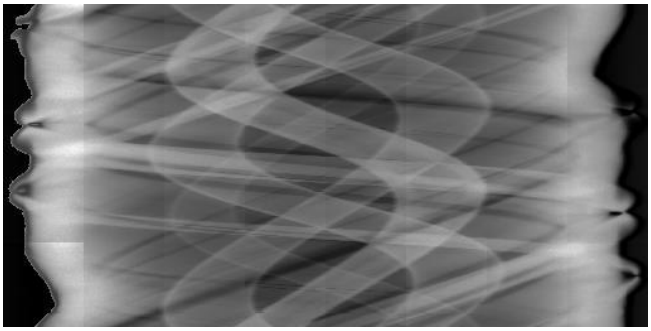
Phần này trình bày sơ lược về kết quả ứng dụng ban đầu của thiết bị g-OCTOPUS trên vật mẫu mô phỏng đối tượng công nghiệp. Với mục tiêu ứng dụng hiệu quả vào thực tiễn nên một số cơ cấu chuyển động của g-OCTOPUS đã được nghiên cứu để rút ngắn tổng thời gian vận hành đo đạc một cách hợp lý, đáp ứng yêu cầu về an toàn và hiệu quả của nhà máy công nghiệp. Bảng 1 thể hiện tổng thời gian vận hành đo đạc với các thông số vận hành khác nhau. Với t là thời gian đo của từng phép đo, n là số lần dịch chuyển trung gian, N là số hình chiếu cần đo, thiết bị có thể chụp một lát cắt trong 3 giờ cho 128 hình chiếu với 256 tia chiếu trên một hình chiếu.

Bảng 1: Tổng thời gian đo đạc với các thông số vận hành khác nhau

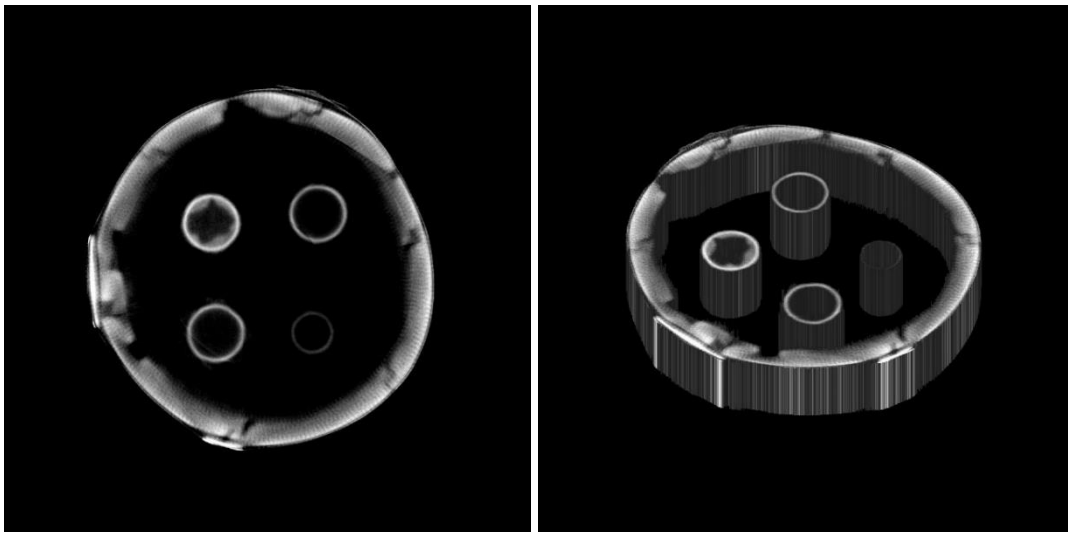
Tổng góc quay	Tổng số hình chiếu (N)	Số lần dịch chuyển trung gian (n)	Thời gian đo (t)	Tổng thời gian (giờ)
360^0	128	31	1000 ms	3.8
360^0	128	63	1000 ms	4.9
360^0	128	63	2000 ms	7.3

Hình 6 là hình chụp thiết bị và vật mẫu. Vật mẫu có kích thước lớn với đường kính 1,7m bao gồm 2 thành phần là bê tông và thép. Do đặc trưng của cấu hình thiết bị nên các tia gamma truyền qua vật thể không được chuẩn trực vật lý. Việc loại bỏ tán xạ được thực hiện bằng cách cắt ngưỡng điện tử. Hình 7 minh họa sinogram của của một bộ số hiệu hình chiếu. Hình 8a là hình ảnh tái tạo với bộ số liệu đo với N=256, n = 63, t = 2000ms. Hình 8b thể hiện hình chụp 3D của vật thể. Việc đánh giá định lượng hiện vẫn đang được triển khai bằng việc tiến hành thêm nhiều thí nghiệm, trích xuất dữ liệu tái tạo, áp dụng các tiêu chuẩn đánh giá,… Báo cáo này chỉ trình bày một cách khái quát các kết quả đạt được về việc chế tạo thiết bị, việc đánh giá chất lượng thiết bị và đánh giá định lượng hình ảnh tái tạo sẽ được trình bày ở một báo cáo khác.

Hình 6: Thiết bị g-OCTOPUS và vật mẫu



Hình 7: Sinogram của một bộ số liệu hình chiếu



8a 8b

Hình 8a: Hình ảnh tái tạo vật mẫu với N=256, n = 63, t=2000ms.

Hình 8b: Hình ảnh tái tạo 3D của vật mẫu.

V. KẾT LUẬN

Thiết bị g-OCTOPUS là một thiết bị chụp cắt lớp điện toán công nghiệp kích thước lớn, có thể dễ dàng di chuyển và lắp đặt để vận hành tại hiện trường. Được chế tạo với mục đích phục vụ công tác kiểm tra, bảo dưỡng trong sản xuất, g-OCTOPUS có thể cung cấp đến khách hàng các thông tin và hình ảnh rất trực quan mà không có một kỹ thuật nào có thể thực hiện được trên đối tượng đó. Thiết bị hiện vẫn đang trong giai đoạn nghiên cứu và phát triển hoàn thiện trong khuôn khổ của một đề tài cấp Bộ. Qua một số kết quả ban đầu, sơ bộ có thể đánh giá được tiềm năng ứng dụng to lớn của thiết bị. Tuy nhiên, để có thể đánh giá một cách khoa học khả năng ứng dụng, Trung tâm Ứng dụng kỹ thuật hạt nhân trong công nghiệp hiện đang xúc tiến một đề tài với nhà máy lọc dầu Dung Quất với mục tiêu đưa thiết bị vào thử nghiệm trên một đối tượng cụ thể tại nhà máy, làm cơ sở đánh giá năng lực công nghệ và ứng dụng thiết

bị trong thời gian tới ở phạm vi rộng hơn tại nhà máy lọc dầu Dung Quất nói riêng và các nhà máy khác nói chung.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Kim Jong Bum, Development of gamma ray tomographic system for industrial plant inspection, PhD thesis, KAIST, 2011

[2] Đặng Nguyễn Thê Duy và các cộng sự "Nghiên cứu chế tạo thử nghiệm thiết bị CT công nghiệp loại 1 nguồn – 1 đầu dò quy mô phòng thí nghiệm", báo cáo đề tài cấp cơ sở, mã số CS 08/06-01, 2009.

[3] Đặng Nguyễn Thê Duy và các cộng sự " Thiết bị chụp cắt lớp thử nghiệmkhảo sát các thiết bị công nghiệp, *Hội nghị Khoa học và công nghệ hạt nhân lần thứ 8*, 2009.

[4] Nguyễn Hữu Quang và các cộng sự "Nghiên cứu thiết kế chế tạo thiết bị chụp cắt lớp điện toán ứng dụng trong công nghiệp dầu khí ở Việt Nam", báo cáo đề tài cấp nhà nước, mã số KC.05.20/11-15, 2016.

[5] Đặng Nguyễn Thế Duy và các cộng sự "A Third Generation Gamma-Ray Industrial Computed Tomography Systems for Pipeline Inspection", Jurnal Teknologi, 77:17 (2015), p 49 – 53, www.jurnalteknologi.utm.my, eISSN 2180–3722

[6] Ghiyas-ud-Din, S. Gul, I. H. Khan, I. R. Chughtai, "Determination of Flow Patterns Across a 90^0 Horizontal Bend During Two-Phase Flow Operation By Gamma Computer Tomography", presented in the TRACER - 7: 7th. International Conference on Tracers and Tracing Methods held in Marrakech, Morocco from 13-15 October 2014.

DEVELOPMENT OF FOURTH-GENERATION COMPUTED TOMOGRAPHY CONFIGURATION FOR INVESTIGATION OF INDUSTRIAL EQUIPMENT < 2M

TRAN THANH MINH, DANG NGUYEN THE DUY, NGUYEN VAN CHUAN, BUI TRONG DUY, NGUYEN THANH CHAU

Centre for Applications of Nuclear Technique in Industry; 01, DT 723, Da Lat, Lam Dong
Email: minhtt@canti.vn

Abstract: Nowadays computed tomography technique has become a standard diagnostic tool in medical and it is also a useful non-destructive method in industry. Computed tomography devices using gamma ray getting a lot of advantages when apply for large size industry objects because of its source size and price compared to X ray in same energy. On over years, Centre for Applications of Nuclear Technique in Industry has designed and manufactured many gamma-ray industrial devices for a variety of applications such as first generation g-ORBIT, 3rd generation devices g-COMET and large size CT device g-OCTOPUS. By using Co-60 gamma sources with activity about 100 mCi and an array of 08 NaI (Tl) probes of 2 x 2 inches, g-OTOPUS can be applied effectively on industry tower which has diameter up to 2m.

Keyword: Large scale CT**,** Fourth-Genaration CT, CT for Industry