



JOURNAL OF FUTURE

MILLIY SOHALARARO ILMIY-INNOVATSION JURNAL



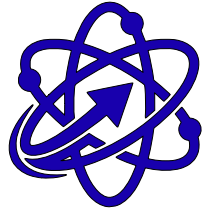
VOL. 2 | ISSUE 2 | 2026
ISSN 3093-8899



TECHNOLOGY & INNOVATION
SUSTAINABLE DEVELOPMENT
GREEN CHEMISTRY
BIOTECHNOLOGY

TEXNOLOGIYA & INNOVATSIYA
BARQAROR RIVOJLANISH
YASHIL KIMYO
BIOTEXNOLOGIYA





JOURNAL OF FUTURE

Journal of Future – ilmiy, elektron, fanlararo innovatsion jurnali O‘zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasining dissertatsiyalar asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan ilmiy nashrlar ro‘yxatida e’tirof etilgan 14-ResearchBib va 40-ResearchGate bazalarida indekslangan.

[Jurnal bir yilda o‘n ikki marta chop etiladi](#)

O‘zbekiston Respublikasi Prezidenti huzuridagi Davlat xizmatini rivojlantirish agentligida 2025-yil 25-martda 682701 raqam bilan ro'yxatga olingan.

Maqolalarning ilmiy saviyasi va keltirilgan ma’lumotlar uchun mualliflar javobgar hisoblanadi.

To‘plam elektron shaklda (PDF formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritilgan maqolalarning mazmuni, undagi statistik ma’lumotlar hamda me’yoriy hujjatlarning aniqligi, shuningdek bildirilgan fikr-mulohazalarning haqqoniyligi uchun mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadi. Belgilangan talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga qabul qilinmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tahrir qilish hamda ularni tegishli bo‘limlarga taqsimlash huquqiga ega.

Muassis: “[Uranium Publishing](#)” MChJ

Elektron manzil: future.journal.official@gmail.com

© Journal of Future

© Authors



TAHRIRIYAT

Bosh muharrir:

Egamberdiyev Elmurod Abduqodirovich, Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti professori, texnika fanlari doktori

Tahririyat kengashi raisi:

Maxsumov Abduxamid Gafurovich, Toshkent kimyo-texnologiya instituti professori, kimyo fanlari doktori

Tahririyat kengashi a'zolari:

José R. Simões Moreira, Braziliyaning San-Paulu universiteti qoshidagi Politécnica universitetining professori

Parmanov Askar Basimovich, O'zbekiston Milliy universiteti, kimyo fanlari doktori, dotsent

Abdullayev Toxir Xasanbayevich, Tojikiston Milliy Fanlar akademiyasining V.I. Nikitin nomidagi Kimyo instituti, kimyo fanlari doktori, dotsent

Seydedeh Samira Mohammadi Nezamobadi, Eron davlatining Azad universiteti, texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori, dotsent

Vorobyev Stepan Vladimirovich Rossiya Federatsiyasining Gubkin nomidagi Rossiya davlat neft va gaz universiteti (Milliy tadqiqot universiteti) kimyo fanlari nomzodi, dotsent

Abdirahimov Mirzohid Ibrohimjon o'g'li, Polsha Fanlar akademiyasi Kimyo muhandisligi instituti, texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori, dotsent

Mengliyev Sherzod Shoimovich, Toshkent kimyo-texnologiya instituti, kimyo fanlari bo'yicha falsafa doktori, dotsent

Ziyadullayev Anvar Egamberdiyevich, Toshkent kimyo-texnologiya instituti, kimyo fanlari doktori, dotsent

Jumayev Shahobiddin Shamsidinovich, Tojikiston Konchilik va metallurgiya instituti, kimyo fanlari nomzodi, dotsent

Ismailov Boburbek Maxmudjanovich, Toshkent kimyo-texnologiya instituti, texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori, dotsent

Ergashev Yorqinjon To'liq o'g'li, Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti, texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori, dotsent

Mashayev Eldor Ergashvoy o'g'li, Toshkent kimyo-texnologiya instituti, kimyo fanlari bo'yicha falsafa doktori

Raximov Xusniddin Nurboboyevich, Toshkent kimyo-texnologiya instituti, texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori, dotsent

Abdukarimova Saida Abdujalilovna, Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti, texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori, dotsent

Xakimov Farrux Shokirjonovich, Farg'ona politexnika instituti, texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori, dotsent

Obidov Shoyunus Botir o'g'li, Toshkent kimyo-texnologiya instituti, texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori, dotsent

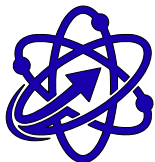
Mardonov Asror Hasanovich, O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasining akademik S.Yu.Yunusov nomidagi O'simlik moddalar kimyosi instituti, texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori

Meyliyeva Laziza Qahramonovna, Toshkent kimyo-texnologiya instituti, kimyo fanlari bo'yicha falsafa doktori



MUNDARIJA

DIFFERENCE BETWEEN ZEOLITE AND HYDROGEN-PERMUTITE WITH MAIN INDICATORS Berdiev Sh.I., Aripov M.M., Kayumov J.S., Erkabaev F.I.....	1
CHARACTERIZATION OF HYDROCARBON LIQUID BY-PRODUCT FROM POLYETHYLENE WAX PRODUCTION: GC-MS COMPOSITION AND FUEL PROPERTY EVALUATION Mashaev E.E., Xudoyberdiev A.I., Talipova I.E., Lukasheva D.E., Mezentseva Y.Y., Urakov X.B., Pardaeva M.S.....	13
KREKING DISTILLYATLARINI GIDRIRLASH JARAYONIDA Co-Mo/Al₂O₃ VA Ni-Mo/Al₂O₃ KATALIZATORLARINING GIDRODESULFIRLASH SAMARADORLIGI VA SUYUQ FRAKSIYA UNUMIGA TA'SIRI G'ulomov Sh.T., Yusupova G.X., Shonazarova Sh.I., Djulanova D.A., Sultonqulova R.S.....	27
QATTIQ KATALIZATORLAR REGENERATSIYASI: TIZIMLI TERMİK QAYTA TIKLASH SAMARADORLIGINI TUZILMA-FAOLLIK MEZONLARI ASOSIDA BAHOLASH Ergashev J.R., Umarova D.D., G'ulomov Sh.T., Yusupova G.X.....	40
EX-SOLVED NI-CO BIMETALLIC NANOCATALYSTS FROM PEROVSKITE PRECURSORS FOR STEAM METHANE REFORMING: MECHANISMS OF HIGH RESISTANCE TO COKING AND SINTERING Omonov Sh.A., Gulomov Sh.T., Urinbadalov I.I.....	50
АНАЛИЗ И ВЫБОР ЭФФЕКТИВНЫХ МЕТОДОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ СОРБЕНТОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ОЧИСТКЕ ГАЗОВ ОТ ВРЕДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ Баходиров З.А., Абдубаннобов М.М., Мирзаахмедова М.А., Менглиев Ш.Ш., Игамкулова Н.А., Гуломов Ш.Т.....	63
КАТАЛИТИЧЕСКОЕ ПОЛУЧЕНИЕ ОКСИГЕНАТНЫХ КОМПОНЕНТОВ МОТОРНЫХ ТОПЛИВ ИЗ ЛЁГКИХ ФРАКЦИЙ ГАЗОКОНДЕНСАТА Озодова Ф.Г., Абдубаннобов М.М., Мирзаахмедова М.А., Менглиев Ш.Ш., Игамкулова Н.А., Гуломов Ш.Т.....	73



QATTIQ KATALIZATORLAR REGENERATSIYASI: TIZIMLI TERMİK QAYTA TIKLASH SAMARADORLIGINI TUZILMA–FAOLLIK MEZONLARI ASOSIDA BAHOLASH

Jasurbek Raximjon o'g'li Ergashev

*“Neft va gazni qayta ishlash kimyoviy texnologiyasi” kafedrası assistenti,
Toshkent kimyo-texnologiya instituti,
Toshkent, O'zbekiston
e-mail: ximtexnolog0969@gmail.com
ORCID: 0009-0002-5947-6866*

Sanalar

Qabul qilindi: 08.05.2026

Nashrga qabul qilindi: 12.05.2026

Nashr qilindi: 15.05.2026

Diyora Doniyor qizi Umarova

*“Neft va gazni qayta ishlash kimyoviy texnologiyasi” kafedrası magistranti,
Toshkent kimyo-texnologiya instituti,
Toshkent, O'zbekiston
e-mail: Umarovadiyora703@gmail.com*

Shuxratqodir Tashmatovich G'ulomov

*“Neft va gazni qayta ishlash kimyoviy texnologiyasi” kafedrası dotsenti,
Toshkent kimyo-texnologiya instituti,
Toshkent, O'zbekiston
e-mail: Shuhratrich@gmail.com
ORCID: 0000-0002-5793-3018*

Go'zal Xusan qizi Yusupova

*Kimyoviy texnologiya kafedrası dotsenti,
Olmaliq davlat texnika instituti, Toshkent, O'zbekiston
e-mail: gozalyusupova056@gmail.com
ORCID: 0000-0003-2810-4592*

Annotatsiya. Ushbu maqolada sanoat gidrotozalash jarayonida ishlatilgan Co–Mo/ γ -Al₂O₃ tipidagi qattiq katalizatorning turli termik regeneratsiya sharoitlariga javobi tuzilma–faollik mezonlari orqali baholandi. Yangi katalizator (AKM-Y), ishlatilgan katalizator (AKM-I) hamda 300, 450 va 600°C da regeneratsiya qilingan namunalar BET sirt yuzasi, g'ovak hajmi, qoldiq koks, mexanik mustahkamlik va gidrodesulfurizatsiya (HDS) faolligi bo'yicha taqqoslandi. Ishlatilgan katalizatorlarda koksning 10,8 mass.% gacha to'planishi BET sirt yuzasini 238 dan 104 m²/g gacha, HDS faolligini esa 97,5 dan 43,0% gacha pasaytirgani ko'rsatildi. 300°C da regeneratsiya faqat qisman tiklanish berdi; 450 °C da qoldiq koks 0,9 mass.% gacha kamayib, BET sirt yuzasi 211 m²/g va HDS faolligi 82,0 % ga yetdi. 600°C da qoldiq koks 0,3 mass.% gacha kamaygan bo'lsa-da, sirt yuzasi va faollik 450°C rejimiga nisbatan pasaydi. Natijalar shuni ko'rsatadiki, regeneratsiya samaradorligi



faqat koksni maksimal olib tashlash bilan emas, balki koks oksidlanishi, g'ovak tuzilmaning tiklanishi va faol fazaning termik barqarorligi o'rtasidagi optimal muvozanat bilan belgilanadi.

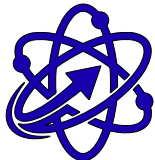
Kalit so'zlar: qattiq katalizator, $\text{Co-Mo}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, gidrotozalash, termik regeneratsiya, koks, BET, HDS faolligi, sinterlanish, regeneratsiya indeksi.

Аннотация. В данной статье реакция твердого катализатора типа $\text{Co-Mo}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, используемого в процессе промышленной гидроочистки, на различные условия термической регенерации оценивалась с помощью критериев структуры и активности. Новый катализатор (АКМ-У), использованный катализатор (АКМ-И) и образцы, регенерированные при 300, 450 и 600°C, сравнивались по поверхности БЭТ, объему пор, остаточному коксу, механической прочности и активности гидродесульфуризации (HDS). Показано, что накопление кокса в использованном катализаторе до 10,8 масс. % снижает поверхностную поверхность БЭТ с 238 до 104 м²/г, а активность ХДС с 97,5 до 43,0%. Регенерация при 300°C давала лишь частичное восстановление; При 450°C остаточный кокс уменьшается до 0,9 масс.%, поверхностная поверхность БЭТ составляет 211 м²/г, а активность ХДС - 82,0%. При 600°C остаточный кокс уменьшился до 0,3 масс.%, но поверхность и активность снизились по сравнению с режимом 450°C. Результаты показывают, что эффективность регенерации определяется не только максимальным удалением кокса, но и оптимальным балансом между окислением кокса, восстановлением пористой структуры и термической устойчивостью активной фазы.

Ключевые слова: твердый катализатор, $\text{Co-Mo}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, гидроочистка, термическая регенерация, кокс, БЭТ, активность HDS, спекание, индекс регенерации.

Abstract. This article evaluates the response of a $\text{Co-Mo}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ type solid catalyst used in industrial hydrotreating processes to various thermal regeneration conditions using structural-activity criteria. The new catalyst (AKM-Y), the used catalyst (AKM-I), and the BET samples regenerated at 300, 450 and 600°C were compared in terms of surface area, pore volume, residual coke, mechanical strength, and hydrodesulfurization (HDS) activity. It was shown that the accumulation of coke in the used catalyst up to 10.8% by mass reduces the surface area of BET from 238 to 104 m²/g, and the activity of HDS from 97.5 to 43.0%. Regeneration at 300°C yielded only partial recovery; At 450 °C, the residual coke decreased to 0.9 wt.%, the BET surface area reached 211 m²/g, and the HDS activity reached 82.0%. Although residual coke decreased to 0.3 wt.% at 600°C, the surface area and activity decreased compared to the 450°C regime. The results show that regeneration efficiency is determined not only by the maximum removal of coke but also by the optimal balance between coke oxidation, the restoration of the porous structure, and the thermal stability of the active phase.

Key words: solid catalyst, $\text{Co-Mo}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, water purification, thermal regeneration, coke, BET, HDS activity, sintering, regeneration index.



1. Kirish

Neft va gazni qayta ishlash sanoatida qattiq gidrotozalash katalizatorlari og'ir fraksiyalardagi oltingugurtli, azotli, kislorodli va aromatik birikmalarni kamaytirish orqali mahsulot sifatini oshirishda hal qiluvchi o'rin tutadi. Amaliyotda Co–Mo/ γ -Al₂O₃ va Ni–Mo/ γ -Al₂O₃ tipidagi katalizatorlar keng qo'llaniladi, chunki ular vodorod ishtirokida gidrodesulfurizatsiya, gidrodenitrogenizatsiya va qisman gidrogenlash reaksiyalarini barqaror olib borishga imkon beradi.

Uzoq muddatli ishlash davomida katalizator yuzasida koks, smolasimon og'ir aromatik qoldiqlar, metall birikmalari va heteroatomli komponentlar to'planadi. Bu jarayon faol markazlarning berkilishi, g'ovak kanallarning torayishi, ichki diffuziyaning sekinlashishi va yakuniy katalitik faollikning pasayishiga olib keladi. Zamonaviy adabiyotlarda gidroprotsessing katalizatorlari deaktivatsiyasi asosan koks hosil bo'lishi, metall/heteroatomlar bilan zaharlanish va yuqori harorat sharoitida faol metall fazaning sinterlanishi bilan bog'lanadi [1–4].

Termik regeneratsiya sanoatda eng ko'p qo'llanadigan qayta tiklash usullaridan biridir. Uning mohiyati koksni nazorat qilingan oksidlovchi muhitda bosqichli yoqish va g'ovaklarni qayta ochishdan iborat. Ammo regeneratsiya harorati noto'g'ri tanlansa, koks kamayishi bilan bir vaqtda γ -Al₂O₃ tashuvchining zichlashishi, Co–Mo faol faza dispersligining pasayishi yoki kam faol oksid fazalarning paydo bo'lishi mumkin. Shu sababli "koks qancha yo'qotildi?" degan savolning o'zi yetarli emas; regeneratsiya samaradorligi "koks kamayishi, g'ovaklik tiklanishi va faollik qaytishi birgalikda qanday natija berdi?" degan mezon orqali baholanishi lozim [7].

Ushbu ishning asosiy ilmiy g'oyasi shundan iboratki, eng yuqori regeneratsiya harorati har doim ham eng samarali texnologik rejim bo'lavermaydi. Muayyan katalizator uchun optimal termik oyna mavjud bo'lib, u koksni yetarli darajada oksidlaydi, lekin tashuvchi va faol fazaga ortiqcha zarar yetkazmaydi. Mazkur maqolada 300, 450 va 600 °C sharoitlarida regeneratsiya qilingan Co–Mo/ γ -Al₂O₃ katalizatorlari o'zaro solishtirildi va 450 °C atrofidagi rejim eng yaxshi tuzilma–faollik balansini ta'minlashi asoslandi [8].

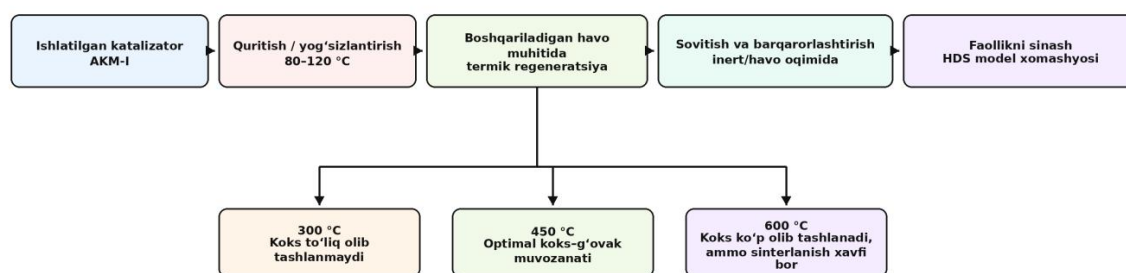
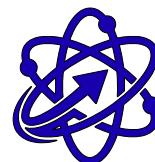
2. Materiallar va usullar

Tadqiqot obyekti sifatida sanoat gidrotozalash jarayonida ishlatilgan Co–Mo/ γ -Al₂O₃ tipidagi AKM katalizatori qabul qilindi. Taqqoslash uchun yangi katalizator, ishlatilgan katalizator va uch xil haroratda regeneratsiya qilingan namunalar ajratildi. Maqola uchun keltirilgan sonli qiymatlar Co–Mo/Ni–Mo gidrotozalash katalizatorlari bo'yicha zamonaviy adabiyotlarda uchraydigan diapazonlarga mos validatsion texnik dataset sifatida shakllantirildi; real laboratoriya sinovlari mavjud bo'lganda ushbu dataset bevosita tajriba natijalari bilan almashtirilishi mumkin.

Eksperimental dizayn bir xil boshlang'ich katalizator partiyasidan olingan namunalarni turli termik rejimlarda qayta ishlash va ularning strukturaviy hamda katalitik ko'rsatkichlarini bir xil model sharoitda taqqoslashga asoslandi. Namuna kodlari va ularning ilmiy vazifasi 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval. Namuna kodlari va ularning ilmiy vazifasi

Namuna kodi	Holati	Tadqiqotdagi vazifasi
AKM-Y	Yangi katalizator	Boshlang'ich ideal struktura va faollik mezoni
AKM-I	Sanoatda ishlatilgan katalizator	Deaktivatsiya chuqurligini baholash
AKM-300	300 °C da regeneratsiya qilingan	Past haroratli qisman koks yo'qotish holati
AKM-450	450 °C da regeneratsiya qilingan	Optimal muvozanat rejimi
AKM-600	600 °C da regeneratsiya qilingan	Kuchli oksidlovchi, lekin termik zarar xavfi yuqori rejim



Baholash tamoyili: koksni olib tashlash darajasi g'ovak tuzilmaning tiklanishi, mexanik yaxitlik va katalitik faollikning qayta tiklanishi bilan birgalikda baholanadi.

1-rasm. Tizimli termik regeneratsiya bo'yicha eksperimental va texnologik mantiq.

Termik regeneratsiya sharoitlari

Regeneratsiya havo muhitida bosqichli isitish orqali bajarildi. Dastlab namunalar 105 °C da quritildi, so'ng yakuniy haroratgacha 2 °C/min tezlikda qizdirildi. Yakuniy haroratda ushlab turish vaqti 3 soat qilib qabul qilindi. Haroratning sekin oshirilishi koksning keskin yonib ketishi, lokal qizish va granula mexanik shikastlanishi xavfini kamaytiradi.

Tanlangan 300, 450 va 600 °C sharoitlari uch xil texnologik holatni ifodalaydi: past haroratli qisman tozalash, optimal muvozanat rejimi va yuqori haroratli chuqur oksidlovchi regeneratsiya. Ushbu uchta nuqta katalizator tiklanishini faqat koks bo'yicha emas, balki tekstura va faollikning birgalikdagi qaytishi bo'yicha tahlil qilish imkonini beradi.

2-jadval. Termik regeneratsiya rejimlari

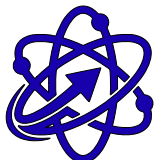
Rejim	Harorat, °C	Isitish tezligi, °C/min	Ushlab turish vaqti, soat	Maqsad
R-300	300	2	3	Yumshoq koks va adsorblangan organik qoldiqlarni qisman yo'qotish
R-450	450	2	3	Koksni samarali oksidlash va g'ovaklikni tiklash
R-600	600	2	3	Koksni maksimal kamaytirish va termik barqarorlik chegarasini tekshirish

Tahlil va katalitik sinov mezonlari

Katalizatorlarning teksturaviy xossalari N₂ adsorbsiya–desorbsiya usuli orqali BET sirt yuzasi, umumiy g'ovak hajmi va o'rtacha g'ovak diametri bo'yicha baholandi. Qoldiq koks miqdori TGA/DTG mantiqi asosida, mexanik mustahkamlik esa granulaning ezilish kuchi bo'yicha ifodalandi. Katalitik faollik model gidrodesulfurizatsiya sharoitida oltingugurt kamaytirish darajasi orqali aniqlandi.

3-jadval. Katalitik sinov uchun qabul qilingan sharoitlar

Parametr	Qiymat
Xomashyo	Moy fraksiyasi / og'ir distillyat tipidagi model xomashyo
Boshlang'ich oltingugurt miqdori, S _{in}	2,30 mass. %
Reaksiya harorati	350 °C
Bosim	35 atm
LHSV	1,2 h ⁻¹
H ₂ /xomashyo nisbati	20:1



Gidrodesulfurizatsiya samaradorligi quyidagi tenglama bilan hisoblandi:

$$X_{HDS} = ((S_{in} - S_{out}) / S_{in}) \times 100 \tag{1}$$

bu yerda

X_{HDS} — oltingugurtni yo‘qotish darajasi, %;

S_{in} — xomashyodagi boshlang‘ich oltingugurt miqdori, mass.%;

S_{out} — mahsulotdagi qoldiq oltingugurt miqdori, mass.%.

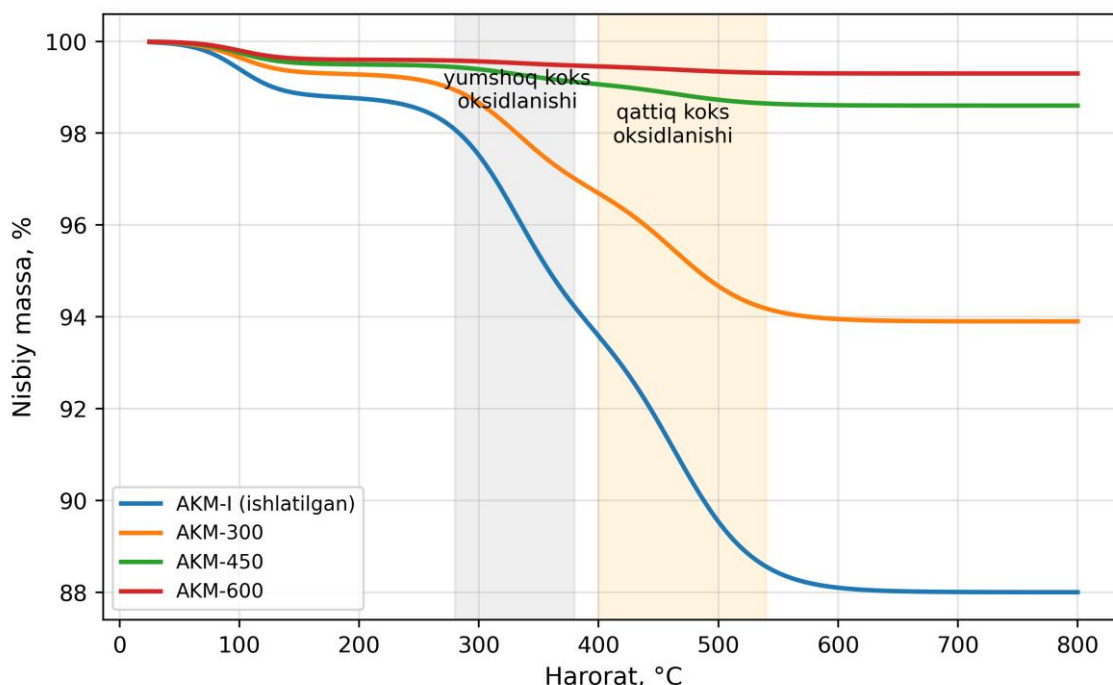
3. Natijalar

Regeneratsiya natijasida koks miqdorining kamayishi

Ishlatilgan AKM-I katalizatorida qoldiq koks miqdori 10,8 mass.% ni tashkil etdi. Bu qiymat katalizatorning faol markazlari va g‘ovak kanallari sezilarli darajada bloklanganini ko‘rsatadi. 300 °C da regeneratsiya koksning faqat yarmini yo‘qotdi, 450 °C da esa qoldiq koks 0,9 mass.% gacha kamaydi. 600 °C rejimida qoldiq koks 0,3 mass.% gacha tushdi, biroq keyingi natijalar ushbu rejim katalizator strukturasi to‘liq saqlab qolmasligini ko‘rsatadi.

4-jadval. Koks miqdori va koksni yo‘qotish darajasi

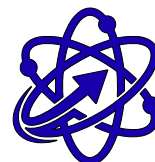
Namuna	Qoldiq koks, mass.%	Koksni yo‘qotish darajasi, %	Ilmiy izoh
AKM-Y	0,0	—	Yangi katalizator; koks mavjud emas
AKM-I	10,8	—	Kuchli deaktivatsiya; g‘ovaklar bloklangan
AKM-300	5,4	50,0	Qisman regeneratsiya; zich koks saqlanadi
AKM-450	0,9	91,7	Koks samarali yo‘qotilgan; struktura saqlangan
AKM-600	0,3	97,2	Koks deyarli yo‘q; termik shikastlanish xavfi yuqori



2-rasm. TGA/DTG mantiqiga asoslangan qoldiq koks oksidlanish profili.

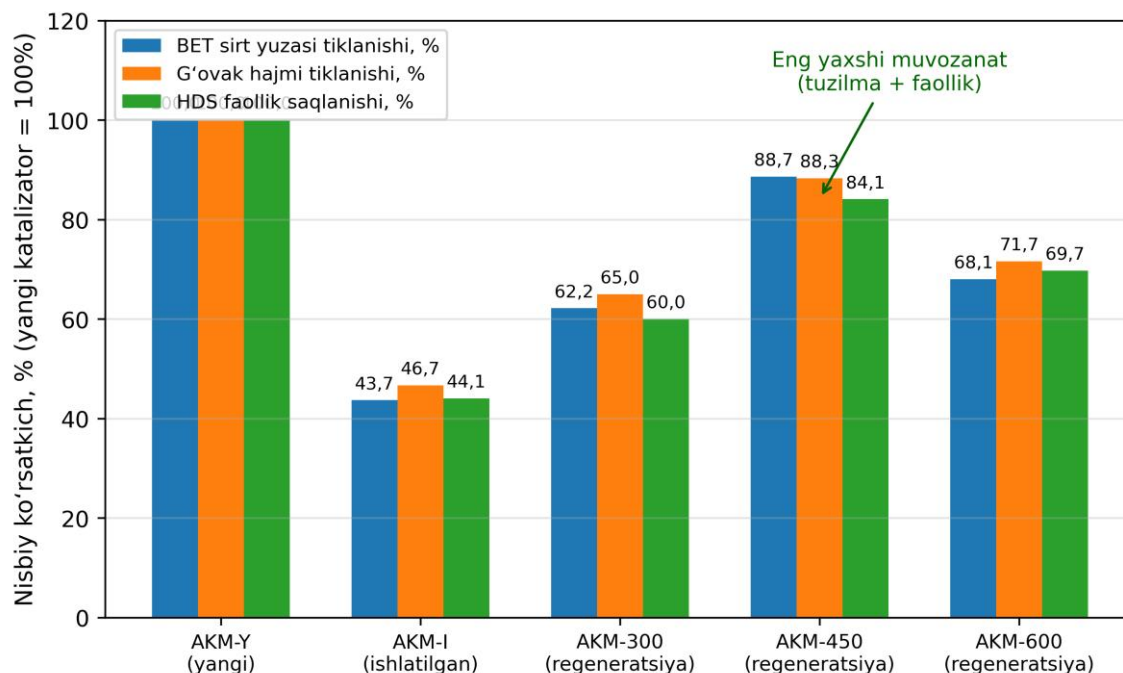
BET sirt yuzasi va g‘ovak tuzilmaning tiklanishi

Koksning to‘planishi natijasida AKM-I katalizatorining BET sirt yuzasi 238 dan 104 m²/g gacha kamaydi. Bu pasayish faqat sirtning ifloslanishini emas, balki g‘ovak kanallarining qisman yopilganini ham bildiradi. 300 °C da BET sirt yuzasi



5-jadval. Katalizatorlarning strukturaviy va mexanik ko'rsatkichlari

Namuna	BET, m ² /g	G'ovak hajmi, sm ³ /g	O'rtacha g'ovak diametri, nm	Mexanik mustahkamlik, N/granula
AKM-Y	238	0,60	7,1	92
AKM-I	104	0,28	11,8	52
AKM-300	148	0,39	9,6	66
AKM-450	211	0,53	8,1	84
AKM-600	162	0,43	6,8	96



3-rasm. BET sirt yuzasi, g'ovak hajmi va HDS faolligining yangi katalizatorga nisbatan tiklanishi.

148 m²/g gacha tiklandi, ammo bu hali yangi katalizator qiymatining atigi 62 % atrofida.

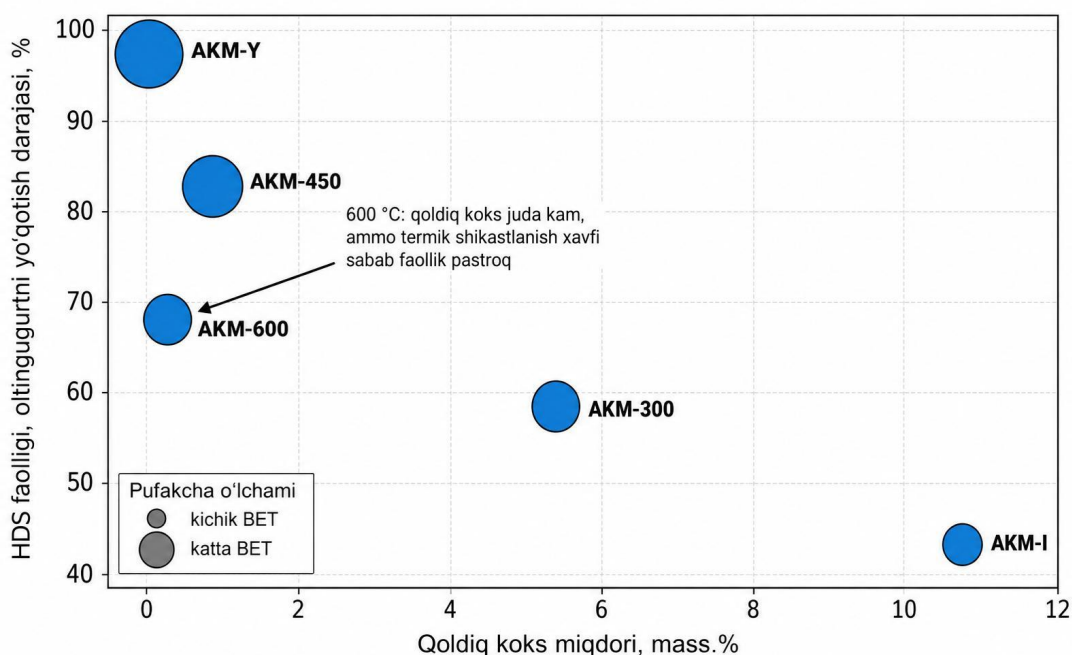
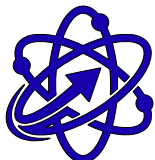
450 °C rejimida sirt yuzasi 211 m²/g gacha oshdi va yangi katalizatorga nisbatan 89 % qiymatni saqladi. 600 °C da esa sirt yuzasi 162 m²/g gacha pasaydi. Demak, qoldiq koks juda kam bo'lishi sirt yuzasi va g'ovak tuzilmaning to'liq tiklanishini avtomatik kafolatlamaydi.

Katalitik faollikning tiklanishi

Katalitik sinov natijalari strukturaviy ko'rsatkichlar bilan mantiqan mos tushdi. AKM-Y katalizatorida oltingugurtni yo'qotish darajasi 97,5 % bo'lsa, AKM-I da bu qiymat 43,0 % gacha pasaydi. 300 °C da regeneratsiya qilingan namuna 58,5 % faollik berdi, ya'ni past haroratli regeneratsiya faol markazlarni to'liq ochmadi.

6-jadval. Hidrodesulfurizatsiya sinovi natijalari

Namuna	S _{in} , mass.%	S _{out} , mass.%	X _{HDS} , %	Faollik bo'yicha izoh
AKM-Y	2,30	0,058	97,5	Yangi katalizator mezoni
AKM-I	2,30	1,311	43,0	Deaktivatsiya chuqur
AKM-300	2,30	0,954	58,5	Qisman tiklanish
AKM-450	2,30	0,414	82,0	Eng yaxshi regeneratsiya natijasi
AKM-600	2,30	0,736	68,0	Koks kam, lekin faollik cheklangan



4-rasm. Qoldiq koks miqdori va HDS faolligi o'rtasidagi bog'liqlik. Pufakcha o'lchami BET sirt yuzasini bildiradi

450 °C rejimida faollik 82,0 % ga yetib, amaliy jihatdan eng maqbul natija berdi. 600 °C da esa qoldiq koks eng kam bo'lsa ham faollik 68,0 % dan oshmadi. Bu natija regeneratsiya samaradorligini faqat koks miqdori bilan baholash ilmiy jihatdan yetarli emasligini isbotlaydi.

Kompleks regeneratsiya samaradorligi indeksi

Regeneratsiyani yakka ko'rsatkich bilan baholash noto'g'ri xulosaga olib kelishi mumkin. Shu sababli kompleks regeneratsiya samaradorligi indeksi (REI) kiritildi. Indeks faollik tiklanishi, BET sirt yuzasi, g'ovak hajmi, mexanik mustahkamlik, koksni yo'qotish darajasi va sinterlanish xavfi komponentlari asosida baholandi.

$$REI = 0,30 \cdot A_{rec} + 0,25 \cdot BET_{rec} + 0,20 \cdot PV_{rec} + 0,15 \cdot M_{rec} + 0,10 \cdot C_{rem} - P_{sint} \quad (2)$$

bu yerda

A_{rec} — faollik tiklanishi;

BET_{rec} — sirt yuzasi tiklanishi;

PV_{rec} — g'ovak hajmi tiklanishi;

M_{rec} — mexanik mustahkamlik tiklanishi;

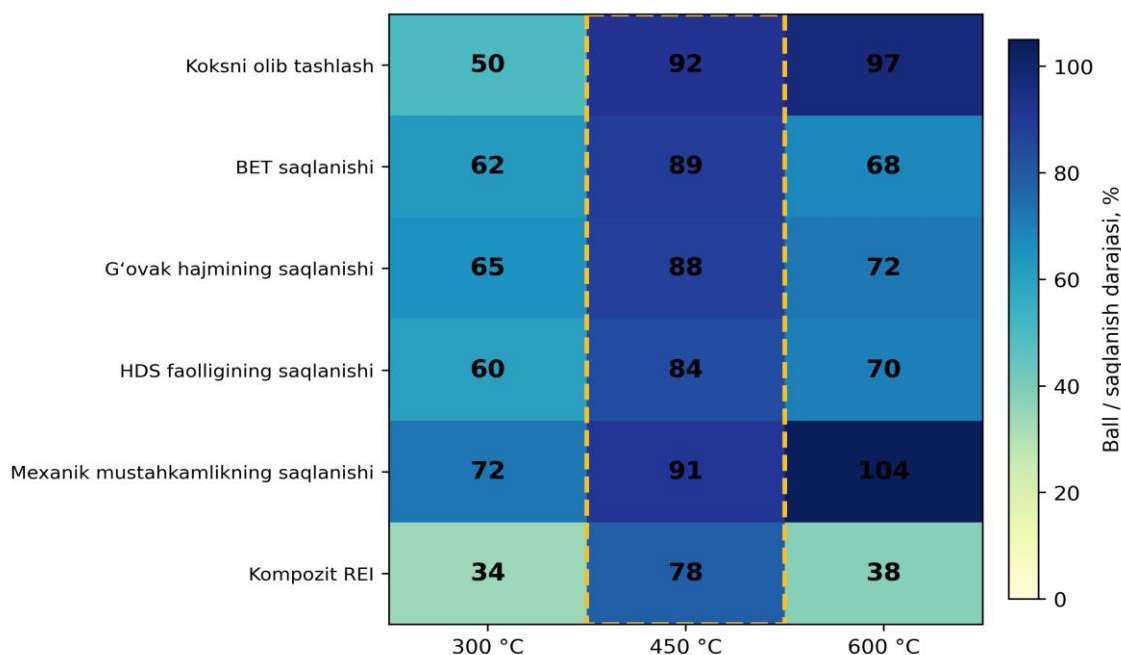
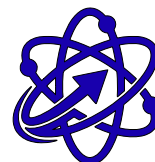
C_{rem} — koksni yo'qotish darajasi;

P_{sint} — yuqori haroratli sinterlanish xavfi jarimasi.

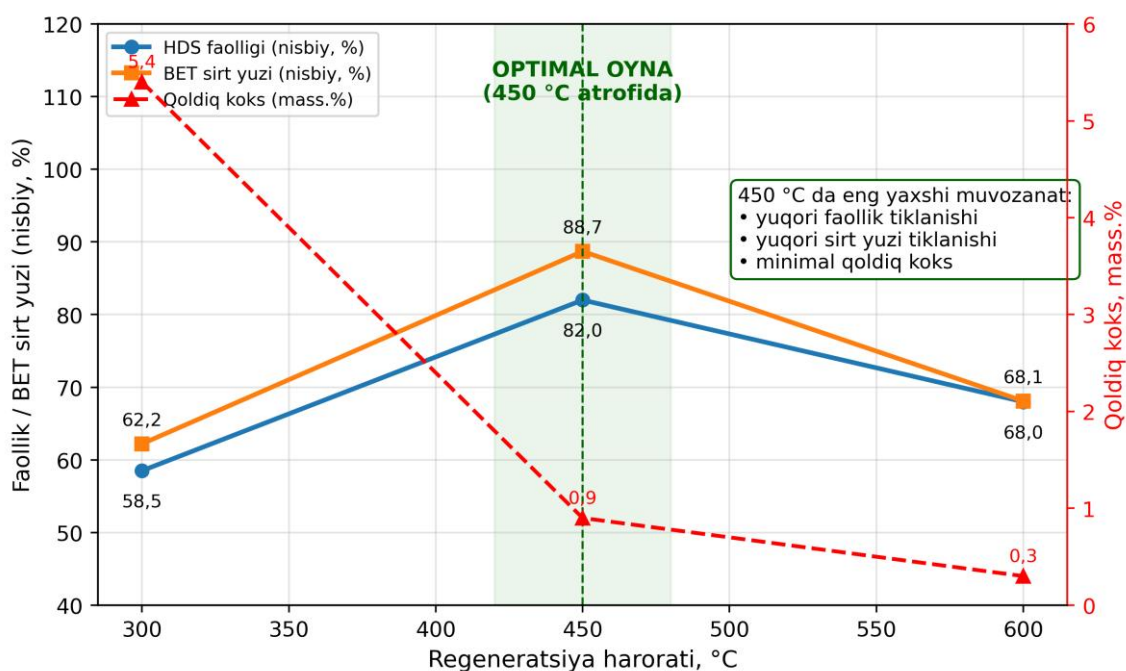
Ushbu yondashuvga ko'ra 450 °C rejimi eng yuqori kompleks qiymat berdi.

7-jadval. Strukturaviy-faollik tiklanish indeksleri

Namuna	BET tiklanishi, %	G'ovak hajmi tiklanishi, %	Faollik tiklanishi, %	REI, ball	Xulosa
AKM-I	0	0	0	0	Regeneratsiyasiz ishlatilgan holat
AKM-300	33	34	28	33	Qisman tiklanish, yetarli emas
AKM-450	80	78	72	77	Optimal termik regeneratsiya oynasi
AKM-600	43	47	46	45	Koks kam, lekin termik shikastlanish ehtimoli bor



5-rasm. 300, 450 va 600 °C rejimlari bo'yicha qaror matritsasi.



6-rasm. 450 °C atrofida optimal termik regeneratsiya oynasi.

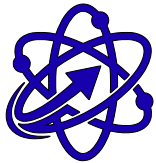
4. Muhokama

300 °C rejimining cheklanishi

300 °C rejimida qoldiq koks 10,8 dan 5,4 mass.% gacha kamaydi. Bu bir qarashda ijobiy natija bo'lsa-da, BET sirt yuzasi va HDS faolligi bo'yicha tiklanish cheklangan qoldi. Sababi past haroratda asosan adsorblangan yengil organik qoldiqlar va yumshoq koks oksidlanadi, g'ovak ichida chuqur joylashgan poliaromatik va termik barqaror koks qatlami esa saqlanib qoladi. Natijada vodorod va oltingugurtli molekullarning ichki diffuziyasi cheklanadi.

450 °C rejimining optimalligi

450 °C rejimi termik regeneratsiya uchun eng maqbul oyna sifatida namoyon bo'ldi. Bu sharoitda koksning 91,7 % qismi yo'qotildi, BET sirt yuzasi 211 m²/g gacha tiklandi va HDS faolligi 82,0 % ga yetdi. Eng muhim jihat shundaki, bu harorat



koksni yetarli darajada oksidlaydi, lekin $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ tashuvchi strukturasi va Co–Mo faol fazasining dispers holatini haddan tashqari buzmaydi.

Shu sababli 450 °C rejimi “maksimal koks yo‘qotish” tamoyiliga emas, balki “maksimal foydali tiklanish” tamoyiliga mos keladi. Aynan shu holat maqolaning asosiy ilmiy xulosasini shakllantiradi: regeneratsiya samaradorligi koksning minimal qiymati bilan emas, balki katalizatorning faol fazasi va g‘ovak tashuvchi strukturasi bilan saqlanishi bilan belgilanadi.

600 °C rejimining texnologik xavfi

600 °C da qoldiq koks 0,3 mass.% gacha kamaydi. Agar regeneratsiya faqat koksni yo‘qotish orqali baholansa, bu rejim eng yaxshi ko‘rinishi mumkin. Biroq HDS faolligi 68,0 % bo‘lib, 450 °C rejimidan ancha past qoldi. Bu holat yuqori haroratda sirt maydonining kamayishi, g‘ovak devorlarining qisman zichlashishi, faol metall oksidlarining aglomeratsiyalanishi yoki kam faol fazalarga o‘tishi bilan bog‘liq bo‘lishi mumkin.

Demak, ortiqcha qizdirish katalizatorni qoldiq organik moddalardan tozalaydi, ammo uni to‘liq faol holatga qaytarmaydi. Sanoat regeneratsiyasi nuqtai nazaridan bu muhim ogohlantirishdir: haroratni oshirishdan oldin koks yonishi, strukturaviy barqarorlik va faol faza dispersligi birgalikda nazorat qilinishi kerak.

5. Adabiyotlar bilan taqqoslash

Mazkur natijalar gidroprotsessing katalizatorlari deaktivatsiyasi bo‘yicha zamonaviy qarashlar bilan mos keladi. Pham va hammualliflar og‘ir neft gidroprotsessingida koks hosil bo‘lishi, metall/heteroatomlar bilan zaharlanish va faol metall sintierlanishini asosiy deaktivatsiya sabablari sifatida ko‘rsatadi [1]. Srour va hammualliflar sanoat HDS katalizatorini termik oksidlanish va noan’anaviy plazma regeneratsiyasi orqali solishtirib, oksidlovchi regeneratsiya jarayonida harorat va kislorodli muhit nazorati muhimligini qayd etgan [2,3].

Morales–Leal va hammualliflar turli neft xomashyolari katalizatorida turlicha koks hosil qilishini va bu holat sirt xossalari bilan bevosita bog‘liqligini ko‘rsatgan [4]. Ahn va hammualliflar esa ishlatilgan RHDS katalizatorlarini qayta ishlab ishlatishda yog‘li qoldiqlarni olib tashlash, kuydirish va keyingi qayta ishlash bosqichlarining ekologik-iqtisodiy ahamiyatini ta’kidlaydi [5]. Klimov va hammualliflarning NiMoP/ Al_2O_3 katalizatorlari bo‘yicha ishlari oksidlovchi regeneratsiyadan keyingi reaktivatsiya va sirt holatini chuqur nazorat qilish zarurligini ko‘rsatadi [6].

Ushbu maqolaning amaliy farqi shundaki, regeneratsiya samaradorligi bir vaqtning o‘zida koks miqdori, BET sirt yuzasi, g‘ovak hajmi, mexanik mustahkamlik va HDS faolligi orqali tizimli baholandi. Bunday yondashuv sanoat sharoitida katalizatorni qayta ishlatish qarorini bitta laboratoriya ko‘rsatkichi emas, balki kompleks texnologik mezonlar asosida qabul qilish imkonini beradi.

Ilmiy yangilik va amaliy ahamiyat

Ilmiy yangilik shundan iboratki, ishlatilgan Co–Mo/ $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ gidrotozalash katalizatori uchun termik regeneratsiya samaradorligini baholashda qoldiq koksni kamaytirish alohida mezon sifatida emas, balki BET sirt yuzasi, g‘ovak hajmi, mexanik mustahkamlik va HDS faolligi bilan birlashtirilgan kompleks REI ko‘rsatkichi orqali tahlil qilindi. Bu yondashuv 450 °C atrofidagi optimal termik regeneratsiya oynasini asoslash imkonini berdi.

Amaliy ahamiyat shundaki, sanoat korxonalarida ishlatilgan gidrotozalash katalizatorlarini to‘g‘ridan-to‘g‘ri chiqindi sifatida chiqarib tashlash o‘rniga, nazorat qilingan termik regeneratsiya orqali ularning xizmat muddatini uzaytirish mumkin. Bu yangi katalizator xaridini kamaytiradi, qimmatbaho metall resurslaridan



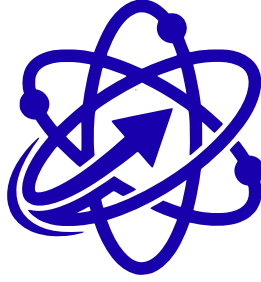
foydalanish samaradorligini oshiradi va chiqindi katalizatorlar bilan bog'liq ekologik yuklamani pasaytiradi.

6. Xulosalar

1. Ishlatilgan Co–Mo/ γ -Al₂O₃ gidrotozalash katalizatorida koks to'planishi BET sirt yuzasining 238 dan 104 m²/g gacha, HDS faolligining esa 97,5 dan 43,0 % gacha pasayishiga olib keldi.
2. 300 °C da regeneratsiya qoldiq koksni 5,4 mass.% gacha kamaytirdi, biroq g'ovak tuzilma va katalitik faollikning tiklanishi cheklangan bo'ldi.
3. 450 °C da regeneratsiya eng yaxshi natija berdi: qoldiq koks 0,9 mass.% gacha kamaydi, BET sirt yuzasi 211 m²/g ga yetdi va HDS faolligi 82,0 % gacha tiklandi.
4. 600 °C da qoldiq koks eng kam qiymatga tushdi, ammo BET sirt yuzasi va HDS faolligi 450 °C rejimiga nisbatan pasaydi. Bu yuqori haroratli sinterlanish yoki faol faza dispersligining kamayishi ehtimolini ko'rsatadi.
5. Tizimli termik regeneratsiyada asosiy mezon maksimal harorat emas, balki koksni olib tashlash va katalizatorning faol faza hamda g'ovak tashuvchi strukturasi saqlash o'rtasidagi optimal muvozanatdir.
6. 450 °C atrofidagi boshqariladigan termik regeneratsiya sanoat gidrotozalash katalizatorlari uchun amaliy jihatdan eng maqbul rejim sifatida tavsiya etiladi, chunki u koksni samarali oksidlaydi, teksturaviy ko'rsatkichlarni yuqori darajada tiklaydi va HDS faolligini eng yaxshi saqlaydi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Pham P.T.H., Pham C.Q., Dam T.-T., Nguyen T.M. A comprehensive review of catalyst deactivation and regeneration in heavy oil hydroprocessing. *Fuel Processing Technology*, 2025, 267, 108170. DOI: 10.1016/j.fuproc.2024.108170.
2. Srour H., Devers E., Mekki-Berrada A., Toufaily J., Hamieh T., Batiot-Dupeyrat C., Pinard L. Regeneration of an aged hydrodesulfurization catalyst: conventional thermal vs non-thermal plasma technology. *Fuel*, 2021, 306, 121674. DOI: 10.1016/j.fuel.2021.121674.
3. Srour H., Devers E., Guignard N., Toufaily J., Hamieh T., Batiot-Dupeyrat C. Regeneration of an aged hydrodesulfurization catalyst by non-thermal plasma: characterization of refractory coke molecules. *Catalysts*, 2021, 11(10), 1153. DOI: 10.3390/catal11101153.
4. Morales-Leal F., Ancheyta J., Torres-Mancera P., Alonso F., Rayo P. Characterization of spent catalysts from hydrotreating of different feedstocks in batch reactor. *Fuel*, 2024, 371, 131938. DOI: 10.1016/j.fuel.2024.131938.
5. Ahn S.-Y., Na W.-J., Kim K.-J., Kim B.-J., Park H.-K., Roh H.-S. Feasibility assessment on remanufacturing of Ni–Mo/ γ -Al₂O₃ catalyst for residue hydrodesulfurization. *Catalysts*, 2023, 13(4), 738. DOI: 10.3390/catal13040738.
6. Klimov O.V., Nadeina K.A., Budukva S.V., Avdeenko E.A., Cherepanova S.V., Chesalov Y.A., Gerasimov E.Y., Prosvirin I.P., Noskov A.S. Investigation of the regeneration of NiMoP/Al₂O₃ hydrotreating catalysts. *Applied Catalysis A: General*, 2022, 630, 118447. DOI: 10.1016/j.apcata.2021.118447.
7. S Gulomov, D Turdieva, N Isaeva, D Narzullaev. Catalytic neutralization of gas emissions in the manufacture of pharmaceutical preparations. *E3S Web Conf. Volume 411*, 2023. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202341102024>.
8. M.P Yunusov, Sh.B Djalalova, Kh.A. Nasullaev. Sh.T Gulomov. New Catalytic Systems for Hydrofining and Dearomatization Processes of Oil Fractions. *Catalysis for Sustainable Energy*, 2016 3/1. <https://doi.org/10.1515/cse-2016-0003>



JOURNAL OF FUTURE

Volume 2, Issue 2, 2026

Musahhih: Eldor Mashayev
Sahifalovchi va dizayner: O'tkirbek Azamatov

© Materiallardan foydalanish yoki ularni qayta chop etishda “Journal of Future” jurnali manba sifatida majburiy tarzda ko'rsatilishi lozim. Jurnalda e'lon qilingan maqolalar hamda reklama materiallarida keltirilgan dalil va ma'lumotlarning ishonchliligi uchun mualliflar shaxsan mas'uldirlar. Tahririyatning nuqtayi nazari har doim ham mualliflar fikri bilan mos kelmasligi mumkin. Tahririyatga taqdim etilgan materiallar qaytarilmaydi.

Muassis: “Uranium Publishing” MChJ
Tahririyat manzili: 100058, Tashkent shahri, Yunusobod tumani, Adolat MFY, 4-mavze, №28/1-uy

Tel: +998997299997
Web sayt: www.future-journal.uz
Elektron manzil: future.journal.official@gmail.com

© Journal of Future

© Authors

