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

UO‘K: 544.47

10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.22

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

PROPANDAN AROMATIK UGLEVODORODLAR OLISH UCHUN TANLANGAN MODIFIKATSIYALANGAN KATALIZATORLARNING TEKSTUR VA FIZIK-KIMYOVIY XUSUSIYATLARI



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. *Maqolada propanni aromatik uglevodorodlarga katalitik aylantirish uchun nanoo‘lchamdagi rux, sirkoniy va molibden bilan modifikatsiyalangan mezog‘ovakli yuqori kremniyli seolit katalizatorlarini sintez qilish hamda ularning fizik-kimyoviy xususiyatlarini o‘rganish natijalari keltirilgan. Katalizatorlarning kislotalilik xossalari ammiakning harorat-dasturlashtirilgan desorbsiyasi usuli orqali, teksturaviy ko‘rsatkichlari esa solishtirma sirt maydoni va g‘ovak hajmi bo‘yicha baholangan. Propanni aromatlash jarayonidan keyin katalizator yuzasida hosil bo‘lgan koksning tabiati derivatografik va termogravimetrik usullar yordamida tahlil qilingan. Tadqiqot natijalari tarkibida 1 % Zn saqlovchi katalizatorning yuqori aromatlash faolligiga ega ekanligini ko‘rsatgan. Rux miqdorining ortishi bilan katalizatorlarning solishtirma sirt maydoni va umumiy g‘ovak hajmining kamayishi kuzatilgan. Shuningdek, sintez jarayonida uglerod kukunining ikkilamchi shablon sifatida qo‘llanilishi koks hosil bo‘lishini kamaytirishi aniqlangan. Uglerod kukunining 1,0 % miqdori maqbul deb baholangan, uning miqdorini oshirish esa katalizatorning aromatlash faolligini pasaytirgan. Olingan natijalar propanni aromatik uglevodorodlarga samarali konversiyalash uchun modifikatsiyalangan mezog‘ovakli seolit katalizatorlarining tarkibi va teksturaviy xossalarini boshqarish muhimligini ko‘rsatadi.*

Kalit so‘zlar: *propan, aromatik uglevodorodlar, katalitik aromatlash, yuqori kremniyli seolit, mezog‘ovak, katalizator, rux, sirkoniy, molibden, kislotalilik, teksturaviy xususiyatlar, koks hosil bo‘lishi, termogravimetrik tahlil.*

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

ТЕКСТУРНЫЕ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОДИФИЦИРОВАННЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ ИЗ ПРОПАНА

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

Аннотация. *В статье представлены результаты синтеза и исследования мезопористых высококремнистых цеолитных катализаторов, модифицированных наноразмерными цинком, цирконием и молибденом, предназначенных для каталитической ароматизации пропана. Кислотные свойства катализаторов изучены методом температурно-программированной десорбции аммиака, а текстурные характеристики оценены по удельной площади поверхности и объёму пор. Природа коксовых отложений, образующихся после каталитической реакции, исследована методами дериватографии и термогравиметрического анализа. Установлено, что катализатор, содержащий 1 % Zn, характеризуется наиболее высокой активностью в процессе ароматизации пропана. При увеличении содержания цинка наблюдается снижение удельной поверхности и общего объёма пор катализатора. Показано, что введение углеродного порошка на стадии синтеза способствует уменьшению коксообразования на поверхности катализатора. Оптимальное содержание углеродного порошка составляет 1,0 %, тогда как его дальнейшее увеличение приводит к снижению ароматизирующей активности. Полученные результаты подтверждают важную роль состава, кислотности и текстурных характеристик модифицированных цеолитных катализаторов в повышении эффективности превращения пропана в ароматические углеводороды.*

Ключевые слова: *пропан, ароматические углеводороды, каталитическая ароматизация, высококремнистый цеолит, мезопоры, катализатор, цинк, цирконий, молибден, кислотность, текстурные характеристики, коксообразование, термогравиметрический анализ.*

TEXTURAL AND PHYSICOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF MODIFIED CATALYSTS FOR THE PRODUCTION OF AROMATIC HYDROCARBONS FROM PROPANE

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

Abstract. *The article presents the synthesis and physicochemical characterization of mesoporous high-silica zeolite catalysts modified with nanosized zinc, zirconium, and molybdenum for the catalytic aromatization of propane. The acidic properties of the catalysts were investigated by temperature-programmed ammonia desorption, while their textural characteristics were evaluated in terms of specific surface area and pore volume. The nature of coke deposits formed on the catalyst surface after the reaction was examined using derivatographic and thermogravimetric methods. The results showed that the catalyst containing 1% Zn exhibited the highest aromatization activity. Increasing the zinc content resulted in a decrease in specific surface area and total pore volume. The addition of carbon powder during catalyst synthesis was found to reduce coke formation, with 1.0% carbon identified as the optimal amount. A further increase in carbon content decreased the aromatization activity of the catalyst. The findings demonstrate that catalyst composition, acidity, and pore structure are key factors controlling the efficiency of propane conversion to aromatic hydrocarbons.*

Keywords: *propane, aromatic hydrocarbons, catalytic aromatization, high-silica zeolite, mesopores, catalyst, zinc, zirconium, molybdenum, acidity, textural properties, coke formation, thermogravimetric analysis.*

Kirish. Neft-kimyo sanoatining eng muhim xomashyosi bo‘lgan aromatik ya’ni benzol qatori uglevodorodlar asosan neftning neft fraksiyalarini piroliz, alkillash, reforming va gidro qayta ishlash jarayonlarida olinadi [1-3]. Neft-yo‘ldosh gazidan oqilona foydalanish muammosi butun dunyoda dolzarbdir va shuning uchun uni katalitik qayta ishlash jarayonlariga qiziqish doimiy ravishda oshib uglerodmoqda. Neft qazib olish jarayonida yer qa’ridan qazib olinadigan neft-yo‘ldosh gazidan foydalanishning mumkin bo‘lgan yo‘nalishlari keng. Mezog‘ovakli, yuqori katalitik xususiyatga

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

ega bo‘lgan yuqori kremniyli seolitlar asosida tayyorlangan propanni aromatik uglevodorod (ya’ni benzol qatori uglevodorod) larga katalitik aromatlash uchun tanlangan katalizatorlar neftni qayta ishlash va neft-kimyo jarayonlarida tougleroda ko‘proq foydalanilmoqda, bu esa ularning fizik-kimyoviy xossalari uyg‘unligi bilan bog‘liqdir [4-8]. Biroq, mezog‘ovakli, yuqori katalitik xususiyatga ega bo‘lgan yuqori kremniyli seolitlarning mikrog‘ovaklari tomonidan hosil bo‘lgan kichik va tor kanallar massa almashish jarayonlarini murakkablashtiradi va uglerod hosil bo‘lishiga yordam beradi va natijada vaqt o‘tishi bilan ularning faolligi tez pasayadi. Mezog‘ovakli, yuqori katalitik xususiyatga ega bo‘lgan yuqori kremniyli seolitga o‘xshash materiallarning fizik-kimyoviy va katalitik xususiyatlarini o‘rganishga bag‘ishlangan ilmiy nashrlar soni doimiy ravishda o‘sib uglerodmoqda, bu propanni aromatik uglevodorod (ya’ni benzol qatori uglevodorod) larga katalitik aromatlash uchun tanlangan katalizatorlarning ushbu sinfining muhim rolini ta’kidlaydi [9-10].

Tajriba qismi. Nano o‘lchamdagi rux, sirkoniy va molibden kukunlari metall simni yuqori quvvatli elektr impulslari bilan sepish orqali olindi. Uglevodorodlarni katalitik aromatlash uchun tanlangan katalizatorlar metallning nano kukunlari va katalitik faollikka ega bo‘lgan mezog‘ovakli, yuqori kremniyli seolitni tegirmonda quruq mexanik maydalash so‘ngra tayyorlangan aralashmalarni 550 ^{0}C haroratda 3 soat davomida kuydirish yo‘li bilan tayyorlandi.

Uglevodorodlarni katalitik aromatlash uchun olingan katalizatorning kislotali xossalari ammiakning temperaturali dasturlashtirilgan desorbsiyasi (TPD) usuli bilan o‘rganildi. Kremniy manbai sifatida suyuq shisha ishlatilgan, reaksiya aralashmasiga Al^{3+}, Zn^{2+} va Zr^{4+} ionlari ularning suvda eruvchan nitrat tuzlari shaklida kiritilgan, tuzilish hosil qiluvchi komponent sifatida ammoniy bikarbonat tanlangan. Katalizatorlarni sintez qilish jarayonida ishlatiladigan SiO_2 og‘irligi bo‘yicha 1-1,5% mezog‘ovakli, yuqori katalitik xususiyatga ega bo‘lgan yuqori kremniyli seolit qo‘shildi. Mikro- va mezog‘ovakli rux aluminiy silikatining sintezi mikrog‘ovakli mezog‘ovakli, yuqori katalitik xususiyatga ega bo‘lgan yuqori kremniyli seolit sinteziga o‘xshaydi, ammo qo‘shimcha ravishda uglerod kukunidan reaksiya aralashmasiga 1,0-3,0% miqdorida qo‘shiladi.

Propanning aromatik uglevodorodlarga konversiyalanishi atmosfera bosimida, 550 °C reaksiya haroratida va 250 s^{-1} hajmiy tezlikda oqim tipidagi sinov reaktorida o‘rganildi. Reaktorga yuklangan propanni aromatik uglevodorodlarga (ya’ni, benzol qatori uglevodorodlariga) katalitik aromatlash uchun tanlangan katalizator hajmi 6,0 sm^3, zarrachalarining o‘lchami esa 0,5–1,0 mm ni tashkil etdi. Jarayon muayyan vaqt davomida uzluksiz amalga oshirildi va hosil bo‘lgan mahsulotlar barcha katalizatorlar uchun bir xil vaqt oralig‘ida tahlil qilindi. O‘rganilayotgan katalizatorlardagi kislotali markazlar konsentratsiyasi desorbsiya cho‘qqilarini qayd etish jarayonida desorbsiyalangan ammiak miqdori asosida aniqlandi hamda 1 g propanni aromatik uglevodorodlarga katalitik aromatlash uchun tanlangan katalizatorga nisbatan mikromollarda ifodalandi.

Propanni aromatik uglevodorodlarga katalitik aromatlash jarayonida o‘rganilayotgan katalizator yuzasida hosil bo‘lgan kokslarning tabiati Q-1500 derivatografi yordamida o‘rganildi. Buning uchun uglevodorodlarni katalitik aromatlashda yuqori katalitik faollikka ega bo‘lgan katalizator havoda qizdirildi. O‘lchov natijalarini keyinchalik qayta ishlash haroratni (T), katalizatorni qizdirish tezligini (V), katalizator massasining o‘zgarishini (TG) va termik effektlarni (DTA) qayd etish imkonini beruvchi “Tanaliz” dasturiy mahsuloti yordamida amalga oshirildi. Reaksiya mahsulotlari xromatografik usulda tahlil qilindi.

Natijalar va uning muhokamasi. Olingan uglevodorodlarni katalitik aromatlash uchun tanlangan katalizatorlarning kislotalilik xossalarini o‘rganish natijalari 1-jadvalda keltirilgan.

Tarkibida rux saqlovchi mezog‘ovakli, yuqori kremniyli seolit uglevodorodlarni katalitik aromatlab, aromatik ya’ni benzol qatori uglevodorodlar olish uchun tanlangan katalizatorlarining tekstura xarakteristikalarini o‘rganish natijalari 2-jadvalda keltirilgan. Katalizator tarkibidagi rux miqdori ortishi bilan o‘ziga xos sirt maydoni va umumiy g‘ovak hajmining pasayishi kuzatiladi. Masalan, 2.0% Zn va Zr-Zr-YuKS uglevodorodlarni katalitik aromatlab, aromatik ya’ni benzol qatori

uglevodorodlar olish uchun tanlangan katalizatori uchun solishtirma sirt maydoni 332 m^2/g, 1% Zn bo‘lgan Zr-Zr-YuKS katalizatori uchun esa 393 m^2/g. Olingan natijalar 1%Zn bo‘lgan Zr-Zr-YuKS katalizatorida ruxning oz miqdori va 1.5% Zn bo‘lgan Zr-Zr-YuKS uglevodorodlarni katalitik aromatlab, aromatik ya’ni benzol qatori uglevodorodlar olish uchun tanlangan katalizatorida sezilarli darajada yuqori bo‘lganligini ko‘rsatadigan elektron mikroskopiya ma’lumotlari bilan yaxshi mos keladi.

1-jadval

Zn-Mo tarkibidagi yuqori kremniyli seolitlarning kislotali xususiyatlari

Katalizator	T_{max}, °C		Kislotali markaz konsentratsiyalari, (mkmol/g)		
	T_1	T_2	**Kuchsiz kislotali markazlar**	**kuchli kislotali markazlar**	**umumiy kislotalilik**
H-YuKS	198	415	520	542	1042
2.0% Mo/YuKS	194	394	401	320	721
6.0% Mo/YuKS	188	390	330	198	528
0.5% Zn -6.0% Mo/YuKS	195	395	368	230	598
1.0% Zn -6.0% Mo/YuKS	200	405	340	205	545
1.5% Zn -6.0% Mo/YuKS	210	402	295	110	405

Uglevodorodlarni katalitik aromatlash orqali aromatik, ya’ni benzol qatori uglevodorodlarini olish uchun tarkibida 1% Zn bo‘lgan Zr-Zr-YuKS tarkibli katalizator tanlandi. Mazkur katalizator boshqa uglevodorodlarni katalitik aromatlash orqali aromatik, ya’ni benzol qatori uglevodoridlarini olish uchun tanlangan katalizatorlarga nisbatan o‘rganilgan barcha harorat oralig‘ida eng yuqori aromatlash faolligini namoyon etdi.

2-jadval

Katalizatorlarining kislotalilik va teksturaviy xarakteristikalari

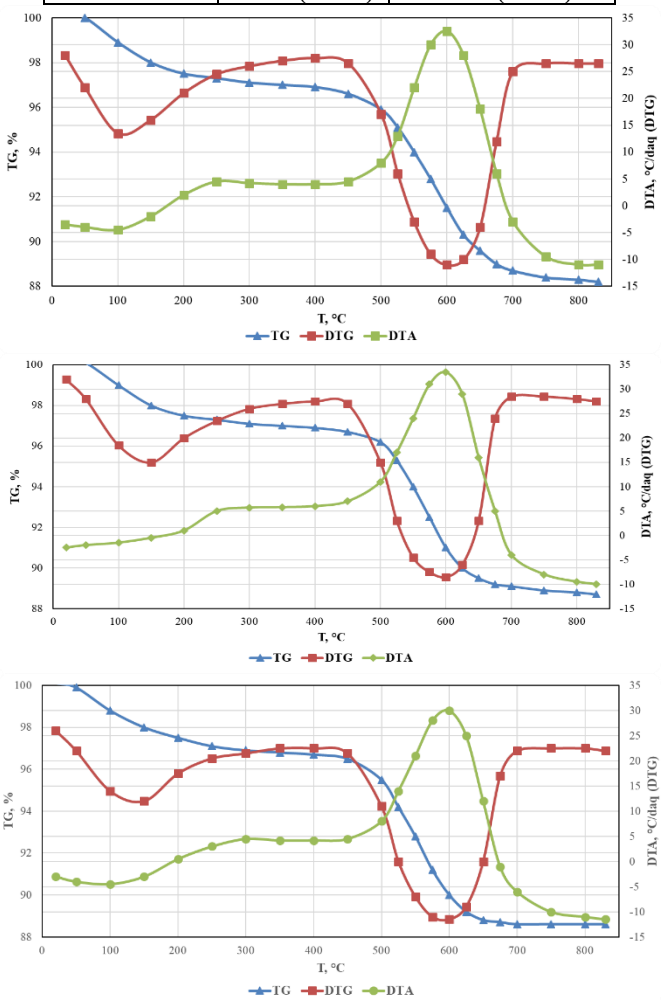
Katalizator	Tmaks, °C		Konsentratsiya,mk/mol			S_{ud}, m^2/g	V, sm^3/g	d,nm
	T_I	T_{II}	C_I	C_{II}	C_Σ			
1 % Zn-YuKS	220	450	530.1	295	825	393	0.25	2.85
1.5 % Zn-YuKS	210	430	490.3	230	720	360	0.22	2.94
2.0 % Zn-YuKS	170	420	395.2	187	580	332	0.19	3.01

Propanni aromatik uglevodorodlarga katalitik aromatlashda o‘rganilayotgan propanni katalitik aromatlash uchun tanlangan yuqori katalitik faollikka ega bo‘lgan katalizatorlarda hosil bo‘lgan kokslarini o‘rganish uchun termogravimetrik tadqiqotlar o‘tkazildi. 1-rasm va 3-jadvalda propanni aromatik uglevodorodlarga katalitik aromatlash jarayonida 6 soat davomida ishlagan rux aluminosilikatlarining differensial termik tahlili ma’lumotlari keltirilgan.

3-jadval

Propanni konversiyalash jarayonida 6 soat davomida ishlagan rux aluminosilikatlari massasining o‘zgarishi

Katalizator	Massaning o‘zgarishi, % (T, °C)	
	Suv	Koks
Zn-YuKS	−4.255 (112 °C)	−9.855 (611–655 °C)
Zn–YuKS-20	−4.350 (125 °C)	−8.750 (604 °C)
Zn–YuKS-30	−4.250 (123 °C)	−9.252 (604 °C)



1-rasm. Rux aluminosilikatlarining propan bilan 6 soat davomida ishlov berilgandan keyingi termogrammalari.

Texnik uglerod qo‘shilishi natijasida olingan rux aluminosilikatlarida koks miqdori kamayadi. Ushbu uglevodorodlarni katalitik aromatlash uchun tanlangan yuqori katalitik faollikka ega katalizatorning DTG va DTA egri chiziqlarida aniq belgilangan past va yuqori haroratli cho‘qqilarning mavjud emasligi unda hosil bo‘lgan koksning juda bir xil ekanligini va asosan bitta shaklda mavjudligini ko‘rsatadi.

1,0% uglerod kukuni yordamida olingan katalizator biroz pastroq aromatlash faolligiga ega, biroq propanni aromatik, ya’ni benzol qatori uglevodorodlariga katalitik aromatlash uchun

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

tanlangan katalizatorning umumiy faolligi deyarli o‘zgarmaydi. Mezog‘ovakli, yuqori katalitik xususiyatlarga ega yuqori kremniyli seolit sintezi jarayonida qo‘shilgan uglerod miqdori ortishi bilan propanni aromatik uglevodorodlarga katalitik aromatlash uchun tanlangan katalizatorning aromatlash faolligi pasayadi.

Xulosa. Propanni aromatik uglevodorodlarga katalitik aromatlashda o‘rganilayotgan katalizatorlarda hosil bo‘lgan koksni tadqiq etish maqsadida o‘tkazilgan termogravimetrik tadqiqotlar natijasida texnik uglerod qo‘shilishi bilan olingan katalizator tarkibidagi koks miqdori kamayishi aniqlandi. 1,0% uglerod kukuni yordamida olingan katalizator biroz pastroq aromatlash faolligiga ega, biroq propanni aromatik uglevodorodlarga katalitik aromatlash uchun tanlangan katalizatorning umumiy faolligi deyarli o‘zgarmaydi. Mezog‘ovakli, yuqori katalitik xususiyatlarga ega yuqori kremniyli seolit sintezi jarayonida qo‘shilgan uglerod miqdori ortishi bilan propanni aromatik uglevodorodlarga, ya’ni benzol qatori uglevodorodlariga, katalitik aromatlash uchun tanlangan katalizatorning aromatlash faolligi pasayadi.

6 soat davomida propanni aromatlash jarayonida ishlagan, tarkibida Zn saqlovchi mezog‘ovakli, yuqori katalitik xususiyatlarga ega yuqori kremniyli seolitlarning termogrammalarida ikkita cho‘qqi kuzatilishi aniqlandi. Mezog‘ovakli, yuqori katalitik xususiyatlarga ega yuqori kremniyli seolit sintezi jarayonida qo‘shiladigan uglerod kukunining eng maqbul konsentratsiyasi 1,0% ni tashkil qiladi. Bu, ko‘rinishidan, propanni aromatik uglevodorodlarga katalitik aromatlash uchun tanlangan katalizator mikro- va mezog‘ovaklari hajmining hamda turli tabiatga ega faol markazlar sonining maqbul nisbatiga erishish bilan bog‘liq. Uglevodorodlarni katalitik aromatlash uchun tanlangan, yuqori katalitik faollikka ega katalizatorlarni kuydirish orqali uglerod shabloni olib tashlanganidan so‘ng, ikkilamchi mezog‘ovak tizim hosil bo‘ladi va mezog‘ovaklar hajmi ortadi. Shunday qilib, rux aluminiy silikatini sintez qilish jarayonida texnik uglerodning ikkilamchi shablon sifatida qo‘shilishi uning kristallari morfologiyasida sezilarli o‘zgarishlarga olib kelmaydi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

[1] Ахметов, А. Ф., & Каратун, О. Н. (2001). Модифицированные пентасилсодержащие катализаторы для ароматизации углеводородных газов. Химия и технология топлив и масел, (5), 33–36.
[2] Величкина, Л. М., Коробицына, Л. Л., Улзий, Б., Восмериков, А. В., & Туяа, М. (2013). Физико-химические и каталитические свойства железо- и индийсодержащих цеолитов. Нефтехимия, 53(2), 138–143.
[3] Восмерикова, Л. Н., Волынкина, А. Н., Восмериков, А. В., & Зайковский, В. И. (2015). Ароматизация этана и пропана на металлсодержащих цеолитах структурного типа ZSM-5. НефтеГазоХимия, (1), 37–41.
[4] Дергачев, А. А., & Лапидус, А. Л. (2008). Каталитическая ароматизация низших алканов. Российский химический журнал (Журнал Российского химического общества им. Д. И. Менделеева), 52(4), 15–21.
[5] Козлов, А. М., Худяков, Д. С., Лапидус, А. Л., & Дергачёв, А. А. (2011). Ароматизация пропан-бутановой фракции на пентасиле, модифицированном солями цинка. Технологии нефти и газа, (1), 7–10.
[6] Лапидус, А. Л., & Дергачев, А. А. (2008). Превращения низкомолекулярных алифатических углеводородов на цеолитных катализаторах. Газохимия, (4), 16–20.
[7] Fang, Y., Su, X., Bai, X., Wu, W., Wang, G., Xiao, L., & Yu, A. (2017). Aromatization over nanosized Ga-containing ZSM-5 zeolites prepared by different methods: Effect of acidity of active Ga species on the catalytic performance. Journal of Energy Chemistry, 26(4), 768–775. https://doi.org/10.1016/j.jechem.2017.03.014

[8] Liu, Z., Wang, Y., & Xie, Z. (2012). Thoughts on the future development of zeolitic catalysts from an industrial point of view. Chinese Journal of Catalysis, 33(1), 22–38. https://doi.org/10.1016/S1872-2067(10)60299-9

[9] Rodrigues, V. de O., & Faro Júnior, A. C. (2012). On catalyst activation and reaction mechanisms in propane aromatization on Ga/HZSM5 catalysts. Applied Catalysis A: General, 435–436, 68–77. https://doi.org/10.1016/j.apcata.2012.05.036

[10] Tian, M., Zhao, T. Q., Chin, P. L., Liu, B. S., & Cheung, A. S.-C. (2014). Methane and propane co-conversion study over zinc, molybdenum and gallium modified HZSM-5 catalysts using time-of-flight mass-spectrometry. Chemical Physics Letters, 592, 36–40. https://doi.org/10.1016/j.cplett.2013.12.001

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

Nomozova, S. I. (2026). Propandan aromatik uglevodorodlar olish uchun tanlangan modifikatsiyalangan katalizatorlarning tekstur va fizik-kimyoviy xususiyatlari. Sanoatda raqamli texnologiyalar, 4(3–1). https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.22