

Nghiên cứu ảnh hưởng của tính chất nguyên liệu đến hiệu quả tăng propylen của phụ gia ZSM-5 trong quá trình xúc tác cracking tầng sôi

Vũ Xuân Hoàn^{1*}, Ngô Thúy Phượng¹, Nguyễn Thanh Sang¹, Đặng Thanh Tùng¹,
Vũ Duy Hùng², Đinh Đức Mạnh³, Đặng Hải Anh⁴

¹Viện Dầu khí Việt Nam

²Công ty CP lọc hóa dầu Bình Sơn

³Tập đoàn Dầu khí Việt Nam

⁴Bộ Công Thương

Ngày nhận bài 2/3/2020; ngày chuyển phản biện 5/3/2020; ngày nhận phản biện 2/4/2020; ngày chấp nhận đăng 10/4/2020

Tóm tắt:

Bài báo trình bày kết quả mô phỏng, đánh giá ảnh hưởng của tính chất nguyên liệu đến hiệu quả tăng propylen của phụ gia ZSM-5 cho phân xưởng RFCC (Residue Fluid Catalytic Cracking) của Nhà máy lọc dầu (NMLD) Dung Quất bằng phần mềm mô phỏng FCC-SIM. Kết quả cho thấy, hiệu quả sử dụng phụ gia ZSM-5 cao hơn trên mẫu nguyên liệu nhẹ, giàu paraffin so với mẫu nguyên liệu nặng, giàu aromatic xét trên khía cạnh tăng hiệu suất propylen đồng thời với duy trì hiệu suất xăng cao. Tuy nhiên, mẫu nguyên liệu nặng, giàu aromatic sẽ cho xăng có trị số octan cao hơn so với mẫu nguyên liệu nhẹ, giàu paraffin khi sử dụng phụ gia ZSM-5. Do đó, tùy theo yêu cầu của thị trường, Nhà máy có thể lựa chọn loại nguyên liệu có tính chất phù hợp để tối đa hóa hiệu quả sử dụng phụ gia ZSM-5.

Từ khóa: FCC, nhiên liệu, propylen, ZSM-5.

Chỉ số phân loại: 2.4

Đặt vấn đề

Cracking xúc tác tầng sôi (Fluid Catalytic Cracking - FCC) là một quá trình quan trọng trong lọc dầu nhằm chuyển hóa phân đoạn cặn nặng, nhiệt độ sôi cao (>360°C) thành các sản phẩm có giá trị kinh tế như nhiên liệu cho giao thông vận tải và olefin nhẹ, chủ yếu là propylen làm nguyên liệu cho tổng hợp polyme. Theo thống kê năm 2014, thế giới có khoảng hơn 300 phân xưởng FCC đang hoạt động với công suất trên 5,6 triệu thùng/ngày, cung cấp phần lớn sản lượng xăng cũng như một phần quan trọng propylen cho công nghiệp hóa dầu [1].

Xúc tác cracking (xúc tác FCC) đóng vai trò quyết định đến hiệu quả hoạt động của phân xưởng FCC. Zeolite mao quản lớn Y (0,74 nm) ở dạng siêu bền (khử nhôm) USY hoặc trao đổi với đất hiếm như REY, REUSY là thành phần quan trọng nhất của xúc tác FCC, chiếm từ 10-50% khối lượng xúc tác và quyết định chính đến khả năng cracking của xúc tác cũng như hiệu suất sản phẩm xăng và khí [1, 2]. Để tăng hiệu suất propylen, zeolite mao quản trung bình ZSM-5 được bổ sung dưới dạng phụ gia ZSM-5 [2, 3]. Với kích thước mao quản đồng đều trong khoảng 0,52-0,56 nm, ZSM-5 sẽ dễ dàng chọn lọc các olefin mạch thẳng trong phân đoạn xăng (C₅-C₁₀) thành các olefin nhẹ (C₂-C₄). Đồng thời, quá trình này sẽ làm tăng hàm lượng aromatic trong xăng do một phần olefin

trong xăng bị chuyển hóa thành sản phẩm khí. Kết quả thu được là hàm lượng olefin nhẹ trong sản phẩm khí có thành phần chủ yếu là propylen và trị số octan của xăng sẽ được tăng lên đáng kể [3-5].

Hiệu quả tăng propylen của phụ gia ZSM-5 phụ thuộc khá nhiều yếu tố, đặc biệt là tính chất nguyên liệu. Thông thường nguyên liệu nhẹ, giàu paraffin sẽ có lợi cho hướng tăng hiệu suất propylen bằng phụ gia ZSM-5 so với nguyên liệu nặng, giàu aromatic. Tuy nhiên, khả năng tăng propylen còn phụ thuộc vào loại xúc tác, phụ gia sử dụng, cấu hình công nghệ của phân xưởng FCC cũng như điều kiện vận hành [4, 5]. Do đó, các nhà máy lọc dầu thường phải xây dựng phần mềm mô phỏng cho phân xưởng FCC của riêng mình để đánh giá hiệu quả xúc tác, phụ gia mới, ảnh hưởng của thay đổi tính chất nguyên liệu đến cơ cấu sản phẩm cũng như giới hạn vận hành của thiết bị.

Tại Việt Nam, phân xưởng FCC của NMLD Dung Quất được thiết kế để chế biến phân cặn nặng từ tháp chưng cất khí quyển (RFCC - Residue Fluid Catalytic Cracking), sử dụng công nghệ R.2.R, bản quyền của IFP/Axens. Công suất thiết kế 69.700 thùng/ngày, sử dụng nguyên liệu Bạch Hồ. Lượng xúc tác đưa vào ban đầu 600 tấn. Lượng xúc tác bổ sung 15,2 (tấn/ngày). Ngoài ra, để tăng hiệu suất propylen, phụ gia ZSM-5 được bổ sung cùng với xúc tác FCC mới theo tỷ lệ khoảng 1-5% theo khối lượng (%)

* Tác giả liên hệ: Email: hoanvx@vpi.pvn.vn

Influence of feedstock characteristics on the enhanced production of propylene by ZSM-5 additives in the fluid catalytic cracking process

Xuan Hoan Vu^{1*}, Thuy Phuong Ngo¹,
Thanh Sang Nguyen¹, Thanh Tung Dang¹,
Duy Hung Vu², Duc Manh Dinh³, Hai Anh Dang⁴

¹Vietnam Petroleum Institute

²Binh Son Refining and Petrochemical JSC

³Vietnam National Oil and Gas Group

⁴Ministry of Industry and Trade

Received 2 March 2020; accepted 10 April 2020

Abstract:

The influence of feedstock properties on the enhanced production of propylene by ZSM-5 additives was evaluated for the RFCC unit (Residue Fluid Catalytic Cracking) of Dung Quat Refinery using a FCC-SIM simulation. The results showed that the ZSM-5 additive produced a superior performance with the light and paraffinic feedstock compared to the heavy, and aromatic feedstock in terms of enhancing propylene production at the lowest expense of gasoline. However, the later feedstock gave gasoline with higher octane ratings by using the ZSM-5 additive. Thus, based on the desired products, the operator could choose suitable feedstocks to maximise the ZSM-5 additive's benefits.

Keywords: FCC, fuel, propylene, ZSM-5.

Classification number: 2.4

kl) [6]. Tuy nhiên, do sự suy giảm sản lượng khai thác của mỏ Bạch Hổ nên NMLD Dung Quất phải nghiên cứu, phối trộn dầu Bạch Hổ với các loại dầu khác nhau để chế biến, dẫn đến tính chất nguyên liệu cho phân xưởng RFCC thay đổi. Thực tế này đặt ra nhu cầu phải nghiên cứu, đánh giá ảnh hưởng của việc thay đổi tính chất nguyên liệu đến giới hạn vận hành, hiệu quả xúc tác, và đặc biệt là hiệu quả tăng propylen của phụ gia ZSM-5.

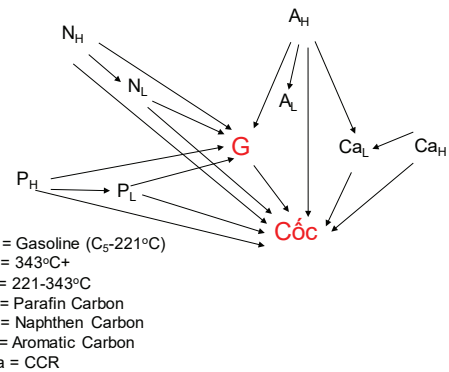
Trong bài báo này, chúng tôi trình bày kết quả nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của tính chất nguyên liệu đến hiệu quả tăng propylen của phụ gia ZSM-5 bằng phần mềm mô phỏng FCC-SIM của NMLD Dung Quất. Các mẫu nguyên liệu và xúc tác được thu thập từ NMLD Dung Quất, sau đó được phân tích và đánh giá hiệu quả trong phòng thí nghiệm để xây dựng bộ thông số đầu vào cho quá trình mô phỏng. Kết quả mô phỏng sẽ giúp dự báo được sự thay đổi cơ cấu sản phẩm của phân xưởng RFCC khi thay đổi nguyên liệu cũng như nồng độ phụ gia ZSM-5 bổ sung.

Đối tượng và phương pháp

Phần mềm mô phỏng FCC-SIM của NMLD Dung Quất cho phép tính toán hiệu suất chuyển hóa, cơ cấu sản phẩm và các thông số vận hành phụ thuộc khi tính chất nguyên liệu, xúc tác hoặc các thông số vận hành độc lập của phân xưởng FCC thay đổi.

Nguyên lý, phương pháp tính toán của phần mềm mô phỏng FCC-SIM

Quá trình cracking xúc tác có cơ chế rất phức tạp, lượng cầu từ trong nguyên liệu là rất lớn, vì vậy những cầu từ có tính chất gần giống nhau (cùng họ và có số cacbon gần nhau) được gộp lại thành một nhóm. Hướng phản ứng cracking của các nhóm này rất phức tạp, phụ thuộc vào họ hydrocacbon và số phân tử cacbon của cầu từ giả, cũng như các điều kiện vận hành, tính chất xúc tác. Phần mềm FCC-SIM sử dụng sơ đồ hướng phản ứng sau:



Hình 1. Sơ đồ miêu tả hướng tạo sản phẩm trong phần mềm FCC-SIM.

Quá trình cracking xúc tác bao gồm hai nhóm phản ứng chính là phản ứng cracking xúc tác và phản ứng cracking nhiệt. Phần mềm mô phỏng tính toán loại phản ứng chính này với các nhóm cầu từ bằng hai phương trình động học sau đây:

❖ Với phản ứng cracking nhiệt:

$$-\Delta C = K_0 * f(C_i) * e^{-E_a/RT} * P * C_i * \Delta t_c$$

trong đó: $-\Delta C$ là độ giảm số nguyên tử cacbon; K_0 là hằng số tốc độ phản ứng; $f(C_i)$ là hàm đặc trưng cho cầu từ giả (phụ thuộc họ hydrocacbon và số cacbon); E_a là năng lượng hoạt hóa phản ứng; R là hằng số khí lý tưởng; T là nhiệt độ phản ứng; P là áp suất phản ứng; C_i là số cacbon trong cầu từ phản ứng; Δt_c là thời gian lưu phản ứng.

❖ Với phản ứng cracking xúc tác:

$$-\Delta C = a * \rho_c K_0 * f(C_i) * e^{-E_a/RT} * P^\alpha * C_i * \Delta t_c$$

trong đó: a là hệ số đặc trưng của xúc tác; ρ_c là mật độ xúc tác; P^α là áp suất phản ứng cracking xúc tác.

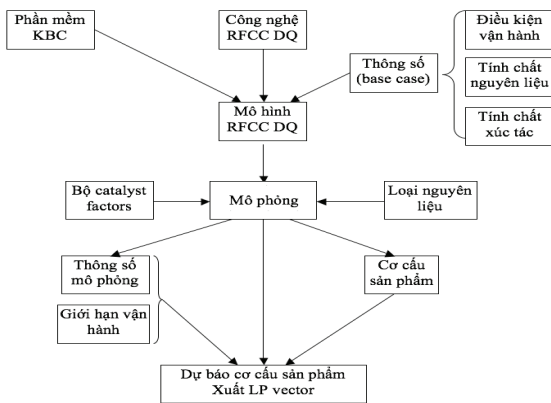
Qua hai công thức trên ta thấy phản ứng cracking nhiệt phụ thuộc vào áp suất, nhiệt độ phản ứng, thời gian lưu và bản chất của cầu từ tham gia phản ứng (số cacbon và họ hydrocacbon). Trong khi phản ứng cracking xúc tác ngoài các thông số trên, nó còn phụ thuộc vào tính chất xúc tác và mật độ của xúc tác.

Phương pháp xây dựng mô hình

Mô hình được xây dựng dựa trên cấu hình công nghệ R.2.R của IFP/Axens hiện đang được sử dụng tại NMLD Dung Quất. Các thông số đầu vào cần thiết gồm: đặc tính nguyên liệu, tính chất xúc tác và toàn bộ điều kiện vận hành. Sau đó các thông số được hiệu chỉnh sao cho hiệu suất chuyển hóa và cơ cấu chất lượng sản phẩm sát với thực tế. Ứng với mỗi bộ thông số đầu vào (nguyên liệu, thông số vận hành, tính chất xúc tác) sẽ có một bộ hiệu chỉnh cơ sở tương ứng, bộ hiệu chỉnh cuối cùng được chọn là lấy trung bình từ các bộ hiệu chỉnh cơ sở (càng nhiều bộ hiệu chỉnh cơ sở thì mô hình càng chính xác). Cuối cùng bộ hiệu chỉnh này được dùng để dự báo cơ cấu chất lượng sản phẩm và tính toán hiệu quả kinh tế khi thay đổi các thông số quan tâm như: tính chất nguyên liệu, thông số vận hành hay loại xúc tác mới.

Thực hiện mô phỏng

Quy trình mô phỏng đánh giá được miêu tả ở hình 2. Đây là mô hình RFCC được xây dựng cho NMLD Dung Quất để mô phỏng đánh giá lựa chọn xúc tác, nồng độ phụ gia, ảnh hưởng của tính chất nguyên liệu.



Hình 2. Quy trình đánh giá ảnh hưởng của nguyên liệu đến hiệu quả tăng propylen của phụ gia ZSM-5 trong phân xưởng RFCC của NMLD Dung Quất.

Từ hình 2 có thể thấy, các dữ liệu quan trọng để ứng dụng mô hình mô phỏng là bộ hệ số xúc tác (catalyst factor) và tính chất của nguyên liệu. Trong nghiên cứu này, hai mẫu nguyên liệu phối trộn là Mix BH 1 và Mix BH 2 với tính chất khác nhau được sử dụng. Mẫu Mix BH 1 là nguyên liệu phối trộn của dầu Bạch Hồ với dầu thô có tính chất tương tự Bạch Hồ, hiện đang chế biến tại NMLD Dung Quất. Mẫu Mix BH 1 có đặc điểm là dầu nhẹ, hàm lượng paraffin cao, dễ cracking. Mẫu Mix HB 2 là mẫu phối trộn của dầu Bạch Hồ với dầu có hàm lượng aromatic cao, đang được thử nghiệm chế biến. Đặc điểm của mẫu dầu Mix BH 2 là dầu nặng hơn, hàm lượng aromatic cao hơn và khó cracking hơn. Chi tiết tính chất nguyên liệu không được công bố do yêu cầu bảo mật thông tin.

Mẫu xúc tác sử dụng để đánh giá là xúc tác FCC cân bằng (Ecat) từ NMLD Dung Quất. Phụ gia ZSM-5 được phối trộn với Ecat theo tỷ lệ từ 1 đến 5% kl để tạo thành một dòng xúc tác mới. Bộ thông số xúc tác (catalyst factors) được xây dựng trên cơ

sở đánh giá hiệu quả các mẫu xúc tác nghiên cứu trên hệ thiết bị chuyên dụng Short-contact-time Microactivity Test Unit (SCT-MAT) mô phỏng điều kiện của quá trình FCC tại Viện Dầu khí Việt Nam.

Kết quả và thảo luận

Ảnh hưởng của tính chất nguyên liệu đến hiệu quả sử dụng phụ gia ZSM-5

Để nghiên cứu ảnh hưởng của tính chất nguyên liệu đến hiệu quả sử dụng phụ gia ZSM-5 cho phân xưởng RFCC của NMLD Dung Quất, nhóm tác giả đã tiến hành đánh giá hiệu quả xúc tác khi bổ sung phụ gia từ 1 đến 5% kl trên hai mẫu nguyên liệu khảo sát là Mix BH 1 và Mix BH 2. Khoảng khảo sát này dựa trên kinh nghiệm áp dụng thực tế tại NMLD Dung Quất do ở tỷ lệ bổ sung cao hơn thì sẽ ảnh hưởng đến giới hạn vận hành của hệ thống thu hồi propylen. Mô phỏng được thực hiện trên cơ sở giữ nguyên thông số vận hành của Nhà máy, chỉ thay đổi tính chất nguyên liệu và bộ hệ số xúc tác. Kết quả mô phỏng được tổng hợp tại bảng 1.

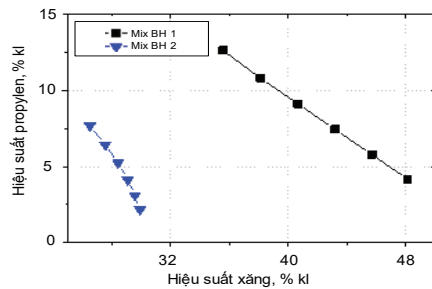
Bảng 1. Cơ cấu sản phẩm của phân xưởng RFCC khi thay đổi tỷ lệ phụ gia trên mẫu nguyên liệu Mix BH 1 và Mix BH 2.

Thông số	Đơn vị	Nguyên liệu Mix BH 1					Nguyên liệu Mix BH 2						
		Ecat	ZSM5-1%	ZSM5-2%	ZSM5-3%	ZSM5-4%	ZSM5-5%	Ecat	ZSM5-1%	ZSM5-2%	ZSM5-3%	ZSM5-4%	ZSM5-5%
Các trên xúc tác sau tái sinh	% kl	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Độ chuyển hóa chuẩn	% kl	71,7	72,9	74,5	76,1	77,5	79,0	46,7	49,0	51,3	53,6	55,9	58,1
Cốc	% kl	5,6	5,5	5,6	5,6	5,6	5,6	5,7	5,8	5,9	6,0	6,0	6,1
Khí khô	% kl	2,5	2,9	3,3	3,7	4,1	4,4	2,6	3,2	3,8	4,3	4,9	5,5
LPG	% kl	15,3	18,4	22,0	25,7	29,4	33,2	7,7	9,7	11,8	14,2	16,7	19,3
Xăng	% kl	48,3	46,0	43,6	41,0	38,4	35,8	30,7	30,4	29,9	29,2	28,3	27,2
LCO	% kl	14,9	13,8	13,0	12,2	11,4	10,6	14,9	14,5	14,0	13,6	13,2	12,7
Slurry	% kl	13,4	13,3	12,5	11,7	11,1	10,3	38,3	36,5	34,6	32,7	30,9	29,1
C ₂₊	% kl	4,3	6,0	7,8	9,6	11,5	13,4	2,2	3,1	4,1	5,2	6,4	7,7
Olefin/Parafin trong LPG		0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
RON của xăng		90,1	90,6	91,1	91,5	91,9	92,3	90,7	91,2	91,7	92,1	92,5	92,8
Khí ẩm	klNm ³ /h	57,4	66,3	76,1	85,9	94,9	104,2	40,0	47,5	55,2	63,1	71,1	79,3

Từ bảng 1 có thể thấy, với cả 2 mẫu nguyên liệu, khi tăng nồng độ phụ gia, độ chuyển hóa đều tăng, đồng thời tăng hiệu suất khí khô, LPG và propylen, trong khi đó giảm hiệu suất phân đoạn nặng hơn (xăng, LCO và Slurry). Điều này có thể được giải thích là nguyên liệu càng nhẹ và càng nhiều paraffin, có khả năng cracking cao, sẽ cho độ chuyển hóa cao; ngược lại nguyên liệu càng nặng và giàu aromatic, khó cracking hơn, sẽ cho độ chuyển hóa thấp hơn [3-5]. Tuy nhiên, có sự khác biệt đáng kể về phân bố sản phẩm khi thay đổi tính chất nguyên liệu. Mẫu nguyên liệu nhẹ, giàu paraffin (Mix BH 1) thì tác động của phụ gia lên cơ cấu sản phẩm lớn hơn, mức tăng hiệu suất propylen, khí khô, LPG lớn, trị số RON thấp hơn so với mẫu nguyên liệu nặng, giàu aromatic (Mix BH 2).

Ảnh hưởng của việc sử dụng phụ gia ZSM-5 tới hiệu suất propylen và xăng

Thông thường, việc sử dụng phụ gia ZSM-5 để tăng hiệu suất propylene sẽ làm giảm hiệu suất xăng. Do đó, cần quan tâm đến tương quan giữa hiệu suất propylene và xăng. Ảnh hưởng của tính chất nguyên liệu khi thay đổi tỷ lệ phụ gia ZSM-5 được trình bày ở hình 3.

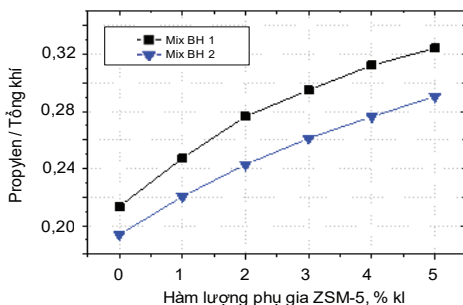


Hình 3. Ảnh hưởng của tính chất nguyên liệu đến mối tương quan giữa hiệu suất xăng và propylen khi thay đổi tỷ lệ phụ gia ZSM-5 từ 1 đến 5% kl.

Có thể thấy, hiệu suất propylen tăng thì hiệu suất xăng giảm đối cả hai mẫu nguyên liệu nghiên cứu. Kết quả này hoàn toàn phù hợp với cơ chế hoạt động của phụ gia ZSM-5 là bẻ gãy các olefin trong phân đoạn xăng thành olefin nhẹ [2-5]. Tuy nhiên, có sự khác biệt rõ ràng giữa hai mẫu nguyên liệu, với nguyên liệu giàu paraffin (Mix BH 1), độ dốc của đồ thị xăng, propylen nhỏ hơn nhiều so với nguyên liệu Mix BH 2. Ví dụ tại cùng tỷ lệ propylen mong muốn 7,5% kl, lượng xăng thu được với các nguyên liệu Mix BH 2 và Mix BH 1 lần lượt là 26 và 43% kl. Điều này có nghĩa là khi Nhà máy sử dụng phụ gia ZSM-5 cho quá trình cracking các nguyên liệu giàu paraffin thì lượng propylen thu được là lớn nhất và lượng xăng mất đi là ít nhất.

Ảnh hưởng của việc sử dụng phụ gia ZMS-5 tới hiệu suất propylen/tổng khí

Một trong các yêu cầu khác khi sử dụng phụ gia ZSM-5 là hiệu quả tăng propylen không làm ảnh hưởng nhiều đến các thành phần khí khác. Điều này được thể hiện qua tỷ số giữa hiệu suất propylen và hiệu suất khí tổng so với hàm lượng phụ gia ZSM-5 bổ sung (hình 4).

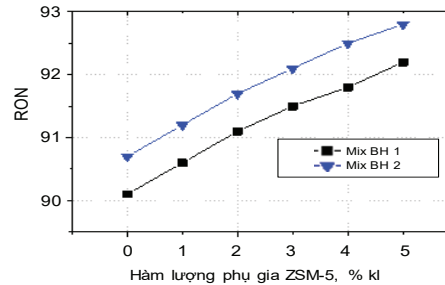


Hình 4. Ảnh hưởng của tính chất nguyên liệu đến tỷ lệ propylen/tổng khí khi thay đổi tỷ lệ phụ gia ZSM-5 từ 1 đến 5% kl.

Có thể thấy, khi tăng hàm lượng phụ gia bổ sung thì tỷ lệ propylen/tổng khí tăng đối với cả hai mẫu nguyên liệu. Tuy nhiên, với mẫu nguyên liệu giàu paraffin (Mix BH 1) thì tỷ lệ propylen/khí tổng cao hơn so với mẫu nguyên liệu giàu aromatic (Mix BH 2). Như vậy, có thể thấy sử dụng phụ gia khi chế biến dầu paraffin có lợi hơn so với dầu aromatic vì có tỷ lệ propylen/tổng khí lớn hơn nên cùng với một lượng khí đi vào thiết bị nén khí ẩm thì lượng propylen thu được khi sử dụng nguyên liệu paraffin là cao hơn.

Ảnh hưởng của việc sử dụng phụ gia ZMS-5 tới trị số octan trong xăng

Ảnh hưởng của nguyên liệu đến hiệu quả tăng trị số octan trong xăng của phụ gia ZSM-5 cũng là thông số cần được quan tâm bên cạnh mục tiêu tăng hiệu suất propylen. Kết quả thể hiện ở hình 5.



Hình 5. Ảnh hưởng của nguyên liệu đến trị số octan của xăng trong mô phỏng khi thay đổi tỷ lệ phụ gia từ 1 đến 5% kl.

Có thể thấy, khi tăng hàm lượng phụ gia ZSM-5 thì trị số octane theo RON của xăng tăng khá tốt. Kết quả này cũng phù hợp với cơ chế hoạt động của ZSM-5. Khi các cầu từ olefin trong xăng bị cracking thành olefin nhẹ thì hàm lượng aromatic trong xăng sẽ tăng, dẫn đến trị số octan của xăng tăng [5]. So với nguyên liệu giàu paraffin, nguyên liệu giàu aromatic cho trị số octan cao. Như vậy, trong trường hợp yêu cầu của Nhà máy là tăng đồng thời propylen và trị số octane thì nguyên liệu giàu aromatic có lợi thế hơn.

Kết luận

Kết quả mô phỏng cho thấy tính chất nguyên liệu ảnh hưởng khá lớn đến hiệu quả sử dụng phụ gia ZSM-5. So với mẫu nguyên liệu nặng, giàu aromatic (Mix BH 2), mẫu nguyên liệu nhẹ, giàu paraffin (Mix BH 1) cho hiệu suất propylen tăng mạnh hơn và hiệu suất xăng suy giảm thấp hơn khi tăng tỷ lệ phụ gia ZSM-5 từ 1 đến 5% kl. Do đó, khi Nhà máy muốn tăng hiệu suất propylen đồng thời vẫn quan tâm tới lượng xăng thì nguyên liệu nên sử dụng là nguyên liệu giàu paraffin và ở tỷ lệ phụ gia thấp. Tuy nhiên, hiệu quả tăng trị số octane (RON) của phụ gia ZSM-5 trên mẫu nguyên liệu nhẹ, giàu paraffin kém hơn so với mẫu nguyên liệu nặng, giàu aromatic. Do đó, nếu mục tiêu của Nhà máy là tăng propylene đồng thời với tăng RON của xăng thì nguyên liệu nặng, giàu aromatic sẽ có lợi khi sử dụng phụ gia ZSM-5.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] E.T.C. Vogt, B.M. Weckhuysen (2015), "Fluid catalytic cracking: Recent developments on the grand old lady of zeolite catalysis", *Chemical Society Reviews*, 44, pp.7342-7370.
 [2] V. Blay, B. Louis, R. Miravalles, T. Yokoi, K.A. Peccatiello, M. Clough, B. Yilmaz (2017), "Engineering zeolites for catalytic cracking to light olefins", *ACS Catalysis*, 7, pp.6542-6566.
 [3] J. Knight, R. Mehlberg (2011), "Maximize propylene from your FCC unit" *Hydrocarbon Processing*, 9, pp.91-95.
 [4] J.S. Buchanan (2000), "The chemistry of olefins production by ZSM-5 addition to catalytic cracking units", *Catalysis Today*, 55(3), pp.207-212.
 [5] X.H. Vu, L.L. Hoang, T.T. Dang (2017), "Innovative design of high activity ZSM-5 additives for maximum propylene production in the fluid catalytic cracking process: A mini-review", *Petrovietnam Journal*, 6, pp.53-57.
 [6] D.Q. Refinery (2008), *Operating manual unit RFCC Vietnam Oil and Gas Corporation*, Technip FMC, plc.