KATALITIK KREKING BENZININI SELEKTIV GIDROTOZALASHDA OLTINGUGURTNI KAMAYTIRISH VA OKTAN SONINI SAQLASH

Bozorov Azamat Nazar o'g'li
Osiyo xalqaro universiteti

Annotatsiya. Katalitik kreking benzinidan oltingugurtli birikmalarni chiqarish bilan olefinlarning foydali qismini saqlash o‘rtasidagi bog‘liqlik tahlil qilinadi. Ishning maqsadi selektiv gidrodesulfurizatsiyani baholash uchun tarkib, reaksiya tezligi va mahsulot sifati ko‘rsatkichlarini birlashtiruvchi metodik yondashuv taklif etishdir. Diolefinlar va monoolefinlar alohida guruhlar sifatida ko‘rib chiqiladi. Katalizatorlarni teng oltingugurt konversiyasida solishtirish, namuna olishni standartlashtirish va oktan sonini bevosita o‘lchash tavsiya etiladi. Maqola nazariy va metodik xususiyatga ega; yangi eksperimental natijalar keltirilmaydi.

Kalit so‘zlar. katalitik kreking benzini, gidrodesulfurizatsiya, monoolefin, diolefin, CoMoS, selektivlik, oktan soni, vodorod sarfi.

Аннотация. Рассматривается согласование удаления сернистых соединений из бензина каталитического крекинга с сохранением полезной части олефинов. Предлагается методика оценки селективной гидродесульфуризации, объединяющая состав сырья, кинетические показатели и качество продукта. Диолефины и моноолефины рассматриваются раздельно. Катализаторы рекомендуется сравнивать при одинаковой конверсии серы с контролем пробоотбора и прямым измерением октанового числа. Работа носит теоретико-методический характер; новые экспериментальные результаты не представлены.

Ключевые слова. бензин каталитического крекинга, гидродесульфуризация, моноолефины, диолефины, CoMoS, селективность, октановое число.

Abstract. This paper proposes a methodological framework for selective hydrodesulfurization of FCC gasoline while retaining valuable olefins. Diolefins and monoolefins are evaluated separately. Catalyst comparisons at equal sulfur conversion are combined with controlled sampling, hydrogen balance and direct research octane number measurement. The framework distinguishes catalytic selectivity from finished-fuel compliance. The paper is a theoretical and methodological study and reports no new experimental results.

Keywords. FCC gasoline, hydrodesulfurization, monoolefins, diolefins, CoMoS, selectivity, research octane number.

KIRISH.

ISSN 3030-3907

Katalitik kreking benzinini qayta ishlashdagi asosiy masala tozalash chuqurligini oshirish bilan mahsulotning antidetonatsion xususiyatlarini saqlashni birgalikda hal qilishdir. Olefinlarni yalpi to‘yintirish oltingugurt miqdorini kamaytiruvchi rejimning muqarrar maqsadi sifatida qabul qilinmasligi kerak. Tadqiqot obyekti bo‘lgan komponentning tarkibi, aralashtirishdagi ulushi va undan tayyorlanadigan benzin markasi oldindan aniqlanadi. Shundagina laboratoriya natijasining texnologik ahamiyati to‘g‘ri baholanadi.

Mavzudagi selektiv kamaytirish iborasi ikki vazifani anglatadi: oltingugurtli birikmalarni maqsadli chiqarish va beqaror to‘yinmagan birikmalarni nazoratli o‘zgartirish. Diolefinlarni kamaytirish saqlash barqarorligini yaxshilashga qaratiladi. Monoolefinlar uchun esa mahsulot spetsifikatsiyasi talab qiladigan daraja, oktan xususiyati va vodorod xarajati hisobga olinadi. Ushbu guruhlarni ajratmaslik katalizatorni tanlashdagi mezonlarni chalkashtiradi.

Ekologik talabga muvofiqlik faqat umumiy oltingugurt bilan cheklanmaydi. Yakuniy yoqilg‘ida benzol, aromatik uglevodorodlar, uchuvchanlik, distillatsiya xususiyatlari va boshqa ko‘rsatkichlar ham tanlangan standart asosida tekshiriladi. Masalan, AQSH Tier 3 dasturidagi 10 ppm oltingugurt mezoni yillik o‘rtacha ko‘rsatkichga tegishlidir [6]. Uni har qanday mamlakat uchun universal partiya limiti deb talqin qilish mumkin emas. Bu ishda 10 mg/kg qiymat faqat hisoblash maqsadidagi shartli texnologik nishon sifatida ishlatiladi.

Ishning maqsadi CoMo turidagi sulfidlangan katalizatorlar uchun tekshiriladigan selektivlik mezonlarini shakllantirishdir. Ilmiy savol quyidagicha qo‘yiladi: bir xil qoldiq oltingugurt sharoitida qaysi katalizator yoki rejim monoolefinlarning ortiqcha gidrogenlanishini kamroq yuzaga keltiradi? Javobni olish uchun xomashyo bir xil partiyadan olinishi, tahlil usullari esa bir xil aniqlik darajasida qo‘llanishi zarur.

Metodik yondashuv yangi katalizator sintez qilinganini yoki sanoat rejimi optimallashtirilganini da’vo qilmaydi. U keyingi tajribalar uchun tekshiruv mantiqini beradi: tarkibni aniqlash, reaksiyalarni farqlash, bir xil konversiyada taqqoslash va sifatni mustaqil o‘lchash. Natija sifatida selektiv tozalashni baholashning izchil ketma-ketligi taklif etiladi. Ushbu ketma-ketlik turli laboratoriyalardan olingan ma’lumotlarning taqqoslanuvchanligini oshirishga xizmat qilishi mumkin.

Reaksiyalar va selektivlikning kimyoviy asoslari

Selektiv gidrotozalashda oltingugurtli molekulalarning o‘zgarishi, olefinlarning gidrogenlanishi va ikkilamchi reaksiyalar bir vaqtda kuzatilishi mumkin. Har bir yo‘nalish bo‘yicha alohida moddiy balans tuzilmasa, umumiy

ISSN 3030-3907

oltingugurtning pasayishi mexanizmni tushuntirish uchun yetarli bo‘lmaydi. Masalan, suyuq fazadan yo‘qolgan oltingugurt gazdagi vodorod sulfidiga, adsorbentga yoki boshqa chiqish oqimiga o‘tgan bo‘lishi mumkin. Bu oqimlar o‘lchash chegarasi ichida qamrab olinadi.

Monoolefin gidrogenlanishining soddalashtirilgan tenglamasi R–CH=CH–R′ + H_2 → R–CH_2–CH_2–R′ ko‘rinishida yoziladi. Bitta qo‘shbog‘ning to‘yinishiga stexiometrik jihatdan bir mol vodorod sarflanadi. Diolefinning monoolefinga aylanishi ham bitta qo‘shbog‘ni to‘yintiradi, biroq keyingi gidrogenlanish alohida bosqichdir. Shu sababli faqat jami olefin ulushining pasayishini o‘lchash birinchi bosqichning selektivligini to‘liq ifodalamaydi.

Merkaptan uchun R–SH + H_2 → R–H + H_2S tenglamasi model sifatida olinishi mumkin. Tiofenli birikmalarda halqa ochilishi va gidrogenlanish yo‘llari mavjud bo‘lgani sababli barcha organik oltingugurt uchun bitta universal vodorod sarfi koeffitsiyenti ishlatilmaydi. Sarf tarkibdagi molekulalar va mahsulot yo‘nalishiga bog‘liq hisoblanadi. Model aralashmada aniqlangan koeffitsiyentni real benzin uchun qo‘llashdan oldin tarkibiy yaqinlik tekshiriladi.

Pelardy va hammualliflarning model xomashyodagi tajribalari oltingugurtli komponentlar, alkenlar hamda CO o‘rtasida raqobatli adsorbsiyani ko‘rsatadi [1]. Bundan kelib chiqadigan metodik xulosa shuki, katalizatorni faqat bitta reagent bilan sinash real benzin uchun yetarli emas. Alohida molekula, binar aralashma va real xomashyo bo‘yicha bosqichli tekshiruv tavsiya etiladi. Vodorod oqimidagi aralashmalar ham qayd etiladi.

Sulfidlangan katalizatorning tayyorlash tarixi, faol fazasi va tashuvchi xossalari tajriba protokoliga kiritiladi. Ikki katalizatorni faqat metallning nominal foizi bo‘yicha teng deb hisoblash noto‘g‘ri. Faol fazaning shakllanishi, g‘ovaklar bo‘ylab taqsimlanishi va foydalanish davomida o‘zgarishi natijaga ta’sir qilishi mumkin. Shu bois taqqoslashdan oldin katalizatorlarni bir xil tayyorlash va barqarorlashtirish tartibi belgilanadi.

Tekshiriladigan gipoteza sifatida oltingugurtni maqsadli chiqaradigan faol markazlar ulushi bilan umumiy gidrogenlash faolligi o‘rtasidagi nisbat olinadi. Gipoteza to‘g‘ri bo‘lsa, teng oltingugurt konversiyasida monoolefinlarning saqlanishi va oktan yo‘qotilishi yaxshiroq bo‘lishi kerak. Aks holatda tarkibiy o‘zgarishlar yoki transport cheklovlari tekshiriladi. Kuzatuvning o‘zi faol markaz tuzilishini isbotlamaydi; buning uchun mustaqil fizik-kimyoviy tavsiflash talab etiladi.

Tadqiqot dizayni va analitik nazorat.

Taklif etilayotgan tajriba dizayni xomashyoni pasportlashdan boshlanadi. Har bir partiya uchun umumiy oltingugurt, individual oltingugurtli birikmalar, uglevodorod guruhlari, fraksion tarkib, zichlik va oktan soni aniqlanadi. Namuna

ISSN 3030-3907

olish idishi, saqlash harorati va tahlilgacha o‘tgan vaqt bir xil tartibda qayd etiladi. Uchuvchan fraksiyaning yo‘qolishi tarkibni o‘zgartirgani uchun bir martalik ochish va qayta yopishlar ham nazorat qilinadi.

ASTM katalogida umumiy oltingugurt uchun D5453, oltingugurtli birikmalar uchun D5623 va individual benzin komponentlari uchun D6730 usullari keltirilgan [4]. Ular ushbu dasturda mos analitik asos sifatida tavsiya etiladi. Ish boshlanishida laboratoriya amaldagi to‘liq standart nusxasi, kalibrlash oralig‘i va usulning aynan shu matritsaga mosligini tekshiradi. RON qiymati esa ASTM D2699 asosida bevosita aniqlanishi taklif qilinadi [5].

Birinchi bosqichda model aralashmalardan foydalanib reaksiyalar farqlanadi. Oltingugurtli model komponentning yakka eritmasi, olefinli eritma va ularning aralashmasi ketma-ket tekshiriladi. Ikkinchi bosqichda real xomashyo bilan katalizator reytingi tekshiriladi. Modeldagi yuqori faollik real benzinda takrorlanmasa, azotli aralashmalar, suv, tarkibiy raqobat va deaktivasiyaga oid ehtimollar tahlil qilinadi. Bu ketma-ketlik sabablarni ajratishga yordam beradi.

Harorat, vodorodning parsial bosimi, suyuqlikning hajmiy tezligi va gazning xomashyoga nisbati mustaqil omillar sifatida tanlanadi. Dastlabki oraliqlar uskunaning imkoniyati, katalizator tavsiyasi va xomashyoning fazaviy holatiga ko‘ra belgilanadi; mazkur maqolada universal optimal qiymatlar berilmaydi. Markaziy nuqtadagi takrorlar yordamida tajriba tarqalishi aniqlanadi. Rejimlar tartibini imkon qadar randomizatsiya qilish vaqt bo‘yicha deaktivasiyani omil ta’siridan ajratadi.

Barqaror holatga kelish birgina belgilangan vaqt bilan tasdiqlanmaydi. Ketma-ket namunalar tarkibi va oqim ko‘rsatkichlari laboratoriya belgilagan tarqalish oralig‘ida bo‘lishi talab qilinadi. Reaktor bo‘ylab harorat profili va bosim yo‘qotilishi qayd etiladi. Birinchi namuna bilan oxirgi namunani bevosita taqqoslash o‘rniga bir xil faoliyat davridagi nuqtalar tanlanadi. Nazorat katalizatori yoki bazaviy rejimga qaytish driftni aniqlashga xizmat qiladi.

Natijalar hisoblanganda parallel tahlil bilan mustaqil reaktor tajribasi farqlanadi. Bitta namunani uch marta tahlil qilish uchta mustaqil texnologik tajriba o‘rnini bosa olmaydi. Hisobotda tajribalar soni, o‘rtacha qiymat, tarqalish va noaniqlik ko‘rsatiladi. Aniqlash chegarasidan past oltingugurt natijasi nol deb yozilmaydi. Shu talablar selektivlikni sun’iy ravishda oshirib ko‘rsatishning oldini oladi.

Hisoblash mezonlari va shartli misol.

Konversiyalarni baholashda oqimning massasini hisobga olish zarur. Umumiy oltingugurtni suyuq mahsulotdan chiqarish darajasi $X_S = 1 - (m_p \cdot C_{S,p})/(m_f \cdot C_{S,f})$ ifodasi bilan aniqlanadi. Bu yerda m_f va m_p kiruvchi xomashyo hamda yig‘ilgan suyuq mahsulot massalari, C_S esa bir xil birlikdagi

ISSN 3030-3907

oltingugurt massaviy konsentratsiyasidir. Oqim massalari tengligi isbotlangan soddalashtirilgan holatdagina konsentratsiyalar nisbatidan foydalaniladi.

Monoolefin konversiyasi X_O = 1 − (m_p·w_O,p)/(m_f·w_O,f) orqali yoziladi. w_O monoolefinlarning massaviy ulushidir. Suyuqlikning umumiy chiqishi Y_L = m_p/m_f ko‘rinishida beriladi. Bu uch ko‘rsatkich birgalikda ishlatilmasa, gaz hosil bo‘lishi yoki bug‘lanish tufayli yuzaga kelgan konsentratsiya o‘zgarishi gidrogenlanish sifatida noto‘g‘ri talqin qilinishi mumkin. Diolefinlar uchun alohida X_D ko‘rsatkichi hisoblanadi.

Oktan yo‘qotilishi ΔRON = RON_f − RON_p tarzida belgilanadi. Olefin konversiyasi bilan ΔRON o‘rtasida barcha xomashyolar uchun bitta chiziqli koeffitsiyent mavjud deb qabul qilinmaydi. Izomer tarkibi va boshqa uglevodorodlarning ulushi bu bog‘liqlikni o‘zgartirishi mumkin. Katalizator reytingi qoldiq oltingugurt teng bo‘lgan nuqtalarda ΔRON, X_O, Y_L va o‘lchangan vodorod sarfi bo‘yicha tuziladi.

Quyidagi qiymatlar faqat hisoblashni tushuntiruvchi shartli misoldir. Kirish va chiqish massalari teng, kiruvchi oltingugurt 500 mg/kg, mahsulotda 10 mg/kg deb olinsa, X_S = 0,98 bo‘ladi. Monoolefinlar 30 foizdan 24 foizga kamaygan shartda X_O = 0,20. Agar RON mos ravishda 92 va 90 bo‘lsa, ΔRON = 2 birlik chiqadi. Bu qiymatlar real tajriba natijasi ham, tavsiya etilgan optimal rejim ham emas.

Birinchi tartibli ideal oqim modeli taxminida k_S/k_O = ln[1/(1−X_S)] / ln[1/(1−X_O)] ko‘rinishidagi ko‘rsatkich olinadi. Shartli misolda u taxminan 17,5 ga teng. Mazkur ifoda bir xil kontakt vaqti, izotermik holat, qayta reaksiyalar yo‘qligi va transport cheklovlari ahamiyatsizligi farazlariga bog‘liq. Real benzin uchun u haqiqiy elementar tezlik konstantalari nisbatini avtomatik ravishda bermaydi.

Mahsulotdagi oltingugurt belgilangan nishondan oshsa, selektivlik yuqori bo‘lsa ham rejim qabul qilinmaydi. Aksincha, juda past oltingugurt fonida oktan yo‘qotilishi va vodorod sarfi ortib ketsa, chuqurlashtirilgan ishlovning zarurati qayta ko‘riladi. Optimal yechim qat’iy sifat cheklovlari doirasida tanlanadi. Mezonlarning og‘irliklari laboratoriya tahlili tugagach natijaga moslab o‘zgartirilmasdan, tadqiqot boshlanishidan oldin belgilanadi.

Muhokama va amaliy talqin.

Taklif etilgan mezonlarning asosiy afzalligi katalizator faolligini mahsulot sifati bilan bog‘lashdir. Yuqori oltingugurt konversiyasi bir o‘zi selektivlikni bildirmaydi; past monoolefin konversiyasi ham oltingugurt nishoni bajarilmagan holatda yetarli emas. Shu sababli taqqoslashda bir xil qoldiq oltingugurtga erishilgan nuqtalar tanlanadi. Bunday nuqta o‘lchanmagan bo‘lsa, interpolatsiya oralig‘i va uning noaniqligi alohida ko‘rsatiladi.

ISSN 3030-3907

Haroratni oshirish yoki kontakt vaqtini uzaytirish orqali tozalash chuqurligi ortishi mumkin, lekin bu bilan oktan saqlanishi avtomatik yaxshilanmaydi. Rejim tanlashda katalizator faolligi bilan selektivligi mustaqil kuzatiladi. Fazaviy holat o‘zgarsa, laboratoriya va sanoat natijalarini taqqoslashda qo‘shimcha ehtiyotkorlik zarur. Suyuqlikning katalizatorni ho‘llashi va vodorodning uzatilishi ta’siri mexanik ravishda kimyoviy selektivlikka tenglashtirilmaydi.

Bosqichli yondashuvda avval diolefinlarni kamaytirish, keyin oltingugurtni chiqarish imkoniyati ko‘rib chiqiladi. Axens rasmiy ma’lumotida SHU va selektiv HDS katalizatorlari turli vazifalarni bajarishi ko‘rsatilgan [2]. Ushbu sanoat misoli tadqiqot uchun ikki bosqichni alohida nazorat qilish mantiqini beradi. Biroq muayyan tijoriy katalizatorning natijasi yangi mahalliy katalizator uchun kafolat bo‘la olmaydi.

Diolefinga oid ko‘rsatkich pasayishi saqlash barqarorligi yaxshilanganini tasdiqlash uchun yordamchi dalildir. Barqarorlikni tegishli sinov bilan mustaqil o‘lchash kerak. Xuddi shuningdek, xromatografik hisoblangan oktan soni faqat oldindan tekshirilgan model mavjud bo‘lsa prognoz sifatida ishlatiladi. Yakuniy xulosa bevosita oktan sinovi bilan tasdiqlanadi. Muvofiqlik haqidagi qaror komponentning nomiga emas, haqiqiy partiya ko‘rsatkichlariga asoslanadi.

Metodikaning cheklovlari real xomashyo o‘zgaruvchanligi, faol fazaning vaqt davomida o‘zgarishi va barcha individual komponentlarni to‘liq ajratish qiyinligi bilan bog‘liq. Shu sababli kamida turli tarkibli partiyalar bilan tekshiruv rejalashtiriladi. Bir partiyada olingan reytingni umumlashtirishdan oldin takroriy namunalarda uning saqlanishi baholanadi. Faqat qisqa tajriba asosida katalizatorning xizmat muddati yoki iqtisodiy samarasi haqida raqamli da’vo berilmaydi.

Amaliy joriy etish uchun laboratoriya protokoli, xomashyo pasporti va rejim kartasi birgalikda yuritilishi lozim. Rejim kartasida qoldiq oltingugurt, ΔRON, monoolefin va diolefin konversiyasi, suyuq mahsulot chiqishi hamda vodorod sarfi ko‘rsatiladi. Keyingi bosqichda bu ma’lumotlar kichik pilot qurilmada tekshiriladi. Maqoladagi takliflar aynan shu tekshiruvga tayyorgarlik vazifasini bajaradi; sanoat unumdorligi haqida yakuniy baho bermaydi.

XULOSA.

Selektiv gidrotozalash oltingugurtni chiqarish, diolefinlarni nazoratli kamaytirish va foydali monoolefinlarni saqlashning birgalikdagi vazifasi sifatida baholanishi kerak. Katalizatorlarni teng qoldiq oltingugurt sharoitida ΔRON, mahsulot chiqishi va vodorod sarfi bo‘yicha taqqoslash tavsiya etildi. Moddiy balansga asoslangan konversiyalar tarkibning oddiy foiz o‘zgarishidan ishonchliroq talqin beradi.

ISSN 3030-3907

Taklif etilgan metodikaning tekshiriladigan natijasi sifatida keyingi tajribalarda katalizatorlarning faollik va selektivlik reytingi shakllantirilishi mumkin. Model xomashyo bilan real benzin natijalari alohida taqdim etiladi. Yakuniy yoqilg‘ining ekologik talablarga muvofiqligi tanlangan mahsulot standarti doirasida to‘liq sifat nazorati orqali tasdiqlanadi. Hozirgi ish nazariy-metodik asos bo‘lib, tajribaviy ustunlik isbotlanganini bildirmaydi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Pelardy F., Philippe M., Richard F., Daudin A., Devers E., Hudebine D., Brunet S. Deep hydrodesulfurization of FCC gasoline and gas oil cuts: Comparison of CO effect, a by-product from biomass. Comptes Rendus Chimie. 2016. Vol. 19. P. 1266–1275. DOI: 10.1016/j.crci.2015.12.006.
2. Axens. FCC Gasoline Selective Desulfurization Catalysts. Rasmiy texnik ma’lumot. https://www.axens.net/solutions/catalysts-adsorbents-grading-supply/fcc-gasoline-selective-desulfurization-catalysts (murojaat sanasi 14.10.2026).
3. Axens. Is there a route for post-treating gasoline with minimal octane loss? Rasmiy texnologik izoh. https://www.axens.net/resources-events/faq/faq-there-route-post-treating-gasoline-minimal-octane-loss (14.10.2026).
4. ASTM International. Petroleum Standards. ASTM D5453, D5623 va D6730 sinov usullarining rasmiy katalogi. https://store.astm.org/products-services/standards-and-publications/standards/petroleum-standards.html (14.10.2026).
5. ASTM International. ASTM D2699-25. Standard Test Method for Research Octane Number of Spark-Ignition Engine Fuel. https://store.astm.org/d2699-25.html (14.10.2026).
6. U.S. Environmental Protection Agency. Sulfur Averaging, Banking, and Trading Credit Data. https://www.epa.gov/renewable-fuel-standard/sulfur-averaging-banking-and-trading-abt-credit-data (14.10.2026).

ISSN 3030-3907