

Nghiên cứu công nghệ xử lý quặng urani có hàm lượng $U \geq 0,1\%$ bằng phương pháp hòa tách tĩnh

Trần Thế Định*, Lê Quang Thái, Lê Thị Hồng Hà

Viện Công nghệ Xạ hiếm, Viện Năng lượng Nguyên tử Việt Nam

Ngày nhận bài 13/9/2021; ngày chuyển phản biện 16/9/2021; ngày nhận phản biện 15/10/2021; ngày chấp nhận đăng 20/10/2021

Tóm tắt:

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu hoàn thiện giải pháp công nghệ cho quá trình xử lý quặng urani có hàm lượng $U \geq 0,1\%$ bằng phương pháp hòa tách tĩnh để thu hồi tối đa urani từ quặng. Các kết quả nghiên cứu thu được là cơ sở phục vụ tính toán tiền khả thi dự án nhà máy chế biến quặng urani và chuẩn bị cho bước chuyển giao công nghệ xây dựng nhà máy sản xuất urani kỹ thuật khi cần thiết.

Từ khóa: hàm lượng urani, hòa tách tĩnh, quặng urani.

Chỉ số phân loại: 2.4

Research on technology for processing uranium ore of uranium content $\geq 0.1\%$ by static leaching method

The Dinh Tran*, Quang Thai Le, Thi Hong Ha Le

Institute for Technology of Radioactive and Rare Elements,
Vietnam Atomic Energy Institute

Received 13 September 2021; accepted 20 October 2021

Abstract:

This paper presented the results of research on the improvement of the technology for processing uranium ore containing $U \geq 0.1\%$ by the static leaching method to enhance the recovery of uranium from the ore. The results obtained could serve as the basics for the pre-feasibility study to establish a uranium ore processing plant and to prepare for the technology transfer in building a yellowcake production plant when necessary.

Keywords: content of uranium, static leaching, uranium ore.

Classification number: 2.4

Đặt vấn đề

Trong những năm gần đây, phương pháp hòa tách đồng đã được lựa chọn là phương án chủ yếu để xử lý các loại quặng urani có hàm lượng thấp ($[U_3O_8] < 0,1\%$). Năm 2012, Viện Công nghệ Xạ hiếm đã tiến hành thử nghiệm mẫu công nghệ đối với lô chuẩn - lô A (là 1 trong 6 lô của khu Pà Lừa - Pà Rồng, tỉnh Quảng Nam) có hàm lượng urani trung bình là 0,07% và đã xử lý theo kỹ thuật hòa tách thấm, đánh đồng ở quy mô lên đến hơn 20 tấn/mẻ để phục vụ đánh giá tài nguyên cấp 122 giai đoạn 1 của Đề án “Điều tra, đánh giá, thăm dò tài nguyên urani” [1, 2].

Những ưu điểm chính của hòa tách đồng là không đòi hỏi đầu tư thiết bị lớn, chi phí vận hành thấp, phù hợp với các phương pháp yêu cầu về kinh tế để xử lý các quặng urani nghèo. Tuy nhiên, do kỹ thuật xử lý đơn giản cùng với quặng chỉ gia công đến cỡ hạt thô (khoảng 1 cm) nên hiệu suất thu hồi urani thường thấp hơn so với các kỹ thuật hòa tách thông thường [3-7].

Những năm gần đây, Liên đoàn Địa chất Xạ hiếm (Tổng cục Địa chất và Khoáng sản Việt Nam) đang thực hiện Đề án trên với mục tiêu hoàn thành cơ bản việc điều tra, đánh giá, thăm dò trữ lượng nguồn tài nguyên urani. Kết quả đánh giá thăm dò ở một số điểm như: lô G (khu Pà Lừa - Pà Rồng, tỉnh Quảng Nam) cho thấy hàm lượng urani lớn hơn so với lô A (có những vỉa hàm lượng urani $> 0,5\%$, thậm chí có vỉa $> 1\%$).

Mặc dù, hiện chưa xác định chính xác được trữ lượng quặng có hàm lượng urani cao vì việc thăm dò còn đang tiếp diễn nhưng nếu xử lý loại quặng có hàm lượng urani tương đối cao mà áp dụng kỹ thuật hòa tách thấm đã thực hiện thì sẽ không đạt hiệu quả cao đối với loại quặng này, gây mất mát tài nguyên urani [8-11]. Vì vậy, việc tiến hành

*Tác giả liên hệ: Email: tranthedinh0802@hotmail.com

các nghiên cứu công nghệ để xử lý đối tượng quặng có hàm lượng urani cao ($U \geq 0,1\%$) vùng Nông Sơn bằng kỹ thuật hòa tách đồng được cải tiến là rất cần thiết. Với cách tiếp cận mới, có thể đưa ra phương án công nghệ bổ sung để đánh giá đúng về tiềm năng và khả năng khai thác urani vùng Nông Sơn.

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu lựa chọn các thông số thích hợp cho quá trình xử lý quặng urani có hàm lượng $U \geq 0,1\%$ bằng phương pháp hòa tách tĩnh (lựa chọn quy mô thí nghiệm, phương pháp tưới...) để cải thiện hiệu suất thu hồi urani, giảm thiểu hàm lượng urani có trong bã quặng sau hòa tách.

Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

Đối tượng

Quặng urani vùng Pà Lừa - Pà Ròng (Quảng Nam), có hàm lượng $U_3O_8 = 0,208\%$ ($U = 0,176\%$). Quặng trước khi được sử dụng cho thí nghiệm hòa tách tĩnh được đập xuống cỡ hạt 10 mm. Tỷ lệ các cấp hạt sau khi đập được thể hiện ở bảng 1.

Bảng 1. Tỷ lệ các cấp hạt quặng sau khi gia công.

TT	Cấp hạt (mm)	Tỷ lệ (%)	TT	Cấp hạt (mm)	Tỷ lệ (%)
1	+1,4	53,8	3	-0,850+0,425	16,1
2	-1,4+0,850	8,1	4	-0,425	22,0
Tổng					100

Thiết bị, dụng cụ

Thiết bị agglomerat hóa, cột nhựa PVC và acrylic có đường kính 75 mm, cao 500 mm, máy khuấy. Ngoài ra còn sử dụng máy đập, nghiền, trộn, thiết bị sàng, cân, tủ sấy, máy đo thế oxy hóa - khử và pH. Hóa chất sử dụng là axit H_2SO_4 và MnO_2 kỹ thuật.

Phương pháp thực nghiệm

Hòa tách ngâm: các thí nghiệm hòa tách ngâm quặng với dung dịch H_2SO_4 được tiến hành theo các bước sau:

+ Cân 2,5 kg mẫu quặng (cả ẩm tự nhiên khoảng 2% và đã được đập xuống cỡ hạt 10 mm). Cân 10 g MnO_2 (kỹ thuật) và trộn đều với số quặng đã chuẩn bị ở trên. Chúng tôi phải thực hiện bước này vì sử dụng tác nhân oxy hóa là MnO_2 - chất không tan trong dung dịch (nếu dùng tác nhân khác tan được trong nước thì pha trực tiếp vào dung dịch axit ở lần bơm thứ hai trở đi).

+ Nạp quặng vào cột nhựa acrylic (trong suốt) để có thể quan sát được một số hiện tượng bên trong cột. Cột có đường kính 75 mm, cao 500 mm và đáy cột có lớp lót bằng miếng nhựa PVC ở dưới và lớp bông thủy tinh ở trên để đỡ và giữ lớp quặng.

+ Pha dung dịch H_2SO_4 50 và 90 g/l: dung dịch 90 g/l được sử dụng để bơm vào cột lần đầu tiên (đặc hơn, đảm bảo đủ axit để hòa tan các khoáng dễ tan trong quặng, đặc biệt khoáng cacbonat); dung dịch axit loãng hơn (50 g/l) sử dụng để bơm vào cột những lần ngâm tiếp theo.

+ Bơm dung dịch axit loại 90 g/l với lưu lượng 20 ml/phút vào cột chứa quặng qua van lắp dưới đáy cột. Với đường kính cột đã sử dụng thì lưu lượng này đảm bảo dung dịch dâng đều trong cột (do các cấp hạt thường không phân bố đều theo cùng mặt cắt của cột) cho tới khi dung dịch dâng ngang bằng bề mặt quặng thì dừng. Sau 24 giờ ngâm tách, dung dịch ngâm được tháo kiệt ra khỏi cột qua van lắp ở phía đáy. Sau đó, bơm dung dịch axit loại 50 g/l vào cột. Ghi lại thể tích dung dịch bơm vào và rút khỏi cột ở mỗi lần bơm và phân tích nồng độ urani, tạp chất của các mẫu dung dịch thu được để tính hiệu suất thu hồi urani. Tiến hành ngâm 1 lần/ngày cho đến khi nồng độ urani trong dung dịch thu sau cùng nhỏ hơn 0,1 g/l thì dừng.

+ Tiến hành hòa tách như vậy cho đến khi nồng độ urani trong dung dịch rút khỏi cột hầu như bằng không thì bắt đầu rửa bã quặng cho hết axit dư. Dung dịch thu được khi rửa bã được sử dụng cho mẻ hòa tách tiếp theo. Việc rửa bã cũng được tiến hành tương tự như khi hòa tách nhưng không cần thời gian ngâm nhiều.

Hòa tách trộn ú: hòa tách trộn ú được thực hiện theo các bước sau:

+ Cân 1,8 kg mẫu quặng (cả ẩm tự nhiên khoảng 2% và đã được đập xuống cỡ hạt 10 mm).

+ Cân và trộn quặng với MnO_2 : cân 7,2 g MnO_2 (kỹ thuật) và trộn đều với số quặng đã chuẩn bị ở trên bằng xô nhựa.

+ Pha dung dịch axit: lấy thể tích H_2SO_4 đặc sao cho đạt được tiêu hao axit dự kiến đủ để hòa tan hết urani trong mẫu quặng (thực tế tiêu hao axit khoảng 50 kg/tấn quặng khô). Tiếp tục lấy thể tích nước sạch sao cho khi pha với axit đạt được tỷ lệ lỏng/rắn (thể tích lỏng/khối lượng quặng) mong muốn cho vào ống đong (thực tế đã thí nghiệm với các giá trị thể tích nước là 78 ml, tương ứng với độ ẩm 7%). Sau đó đổ từ từ toàn bộ axit đã lấy vào ống đong có chứa nước.

+ Cho từ từ dung dịch axit đã pha vào khối quặng trong lúc luôn đảo đều khối quặng và chất oxy hóa; trộn đến khi quan sát bằng mắt thấy đều thì dừng lại (khoảng 5-7 phút).

+ Nạp khối quặng vào cột (đường kính 67 mm). Chiều cao lớp quặng ban đầu khoảng 390 mm.

+ Ủ khối quặng trong thời gian 1, 2 và 3 ngày đêm.

+ Việc rửa bã quặng để thu nhận dung dịch hòa tách được tiến hành một cách gián đoạn bằng dung dịch axit (1/1000 theo thể tích). Cụ thể, lần đầu tiên sử dụng thể tích dung dịch axit bằng 0,15 lần khối lượng quặng (để bù phần dung dịch bị giữ lại trong lớp quặng), các lần rửa tiếp theo sử dụng thể tích dung dịch axit bằng 0,1 lần khối lượng quặng. Tiến hành rửa đến khi nồng độ urani trong dung dịch ra khỏi cột không đáng kể.

+ Lấy mẫu dung dịch các phân đoạn rửa để phân tích thành phần. Phần dung dịch còn lại của các phân đoạn gom chung thành dung dịch hòa tách.

+ Cuối cùng bã quặng được rửa bằng nước để loại axit dư trong bã.

Hòa tách đồng quặng đã agglomerat hóa: nạp 2 kg quặng (cỡ hạt <10 mm) đã agglomerat hóa vào cột. Dùng bơm định lượng tưới dung dịch axit sunfuric có nồng độ 50 g/l vào đỉnh cột với tốc độ 30 l/m²/giờ. Mốc tính thời gian hòa tách là thời điểm pha lỏng đi ra khỏi đầu dưới của cột. Tưới đến khi nào dung dịch ló ra ở đáy cột có pH<1 thì dừng, để chảy hết qua 1 ngày thì tưới tiếp. Xác định thể tích tưới và thu nồng độ urani trong mỗi lần tưới để tính hiệu suất thu hồi urani sau mỗi lần tưới (thể tích tưới là lượng dung dịch H₂SO₄ tưới từ trên đỉnh cột quặng được tính từ lúc bắt đầu tưới đến khi kết thúc tưới; thể tích thu là lượng dung dịch thu được ở dưới đáy cột sau khi để cột chảy hết của mỗi lần tưới).

Tiến hành hòa tách khi bơm toàn bộ dung dịch axit đã chuẩn bị và thu dung dịch đã chảy qua cột làm dung dịch hòa tách. Rửa bằng dung dịch H₂SO₄ loãng (0,1% theo thể tích). Xác định thể tích dung dịch hòa tách và rửa, phân tích hàm lượng urani trong dung dịch và bã quặng để tính hiệu suất thu hồi urani.

Hàm lượng urani trong quặng, dung dịch và bã quặng sau hòa tách được phân tích bằng phương pháp ICP-MS (Agilent USA 7500a và ICP-OES) tại Viện Công nghệ Xạ hiếm.

Hiệu suất thu hồi urani được xác định theo công thức:

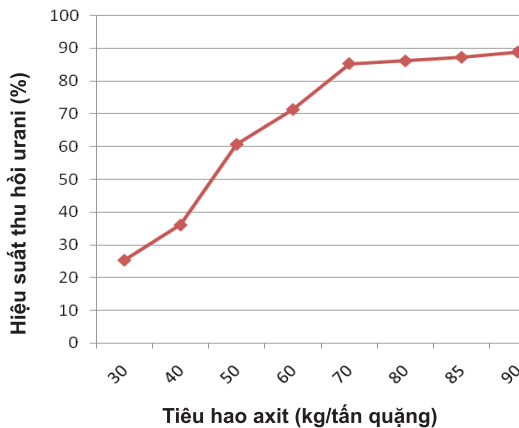
$$H = (m_1/m_0) \times 100\%$$

trong đó: m₀ là khối lượng urani có trong quặng đem hòa tách (có độ ẩm tự nhiên); m₁ là khối lượng urani thu được trong dung dịch hòa tách.

Kết quả và bàn luận

Kết quả hòa tách ngâm

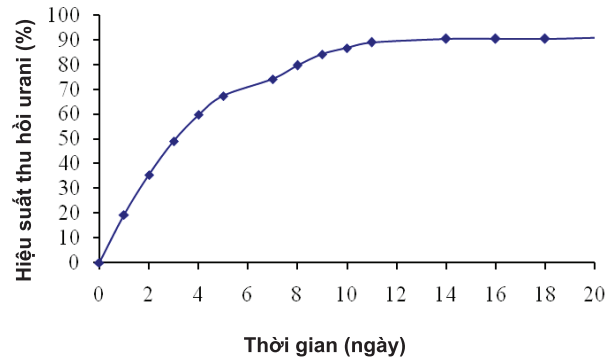
Ảnh hưởng của tiêu hao axit đến hiệu suất thu hồi urani: thí nghiệm được tiến hành với tiêu hao axit thay đổi từ 30, 40, 50, 60, 70, 80, 85 và 90 kg/tấn quặng. Dung dịch axit được



Hình 1. Ảnh hưởng của tiêu hao axit đến hiệu suất thu hồi urani.

bơm vào cột chứa quặng với tốc độ 30 l/m²/giờ thể hiện ở hình 1 cho thấy, với tiêu hao axit 70 kg/tấn quặng, hiệu suất thu hồi urani đạt 85,3%.

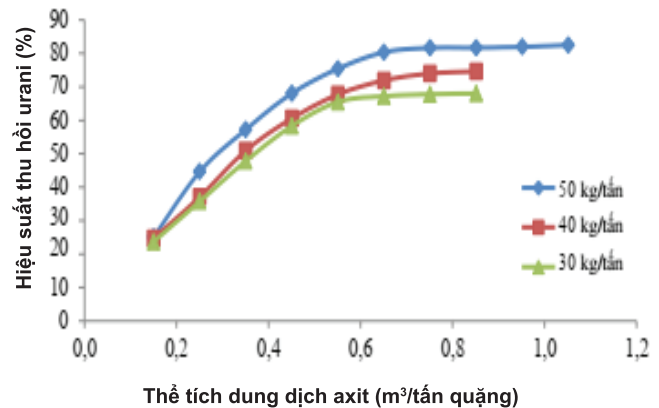
Ảnh hưởng của thời gian hòa tách đến hiệu suất thu hồi urani: kết quả thực nghiệm về ảnh hưởng của thời gian hòa tách đến hiệu suất thu hồi urani được thể hiện ở hình 2. Kết quả cho thấy, với thời gian 11-14 ngày, hiệu suất thu hồi urani đạt 85,3%.



Hình 2. Ảnh hưởng của thời gian hòa tách đến hiệu suất thu hồi urani.

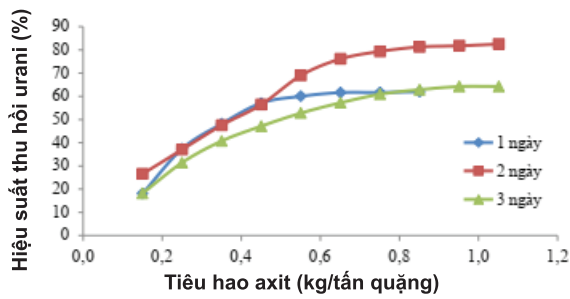
Kết quả hòa tách trộn ủ

Ảnh hưởng của tiêu hao axit khi trộn và thể tích dung dịch axit khi rửa bã quặng đến hiệu suất thu hồi urani: thí nghiệm được tiến hành với tiêu hao axit thay đổi từ 30, 40 và 50 kg/tấn quặng. Kết quả hình 3 cho thấy, với tiêu hao axit 50 kg/tấn quặng, hiệu suất thu hồi urani đạt cao nhất 82,5%.



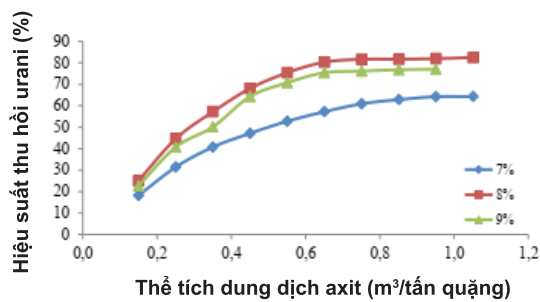
Hình 3. Ảnh hưởng của tiêu hao axit khi trộn và thể tích dung dịch axit khi rửa bã quặng đến hiệu suất thu hồi urani.

Ảnh hưởng của thời gian ủ và thể tích dung dịch axit khi rửa bã quặng đến hiệu suất thu hồi urani: thí nghiệm được tiến hành với thời gian ủ thay đổi từ 1, 2 và 3 ngày. Kết quả ở hình 4 cho thấy, với thời gian ủ 2 ngày, hiệu suất thu hồi urani đạt cao nhất 82,5%.



Hình 4. Ảnh hưởng của thời gian ủ và thể tích dung dịch axit khi rửa bã quặng đến hiệu suất thu hồi urani.

Ảnh hưởng của độ ẩm khi trộn và thể tích dung dịch axit khi rửa bã quặng đến hiệu suất thu hồi urani: thí nghiệm được tiến hành với độ ẩm thay đổi từ 7, 8 và 9%. Kết quả ở hình 5 cho thấy, với độ ẩm 8%, hiệu suất thu hồi urani đạt cao nhất 82,5%.

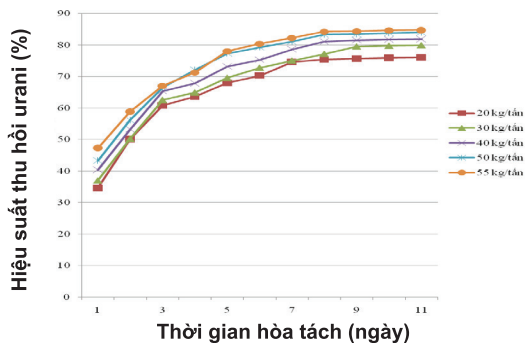


Hình 5. Ảnh hưởng của độ ẩm khi trộn và thể tích dung dịch axit khi rửa bã quặng đến hiệu suất thu hồi urani.

Như vậy, qua kết quả thí nghiệm đã lựa chọn được các thông số thích hợp, cụ thể: tiêu hao axit là 50 kg/tấn quặng, tiêu hao chất oxy hóa MnO_2 là 4 kg/tấn quặng, độ ẩm là 8%, thời gian ủ là 2 ngày, thể tích dung dịch axit khi rửa theo tỷ lệ rắn/lỏng=1,05 l, tốc độ tưới 25 l/m²/giờ cho hiệu suất thu hồi urani đạt 82,5% (hình 5).

Kết quả hòa tách đồng quặng đã agglomerat hóa

Thí nghiệm được tiến hành với tiêu hao axit thay đổi từ 20, 30, 40, 50 và 55 kg/tấn quặng, độ ẩm của quặng là 8%. Dung dịch axit được bơm với tốc độ tưới 30 l/m²/giờ. Sự phụ thuộc của hiệu suất thu hồi urani vào tiêu hao axit được chỉ ra ở hình 6. Kết quả cho thấy, với tiêu hao axit 50 kg/tấn quặng, hiệu suất thu hồi urani đạt ~81%.



Hình 6. Ảnh hưởng của tiêu hao axit đến hiệu suất thu hồi urani đối với quặng đã agglomerat hóa.

Từ các kết quả thực nghiệm cho thấy, đối với quặng urani nghèo vùng Pà Lừa - Pà Ròng đều có thể sử dụng 4 phương pháp hoà tách: khuấy trộn, ngâm, trộn ủ và thấm có sử dụng quá trình agglomerat hóa quặng đầu vào, ứng với những điều kiện nhất định để đạt hiệu suất thu hồi urani >80% và urani còn lại trong bã rắn <0,01%. Tuy vậy, theo số liệu công bố của một số nhà máy sản xuất urani kỹ thuật trên thế giới thì phân bố chi phí vốn đầu tư và vận hành xử lý quặng urani như sau: khâu vận chuyển và gia công quặng chiếm 26-43%; hoà tách chiếm 5-15%; công đoạn phân chia rắn lỏng 24-38%; khâu làm giàu, làm sạch và kết tủa sản phẩm 17-22%; xử lý bã thải chiếm 1-2 % [1].

Do phương pháp hòa tách khuấy trộn yêu cầu kích thước hạt quặng nhỏ hơn rất nhiều, nên khi bổ sung axit, chất oxy hóa lại phải duy trì pH và thế oxy hóa khử ở mức độ nhất định. Vì vậy, phương pháp hòa tách khuấy trộn có ưu điểm là nồng độ urani trong dung dịch sau hòa tách và hiệu suất thu hồi urani cao hơn; tiêu hao axit, chất oxy hóa và nồng độ sắt thấp hơn khi so với phương pháp hòa tách tĩnh, vì trong hòa tách tĩnh sử dụng H_2SO_4 có nồng độ cao ngay từ ban đầu. Chính vì nồng độ sắt trong dung dịch hòa tách thấp, nên giai đoạn tách tạp chất tiếp theo sẽ thuận lợi hơn. Tuy nhiên, hòa tách quặng có hàm lượng urani thấp ($U_3O_8 \leq 1\%$) bằng hòa tách tĩnh sẽ có hiệu quả hơn so với hòa tách khuấy trộn. Hòa tách khuấy trộn có hiệu quả cao khi xử lý quặng urani có hàm lượng cao, nhưng phải nghiền mịn quặng, dẫn đến tăng chi phí nghiền cho khâu lọc, rửa và phát sinh bụi nhiều [1].

Trong việc sử dụng phương pháp hoà tách tĩnh, chúng tôi đã tiến hành thử nghiệm hoà tách quặng urani theo 3 kỹ thuật khác nhau: ngâm, trộn ủ và thấm có sử dụng quá trình agglomerat hóa quặng đầu vào. Kết quả so sánh các thông số của quá trình được thể hiện ở bảng 2 cho thấy, hòa tách trộn ủ có ưu điểm hơn so với ngâm và hòa tách có sử dụng quá trình agglomerat hóa thể hiện rõ nét là thông số tiêu hao axit, thời gian hòa tách và nồng độ urani trong dịch sau hòa tách, trong khi đó hiệu suất thu hồi urani đạt tương đối cao (~82,5%). Như vậy, đã lựa chọn được hòa tách trộn ủ là phương pháp phù hợp để xử lý loại quặng này.

Bảng 2. So sánh các thông số của quá trình hoà tách tĩnh.

Các thông số hòa tách	Hòa tách ngâm	Hòa tách thấm có sử dụng quá trình agglomerat hóa quặng đầu vào	Hòa tách trộn ủ
Kích thước quặng (cm)	≤1 (95%)	≤1 (95%)	≤1 (95%)
Tiêu hao axit (kg/tấn)	70	50	50
Tiêu hao chất oxy hóa (kg/tấn)	4	4	4
Tốc độ tưới dung dịch (l/m²/giờ)	340	30	~25
Thời gian ủ (ngày)	0	0	2
Thời gian hòa tách (ngày)	11-14	11	4-5
Nồng độ urani trong dung dịch hòa tách (g/l)	0,6-0,9	1-1,2	~1,5-1,6
Hiệu suất thu hồi urani (%)	85,3	81,0	~82,5

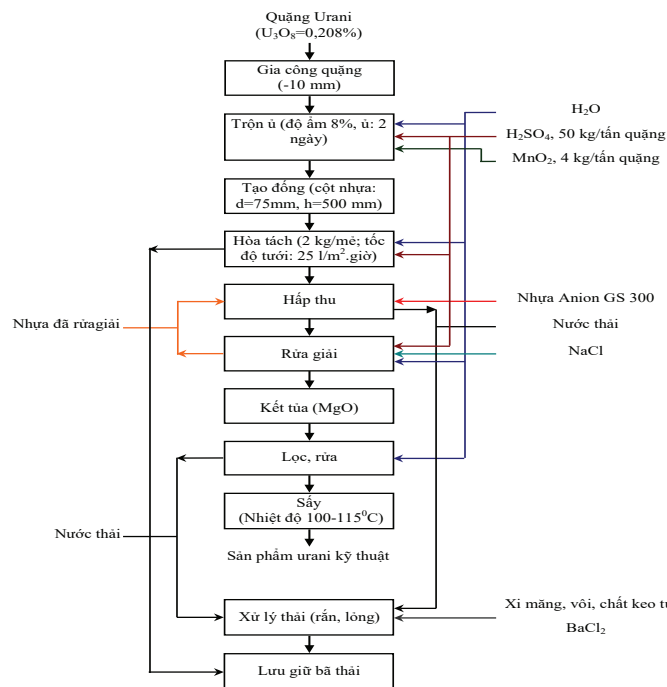
Kiểm tra quy trình công nghệ xử lý quặng urani có hàm lượng $U \geq 0,1\%$ bằng phương pháp hòa tách tĩnh

Mục đích nhằm xây dựng quy trình công nghệ xử lý quặng urani có hàm lượng $U \geq 0,1\%$ bằng phương pháp hòa tách tĩnh, với các thông số phù hợp để đạt hiệu suất thu hồi urani tối ưu và giảm hàm lượng urani trong bã quặng. Kết quả cụ thể được tổng hợp ở bảng 3.

Bảng 3. Thông số hòa tách quặng urani có hàm lượng $U \geq 0,1\%$ bằng phương pháp hòa tách tĩnh.

Các thông số hòa tách	Giá trị
Tiêu hao axit (kg/tấn)	50
Tiêu hao chất oxy hóa (kg/tấn)	4
Tốc độ tưới dung dịch (l/m ² /giờ)	~25
Thời gian ủ (ngày)	2
Nồng độ urani trong dung dịch hòa tách (g/l)	~1,5-1,6
Nồng độ Fe trong dung dịch hòa tách (g/l)	~6-7
Hiệu suất thu hồi urani (%)	~82,5

Các thông số công nghệ và bước tiến hành cụ thể được minh họa ở hình 7.



Hình 7. Quy trình công nghệ xử lý quặng urani có hàm lượng $U \geq 0,1\%$ bằng phương pháp hòa tách tĩnh.

Kết luận

Nghiên cứu đã lựa chọn được các điều kiện hòa tách thích hợp trong công nghệ xử lý quặng urani có hàm lượng $U \geq 0,1\%$ bằng phương pháp hòa tách tĩnh để đạt hiệu suất thu hồi urani tối ưu, cụ thể:

- Với thí nghiệm hòa tách ngâm, tiêu hao axit 70 kg/tấn quặng, cho hiệu suất thu hồi urani đạt 85,3% trong thời gian 11-14 ngày.

- Với thí nghiệm hòa tách thấm đối với quặng đã agglomerat hóa trên quy trình sẵn có cho thấy, tiêu hao axit 50 kg/tấn quặng, hiệu suất thu hồi urani đạt ~81,0% trong thời gian 11 ngày.

- Với thí nghiệm hòa tách trộn ủ, các thông số thích hợp là tiêu hao axit 50 kg/tấn quặng, chất oxy hóa MnO_2 4 kg/tấn quặng, độ ẩm 8%, thời gian ủ là 2 ngày, thể tích dung dịch axit khi rửa theo tỷ lệ rắn/lỏng=1,05, tốc độ tưới 25 l/m²/giờ cho hiệu suất thu hồi urani đạt 82,5%. Qua đó cho thấy, hòa tách trộn ủ là phương pháp phù hợp để xử lý loại quặng urani có hàm lượng $U \geq 0,1\%$.

Trên cơ sở đó đã xây dựng được quy trình công nghệ xử lý quặng urani có hàm lượng $U \geq 0,1\%$ bằng phương pháp hòa tách tĩnh với các thông số cụ thể.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Thân Văn Liên (2013), *Xử lý mẫu công nghệ thu nhận urani*, Báo cáo nhiệm vụ khoa học và công nghệ cấp nhà nước, Viện Công nghệ Xạ hiếm (Viện Năng lượng Nguyên tử Việt Nam).

[2] Thân Văn Liên (2016), *Nghiên cứu cải tiến công nghệ xử lý quặng urani nghèo bằng phương pháp hòa tách thấm sử dụng quá trình agglomerat hóa quặng đầu vào*, Báo cáo tổng kết đề tài khoa học và công nghệ cấp Bộ, Viện Công nghệ Xạ hiếm (Viện Năng lượng Nguyên tử Việt Nam).

[3] Thân Văn Liên (2019), *Đánh giá các kết quả đã thực hiện và nghiên cứu bổ sung công nghệ xử lý quặng cát kết urani để tiến tới xây dựng bộ số liệu kinh tế - kỹ thuật*, Báo cáo tổng kết đề tài khoa học và công nghệ cấp Bộ, Viện Công nghệ Xạ hiếm (Viện Năng lượng Nguyên tử Việt Nam).

[4] Cao Hùng Thái (2003), *Nghiên cứu xử lý quặng cát kết khu vực Pà Lừa với quy mô 2 tấn quặng/mẻ để thu sản phẩm urani kỹ thuật*, Báo cáo đề tài khoa học và công nghệ cấp Bộ, Viện Công nghệ Xạ hiếm (Viện Năng lượng Nguyên tử Việt Nam).

[5] Cao Đình Thanh (1989), *Nghiên cứu công nghệ và sản xuất thử uran từ mỏ cát kết Nông Sơn*, Báo cáo đề tài khoa học và công nghệ 50B-02-02, Viện Công nghệ Xạ hiếm (Viện Năng lượng Nguyên tử Việt Nam).

[6] Cao Đình Thanh (1997), *Nghiên cứu quy trình công nghệ xử lý quặng uran vùng Tabling*, Báo cáo đề tài khoa học và công nghệ cấp Bộ, Viện Công nghệ Xạ hiếm (Viện Năng lượng Nguyên tử Việt Nam).

[7] Lê Quang Thái (2008), *Xử lý quặng urani khu vực Pà Lừa bằng kỹ thuật trộn ủ ở quy mô 500 kg/mẻ để thu urani kỹ thuật*, Báo cáo đề tài khoa học và công nghệ cấp Bộ, Viện Công nghệ Xạ hiếm (Viện Năng lượng Nguyên tử Việt Nam).

[8] Gerald F. Pace, Earl W. Shortridge (1975), *Static Leaching Process*, Patent 3863002.

[9] IAEA (1990), *Manual on Laboratory Testing for Uranium Ore Processing*.

[10] Luiz Alberto Gomiero (2009), *Uranium Production in Caetité*, Industrias Nucleares do Brasil S/A - INB (www.inb.gov.br), Caetité, Bahia State, Brazil.

[11] Henry Schnell (2013), *Designing and Building Heap Leach Projects*, Inc.hatschnell@xplornet.com, Vancouver, Canada.