(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

UO‘K: 544.47

10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.23

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

PROPANNI KATALITIK AROMATLASH JARAYONIDA MEZOG‘OVAKLI KATALIZATORLARNING DEZAKTIVLANISHI



Nomozova Sadoqat Iskandar qizi
Dotsent, texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD), Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi, O‘zbekiston
ORCID ID: 0009-0002-9974-4992
Science ID: FQD-1026-0001

Annotatsiya. *Ushbu maqolada propanni katalitik aromatlash jarayonida H-MG‘S va sirkoniy bilan modifikatsiyalangan Zr/H-MG‘S mezog‘ovakli katalizatorlarining dezaktivlanish xususiyatlari tadqiq etilgan. Katalizatorlarning g‘ovakli tuzilishi past haroratli azot adsorbsiyasi, kislotalik xususiyatlari esa ammiakning harorat bo‘yicha dasturlangan desorbsiyasi usullari yordamida o‘rganilgan. Reaksiya davomida katalizator yuzasida hosil bo‘ladigan koks va uchuvchan bo‘lmagan organik birikmalarning element tarkibi Thermo Flash EA 1115 CHNS analizatori yordamida aniqlangan. Tadqiqot natijalariga ko‘ra, dastlabki mezog‘ovakli sorbentlar yuqori kristallik darajasi, 0,3–0,5 mkm kristall o‘lchami va rivojlangan g‘ovakli tuzilishga ega ekanligi aniqlangan. Katalizatorlarning umumiy g‘ovak hajmi 0,21–0,28 sm³/g oralig‘ida bo‘lib, ularning sirtida Brønsted kislota markazlari mavjudligi ko‘rsatilgan. Sirkoniy bilan modifikatsiyalangan katalizatorlarda Brønsted kislota markazlaridan tashqari, uch turdagi sirkoniy tutuvchi markazlar mavjudligi qayd etilgan. Katalizatorlarning dezaktivlanishi koks hosil bo‘lishi va faol markazlarning bloklanishi bilan bog‘liq holda tahlil qilingan. Shuningdek, katalizatorlarning kislotalik xususiyatlari va faol markazlar tarkibida Si/Al hamda Zr/Al nisbatlarining ahamiyati muhokama qilingan.*

Kalit so‘zlar: *propan, katalitik aromatlash, katalizator dezaktivlanishi, koks hosil bo‘lishi, sirkoniy, mezog‘ovakli katalizator, Brønsted kislota markazlari, element tahlili.*

Received: 29.09.2026 | Accepted: 09.10.2026 | Issue publication: 10.10.2026

ДЕЗАКТИВАЦИЯ МЕЗОПОРИСТЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ В ПРОЦЕССЕ КАТАЛИТИЧЕСКОЙ АРОМАТИЗАЦИИ ПРОПАНА

Номозова Садокат Искандар кизи
Доцент, доктор философии (PhD) по техническим наукам, Каршинский государственный технический университет, Карши, Узбекистан

Аннотация. *В статье исследованы особенности дезактивации мезопористых катализаторов H-MG‘S и модифицированных цирконием Zr/H-MG‘S в процессе каталитической ароматизации пропана. Пористая структура катализаторов изучена методом низкотемпературной адсорбции азота, а их кислотные свойства исследованы методом термопрограммированной десорбции аммиака. Элементный состав кокса и нелетучих органических соединений, образующихся на поверхности катализаторов в ходе реакции, определён с использованием CHNS-анализатора Thermo Flash EA 1115. Установлено, что исходные мезопористые сорбенты характеризуются высокой степенью кристалличности, размером кристаллов 0,3–0,5 мкм и*

развитой пористой структурой. Общий объём пор катализаторов находится в пределах 0,21–0,28 см³/г, при этом на их поверхности присутствуют кислотные центры Брёнстеда. Показано, что катализаторы, модифицированные цирконием, помимо кислотных центров Брёнстеда, содержат три типа цирконийсодержащих центров. Проанализирована взаимосвязь между дезактивацией катализаторов, образованием коксовых отложений и блокированием активных центров. Кроме того, рассмотрено значение атомных соотношений Si/Al и Zr/Al для кислотных свойств катализаторов и состава их активных центров.

Ключевые слова: *пропан, каталитическая ароматизация, дезактивация катализатора, коксообразование, цирконий, мезопористый катализатор, кислотные центры Брёнстеда, элементный анализ.*

DEACTIVATION OF MESOPOROUS CATALYSTS DURING CATALYTIC PROPANE AROMATIZATION

Nomozova Sadoqat Iskandar kizi

Associate Professor, Doctor of Philosophy (PhD) in Technical Sciences, Karshi State Technical University, Karshi, Uzbekistan

Abstract. *This study investigates the deactivation behavior of H-MG‘S and zirconium-modified Zr/H-MG‘S mesoporous catalysts during catalytic propane aromatization. The porous structure of the catalysts was characterized using low-temperature nitrogen adsorption, while their acidic properties were examined by ammonia temperature-programmed desorption (NH_3-TPD). The elemental composition of coke deposits and non-volatile organic compounds formed on the catalyst surface during the reaction was determined using a Thermo Flash EA 1115 CHNS elemental analyzer. The results indicate that the parent mesoporous sorbents exhibit high crystallinity, crystal sizes of 0.3–0.5 μm, and a well-developed porous structure. The total pore volume of the catalysts ranges from 0.21 to 0.28 cm³/g, and Brønsted acid sites are present on their surfaces. In addition to Brønsted acid sites, the zirconium-modified catalysts contain three types of zirconium-containing sites. The relationship between catalyst deactivation, coke deposition, and the blockage of active sites was analyzed. Furthermore, the significance of the Si/Al and Zr/Al atomic ratios in determining the acidic properties and active-site composition of the catalysts was discussed.*

Keywords: *propane, catalytic aromatization, catalyst deactivation, coke formation, zirconium, mesoporous catalyst, Brønsted acid sites, elemental analysis.*

Kirish. Yengil olefinlarni sanoatning turli sohalarida qo‘llash zarurati ortib borayotganligi sababli, propen, butan va izobuten va olefin mahsulotlari kabi yengil olefinlarga (alkenlarga) talab ortib bormoqda. Propilen turlineft-kimyo va polimer jarayonlarida eng muhim moddalardan biridir. Tabiiy gazda to‘yingan uglevodorodlarni o‘z ichiga oladi [1-3]. Etilen va propilen kabi to‘yinmagan uglevodorodlar kimyoviy moddalar va polimerlar ishlab chiqarishda qo‘llaniladigan muhim materiallar sinfidir. Yengil olefinlar orasida propilen yuqori miqyosda polipropilen, akrilonitril, propilen oksidi ishlab chiqarish va boshqalarda qo‘llaniladi. Polipropilen shuningdek, ko‘plab polimerlar va oraliq mahsulotlarnii shlab chiqarish uchun neft-kimyoning asosiy mahsulotlaridan biridir [4-7]. Propilenning eng muhim hosilalari polipropilen, akrilonitril, propilen oksidi, fenol, okso-spirt, akril kislota izopropil spirti, oligomerlarvaturli xil oraliq materiallar bo‘lib, elektronika, mashinasozlik, qurilish, qadoqlash va boshqalarda zarur bo‘lgan materiallar sifatida ishlatiladi[8-10].

Tajriba qismi. Katalizatorlarni tayyorlash. MG’S mezog‘ovakli sorbentlarining ikkala H shakli va sirkoniy bilan modifikatsiyalangan MG’S mezog‘ovakli sorbentlari katalizator sifatida ishlatilgan. Katalizatorlar NH_4-MG’S mezog‘ovakli sorbentlari (Si/Al = 10, 20, 30, 40) asosida tayyorlangan.

Mezog‘ovakli sorbentning kislota shaklini tayyorlash. Mezog‘ovakli sorbentlarning kislotali shakli (H-MG’S) quruq havo oqimida 550 ^oC haroratda 6 soat davomida kislota shaklini toblash

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

orqali olingan.

Zr-saqlovchi katalizatorlarni tayyorlash. Sirkoniy mezog‘ovakli sorbentlarga NH_4-MG’S mezog‘ovakli sorbentining namlik sig‘imi bo‘yichayuttirish yo‘li bilan kiritilgan. Sirkoniy manbai sifatida sirkoniy nitrat ishlatilgan. Birinchidan, bir gramm tashuvchining namlik sig‘imi aniqlandi. Buning uchun Petri idishiga 1 g fraksiya (0,5-1 mm) quruq namuna qo‘yildi va pipetkadan namunaga distillangan suv tomizildi. Namuna suvni yutishni to‘xtatishi bilan so‘rilgan suyuqlik miqdori o‘lchandi. Keyin sirkoniy nitrat bilan singdirilgan quruqtashuvchining aniq suspenziyasi olindi. Ushbu suspenziya uchun kerakli miqdordagi sirkoniy nitrat hisoblab chiqildi. Olingan eritma bilan material shimdirilgandan so‘ng, Petri idishi plyonka bilan qoplandi va xona haroratida bir kunga qoldirildi, keyin namuna 100℃ da 4-6 soat davomida quritildi. Shundan so‘ng, fraksiya reaktorga joylashtirildi va 550 ℃ da 6 soat davomida quruq havo oqimida toblandi.

Katalitik tajribalarni o‘tkazish uchun namunani keyinchalik maydalash bilan tabletkalarga bosish orqali olingan 0,5-1 mm fraksiya tayyorlandi.

Mezog‘ovakli sorbentlarning g‘ovakliligi ASAP-2000 asbobida past haroratli azot adsorbsiyasi usuli bilan o‘rganildi. Barcha mezog‘ovakli sorbentlar 300℃ haroratda 0,4 Pa gacha vakuum qilindi. N_2 adsorbsiyasi 77 K da amalga oshirildi. Izotermlar bog‘liqlik sifatida qayd etildi: $V_{ads.g}(cm^3/g)=f(P/P_o)$

G‘ovak hajmi quyidagicha aniqlandi:

$$Vpor = \frac{Vads}{646.9} \quad (1)$$

Bu yerda 646,9 — suyuq va gazsimon azotning molyar hajmlari nisbati (Vj = 34,65 ml/mol, Vg = 22 414 ml/mol).

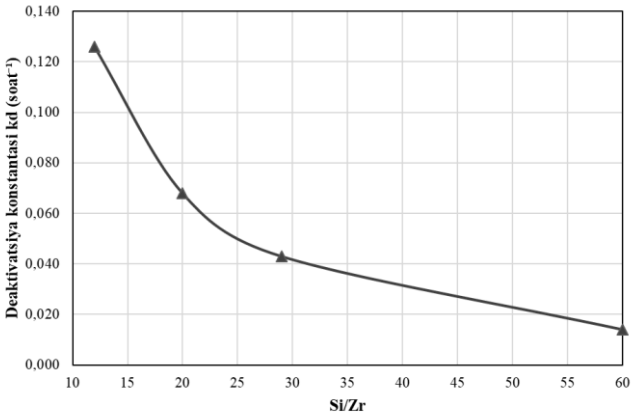
Olingan azot adsorbsiyasi izotermalariga asoslanib, solishtirma sirt yuzasi Micromeritics dasturiy paketi yordamida BET usuli bilan hisoblab chiqildi.

Ammiakning termodasturlangan desorbsiyasi. Taxminan 0,1 g og‘irlikdagi, 0,5–0,25 mm fraksiyali sinov namunasi (namuna 5 × 10^{-5} g aniqlik bilan olingan) 1–0,5 mm fraksiyali kvars qatlamlari orasidagi kvars reaktoriga joylashtirildi. Namuna quruq havo oqimida 550 ℃ haroratda toblanib, 1 soat davomida azot bilan tozalandi. To‘yintirish azot bilan suyultirilgan quritilgan ammiak oqimida (1:20) 30 daqiqa davomida amalga oshirildi. To‘yintirishdan so‘ng, ammiakning sirt bo‘ylab yaxshiroq taqsimlanishini ta’minlash uchun namuna bir kechaga yopiq reaktorda qoldirildi. Fizik adsorbsiyalangan ammiak quruq geliy oqimida 100 ℃ haroratda 1 soat davomida olib tashlandi. So‘ngra namuna xona haroratigacha sovutildi va reaktor katarometrga biriktirildi (geliy oqimi tezligi — 30 ml/min). TPD egri chizig‘ini olish uchun harorat chiziqli ravishda 800 ℃ gacha, taxminan 8 ℃/min tezlikda oshirildi.

Tajriba natijalari va ularning muhokamasi. Mezog‘ovakli sorbentning kislotaligi. Uglevodorodlarning kislotali markazlarda o‘zgarishi jarayonida koks hosil bo‘lishi markazlarning dezaktivlanishiga va reagent molekulalarining ularga kirishi bloklanishiga olib keladi, natijada keyingi reaksiya sodir bo‘lmaydi. Ma’lumki, koks hosil bo‘lish jarayoni va uning dezaktivlanishga ta’siri kislota markazlarining miqdori hamda tabiati bilan chambarchas bog‘liq. Biroq koks hosil bo‘lishi va aromatlash katalizatorlarining kislotaligi o‘rtasidagi bog‘liqlik hali ham aniq emas. Aromatlash katalizatorlarining kislotaliligining propanni katalitik aromatlash reaksiyasi paytida katalizatorda hosil bo‘ladigan uchmaydigan organik birikmalar va koks hosil bo‘lishiga ta’sirini o‘rganishga bag‘ishlangan ishlar faqat Zr saqlovchi katalizatorlar ustida olib borilgan. Si/Zr nisbatining propanni katalitik aromatlash reaksiyasi paytida katalizatorda hosil bo‘ladigan uchmaydigan organik birikmalar va koksning tabiati hamda miqdoriga ta’sirini o‘rganish jarayonida Si/Zr nisbatining ortishi bilan katalizatorda hosil bo‘ladigan uchmaydigan organik birikmalar va koks miqdorining kamayishi, H/C nisbatining esa oshishi ko‘rsatildi. Biroq dezaktivlanishda kislota markazlarining qaysi turlari ishtirok etishi noma’lumligicha qolmoqda, chunki Zr mezog‘ovakli sorbent doirasida ham, undan tashqarida ham joylashishi mumkin. O‘tkazilgan tadqiqotlar propanni katalitik aromatlash reaksiyasi uchun Si/Zr nisbatining ta’sirini tekshirish natijasida dezaktivlanish doimiy sirkoniy bilan yaratilgan kislota markazlari miqdoriga bog‘liq ekanligini ko‘rsatdi (1-rasm). Ushbu doimiylik quyidagi tenglama bilan hisoblangan:

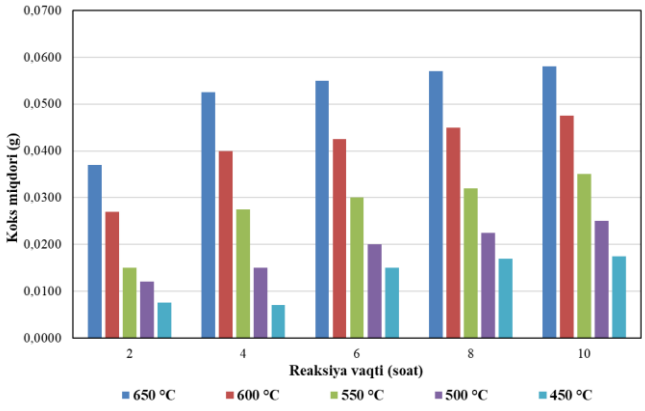
$$\ln\left(\ln\left(\frac{1}{1-x}\right)\right) = -\ln\left(\frac{k}{k_d}\right) - k_d t \qquad (2)$$

bu yerda x – propanning o‘zgarish darajasi, t – reaksiya vaqti.



1-rasm. Si/Zr nisbatining propan aromatizatsiyasi reaksiyasida dezaktivlanish konstantasiga ta’siri.

Katalizatorni oldindan ishlov berish. Koks qatlamlarini miqdori n-geksan aromatlash reaksiya oldin mezog‘ovakli sorbenttoblash harorati ta’siri ko‘rsatildi. Ushbu tadqiqot natijalari 2-rasmda ko‘rsatilgan.



2-rasm. Koks qatlamlari miqdorining mezog‘ovakli sorbentga turlicha oldindan ishlov berish haroratida aromatlash reaksiyasi vaqtiga bog‘liqligi.

Dastlabki va sirkoniy bilan modifikatsiyalangan mezog‘ovakli sorbentlarning fizik-kimyoviy tadqiqot natijalari 1-jadvalda keltirilgan.

Mezog‘ovakli sorbentlar nomidan keyin qavs ichidagi qiymatlar kimyoviy tahlilga ko‘ra Si/Al=10, 20, 30, 40 atom nisbatiga to‘g‘ri keladi. Barcha dastlabki mezog‘ovakli sorbentlarning dekationlangan shaklda bo‘lib, natriy miqdori 0,005 mas.% dan oshmaydi.

1-jadval

Katalizatorlarning xususiyatlari

Katalizator	Mezog‘ovakli sorbentli tuzilish turi	Kimyoviy tarkib			G‘ovaklar hajmi, sm^3/g	
		Atomn. Si/Al	Atomn. Zr/Al	Zr, mas.%	V_{mikro}	$V_{umum.}$
H- MG’S	MG’S	16	-	-	0,17	0,21
Zr/H-MG’S(10)	MG’S	16	0,35	2,2	0,17	0,21
H- MG’S (20)	MG’S	25	-	-	0,18	0,25
Zr/H-MG’S(20)	MG’S	25	0,58	2,2	0,18	0,25
H- MG’S (30)	MG’S	40	-	-	0,15	0,28
Zr/H-MG’S(30)	MG’S	40	0,78	2,0	0,12	0,28

Xulosa. Shunday qilib, olingan ma’lumotlar majmui shuni ko‘rsatadiki, dastlabki mezog‘ovakli sorbentlar MGS tuzilishiga ega bo‘lgan, kristallit hajmi 0,3–0,5 mkm, g‘ovaklar hajmi 0,2 sm^3/g va Brensted kislotaligiga ega yuqori kristalli materiallardir. Sirkoniy bilan modifikatsiyalangan mezog‘ovakli sorbentlar Brensted kislota markazlaridan tashqari, sirkoniy saqlovchi uch turdagi markazlarni ham o‘z ichiga oladi. Mezog‘ovakli sorbentlardagi turli markazlarning tarkibi Si/Al va Zr/Al nisbatlari bilan belgilanadi. Zr- va H-MGS katalizatorlarida dezaktivlanish jarayonlarining umumiy qonuniyatlari va xususiyatlarini o‘rganish uchun kislotaligi va sirkoniy saqlovchi markazlari o‘rtacha miqdorda bo‘lgan H-MGS(40) va Zr/H-MGS(40) mezog‘ovakli sorbentlari namunaviy katalizatorlar sifatida tanlandi.

H-MGS katalizatorida kristallarning tashqi yuzasida hamda mezog‘ovakli sorbent g‘ovaklarining og‘iz qismida joylashgan og‘ir yuqori molekulyar qatlamlar hosil bo‘lishi ko‘rsatildi. Biroq ular g‘ovaklar ichidagi kislota markazlarining dezaktivlanishiga olib kelmaydi. Katalizatorda propanning katalitik aromatlash reaksiyasi davomida hosil bo‘ladigan uchmaydigan organik birikmalar va kokslar vaqt o‘tishi bilan ushbu katalizatorlarning yuqori barqarorligini ta’minlaydi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

[1] Cao, Z., & Wei, B. (2013). V_2O_5/single-walled carbon nanotube hybrid mesoporous films as cathodes with high-rate capacities for rechargeable lithium ion batteries. Nano Energy, 2(4), 481–490. https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2012.11.013

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

[2] Farin, B., Devillers, M., & Gaigneaux, E. (2017). Nanostructured hybrid materials as precursors of mesoporous NiMo-based catalysts for the propane oxidative dehydrogenation. Microporous and Mesoporous Materials, 242, 200–207. https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2017.01.025

[3] Fei, H., Feng, W., & Lin, Y. (2016). Facile synthesis of vanadium oxide microspheres for lithium-ion battery cathodes. Solid State Sciences, 55, 36–41. https://doi.org/10.1016/j.solidstatesciences.2016.01.012

[4] Kim, T., & Wachs, I. E. (2008). CH_3OH oxidation over well-defined supported V_2O_5/Al_2O_3 catalysts: Influence of vanadium oxide loading and surface vanadium–oxygen functionalities. Journal of Catalysis, 255(2), 197–205. https://doi.org/10.1016/j.jcat.2008.02.007

[5] Oyama, S. T., Went, G. T., Lewis, K. B., Bell, A. T., & Somorjai, G. A. (1989). Oxygen chemisorption and laser Raman spectroscopy of unsupported and silica-supported vanadium oxide catalysts. The Journal of Physical Chemistry, 93(18), 6786–6790. https://doi.org/10.1021/j100355a041

[6] Premji, Z. A., Lo, J. M. H., & Clark, P. D. (2014). Experimental and ab initio investigations of H_2S-assisted propane oxidative dehydrogenation reactions. The Journal of Physical Chemistry A, 118(9), 1541–1556. https://doi.org/10.1021/jp410750c

[7] Sediri, F., Touati, F., & Gharbi, N. (2007). A one-step hydrothermal way for the synthesis of vanadium oxide nanotubes containing the phenylpropylamine as template obtained via non-alkoxide route. Materials Letters, 61(8–9), 1946–1950. https://doi.org/10.1016/j.matlet.2006.07.109

[8] Shahbazi Kootenaei, A. H., Towfighi, J., Khodadadi, A., & Mortazavi, Y. (2014). Stability and catalytic performance of vanadia supported on nanostructured titania catalyst in oxidative dehydrogenation of propane. Applied Surface Science, 298, 26–35. https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2013.12.172

[9] Sui, Z. J., Zhou, J. H., Dai, Y. C., & Yuan, W. K. (2005). Oxidative dehydrogenation of propane over catalysts based on carbon nanofibers. Catalysis Today, 106(1–4), 90–94. https://doi.org/10.1016/j.cattod.2005.07.141

[10] Zabrodina, G. S., Makarov, S. G., Kremlev, K. V., Yunin, P. A., Gusev, S. A., Kaverin, B. S., Kaverina, L. B., & Ketkov, S. Y. (2016). Novel hybrid materials based on the vanadium oxide nanobelts. Applied Surface Science, 368, 395–402. https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2016.02.011

Maqolaga iqtibos keltirish | Как цитировать статью | How to cite this article

Nomozova, S. I. (2026). Propanni katalitik aromatlash jarayonida mezog‘ovakli katalizatorlarning dezaktivlanishi. Sanoatda raqamli texnologiyalar, 4(3–1). https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.23