

UO'K: 547

doi 10.70769/3030-3214.SRT.2.4-1.2024.28

**PROPANNI KATALITIK AROMATLASH UCHUN TANLANGAN  
KATALIZATORLARNING FIZIK-KIMYOVIY VA KATALITIK  
XARAKTERISTIKALARI**



**Nomozova Sadokat  
Iskandar qizi**

Qarshi muhandislik-iqtisodiyot  
instituti stajyor o'qituvchisi,  
Qarshi, O'zbekiston



**Fayzullaev Normurod  
Ibodullaevich**

Samarqand davlat universiteti  
professori t.f.d.,  
Samarqand, O'zbekiston



**Hamidov Davron  
Ruzimurodovich**

Qarshi muhandislik-iqtisodiyot  
instituti dotsenti,  
Qarshi, O'zbekiston



**Raximov Ganisher  
Baxtiyorovich**

Qarshi muhandislik-iqtisodiyot  
instituti dotsenti,  
Qarshi, O'zbekiston

**Annotatsiya.** Ishda propanni katalitik aromatlash uchun tanlangan katalizatorlarning fizik-kimyoviy va katalitik xarakteristikalari o'rganilgan. Propanning konversiyasi 450°C haroratda va 4 atm bosimda o'rganildi. Suyuq va gazsimon jarayon mahsulotlari gaz-suyuqlik xromatografiyasi orqali 40 m uzunlikdagi SE-30 kapillyar kolonkalarida tashuvchi gaz sifatida geliy bilan tahlil qilindi. Rentgen ma'lumotlarini tahlil qilish shuni ko'rsatadiki, barcha sintez qilingan namunalar seolit tuzilmasiga ega. Bu strukturaviy turga mansub bo'lmagan diffraksiya chizmalarida aks ettirishlar yo'q, shuningdek, amorf aralashmalarining kuchli fon xarakteristikasi ham mavjud emas. Bularning barchasi olingan materiallarning yuqori fazali tozaligini ko'rsatadi. 2%Cu \* 2%Zn/H – YUKS – 30 namunasidan farqli o'laroq, 2%Cu \* 8%Zn/H – YUKS – 30 va 8%Zn/silikalitlar da kristalli rux oksidi fazasining ko'rinishi kuzatiladi. 0,5 – 5% ZnO ni H-YUKS-30 bilan mexanik siljish yo'li bilan bir qator namunalarni tayyorlash va  $2\theta = 36,4^{\circ}\text{C}$  bilan aks ettirish intensivligi va bu namunalardagi ZnO kristallarining tarkibi o'rtasidagi korrelyatsiyani qurish imkon berdi. Ruxni o'z ichiga olgan va kislotali yuqori kremniyli mezog'ovakli seolitlarida propanning aromatik uglevodorodlarga konversiyasining dastlabki tezligini taqqoslash rux bilan modifikatsiya qilish konversiyaning dastlabki bosqichlarida katalizator faolligini sezilarli darajada oshirishga olib kelishini ko'rsatdi. Dastlabki tezliklar va kislota markazlari konsentratsiyasi o'rtasida hech qanday bog'liqlik topilmadi. Aksincha, Lyuis kislotali markazlari soni bilan chiziqli korrelyatsiya kuzatildi. Shunday qilib, propanning aromatik uglevodorodlarga konversiyasining dastlabki bosqichlarida asosiy rol ni ruxni o'z ichiga olgan L-markazlarida sodir bo'lishini ko'rsatdi.

**Kalit so'zlar:** propan, katalizator, yuqori kremniyli seolit, modifikatsiyalash, konversiya, unum, selektivlik.

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И КАТАЛИТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ  
ВЫБРАННЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ ДЛЯ КАТАЛИТИЧЕСКОГО  
АРОМАНИРОВАНИЯ ПРОПАНА**

**Номозова Садокат  
Искандар кизи**

преподавателя-стажера  
Каршинского инженерно-  
экономического института,  
Карши, Узбекистан

**Файзуллаев Нормурод  
Ибодуллаевич**

Профессор Самаркандского  
государственного университета,  
д.т.н., Самарканд, Узбекистан

**Хамидов Даврон  
Рузимуродович**

Доцент Каршинского  
инженерно-экономического  
института,  
Карши, Узбекистан

**Рахимов Ганишер  
Бахтиёрович**

Доцент Каршинского  
инженерно-экономического  
института,  
Карши, Узбекистан

**Аннотация.** В работе изучены физико-химические и каталитические характеристики катализаторов, выбранных для каталитической ароматизации пропана. Конверсию пропана изучали при температуре 450°C и давлении 4 атм. Жидкие и газообразные продукты процесса анализировали методом газожидкостной хроматографии в капиллярных колонках SE-30 длиной 40 м с использованием гелия в качестве газа-носителя. Анализ рентгеноструктурных данных показывает, что все синтезированные образцы имеют структуру цеолита. На дифрактограммах отсутствуют рефлексы, не относящиеся к данному структурному типу, а также отсутствует сильный фон, характерный для аморфных смесей. Все это свидетельствует о высокой фазовой чистоте полученных материалов. В отличие от образца 2%Cu \* 2%Zn/H – YUKS – 30 в 2%Cu \* 8%Zn/H – YUKS – 30 и 8%Zn/силикалитах наблюдается кристаллическая фаза оксида спирта. Удалось приготовить ряд образцов методом механического вытеснения 0,5 – 5% ZnO с H – YUKS – 30 и установить корреляцию между интенсивностью рефлекса при  $2\theta = 36,4^\circ\text{C}$  и составом кристаллов ZnO в этих образцах. Сравнение начальной скорости превращения пропана в ароматические углеводороды в спиртосодержащих и кислых высококремнистых мезопористых цеолитах показало, что модифицирование спиртом приводит к существенному повышению активности катализатора на начальных стадиях превращения. Корреляции между начальными скоростями и концентрацией кислотных центров не обнаружено. Напротив, наблюдалась линейная корреляция с числом льюисовских кислотных центров. Таким образом, показано, что на начальных стадиях превращения пропана в ароматические углеводороды основную роль играют L-центры, к которым относится спирт.

**Ключевые слова.** пропан, катализатор, высококремнистый цеолит, модификация, превращение, выход, селективность.

## PHYSICO-CHEMICAL AND CATALYTIC CHARACTERISTICS OF SELECTED CATALYSTS FOR CATALYTIC AROMANING OF PROPANE

**Nomozova Sadokat  
Iskandar kizi**

Teacher at Karshi Engineering-  
Economics Institute,  
Karshi, Uzbekistan

**Fayzullaev Normurod  
Ibodullaevich**

Professor, Samarkand State  
University, Samarkand, Uzbekistan

**Hamidov Davron  
Ruzimurodovich**

Docent of Karshi Engineering-  
Economics Institute,  
Karshi, Uzbekistan

**Rakhimov Ganisher  
Bakhtiyorovich**

Docent of Karshi Engineering-  
Economics Institute,  
Karshi, Uzbekistan

**Abstract.** In the work, the physicochemical and catalytic characteristics of catalysts selected for catalytic aromatization of propane were studied. The conversion of propane was studied at a temperature of 450°C and a pressure of 4 atm. Liquid and gaseous process products were analyzed by gas-liquid chromatography in 40 m long SE-30 capillary columns with helium as the carrier gas. Analysis of X-ray data shows that all synthesized samples have a zeolite structure. There are no reflections in diffraction patterns that do not belong to this structural type, and there is also no strong background characteristic of amorphous mixtures. All these indicate the high phase purity of the obtained materials. In contrast to the 2%Cu \* 2%Zn/H – YUKS – 30 sample, the crystalline spirit oxide phase is observed in 2%Cu \* 8%Zn/H – YUKS – 30 and 8%Zn/silicalites. It was possible to prepare a number of samples by mechanical displacement of 0.5 – 5% ZnO with H – YUKS – 30 and establish a correlation between the reflection intensity at  $2\theta=36.4^\circ\text{C}$  and the composition of ZnO crystals in these samples. A comparison

*of the initial rate of conversion of propane to aromatic hydrocarbons in spirit-containing and acidic high-silica mesoporous zeolites showed that modification with spirit leads to a significant increase in catalyst activity at the initial stages of conversion. No correlation was found between the initial velocities and the concentration of acid centers. On the contrary, a linear correlation was observed with the number of Lewis acid centers. Thus, it was shown that in the initial stages of conversion of propane to aromatic hydrocarbons, the main role is played by L-centers, which include alcohol.*

**Keywords:** propane, catalyst, high silicon zeolite, modification, conversion, yield, selectivity.

**Kirish.** Uglevodorod zahiralarning kama-yishi va yuqori sifatli motor yoqilg'ilariga nisbatan talabning ortib borishi mavjud bo'lgan benzin ishlab chiqarish jarayonlarini modernizatsiya qilishni talab qilmoqda. Metallar va ularning oksidlari bilan modifikatsiyalangan yuqori katalitik faollikka va unumdorlikka ega bo'lgan uglevodorodlarni aromatik uglevodorodlarga katalitik aromatlash uchun tanlangan yuqori katalitik faollikka ega bo'lgan katalizatorlar neftni qayta ishlash va neft-kimy sanoatida keng qo'llaniladi. Katalitik jarayonlarning samaradorligi bog'liq bo'lgan mezog'ovakli, yuqori kremniyli seolit uglevodorodlarni aromatik uglevodorodlarga katalitik aromatlash uchun tanlangan yuqori katalitik faollikka ega bo'lgan katalizatorlarining faollik va selektivlik xususiyatlari maqsadli mahsulot uchun muhim. Mezog'ovakli, yuqori kremniyli seolitlarda sodir bo'ladigan jarayonlarning selektivlik muammosini hal qilish uchun ma'lum bir kimyoviy reaksiyada qaysi faol markazlar ishtirok etishini bilish va shu asosda uglevodorodlarni aromatik uglevodorodlarga katalitik aromatlash uchun tanlangan yuqori katalitik faollikka ega bo'lgan katalizatorlarning kislotasizlovchi funksiyasini tartibga solish kerak. Mezog'ovakli, yuqori kremniyli seolitlarning katalitik faolligining asosiy omili Lyuis va Brensted kislotasizlovchi markazlari sonining optimal nisbati, ularning kuchi va ZSM – 5 tipidagi mezog'ovakli, yuqori kremniyli seolitning tuzilishidagi nisbiy o'rni, shuningdek, uning elektron holatining tuzilishi bilan bog'liq. Mezog'ovakli, yuqori kremniyli seolitlarni o'zgartirish uchun turli promotorlar qo'llaniladi, ammo ular orasida eng samaralisi rux, galliy va platina birikmalaridir. Tarkibida rux saqlovchi mezog'ovakli, yuqori kremniyli seolitlar nisbatan arzonligi, yuqori faolligi va yengil alkanlarni aromatik uglevodorodlarga katalitik aylantirishdagi selektivligi bilan tadqiqotchilarda katta qiziqish uyg'otmoqda. Qoida tariqasida, Zn o'z ichiga olgan uglevodorodlarni aromatik uglevodorodlarga

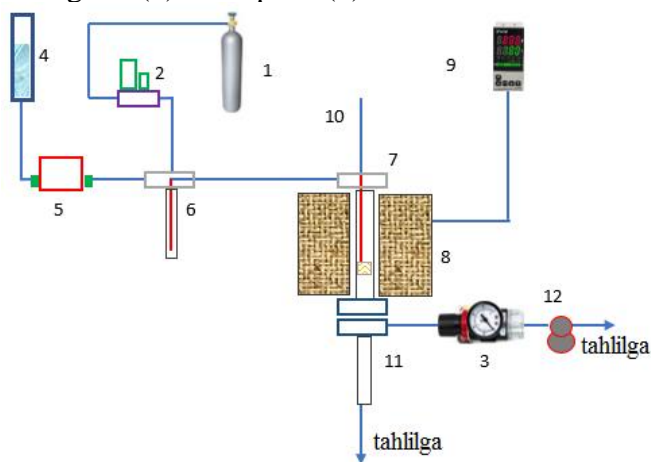
katalitik aromatlash uchun tanlangan yuqori katalitik faollikka ega bo'lgan katalizatorlar ion almashinuvi yoki ZSM – 5 mezog'ovakli, yuqori kremniyli seolitning vodorod shaklini rux tuzlarining suvli eritmalari bilan singdirish, shuningdek, qattiq fazali aralashtirish usuli bilan tayyorlanadi. An'anaviy shimdirish texnologiyasidan foydalangan holda tarkibi o'zgartirilgan mezog'ovakli, yuqori kremniyli seolitlar xususiyatlarni yaxshilashi mumkin, lekin bu uglevodorodlarni aromatik uglevodorodlarga katalitik aromatlash uchun tanlangan yuqori katalitik faollikka ega bo'lgan katalizatorlarda boradigan jarayon va iqtisodiy ko'rsatkichlarni tubdan yaxshilamaydi, chunki ular bir qator xarakterli kamchiliklarga ega. Shu munosabat bilan, nisbatan og'ir reaksiya sharoitida uzoq vaqt ishlay oladigan va jarayonni asosan maqsadli mahsulotni shakllantirishga yo'naltiradigan katalizatorni ishlab chiqish uchun uni tayyorlashga boshqacha yondashuv zarur. Bu yo'nalishdagi tadqiqotlar yangi katalitik tizimlar - kristall panjara ichiga turli elementlar o'rnatilgan Fe, In, Ga va boshqalarga ega ZSM – 5 mezog'ovakli, yuqori kremniyli seolit strukturasining elementar aluminosilikatlarini yaratishga qaratilgan.

Bugungi kunda O'zbekistonning iqtisodiy rivojlanishining muhim afzalliklaridan biri bu uglevodorod xom ashyosining katta zaxiralari mavjud bo'lib, ulardan unumli foydalanishdir. Hozirgi vaqtda O'zbekistonda va dunyoning boshqa mamlakatlarida bir qator kimyoviy mahsulotlarni sintez qilish va energiya maqsadlarida foydalanish uchun qimmatli xom ashyo bo'lgan neft-yo'ldosh gazini utilitatsiya qilish muammosi mavjud.

**Ishning maqsadi** – propanni aromatik uglevodorodlarga katalitik aromatlash uchun tanlangan yuqori katalitik faollikka ega bo'lgan katalizatorlarning fizik-kimyoviy xarakteristikalarini va ularning katalitik faolligini o'rganishdan iborat.

**Tajriba qismi.** Katalitik tajribalar oqim

tipidagi qurilmada amalga oshirildi (1-rasm). Tashuvchi gaz silindrdan (1) kelgan, oqim tezligi esa (2) da gaz oqimi boshqaruvchisi yordamida oʻrnatildi. Sistemadagi bosim regulyatori (3) tomonidan bosim bir xilda ushlab turilgan. Suyuq jarayonga kirishayotgan dastlabki moddalar idishdan (4) **suyuqlik oqimini nazorat qilish moslamasi** (5) yetkazib beriladi. Keyinchalik, xom ashyo va tashuvchi gaz bugʻlatgichga (6) kiradi, u yerda xom ashyo gaz fazasiga oʻtkaziladi va jarayonni amalga oshirish uchun moʻljallangan reaktorga (7) yuboriladi. Katalitik tajriba poʻlat oqim tipidagi jarayonni amalga oshirish uchun moʻljallangan reaktorda oʻtkaziladi, u harorat sozlagichi (9) bilan pech (8) isitiladi.



**1-rasm. Katalitik qurilmaning sxemasi.**

1-metan saqlovchi idish; 2-gaz oqimini boshqaruvchi; 3-bosim regulyatori; 4-suyuq xom ashyo idishi; 5-suyuqlik oqimini nazorat qilish moslamasi; 6-bugʻlatgich; 7-jarayonni amalga oshirish uchun moʻljallangan reaktor; 8-pech; 9-pechdagi harorat sozlagichi; 10-termoparani kuzatish; 11-yuqori bosimli separator; 12-dozator.

Propanni konversiya qilishda yuqori kremniyli mezogʻovakli seolitlarning katalitik xossalari 1 dan  $400 \text{ s}^{-1}$  gacha boʻlgan dastlabki moddalarining sarflanish tezligi oraligʻida va  $450 \text{ }^\circ\text{C}$  haroratda va 4 atm bosimda oʻrganildi. Tarmoqlanmagan, normal tuzilishli-geksan, siklogeksan va gaz bugʻ kondensatining konversiyasi  $400 \text{ }^\circ\text{C}$  va 10 atm haroratda oʻrganildi. Alohida uglevodorodlarni konversiya qilishda tashuvchi gaz sifatida azot ( $\text{N}_2$ : xom ashyo = 2:1); gaz kondensatini konversiya qilishda - metan ( $\text{CH}_4$ : xom ashyo = 7:1) ishlatilgan.

**Jarayon mahsulotlarini tahlil qilish.** Suyuq va gassimon jarayon mahsulotlari gaz-suyuqlik

xromatografiyasi orqali 40 m uzunlikdagi SE-30 kapillyar kolonkalarida tashuvchi gaz sifatida geliy bilan tahlil qilindi. Tahlil **Kristall 2000M** alanga-ionizatsion detektorli xromatografida oʻtkazildi. Xromatogrammalar “Xromatek Analitik” dasturiy-apparat majmuasi yordamida qayta ishlandi.

**Ekspperimental maʼlumotlarni qayta ishlash.** Jarayonga kirishayotgan dastlabki moddalarning konversiyasi ( $X_r$ ), tanlab taʼsir etuvchanligi ( $S_p$ ) va mahsulot unumi ( $Y_p$ ) quyidagicha hisoblangan:

$$X_r = \frac{m_{\text{mahsulot}}}{m_{\text{jarayonga kirishayotgan dastlabki modda}}} \times 100\%$$

$$S_p = \frac{m_p}{m_{\text{mahsulot}}} \times 100\%$$

$m_p$  – vaqt birligida olingan r mahsulot massasi.

$m_{\text{mahsulot}}$  – vaqt birligida hosil boʻlgan barcha mahsulotlarning massasi.

$$Y_p = \frac{m_p}{m_{\text{jarayonga kirishayotgan dastlabki modda}}} \times 100\%$$

$m_p$  – vaqt birligida olingan r mahsulot massasi.

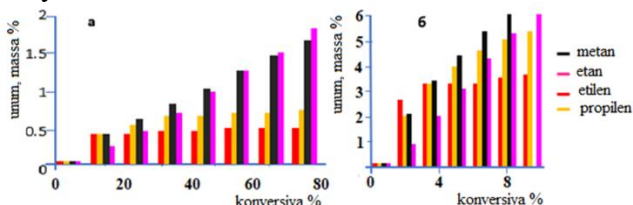
$m_{\text{jarayonga kirishayotgan dastlabki modda}}$  – vaqt birligida sarflangan propanning massasi.

Jarayonga kirishayotgan dastlabki moddaning konversiya qilishning taʼsirlashish vaqtiga bogʻliqligini ifodalovchi kinetik egri chiziqlarning boshlangʻich qismlarini grafik jihatdan farqlash orqali dastlabki jarayon tezligi aniqlandi. Koʻp sonli tarkibiy qismlardan tashkil topgan gaz kondensatini tarkibini oʻzgartirganda, oʻziga xos boʻlgan har bir tarkibiy qismning dastlabki konversiyalari aniqlandi. Ikkinchisi maʼlum bir tarkibiy qismning dastlabki aylanish tezligining xom ashyodagi massa ulushiga nisbati sifatida hisoblangan. Dastlabki tanlab taʼsir etuvchanlikning (mol %) nol qiymatiga oʻtkazishga bogʻliqligini ekstrapolyatsiya qilish yoʻli bilan aniqlandi.

**Tajriba natijalari va ularning muhokamasi. Kinetik bogʻliqliklarni tahlil qilish.**

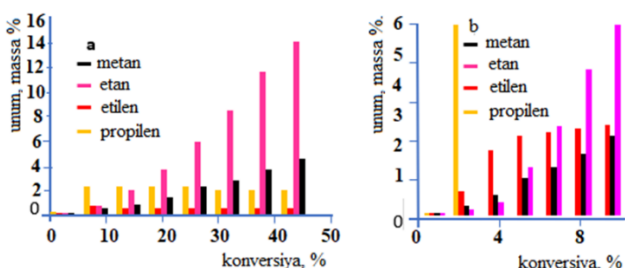
**$C_1-C_3$  tarkibli uglevodorodlar.**  $C_1-C_3$  uglevodorodlari uchun unum konversiya grafiklari 1,2,4,5 va 6-rasmlarda keltirilgan. H-YUKS-30 holatida past konversiyalarda egri chiziqlar propanning aromatik uglevodorodlarga konver-

siyasining asosiy mahsuloti sifatida metan, etilen va propilenni aniqlash imkonini beradi. Ushbu mahsulotlar uchun dastlabki tanlab ta'sir etuvchanlik nisbati (3-(a)rasm) ushbu katalizatorida propanning aromatik uglevodorodlarga konversiyasining dastlabki bosqichlarida sodir bo'ladigan ikkita parallel jarayonni ko'rsatadi:



**2-rasm. O'rta (a) va past (b) konversiyalarda propanni H-YUKS-30 tarkibli katalizatori ishtirokida konversiyalash jarayonida quyi molekulyar massali C<sub>1</sub>-C<sub>3</sub> tarkibli uglevodorodlar uchun unumdorlik/konversiyaga bog'liqligi**

1) uglerod-uglerod bog'larining uzilishi bilan boradigan jarayon bilan metan va etilen hosil bo'lishi 2) propilen va vodorod hosil bo'lishi bilan degidrogenatsiya.

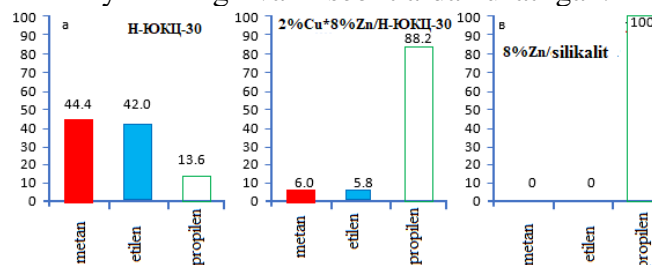


**3-rasm. O'rta (a) va past (b) konversiyalarda propanning 2%Cu\*8%Zn/H-YUKS-30 tarkibli katalizatorishtirokida konversiyasida past molekulyar og'irlikdagi C<sub>1</sub>-C<sub>3</sub> uglevodorodlar uchun unumdorlik/konversiyaga bog'liqligi**

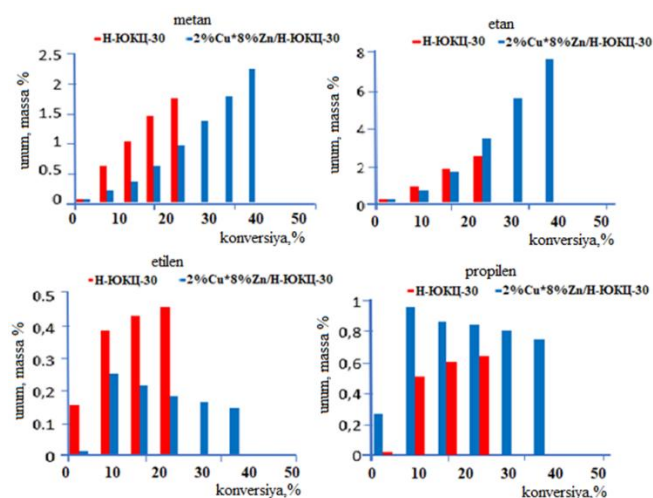
Dastlabki bosqichda konversiya qilingan propanga uglerod-uglerod bog'larining uzilishi bilan boradigan jarayon va degidrogenatsiya jarayonlari hissalarining nisbati taxminan 3:1 ni tashkil qiladi (3-rasm). Bu qiymat propanning protolitik monomolekulyar mexanizm orqali H-YUKS-30 yuqori kremniyli mezog'ovakli seoliting kislotasi markazlarida faollashishini ko'rsatadi, bu avvalroq olingan ma'lumotlar bilan yaxshi mos keladi. Konversiyaning kuchayishi bilan etan unumdorligining keskin o'sishi kuzatiladi.

H-YUKS-30 yuqori kremniyli mezog'ovakli seolitning rux bilan modifikatsiyasi dastlabki

transformatsiyalar sxemasini butunlay o'zgartiradi (4-rasm). Adabiyotlardan ma'lumki, uglevodorodlarning metall saqlovchi yuqori kremniyli mezog'ovakli seolit katalizatorlarida o'zgarishida degidrogenlanish va gidrogenoliz jarayonlari bir-biri bilan birga kechadi va bir xil katalitik markazlarda sodir bo'ladi. Xususan, propanni konversiya qilishda bunday ta'sir misni o'z ichiga olgan yuqori kremniyli mezog'ovakli seolitlarda kuzatilgan.



**4-rasm. H-YUKS-30, 2%Cu\*8%Zn/H-YUKS-30 va 8%Zn/silikalitda propanning aromatik uglevodorodlarga konversiyasining dastlabki tanlab ta'sir etuvchanliklari (%)**

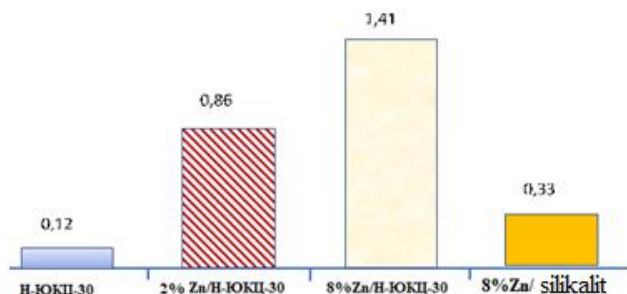


**5-rasm. Propanni H-YUKS-30 va 2%Cu\*8%Zn/H-YUKS-30 lar ishtirokida aromatlash jarayonida past molekulyar uglevodorodlar C<sub>1</sub>-C<sub>3</sub> uchun unum/konversiyaga bog'liqliklarni solishtirish**

Faqat rux oksidi markazlarini o'z ichiga olgan 8% Zn/silikalitda propanning aromatik uglevodorodlarga konversiyasining yagona asosiy mahsuloti propilendir (5(v)-rasm).

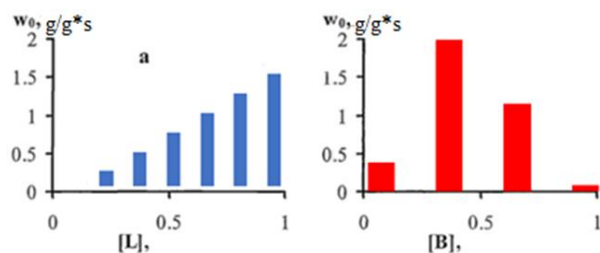
**Kislotali va katalitik xususiyatlarning o'zaro bog'liqligi.** Ruxni o'z ichiga olgan va kislotali yuqori kremniyli mezog'ovakli seolitlarida

propanning aromatik uglevodorodlarga konversiyasining dastlabki tezligini taqqoslash (9-rasm) rux bilan modifikatsiya qilish konversiyaning dastlabki bosqichlarida katalizator faolligini sezilarli darajada oshirishga olib kelishini ko'rsatdi.



**6-rasm. YUKS tipidagi kislotali va Zn ni o'z ichiga olgan yuqori kremniyli mezog'ovakli seolitlarda propanning aromatik uglevodorodlarga konversiyasining boshlang'ich tezligi ( $g/g \cdot soat$ ).**

6-rasmdan ko'rinib turibdiki, dastlabki tezliklar va kislota markazlari konsentratsiyasi o'rtasida hech qanday bog'liqlik topilmadi. Aksincha, Lyuis kislotalari markazlari soni bilan chiziqli korrelyatsiya kuzatildi. Shunday qilib, propanning aromatik uglevodorodlarga konversiyasining dastlabki bosqichlarida asosiy rolni ruxni o'z ichiga olgan L-markazlarida sodir bo'lishini ko'rsatdi.



**7-rasm. Propanning aromatik uglevodorodlarga konversiyasining dastlabki tezligining Lyuis (a) va Brensted (b) kislota markazlarining nisbiy konsentratsiyasiga bog'liqligi.**

**Xulosa.** Propanni H – YUKS – 30, 2%Cu \* 8%Zn/H – YUKS – 30 va 8%Zn/silikalitlarga aylantirish jarayonida mahsulotlarning turli guruhlari uchun unumdorlikning konversiyaga bog'liqligi aniqlandi.

2%Cu \* 8%Zn/H – YUKS – 30 uchun asosiy hissa aromatik uglevodorodlar va etandir. 8%Zn/silikalit namunasida amalda yagona mahsulot propilen bo'lib, mahsulotlarning boshqa barcha guruhlari kam miqdorda mavjud aniqlandi.

Uglevodorodlarning metall saqllovchi yuqori kremniyli mezog'ovakli seolit katalizatorlarida o'zgarishida degidrogenlanish va gidrogenoliz jarayonlari bir-biri bilan birga kechadi va bir xil katalitik markazlarda sodir bo'ladi.

Propanning aromatik uglevodorodlarga konversiyasining dastlabki bosqichlarida asosiy rolni ruxni o'z ichiga olgan L-markazlarida sodir bo'lishini ko'rsatdi.

## FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Su, X.; Wang, G.; Bai, X.; Wu, W.; Xiao, L.; Fang, Y.; Zhang, J. synthesis of nanosized HZSM-5 zeolites isomorphously substituted by gallium and their catalytic performance in the aromatization. Chem. Eng. J. 2016, 293, 365–375.
2. Choudhary, V.R.; Sivadinarayana, C.; Kinage, A.K.; Devadas, P.; Guisnet, M. H-Gallosilicate (MFI) propane aromatization catalyst Influence of calcination temperature on acidity, activity and deactivation due to coking. Appl. Catal. A Gen. 1996, 136, 125–142.
3. Montes, A.; Giannetto, G. A new way to obtain acid or bifunctional catalysts: V. Considerations on bifunctionality of the propane aromatization reaction over [Ga,Al]-ZSM-5 catalysts. Appl. Catal. A Gen. 2000, 197, 31–39.
4. Rodrigues, V.O.; Faro Júnior, A.C. On catalyst activation and reaction mechanisms in propane aromatization on Ga/HZSM5 catalysts. Appl. Catal. A Gen. 2012, 435, 68–77.
5. Choudhary, V.R.; Kinage, A.K.; Sivadinarayana, C.; Devadas, P.; Sansare, S.D.; Guisnet, M. H-Gallosilicate (MFI) Propane Aromatization Catalyst: Influence of Si/Ga Ratio on Acidity, Activity and Deactivation Due to Coking. J. Catal. 1996, 158, 34–50.