



NEFTNI VA GAZ MAHSULOTLARINI QAYTA ISHLASHDA ISHLATILADIGAN KATALIZATOR CHIQUINDILARIDAN SEMENT UCHUN SAMARALI QO'SHIMCHALAR OLIISH

Hakimov Saidhakim

Termiz Davlat Universiteti

Kimyo fakulteti

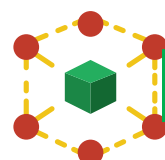
Neft va gaz kimyosi yo'nalishi talabasi

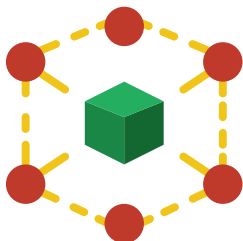
Ilmiy rahbar: Muqimov Abdulla

Katta o'qituvchi: Abduraxmonov Sayyod

Annotatsiya. Maqolada neft va gaz mahsulotlarini qayta ishlash jarayonlarida hosil bo'ladigan ishlatilgan katalizator chiqindilarini sement sanoatida samarali qo'shimcha sifatida qayta foydalanish masalasi ilmiy-adabiy manbalar asosida tahlil qilindi. Ayniqsa, fluid catalytic cracking (FCC) katalizatorlari, FCC katalizator shlaklari hamda gidrotozalash va gidrogenlash jarayonlaridan chiqqan katalizator qoldiqlarining mineral tarkibi, ekologik xatarlari va sement tizimidagi funksional roli solishtirma yondashuvda baholandi. Adabiyotlar tahlili spent FCC turidagi chiqindilar silikat-aluminat tabiatiga ega bo'lib, sezilarli pozzolanik faollik ko'rsatishini, shuning uchun ularni portlandsement, LC3 turidagi bog'lovchilar va geopolimer tizimlarida faol mineral qo'shimcha sifatida qo'llash mumkinligini ko'rsatadi. Shu bilan birga, neftni gidrotozalash katalizatorlari tarkibida Ni, V, Mo, Co kabi metallar bo'lgani sababli ularni to'g'ridan to'g'ri sementga kiritish emas, balki dastlab zararsizlantirish va metallni ajratib olish, so'ngra qolgan alyuminiy oksidli qoldiqdan foydalanish maqsadga muvofiq ekani asoslandi. Muallif tomonidan katalizator chiqindisini saralash, dekoksatsiya, metallni ajratish, mayin maydalash, mineralogik nazorat va sement kompozitsiyasiga optimallashtirilgan kiritish bosqichlaridan iborat texnologik yondashuv taklif etildi. Ushbu yondashuv bir vaqtning o'zida chiqindilarni kamaytirish, klinker sarfini qisqartirish, energiya tejankorlik va ekologik xavfsizlikni kuchaytirishga xizmat qiladi.

Kalit so'zlar: katalizator chiqindisi, spent FCC katalizatori, gidrotozalash katalizatori, pozzolanik faollik, sement qo'shimchasi, klinker sarfi, ekologik xavfsizlik, geopolimer, LC3



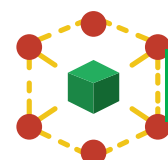


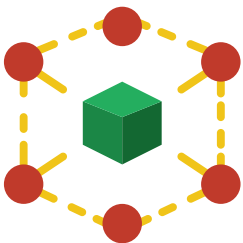
Аннотация. В статье рассмотрен вопрос повторного использования отработанных катализаторов, образующихся при переработке нефти и газовых продуктов, в качестве эффективных добавок для цемента. На основе научных источников сравнительно оценены минеральный состав, экологические риски и функциональная роль в цементных системах отработанных ФСС-катализаторов, шлаков производства ФСС-катализаторов, а также гидроочистных и гидрогенизационных катализаторов. Анализ литературы показывает, что ФСС-отходы, богатые кремнеземом и глиноземом, обладают высокой пуццолановой активностью и могут использоваться в портландцементе, связующих типа ЛСЗ и геополимерных системах. Вместе с тем катализаторы гидроочистки содержат Ni, V, Mo и Co, поэтому их непосредственное введение в цемент не рекомендуется; целесообразно предварительно провести обезвреживание и извлечение ценных металлов, а остаточный алюмоокисный материал использовать как минеральную добавку или компонент сырьевой смеси. Предложена технологическая схема, включающая сортировку, удаление коксовых отложений, извлечение металлов, тонкое измельчение, минералогический контроль и оптимизированное дозирование в цементных композициях. Предложенный подход обеспечивает снижение объема отходов, экономию клинкера и повышение экологической безопасности производства.

Ключевые слова: отработанный катализатор, спент ФСС, гидроочистка катализаторов, пуццолановая активность, цементная добавка, экологическая безопасность

Abstract. This article analyzes, on the basis of scientific literature, the possibility of converting spent catalysts generated in oil and gas refining into effective additives for cementitious systems. A comparative assessment is made for spent fluid catalytic cracking (FCC) catalysts, FCC catalyst waste slag, and residues from hydroprocessing and hydrogenation catalysts with regard to mineral composition, environmental risks, and functional behavior in cement matrices. Literature evidence indicates that spent FCC-type wastes are rich in reactive aluminosilicates and exhibit marked pozzolanic activity, which makes them promising supplementary cementitious materials for Portland cement, LC3 binders, and geopolymer systems. In contrast, hydroprocessing catalysts often contain Ni, V, Mo, and Co and therefore should not be incorporated directly into cement without prior detoxification and metal recovery. On this basis, a staged technological route is proposed, including catalyst classification, decoking, metal extraction, fine grinding, mineralogical quality control, and optimized dosing into cement formulations. The proposed approach supports waste minimization, clinker reduction, resource efficiency, and improved environmental safety while creating an additional pathway for the valorization of refinery by-products.

Keywords: spent catalyst, FCC catalyst, hydroprocessing catalyst, pozzolanic activity, cement additive, clinker reduction, environmental safety





o'rnini bosuvchi sifatida sinab ko'rib, ayrim tarkiblarda, xususan qum o'rnini bosish rejimida 20% gacha almashinish siqilish mustahkamligiga salbiy ta'sir qilmasligini aniqlaganlar [3]. Tadqiqotchilar maydalik darajasi, suv-bog'lovchi nisbati va katalizator manbasi natijaga sezilarli ta'sir qilishini qayd etganlar [3].

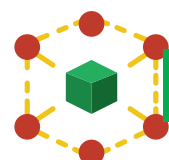
So'nggi yillarda mazkur muammo past uglerodli sementlar kontekstida ham faol o'rganilmoqda. Lei va Pavia spent FCC chiqindisi yuqori pozzolanik faollikka ega ekanini, ayrim past energiyali ishlov berish usullari uning reaktivligini yanada oshirishi mumkinligini ko'rsatgan [5]. Shuningdek, ushbu mualliflar FCC katalizatorini ishlab chiqarish jarayonidan hosil bo'ladigan waste slag - CWS tarkibi asosan Al_2O_3 va CaO dan iborat bo'lib, u portlandsement, ohak tizimlari va geopolymer bog'lovchilarda istiqbolli qo'shimcha bo'lishi mumkinligini asoslaganlar [6]. Vargas va hammualliflar esa spent FCC chiqindisini LC3 turidagi bog'lovchilarda kaltsinatsiyalangan gilning muqobil reaktiv aluminosilikat manbai sifatida o'rganganlar [7].

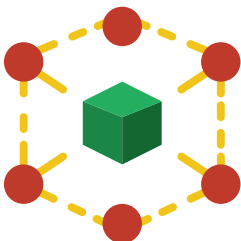
Boshqa tomondan, gidrotozalash va gidrogenlash katalizatorlari bo'yicha adabiyotlarda ehtiyotkor yondashuv ustun. Marafi va Stanislaus ishlatilgan gidroprotsessing katalizatorlari ko'pincha xavfli chiqindi sifatida ko'rilishini, chunki ular tarkibida Ni, V, Mo, Co, qoldiq neft fraksiyalari va koks bo'lishi mumkinligini ta'kidlaganlar [9]. Zhao va hammualliflar ham spent hydrogenation katalizatorlari qimmatli ikkilamchi resurs bo'lsa-da, noto'g'ri utilizatsiya ekologik xavf tug'dirishini qayd etib, avvalo metallni qaytarib olish va xavfni pasaytirish texnologiyalarini ko'rib chiqqanlar [10]. Chen va hammualliflar 2025-yildagi sharh maqolasida yog'li spent hydroprocessing katalizatorlarini xavfli chiqindidan aylana iqtisodiyot resursiga aylantirish uchun kompleks boshqaruv yondashuvi zarurligini ko'rsatganlar [11].

Shu tariqa, adabiyotlar ikki muhim xulosani beradi. Birinchisi, FCC asosidagi chiqindilar silikoaluminat tabiati sababli sement tizimlari uchun eng istiqbolli guruh hisoblanadi. Ikkinchisi, gidroprotsessing katalizatorlari sement sanoatiga to'g'ridan-to'g'ri emas, balki oldindan metallni ajratib olish va zararsizlantirish bosqichlaridan keyin integratsiya qilinishi kerak. Aynan shu farqlangan yondashuv ushbu maqolaning asosiy ilmiy g'oyasini tashkil etadi.

Tadqiqot metodologiyasi

Maqola ilmiy-adabiy va tahliliy xarakterga ega bo'lib, unda qiyosiy tahlil, tizimli yondashuv, materiallar oqimini baholash va texnologik sintez usullaridan foydalanildi. Birinchi bosqichda neftni qayta ishlashdan hosil bo'ladigan asosiy katalizator chiqindilari shartli ravishda uch guruhga ajratildi: a) spent FCC katalizatorlari va ularning fraksiyalari; b) FCC katalizatori ishlab chiqarish yoki regeneratsiyasiga bog'liq shlak va kukunsimon qoldiqlar; c) gidrotozalash, gidrogenlash va gidrodesulfurizatsiya katalizatorlari. Har bir guruhning kimyoviy va texnologik xususiyatlari manbalar bo'yicha solishtirildi.





Ikkinchi bosqichda sement qo'shimchasi sifatida qo'llash potensialini baholash mezonlari shakllantirildi. Bunda quyidagi indikatorlar asosiy deb qabul qilindi: silikat va alyuminat fazalar ulushi; pozzolanik reaktivlik; mayda disperslik; qoldiq uglerod va neft mahsulotlari miqdori; toksik metallarning mavjudligi; suv talabchanligi va qorishma reologiyasiga ta'siri; mustahkamlikka uzoq muddatli ta'siri; hamda eluatsiya va immobilizatsiya xavfsizligi. Ushbu mezonlar asosida har bir chiqindi turi sement tizimidagi rolga ko'ra faol mineral qo'shimcha, inert/plomba komponent yoki faqat oldindan qayta ishlangandan keyin foydalaniladigan ikkilamchi xomashyo sifatida baholandi.

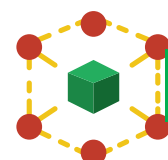
Uchinchi bosqichda texnologik taklif ishlab chiqildi. Taklif ishlab chiqishda xavfsizlik tamoyili ustuvor deb olindi: ya'ni tarkibida og'ir metallar yuqori bo'lgan chiqindilar uchun avval metallni ajratib olish, keyin esa qoldiqning qurilish materialini tarkibida qo'llanishi ko'zda tutiladi. Bundan tashqari, sement sanoatiga joriy etish uchun majburiy laborator nazorat bloklari - XRF, XRD, LOI, zarracha o'lchami, mustahkamlik sinovi va leaching testi kabi bosqichlar tavsiya qilindi. Natijalar ilmiy manbalardagi xulosalarni integratsiyalash yo'li bilan umumlashtirildi va mualliflik tavsiyalari shakllantirildi.

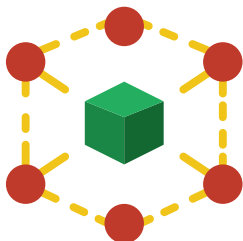
Tahlil va natijalar

Tahlillar shuni ko'rsatadiki, neftni qayta ishlash katalizator chiqindilari bir xil emas va ularni sement uchun qo'shimchaga aylantirishda universal emas, balki differensial yondashuv talab qilinadi. Spent FCC katalizatorlari tarkibida reaktiv kremniy oksidi va alyuminiy oksidi ko'p bo'lib, ularning asosiy faol fazasi zeolit tabiatiga ega faujasit bilan bog'liq [2], [5]. Bunday tarkib kalsiy gidroksid bilan ikkilamchi reaksiyaga kirishib qo'shimcha C-S-H va C-A-S-H tipidagi gidrat fazalarni hosil qilish imkonini beradi. Shuning uchun ular oddiy inert plomba emas, balki faol mineral qo'shimcha sifatida qaraladi [1], [2].

Adabiyotlardan ma'lum bo'lishicha, spent FCC katalizatorining samaradorligi uning kelib chiqishi, fraksion tarkibi, maydalik darajasi va qoldiq organik modda miqdoriga bog'liq. Agar material mayin maydalangan bo'lsa, reaksiya yuzasi ortadi va pozzolanik faollik yuqorilaydi [3]. Ayrim tadqiqotlarda sementning 2-10% qismini yoki qumning 5-25% qismini almashtirish sxemalari o'rganilgan, eng maqbul natijalar esa manba va tizimga qarab o'zgarishi ko'rsatilgan [3]. Bunda suv-bog'lovchi nisbati oshib ketganda mustahkamlik pasayishi kuzatilishi mumkin, shu sababli spent FCC qo'shimchasi plastifikator va granulometriya bilan birgalikda optimallashtirilishi lozim.

Spent FCC chiqindisining yana bir muhim afzalligi shundaki, u faqat portlandsement bilan cheklanmaydi. Lei va Pavia ishlari spent FCC ning past uglerodli sementlar uchun istiqbolli ekanini, hatto ishlov berilmagan holatida ham yuqori pozzolanik xulq namoyon etishini ko'rsatdi [5]. Ular ayrim yuqori energiyali termik ishlovlar har doim ham foydali bo'lmasligini, aksincha, ayrim hollarda past energiyali kimyoviy faollashtirish samaraliroq ekanini qayd etganlar [5]. Bu holat sement sanoati





uchun juda muhim, chunki qo'shimcha energiya sarflanmasdan faol qo'shimcha olish iqtisodiy samarani oshiradi.

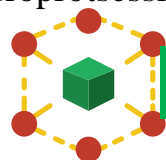
FCC katalizatori ishlab chiqarish zanjiriga oid shlaklar ham alohida qiziqish uyg'otadi. CWS tarkibida Al_2O_3 va CaO ulushining sezilarli bo'lishi, uning gidratatsion mahsulotlar hosil qilish va past uglerodli bog'lovchilarda faol manba sifatida ishlash salohiyatini kuchaytiradi [6]. Shunga ko'ra, bunday materiallar nafaqat portlandsement kompozitsiyalarida, balki geopolimer va alumo-karbonat gidratlar hosil bo'ladigan tizimlarda ham qo'llanishi mumkin [6]. Demak, neftni qayta ishlash sanoatidagi ayrim chiqindilarni sement sanoatiga integratsiya qilishning ko'lami odatdagi "sementni qisman almashtirish" bilan cheklanmaydi, balki yangi avlod bog'lovchilarini shakllantirishgacha yetadi.

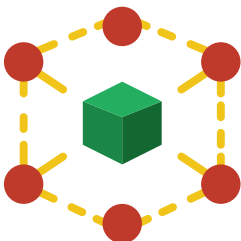
LC3 turidagi bog'lovchilar bo'yicha tadqiqotlar ushbu yo'nalishni yanada mustahkamlaydi. Vargas va hammualliflar spent FCC katalizatori kaltsinatsiyalangan gil o'rnini bosuvchi reaktiv aluminosilikat sifatida ishlashi mumkinligini ko'rsatganlar [7]. Bu juda muhim xulosa, chunki ko'plab hududlarda sifatli kaltsinatsiyalangan gil zaxiralari cheklangan bo'lishi mumkin, ammo neftni qayta ishlash korxonalarida yaqinida spent FCC chiqindisi nisbatan mavjud ikkilamchi xomashyo sifatida qaraladi. Shunday qilib, chiqindi asosidagi qo'shimchani mahalliy resurs bilan almashtirish nafaqat ekologik, balki logistika va xomashyo ta'minoti nuqtai nazaridan ham foydali.

Biroq barcha katalizator chiqindilarini bir xil darajada xavfsiz deb bo'lmaydi. Hidrotozalash va gidrogenlash katalizatorlari, odatda, Al_2O_3 tashuvchi ustiga joylashtirilgan Ni-Mo, Co-Mo yoki V tutuvchi fazalarni o'z ichiga oladi [10]. Ishlash davomida ularning yuzasida neft qoldiqlari, koks, oltingugurtli birikmalar hamda turli metall kontaminantlar to'planadi [9], [10], [11]. Shu sababli bunday materialni bevosita sement qo'shimchasi sifatida kiritish ilmiy jihatdan xavfli va texnologik jihatdan asossiz bo'ladi. Eng to'g'ri yo'l - avval dekoksatsiya, neft qoldiqlarini chiqarish, keyin gidrometallurgik yoki pirometallurgik usulda qimmatli metallarni ajratib olish va shundan so'ng qolgan qattiq qoldiqning leaching ko'rsatkichlarini baholashdir [10], [11].

Agar metall ajratib olingan qoldiqning toksikligi pasaytirilsa, u holda uning qo'llanish yo'nalishlari kengayadi. Bunday qoldiq bevosita faol pozzolanik qo'shimcha bo'lmasligi mumkin, biroq sement xomashyo aralashmasida alyuminiy manbai, mineralizator, nozik plomba yoki maxsus immobilizatsion kompozitsiya komponenti sifatida ko'rib chiqilishi mumkin. 2023-yildagi tadqiqotda spent fluidized catalytic cracking katalizatorlarini yuqori zichlikdagi sement asosli materiallar tarkibiga kiritish orqali ularni immobilizatsiya qilish imkoniyati ko'rsatilgan [8]. Bu yondashuv sement matritsasining xavfli moddalarning ko'chishini cheklash xususiyati yuqori ekanini tasdiqlaydi, biroq bunday integratsiya qat'iy laborator nazoratni talab qiladi.

Mualliflik tahliliga ko'ra, sement sanoati uchun eng maqbul strategiya quyidagicha bo'lishi kerak. Birinchi yo'nalish - spent FCC va CWS kabi nisbatan "toza" hamda aluminosilikat tabiatli chiqindilarni faol mineral qo'shimcha sifatida qo'llash. Ikkinchi yo'nalish - gidroprotsessing





katalizatorlarini metallni qaytarib olishdan keyin qolgan qoldiq orqali ikkilamchi xomashyo sifatida baholash. Uchinchi yo'nalish - xavfi yuqori fraksiyalarni mustaqil ravishda sement matritsasida immobilizatsiya qilinadigan maxsus kompozitsiyalar uchun ishlatish.

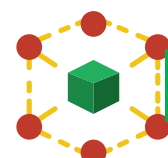
Taklif etilayotgan texnologik sxema quyidagi bosqichlardan iborat:

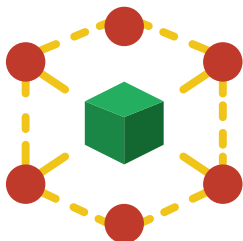
- 1) chiqindini turiga ko'ra saralash (FCC, CWS, gidrotozalash, boshqa);
- 2) namlik, neft qoldig'i va koksni kamaytirish uchun dastlabki termik yoki ekstraksion tayyorlash;
- 3) og'ir metall tutuvchi fraksiyalar uchun metallni ajratib olish;
- 4) qattiq qoldiqni yuvish, neytrallash va quritish;
- 5) 45-80 mkm diapazongacha maydalash va elash;
- 6) XRF, XRD, LOI, BET, zarracha taqsimoti va leaching testlari orqali sifat nazorati;
- 7) sementli qorishmalarda 5%, 10%, 15% va zaruratga ko'ra 20% gacha tajriba tarkiblarini sinash;
- 8) normal quyuvlik, qotish vaqti, siqilish mustahkamligi, suv yutish va chidamlilik ko'rsatkichlari bo'yicha optimallashtirish;
- 9) muvaffaqiyatli tarkiblarni pilot miqyosda joriy qilish.

Mazkur natijalar asosida shunday ilmiy xulosa qilish mumkin: neftni va gaz mahsulotlarini qayta ishlashda ishlatiladigan katalizator chiqindilari "chiqindi" sifatida emas, balki tarkibi va xavf darajasiga qarab turlicha qiymatga ega texnogen mineral resurs sifatida ko'rilishi lozim. Ayniqsa FCC guruhidagi materiallar sement qo'shimchalari uchun eng istiqbolli guruh hisoblanadi, gidroprotsessing katalizatorlari esa oldindan chuqur qayta ishlashdan so'ng foydali ikkilamchi xomashyo zanjiriga kiritilishi mumkin.

1-jadval. Katalizator chiqindilarining sement sanoati uchun qiyosiy tavsifi

Chiqindi turi	Asosiy tarkib/xossa	Xavf darajasi	Sementdagi roli	Amaliy tavsiya
Spent FCC (Ecat/Epcat)	SiO ₂ va Al ₂ O ₃ ga boy, g'ovak, pozzolanik faol [1], [2]	Nisbatan past	Faol mineral qo'shimcha	5-15% sement almashinuvi yoki tizimga qarab yuqoriroq laborator sinov
FCC waste slag (CWS)	Al ₂ O ₃ va CaO ulushi yuqori, past uglerodli	Past- o'rtacha	SCM yoki geopolimer prekursor	Portlandsement, ohak va geopolimer tizimlarida sinov

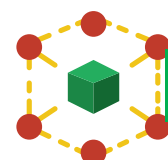


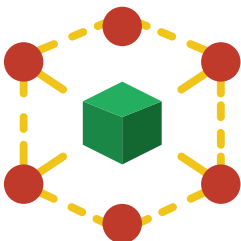


	bog'lovchi uchun mos [6]			
Gidrotozalash/gidrogenlash katalizatori	Ni, V, Mo, Co; Al ₂ O ₃ tashuvchi; koks va neft qoldiqlari [9]-[11]	Yuqori	Bevosita emas; avval detoksikatsiya	Metallni ajratishdan keyin qoldiqni xomashyo yoki plomba sifatida baholash

2-jadval. Adabiyotlar asosida istiqbolli qo'llash yo'nalishlari

Yo'nalish	Doza/oraliq	Kutiladigan effekt	Izoh
Spent FCC ni sement o'rnini bosuvchi qo'shimcha	2-10% va ayrim tizimlarda 15% gacha [3]	Kech bosqich mustahkamlik va pozzolanik reaksiya yaxshilanishi	Suv-bog'lovchi nisbati va maydalik muhim





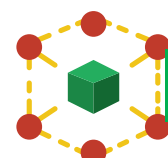
Spent FCC ni qum o'rnini bosuvchi sifatida	5-25%; ba'zi hollarda 20% gacha [3]	Qoniqarli mustahkamlik, plomba effekti	Granulometriya va zarracha shakli nazorat qilinadi
LC3 tizimlarida spent FCC	Kaltsinatsiyalangan gilni qisman/yetarligicha almashtirish [7]	Past uglerodli bog'lovchi uchun reaktiv aluminosilikat manbai	Mahalliy resurs taqchilligida ayniqsa muhim
Detoksikatsiyalangan gidrokatalizator qoldig'i	Holatga qarab pilot miqyosda	Xomashyo, plomba yoki immobilizatsion komponent	Faqat metall ajratilgandan va leaching testidan keyin

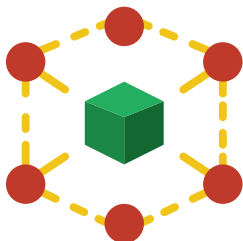
Ekologik va iqtisodiy samaradorlik

Katalizator chiqindilarini sement ishlab chiqarish yoki sement kompozitsiyalarida qayta ishlatishning ekologik samarasi bir necha yo'nalishda namoyon bo'ladi. Avvalo, chiqindining poligonlarga yuborilishi kamayadi, bu esa yer resurslari bandligini va potensial filtrat xavfini qisqartiradi. Ikkinchidan, klinkerning ma'lum ulushi faol mineral qo'shimcha bilan almashganda energiya sarfi hamda CO₂ emissiyasi kamayadi. Uchinchidan, qimmatli metall tutuvchi xavfli katalizatorlar bo'yicha "avval metallni qaytarib olish - so'ng qoldiqni qurilish materialiga yo'naltirish" zanjiri aylana iqtisodiyot tamoyiliga mos keladi [10], [11].

Iqtisodiy nuqtai nazardan, spent FCC tipidagi qo'shimchalardan foydalanish klinker sarfini, ba'zi hollarda esa tabiiy mineral qo'shimcha xarajatlarini kamaytiradi. Mahalliy neftni qayta ishlash korxonasi yaqinida joylashgan sement zavodi uchun transport masofasining qisqarishi qo'shimcha afzallik yaratadi. Hidroprotsessing katalizatorlari bo'yicha esa asosiy iqtisodiy foyda bir vaqtning o'zida ikki mahsulot oqimini yaratishda namoyon bo'ladi: bir tomondan Mo, V, Ni va Co kabi qiymatli metallar qaytarib olinadi, ikkinchi tomondan tozalangan qoldiq qurilish materiallari sanoatiga yo'naltiriladi [9], [10]. Bunday integratsiyalashgan model chiqindini utilizatsiya xarajatidan resursga aylantiradi.

Shu bilan birga, iqtisodiy samaradorlik bevosita sifat nazorati tizimiga bog'liq. Agar katalizatorning tarkibi notekis bo'lsa yoki zararsizlantirish bosqichi yetarli darajada bajarilmasa, yakuniy mahsulot sifati pasayishi, texnologik xavf va ekologik mas'uliyat ortishi mumkin. Demak, iqtisodiy foyda faqat sertifikatlangan laborator nazorat va barqaror xomashyo oqimi mavjud bo'lgandagina real samara beradi.





Xulosa va takliflar

Adabiyotlar va qiyosiy tahlil natijalari neft va gaz mahsulotlarini qayta ishlashda ishlatiladigan katalizator chiqindilarini sement uchun samarali qo'shimchaga aylantirish imkoniyati yuqori ekanini ko'rsatdi. Biroq bu imkoniyat katalizator turiga qarab keskin farqlanadi. Spent FCC katalizatorlari va FCC katalizator shlaklari yuqori aluminosilikat faolligi sababli portlandsement, past uglerodli bog'lovchilar va geopolimer tizimlari uchun bevosita istiqbolli qo'shimcha hisoblanadi [1], [2], [5], [6], [7]. Hidrotozalash va gidrogenlash katalizatorlari esa og'ir metall va qoldiq uglevodorodlar sababli avval zararsizlantirilishi, metallari ajratib olinishi va faqat undan keyin qurilish materiallarida qo'llanishi kerak [9], [10], [11].

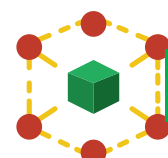
Olib borilgan umumlashtirish asosida quyidagi takliflar ishlab chiqildi:

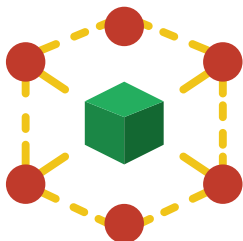
- sement sanoati korxonalarini uchun katalizator chiqindilarini qabul qilishda "turi bo'yicha saralash" standarti joriy etilishi zarur;
- spent FCC materiallari uchun alohida texnik reglament ishlab chiqilib, unda kimyoviy tarkib, LOI, maydalik va pozzolanik indeks bo'yicha minimal talablar belgilanishi kerak;
- gidroprotsessing katalizatorlari bo'yicha "metallni qaytarib olish + qoldiqni sementga yo'naltirish" ko'p bosqichli texnologik zanjir yaratish maqsadga muvofiq;
- har qanday katalizator asosidagi sement qo'shimchasi uchun leaching testi, uzoq muddatli mustahkamlik va chidamlilik sinovlari majburiy bo'lishi lozim;
- O'zbekiston sharoitida neftni qayta ishlash korxonalarini va sement zavodlari kooperatsiyasida pilot sinovlar o'tkazilib, mahalliy xomashyo oqimi uchun optimal dozalar aniqlanishi kerak.

Umuman olganda, ishlatilgan katalizatorlarni sement qo'shimchasiga aylantirish nafaqat chiqindini kamaytirish, balki neft-gaz kimyosi va qurilish materiallari sanoati o'rtasida yangi texnologik integratsiyani shakllantirishga xizmat qiladi. Ushbu yo'nalish chuqur laborator va yarim sanoat tajribalari bilan davom ettirilsa, mahalliy sanoat uchun ekologik va iqtisodiy jihatdan muhim natijalar berishi mumkin.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Su, N., Fang, H.-Y., Chen, Z.-H., & Liu, F.-S. Reuse of waste catalysts from petrochemical industries for cement substitution. *Cement and Concrete Research*, 2000, 30(11), 1773-1783. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(00\)00401-4](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(00)00401-4)
2. Chen, H.-L., Tseng, Y.-S., & Hsu, K.-C. Spent FCC catalyst as a pozzolanic material for high-performance mortars. *Cement and Concrete Composites*, 2004, 26(6), 657-664. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(03\)00048-9](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(03)00048-9)
3. Al-Jabri, K. S., Taha, R. A., Al-Hashmi, A., & Al-Harthy, A. S. Potential use of FCC spent catalyst as partial replacement of cement or sand in cement mortars. *Construction and Building Materials*, 2013, 39, 77-81.





4. Ferella, F., Innocenzi, V., & Maggiore, F. Oil refining spent catalysts: A review of possible recycling technologies. *Resources, Conservation and Recycling*, 2016, 108, 10-20.
5. Lei, Z., & Pavia, S. Potential of spent fluid cracking catalyst (FCC) waste for low-carbon cement production. Effect of treatments to enhance reactivity. *Cement*, 2023, 14, 100081. <https://doi.org/10.1016/j.cement.2023.100081>
6. Lei, Z., & Pavia, S. Pozzolanic activity of FCC catalyst waste slag (CWS) for cement and geopolymer production. *Cleaner Engineering and Technology*, 2024, 20, 100758. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2024.100758>
7. Vargas, P., Soriano, L., Borrachero, M. V., Tobon, J. I., Paya, J., Monzo, J., & Tashima, M. M. Use of spent fluid catalytic cracking catalyst (FCC) in Limestone Calcined Clay Cement (LC3) systems: Studies in pastes and mortars. *Journal of Cleaner Production*, 2024, 465, 142177. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142177>
8. Huang, Y., Jiao, Y., Fang, W., Yang, G., Yang, R., Yu, R., Xiao, R., Wang, Z., Shui, Z., & Xie, G. Evaluation of high-density cement-based materials (HDCM) for immobilizing spent fluidized catalytic cracking catalysts. *Cement and Concrete Composites*, 2023, 142, 105184. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2023.105184>
9. Marafi, M., & Stanislaus, A. Spent hydroprocessing catalyst management: A review: Part II. Advances in metal recovery and safe disposal methods. *Resources, Conservation and Recycling*, 2008, 53(1-2), 1-26.
10. Zhao, L., Zhang, X., Tan, Z., et al. Recovery technology of spent hydrogenation catalysts - A review. *Science of The Total Environment*, 2024, 953, 176127. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.176127>
11. Chen, J., Sun, S., Xiao, F., & Tu, G. Advancing total management of oily spent hydroprocessing catalyst: From hazardous waste to circular and eco-sustainable utilization. *Journal of Environmental Management*, 2025, 381, 125202. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.125202>

