



Nghiên cứu xử lý các nhiên liệu kém chất lượng bằng thiết bị lọc khung bản công suất 100 lít/giờ sử dụng nano zeolite-NaX làm chất hấp phụ

Research to treat poor quality fuels by 100 l/h case frame filters using nano zeolite NaX as adsorbent

Nguyễn Việt Quang^{1,4}, Trịnh Xuân Bái¹, Hà Thị Lan Anh², Tạ Ngọc Thiện Huy³, Tạ Ngọc Đôn^{1*}

¹ Viện Kỹ thuật Hóa học, Đại học Bách khoa Hà Nội

² Khoa Công nghệ Hóa học, trường Cao đẳng Công nghiệp thực phẩm

³ Khoa Tài nguyên Môi trường, trường Đại học Kiên Giang

⁴ Viện Kỹ thuật Xăng dầu

* E-mail: don.tangoc@hust.edu.vn, don.tangoc@gmail.com

ARTICLE INFO

Received: 28/5/2023

Accepted: 15/11/2023

Published: 30/12/2023

Keywords:

Nano zeolite NaX; Adsorption;
 Diesel fuel

ABSTRACT

This paper presents the results of research on treatment of poor quality L62 diesel fuel and TC-1 jet fuel scale of 100 liters/hour using nano zeolite NaX adsorbent synthesized directly from Vietnamese rice husk ash and kaolin.

Samples of L62 diesel fuel and TC-1 jet fuel before and after treatment were analyzed and evaluated according to the technical criteria of TCVN 5689, GOST 305 and GOST 10227. The obtained results proved that poor quality samples of L62 diesel fuel and TC-1 jet fuel after being treated with nano zeolite NaX adsorbent can be reused as fuel for ships and aircraft.

Giới thiệu chung

Trong những năm gần đây, để tận dụng nguồn nguyên liệu thiên nhiên và phụ phẩm trong quá trình sản xuất nông nghiệp, các nhà nghiên cứu đã quan tâm hơn tới việc sử dụng nguồn cao lanh để cung cấp nhôm và nguồn tro trấu để cung cấp silic cho tổng hợp một số loại zeolite khác nhau [1-5].

Việt Nam là quốc gia xuất khẩu lúa gạo với số lượng hàng đầu trên thế giới. Chính vì vậy, nguyên liệu vỏ trấu được xem là phụ phẩm trong quá trình sản xuất gạo ở Việt Nam với trữ lượng rất lớn, giá thành rẻ [6,7]. Bên cạnh đó, ở Việt Nam, các mỏ cao lanh được phân bố khá rộng rãi, có trữ lượng lớn, tập trung chủ yếu ở các khu vực như Tây Bắc Bộ, Đông Bắc Bộ, Bắc Trung

Bộ, Trung Trung Bộ, Tây Nguyên và Nam Bộ [8]. Do đó, vỏ trấu và cao lanh là nguồn nguyên liệu có nhiều tiềm năng để cung cấp silic và nhôm cho quá trình tổng hợp vật liệu aluminosilicate mao quản. Cho đến nay, đã có một số báo cáo tổng hợp zeolite và vật liệu mao quản từ cao lanh và vỏ trấu Việt Nam [9-13], chưa có công trình nào nghiên cứu tổng hợp thành công nano zeolite NaX đồng thời từ 2 nguồn nguyên liệu cao lanh và tro trấu ngoài công trình [14] cũng do nhóm nghiên cứu thực hiện.

Nhiên liệu phản lực TC-1 được nhập khẩu từ Nga hoặc các nước thuộc Liên Xô cũ sử dụng cho các động cơ phản lực của máy bay do Nga sản xuất. Do đặc thù quá trình sử dụng máy bay cho mục đích quốc phòng nên các nhiên liệu này thường được dự trữ một lượng

khá lớn để sẵn sàng phục vụ chiến đấu. Sau một thời gian dài bảo quản tại các kho chứa, nhiên liệu thường bị xuống cấp, suy giảm về chất lượng và có thể không sử dụng được. Vì vậy, cần xử lý các tạp chất trong nguồn nhiên liệu xuống cấp này. Trong báo cáo [15], nhóm nghiên cứu của chúng tôi đã tiến hành nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng tới quá trình xử lý nhiên liệu diesel kém chất lượng phát sinh trong quá trình hoạt động của tàu biển bằng phương pháp hấp phụ sử dụng chất hấp phụ là nano zeolite NaX trong phòng thí nghiệm. Tiếp nối nghiên cứu [15], trong nghiên cứu này, chúng tôi tiến hành thiết kế, chế tạo thiết bị hấp phụ xử lý nhiên liệu kém chất lượng công suất 100 lít/giờ bằng việc sử dụng nano zeolite NaX làm chất hấp phụ.

Trong nghiên cứu này, chúng tôi trình bày kết quả xử lý nhiên liệu diesel L62 và nhiên liệu phản lực TC-1 kém chất lượng bằng hệ thống thiết bị lọc khung bản có công suất lọc 100 lít/giờ. Các kết quả phân tích nhiên liệu trước và sau khi xử lý được đánh giá bằng các phương pháp hóa lý tiêu chuẩn tại phòng hóa nghiệm, Viện Kỹ thuật Xăng dầu quân đội.

Thực nghiệm và phương pháp nghiên cứu

Chuẩn bị nguyên liệu

Nano zeolite NaX được tổng hợp từ vỏ trấu và cao lanh Việt Nam theo báo cáo [14] có độ tinh thể 95 %,

kích thước hạt 45 nm, dung lượng trao đổi đạt 320 meq Ba²⁺/100g, bề mặt riêng (BET) 492 m²/g, phân bố lỗ xốp tập trung tại vùng vi mao quản 0,8 nm và mao quản trung bình 5,5 nm.

Nhiên liệu TC-1 kém chất lượng được lấy tại các đơn vị thuộc Quân chủng Phòng không Không quân.

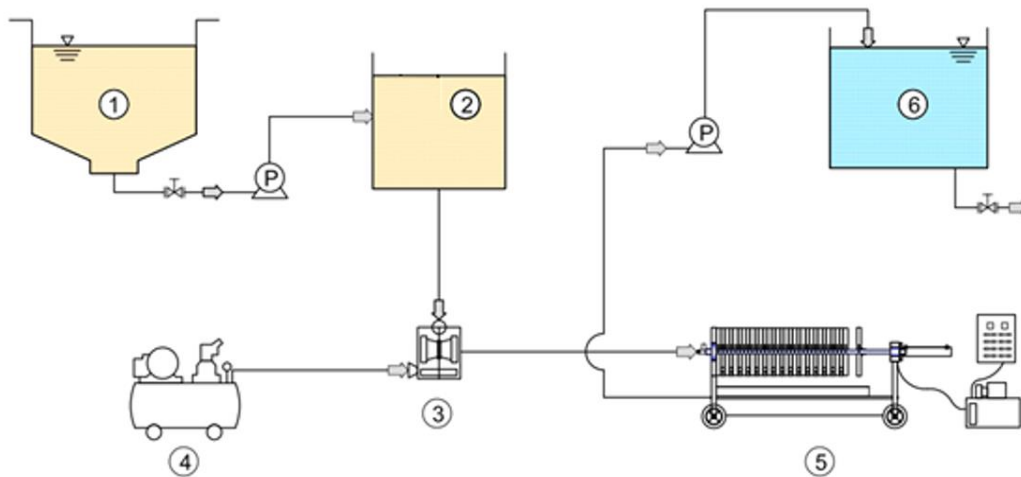
Nhiên liệu Diesel L62 kém chất lượng được lấy tại cảng Cam Ranh, Khánh hòa.

Hóa chất và thiết bị

Các thiết bị, hóa chất phân tích kiểm tra đánh giá chất lượng nhiên liệu diesel và nhiên liệu TC-1 theo các phương pháp thử nghiệm [16,17] để xác định: Thành phần cất, độ nhớt động học, nhiệt độ đông đặc, nhiệt độ vẫn đục, độ axit, nhiệt độ chớp lửa cốc kín, trị số iot, tạp chất cơ học, hàm lượng nước, hàm lượng lưu huỳnh, axit, kiềm tan trong nước, chỉ số ăn mòn đồng, hàm lượng tro, hàm lượng cặn carbon, nhiệt độ giới hạn lọc, hàm lượng nhựa, chỉ số xetan, hàm lượng asphaltene, hàm lượng lưu huỳnh mercaptan.

Quy trình xử lý nhiên liệu kém chất lượng công suất 100 lít/giờ.

Từ kết quả nghiên cứu khảo sát các yếu tố ảnh hưởng tới quá trình xử lý thu hồi nhiên liệu diesel trong nghiên cứu [15], chúng tôi xây dựng quy trình công nghệ xử lý nhiên liệu kém chất lượng gồm 4 bước được trình bày trong hình 1.



Hình 1: Sơ đồ quy trình công nghệ xử lý nhiên liệu kém chất lượng

Bước 1. Nạp nhiên liệu

Rót nhiên liệu kém chất lượng vào thiết bị phân tách lắng động (1). Để yên tĩnh cho nhiên liệu kém chất

lượng và cặn lắng xuống đáy trong 72 giờ. Tiến hành xả nhiên liệu đáy và cặn lắng qua van xả đáy (đối với nhiên liệu diesel kém chất lượng có nhiễm nước biển

xả bỏ nước biển sau khi lắng đọng). Chuyển nhiên liệu kém chất lượng vào bể chứa (2).

Bước 2. Chuẩn bị chất hấp phụ

Cân chất hấp phụ với tỷ lệ chất hấp phụ trên nhiên liệu kém chất lượng bằng 400/100 (gam/lít) và cho vào khung thiết bị lọc hấp phụ (5). Dùng vải lọc cố định chất hấp phụ trong khung lọc.

Bước 3. Quá trình lọc áp lực qua thiết bị lọc hấp phụ

Nhiên liệu kém chất lượng được bơm (3) bơm từ bể chứa (2) đi qua các tấm lọc có bọc vải lọc của thiết bị lọc khung bản (5). Dưới áp suất khí của bơm màng, nhiên liệu kém chất lượng thoát qua lỗ màng vải lọc theo đường dẫn ra ngoài và được bơm vào bồn chứa (6); bã của hỗn hợp sau khi lọc gồm chất hấp phụ và các tạp chất bị hấp phụ được giữ lại trong khoang lọc.

Bước 4. Kết thúc quá trình

Khi bơm hết lượng nhiên liệu kém chất lượng vào thiết bị lọc khung bản, tiếp tục ép khí (4) cho đến khi không còn nhiên liệu chảy ra từ thiết bị lọc. Các khung bản được tháo ra và tiến hành loại bỏ các bánh chất hấp phụ dạng rắn bám trên các tấm vải lọc khi tấm vải lọc cuối cùng bị đổi màu từ màu trắng sang màu tối. Vệ sinh sạch sẽ khung bản và vải lọc, sau đó tiếp tục bổ sung chất hấp phụ mới để tiến hành lọc tiếp lần sau.

Đặc trưng các mẫu nhiên liệu

Các mẫu nhiên liệu diesel L62 và nhiên liệu phản lực TC-1 được phân tích kiểm tra đánh giá chất lượng và đặc trưng các chỉ tiêu hóa lý kỹ thuật tại phòng Hóa nghiệm Viện Kỹ thuật Xăng dầu quân đội theo quy cách của nhiên liệu diesel L62 (tiêu chuẩn GOST 305), nhiên liệu phản lực TC-1 (tiêu chuẩn GOST 10227) [16,17].

Kết quả và thảo luận

Kết quả xử lý nhiên liệu diesel L62 kém chất lượng bằng thiết bị lọc khung bản

Hệ thống thiết bị lọc khung bản được thiết kế, chế tạo và sử dụng như được mô tả trên hình 2. Mẫu nhiên liệu kém chất lượng và mẫu nhiên liệu sau xử lý bằng hệ thống thiết bị lọc khung bản được trình bày trên hình 3. Kết quả cho thấy, mẫu nhiên liệu diesel kém chất lượng (bình 1, hình 3) sau khi lọc qua thiết bị lọc khung bản sử dụng nano zeolite NaX tổng hợp được làm chất hấp phụ thu được nhiên liệu có màu màu vàng sáng (bình 2, hình 3). Bằng cảm quan thấy rõ

màu của nhiên liệu đã chuyển từ màu đen sang màu vàng, chứng tỏ quá trình xử lý đã tách được các tạp chất tối màu trong nhiên liệu kém chất lượng.

Kết quả phân tích các chỉ tiêu kỹ thuật của mẫu diesel kém chất lượng và mẫu sau xử lý được trình bày trong bảng 1. Trong bảng 1 đã trích dẫn kết quả xử lý ở quy mô phòng thí nghiệm, đã được trình bày trong báo cáo [15].



Hình 2: Thiết bị lọc khung bản



Hình 3: Nhiên liệu diesel kém chất lượng (1) và nhiên liệu diesel sau lọc (2).

Từ bảng 1, kết quả phân tích thành phần cất của nhiên liệu diesel kém chất lượng trước và sau xử lý bằng thiết bị lọc khung bản đã thay đổi đáng kể, đặc biệt là thành phần cất tại 90 % đã giảm từ 350,4 xuống 340,6; thành phần cất tại 96 % đã giảm mạnh từ 377,7 xuống còn 357,5 – đáp ứng các chỉ tiêu chất lượng theo GOST 305 và TCVN 5689 (đều ≤ 360). Kết quả này chứng tỏ các hợp chất cao phân tử xuất hiện trong mẫu nhiên liệu diesel kém chất lượng đã bị hấp phụ bởi nano zeolite NaX.

Về độ nhớt động học, tại 20 °C và 40 °C – sau khi xử lý, số liệu đo được đã giảm từ 6,27 xuống 5,52 cSt (ở 20 °C) và giảm từ 4,72 xuống 4,21 cSt (ở 40 °C), tương ứng đều đáp ứng tiêu chuẩn GOST 305 và TCVN 5689. Kết quả này cho thấy nhiên liệu diesel sau xử lý đã cho độ linh động tốt hơn so với trước khi xử lý, nguyên nhân là quá trình xử lý đã loại bỏ một phần các hợp chất cao phân tử trong nhiên liệu diesel kém chất lượng.

Về hàm lượng lưu huỳnh, kết quả thu được trong bảng 1 cho thấy nhiên liệu diesel kém chất lượng sau khi xử lý bằng thiết bị lọc khung bản chứa chất hấp phụ nano

zeolite NaX đã giảm mạnh (từ 0,17 % xuống 0,06 % khối lượng), thấp hơn nhiều so với quy định trong GOST 305 ($\leq 0,2$ %) và TCVN ($\leq 0,25$ %).

Bảng 1: Kết quả phân tích chỉ tiêu kỹ thuật của các mẫu diesel nghiên cứu

TT	Chỉ tiêu phân tích	Diesel kém chất lượng	Diesel sau xử lý bằng thiết bị lọc khung bản trong báo cáo này	Chỉ tiêu chất lượng theo GOST 305	Chỉ tiêu chất lượng theo TCVN 5689	Diesel sau xử lý quy mô phòng thí nghiệm theo [15]	Chỉ tiêu chất lượng diesel thương mại
1	Thành phần cặn, °C:						
	- Tại 50 %	281	280	≤ 280		280	279
	- Tại 90 %	350,4	340,6		≤ 360	340,6	338
	- Tại 96 %	377,7	357,5	≤ 360		355,7	353,5
2	Độ nhớt động học ở:						
	20 °C, cSt	6,27	5,52	3,0-6,0		5,49	4,52
	40 °C, cSt	4,72	4,21		2,0-4,5	4,16	4,12
3	Nhiệt độ đông đặc, °C	-9	-10	≤ -10	≤ 6	-10	-14
4	Nhiệt độ vẫn đục, °C	-	-6	≤ -5		-7	-6
5	Độ axit, mg KOH/100ml	7	0,21	≤ 5		0,11	2,67
6	Trị số iốt, g I ₂ /100g	2,35	0,69	≤ 6		0,60	0,23
7	Nhiệt độ chớp lửa cốc kín, °C	70	73	≥ 62	≥ 55	74	72
8	Tạp chất cơ học, % KL	-	Không có	Không có	≤ 10 mg/l	Không có	Không có
9	Hàm lượng nước, % KL	-	Không có	Không có	$\leq 0,02$	Không có	Không có
10	Hàm lượng lưu huỳnh, % KL	0,17	0,06	$\leq 0,2$	$\leq 0,25$	0,05	0,08
11	Hàm lượng lưu huỳnh mercaptan, % KL	Không có	Không có	$\leq 0,01$		Không có	Không có
12	Axit, kiềm tan trong nước	-	Không có	Không có		Không có	Không có
13	Thí nghiệm ăn mòn mảnh đồng ở 50 °C, 3 giờ	Không hợp cách	Hợp cách	Hợp cách	Loại 1	Hợp cách	Hợp cách
14	Hàm lượng tro, % KL	0,110	0,00	$\leq 0,01$	$\leq 0,01$	0,00	0,001
15	Cặn carbon của 10 % cặn cặn, % KL	0,66	0,12	$\leq 0,2$	$\leq 0,3$	0,07	0,03
16	Nhiệt độ giới hạn lọc, °C	-	-7	≤ -5	-	-7	-10
17	Chỉ số xetan	47,2	57,0		≥ 46	58,0	56,0
18	Ngoại quan	Chất lỏng đồng nhất màu đen	Sạch, trong màu vàng sáng		Sạch, trong	Sạch, trong màu vàng sáng	Sạch, trong màu vàng sáng
19	Hàm lượng nhựa mg/100ml	909	8,4	-	-	8,0	22

"-": Chỉ tiêu không phân tích được do vượt quá ngưỡng cho phép của phép đo.

Đối với hàm lượng tro và cặn, số liệu trong bảng 1 cho thấy nhiên liệu diesel kém chất lượng trước xử lý có hàm lượng tro và hàm lượng nhựa rất lớn (bằng 909 mg/100ml), nhưng sau khi xử lý qua hệ thống lọc khung bản chứa nano zeolite NaX đã giảm sâu (chỉ còn 8,4 mg/100ml), cho thấy chất hấp phụ đã giữ lại khá triệt để hàm lượng cao phân tử không mong muốn cần phải xử lý.

Các chỉ tiêu khác của nhiên liệu trước và sau khi xử lý được thống kê trong bảng 1 như độ axit và trị số iốt đã giảm mạnh (tương ứng từ 7 mg/100ml và 2,35 g I₂/100g xuống 0,21 mg/100ml và 0,69 g I₂/100g). Nhiệt độ đông đặc, nhiệt độ vẫn đục đều giảm hơn, đã đáp ứng GOST 305 (nhiệt độ vẫn đục của nhiên liệu kém chất lượng không đo được do màu quá tối). Các chỉ tiêu còn lại cũng đáp ứng theo GOST 305. Về cảm

quan, mẫu nhiên liệu diesel sau khi xử lý có màu vàng, sáng, trong tương tự như mẫu diesel thương mại.

Như vậy, mẫu diesel kém chất lượng sau khi xử lý qua hệ thống thiết bị chứa nano zeolite NaX công suất 100 lít/giờ đã đáp ứng tốt về chỉ tiêu chất lượng theo các tiêu chuẩn GOST 305 và TCVN 5689, xấp xỉ các chỉ tiêu chất lượng của diesel thương mại, hoàn toàn có thể sử dụng bình thường.

So với số liệu phân tích khi xử lý ở quy mô phòng thí nghiệm đã được trình bày trong báo cáo [15], một số chỉ tiêu khi xử lý ở quy mô pilot trong báo cáo này tuy kém hơn nhưng vẫn nằm trong giới hạn chỉ tiêu quy định theo tiêu chuẩn GOST 305 và TCVN 5689. Kết

quả xử lý ở quy mô pilot trên đây so với quy mô phòng thí nghiệm trong [15] là phù hợp, cho thấy quy trình công nghệ là đáng tin cậy.

Kết quả xử lý nhiên liệu phản lực TC-1 kém chất lượng bằng thiết bị lọc khung bản

Mẫu nhiên liệu phản lực TC-1 kém chất sau khi lọc qua thiết bị lọc khung bản thu được nhiên liệu phản lực TC-1 sau xử lý. Kết quả phân tích các chỉ tiêu kỹ thuật của mẫu nhiên liệu phản lực TC-1 kém chất lượng và mẫu sau lọc được trình bày tại bảng 2.

Bảng 2: Kết quả phân tích chỉ tiêu kỹ thuật của các mẫu nhiên liệu phản lực TC-1 nghiên cứu

STT	Chỉ tiêu phân tích	Nhiên liệu TC-1 kém chất lượng	Nhiên liệu TC-1 kém chất lượng sau xử lý	Chỉ tiêu chất lượng theo GOST 10227
1	Khối lượng riêng ở 20 °C, Kg/m ³	799,8	786,2	≥ 780
2	Thành phần cất, °C:			
	- Điểm sôi đầu	128,0	145	≤ 150
	- 10%	159,0	160	≤ 165
	- 50%	196,7	183	≤ 195
	- 90%	309,6	214,2	≤ 230
	- 98%	-	231	≤ 250
3	Độ nhớt động học ở 20 °C, cSt	1,828	1,382	≥ 1,3
4	Chiều cao ngọn lửa không khói, mm	24	25	≥ 25
5	Độ axit, mg KOH/100ml	0,472	0,23	≤ 0,7
6	Chỉ số lốt, g I ₂ /100g	0,253	0,360	≤ 2,5
7	Nhiệt độ chớp lửa cốc kín, °C	42	35	≥ 28
8	Nhiệt độ kết tinh, °C	- 16,2	- 65,2	≤ -55
9	Hàm lượng nhựa thực tế, mg/100ml	320,4	1,2	≤ 3,0
10	Hàm lượng Hydrocacbon thơm, % KL	14,86	14,92	≤ 22
11	Hàm lượng lưu huỳnh tổng, % KL	0,020	0,018	≤ 0,20
12	Hàm lượng lưu huỳnh Mercaptan, % KL	0,0009	0,0008	≤ 0,003
13	Axit, kiềm tan trong nước	Không có	Không có	Không có
14	Thí nghiệm ăn mòn miếng đồng ở 100 °C, 3h	Hợp cách	Hợp cách	Hợp cách
15	Hàm lượng tro, % KL	0,002	0,001	≤ 0,003
16	Độ dẫn điện ở 20 °C, pSm/m	146	62	≤ 600
17	Tạp chất cơ học và nước	Có tạp	Không có	Không có
18	Nhiệt cháy thấp, Kj/Kg	46022	46031	≥ 43120
19	Độ ổn định oxy hóa nhiệt trong 5h, 150 °C, lượng cặn mg/100 ml	27,8	11,4	≤ 18,0
	Tác dụng với nước:			
20	- Trạng thái bề mặt phân chia	3	1	≤ 1
	- Trạng thái tách pha	3	1	≤ 1

"-": Chỉ tiêu không phân tích được do vượt quá ngưỡng cho phép

Từ bảng 2, kết quả phân tích thành phần cất của nhiên liệu phản lực TC-1 kém chất lượng trước và sau khi xử lý rất khác biệt, với xu hướng tăng nhiệt độ sôi ở thành

phần cất thấp và giảm nhiệt độ sôi ở thành phần cất cao. Đặc biệt, thành phần cất ở 50 % và 90 % trong nhiên liệu phản lực TC-1 trước xử lý (bằng 196,7 và

309,6) vượt chỉ tiêu chất lượng dành cho nhiên liệu phản lực TC-1 theo GOST 10227 (≤ 195 và ≤ 230), đã giảm xuống (bằng 183 và 214,2) ở mẫu nhiên liệu phản lực TC-1 sau khi đã xử lý.

Cũng trong bảng 2, hàm lượng nhựa trong mẫu nhiên liệu phản lực TC-1 kém chất lượng hầu như đã bị vật 27,8 xuống còn 11,4 mg/100ml, thấp hơn GOST 10227 (≤ 18 mg/100ml).

Nhìn lại các số liệu khác được thống kê trong bảng 2, có thể cho rằng, các chỉ tiêu chất lượng của nhiên liệu phản lực TC-1 sau khi xử lý qua hệ thống lọc khung bản công suất 100 lít/giờ đã đáp ứng hoàn toàn theo tiêu chuẩn GOST 10227, xác nhận nhiên liệu phản lực TC-1 có thể sử dụng sau khi được xử lý.

Kết luận

Đã chế tạo thành công hệ thống thiết bị lọc khung bản công suất 100 lít/giờ sử dụng vật liệu hấp phụ là nano zeolite NaX được tổng hợp từ tro trấu và cao lanh Việt nam. Hệ thống thiết bị này đã được sử dụng để xử lý các tạp chất bắn phát sinh trong nhiên liệu diesel L62 và nhiên liệu phản lực TC-1 do tồn trữ lâu ngày cho kết quả tốt. Đối chiếu với các tiêu chuẩn GOST 305 cho nhiên liệu diesel L62 và tiêu chuẩn GOST 10227 cho nhiên liệu phản lực TC-1 thì các nhiên liệu diesel L62 và nhiên liệu phản lực TC-1 kém chất lượng sau khi xử lý đã đáp ứng tốt, có thể sử dụng trong thực tiễn ở Việt Nam

Tài liệu tham khảo

1. Tạ Ngọc Đôn, Vật liệu mao quản từ cao lanh Việt nam: Tổng hợp, đặc trưng và ứng dụng, NXB Bách khoa – Hà Nội (2012). ISBN 9786049112430.
2. Yisong Wang, Tao Du, He Jia, Ziyang Qiu, Yanli Song, *Solid State Sciences*, 86 (2018) 24–33. <https://doi.org/10.1016/j.solidstatesciences.2018.10.003>
3. Melda Isler Binay, Salih Kaan Kirdeciler, Burcu Akata, *Applied Clay Science*, 182 (2019), 105251. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2019.105251>
4. Reza Khoshbin, Ramin Karimzadeh, *Advanced Powder Technology*, 28(3) (2017) 973–982. <https://doi.org/10.1016/j.appt.2017.01.001>
5. Yisong Wang, He Jia, Peng Chen, Xin Fang, Tao Du, *Journal of Materials Research and Technology*, 9(3) (2020) 4368-4378. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.02.061>
6. Tổng cục thống kê, <https://www.gso.gov.vn/default.aspx?tabid=717>.
7. Các nước xuất khẩu gạo chính trên thế giới, <https://www.statista.com/statistics/255947/top-rice-exporting-countries-worldwide-2011>.
8. Doãn Huy Cẩm, Nguyễn Phương, Lê Đỗ Trí, *Tổng cục Địa chất*, A/297 (2006) 30–37.
9. A.Y. Atta, B.Y. Jibril, B.O. Aderemi, S.S. Adefila, *Applied Clay Science*, 61 (2012) 8–13. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2012.02.018>
10. Tạ Ngọc Đôn, Lê Văn Dương, Tạ Ngọc Hùng, Tạ Ngọc Thiện Huy, Nguyễn Thị Xuân, Nguyễn Hữu Đức, Nguyễn Đức Nghĩa, Ninh Thị Phương, *Tạp chí Xúc tác và Hấp phụ*, 3(3) (2014) 59–63.
11. Tạ Ngọc Đôn, Trịnh Xuân Bái, Lê Văn Dương, Tạ Ngọc Hùng, Nguyễn Mạnh Cường, Trần Văn Hưởng, Nguyễn Hữu Đức, *Tạp chí Xúc tác và Hấp phụ*, 4(3) (2015) 131–137.
12. Jing-Quan Wang, Ya-Xi Huang, Yuanming Pan, Jin-Xiao Mi, *Microporous and Mesoporous Materials*, 232 (2016) 77–85. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2016.06.010>
13. Marcos Antonio Klunk, Suellen Brasil Schröpfer, Sudipta Dasgupta, Mohuli Das, Nattan Roberto Caetano, Andrea Natale Impiombato, Paulo Roberto Wander, Carlos Alberto Mendes Moraes, *Chemical Papers*, 74 (2020) 2481–2489. <https://doi.org/10.1007/s11696-020-01095-4>
14. Tạ Ngọc Thiện Huy, Nguyễn Việt Quang, Trịnh Xuân Bái, Tạ Ngọc Hùng, Tạ Ngọc Đôn, *Tạp chí Xúc tác và Hấp phụ*, 5(4) (2016) 52–58.
15. Tạ Ngọc Đôn, Trịnh Xuân Bái, Hà Thị Lan Anh, Tạ Ngọc Thiện Huy, Nguyễn Việt Quang, *Tạp chí Xúc tác và Hấp phụ Việt Nam*, 12(2) (2023). <https://doi.org/10.62239/jca.2023.032>.
16. ASTM D86–20b, ASTM D445–21, ASTM D97–17b, ASTM D524–15, ASTM D6371–17a, ASTM D4737–10, ASTM D3227–16.
17. GOCT 5066–2018, GOCT 5985–79, GOCT 6356–75, GOCT 2070–82, GOCT 6370–83, GOCT 2477–2014, GOCT 19121–73, GOCT 6307–75, GOCT 6321–92, GOCT 1461–75, GOCT 1567–97, GOCT 11858–66.