

## SEOLIT KATALIZATOR CHIQINDILARINI KIMYOVIY MODIFIKATSIYALASH VA PORTLANDSEMENTGA MINERAL QO'SHIMCHA SIFATIDA QO'LLASH

**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 neftni qayta ishlash va gaz-kimyo jarayonlarida hosil bo'ladigan seolit asosidagi katalizator chiqindilarini kimyoviy modifikatsiyalash hamda ularni portlandsement tarkibida faol mineral qo'shimcha sifatida qo'llash imkoniyatlari ilmiy-adabiy manbalar asosida tahlil qilindi. Asosiy e'tibor fluid catalytic cracking (FCC) jarayonida ishlatilgan seolit katalizatorlari, ularning faujasit tipidagi alumosilikat tuzilishi, pozzolanik faolligi, qoldiq uglevodorod va metall aralashmalari bilan bog'liq cheklovlariga qaratildi. Tahlillar shuni ko'rsatadiki, seolit katalizator chiqindilari  $\text{SiO}_2$  va  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ga boy bo'lgani sababli sement gidratatsiyasi jarayonida  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  bilan reaksiyaga kirishib, qo'shimcha C-S-H va C-A-S-H turidagi gidrat fazalarni hosil qilishi mumkin. Shu bilan birga, bunday chiqindilarni portlandsementga bevosita kiritishdan oldin ularni saralash, dekoksatsiya qilish, organik qoldiqlarni oksidlovchi reagentlar bilan kamaytirish, og'ir metallarni ajratish, yuvish, neytrallash, mayin maydalash va mineralogik nazoratdan o'tkazish zarurligi asoslandi. Muallif tomonidan 5-15% dozalash oralig'ida laborator sinovlar olib borish, modifikatsiya usullarini energiya sarfi va ekologik xavfsizlik bilan birga baholash, leaching testi hamda uzoq muddatli mustahkamlik ko'rsatkichlarini majburiy nazorat qilish tavsiya etildi. Mazkur yondashuv sanoat chiqindilarini kamaytirish, klinker sarfini qisqartirish, sement ishlab chiqarishning uglerod izini pasaytirish va mahalliy xomashyo bazasini kengaytirishga xizmat qiladi.

**Kalit so'zlar:** seolit katalizator chiqindisi, FCC katalizatori, kimyoviy modifikatsiya, portlandsement, mineral qo'shimcha, pozzolanik faollik, C-S-H, C-A-S-H, dekoksatsiya, ekologik xavfsizlik

**Аннотация.** В статье на основе научной литературы рассмотрены возможности химической модификации отходов цеолитсодержащих катализаторов, образующихся в процессах нефтепереработки и газохимии, а также их применения

в составе портландцемента в качестве активной минеральной добавки. Основное внимание уделено отработанным цеолитным катализаторам процесса fluid catalytic cracking (FCC), их фожазитовой алюмосиликатной структуре, пуццолановой активности и ограничениям, связанным с остаточными углеводородами и металлическими примесями. Анализ показывает, что отходы цеолитных катализаторов, богатые  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , способны взаимодействовать с  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в процессе гидратации цемента с образованием дополнительных гидратных фаз типа C-S-H и C-A-S-H. Одновременно обоснована необходимость предварительной сортировки, декоксования, окислительной очистки органических примесей, извлечения тяжелых металлов, промывки, нейтрализации, тонкого помола и минералогического контроля материала перед введением в цемент. Предложен технологический подход, предусматривающий лабораторную проверку дозировок 5-15%, оценку энергозатрат и экологической безопасности модификации, обязательные испытания на выщелачивание и контроль долговременной прочности. Такой подход позволяет снизить объем промышленных отходов, уменьшить расход клинкера и расширить сырьевую базу цементной промышленности.

**Ключевые слова:** отходы цеолитного катализатора, FCC-катализатор, химическая модификация, портландцемент, минеральная добавка, пуццолановая активность, экологическая безопасность

**Abstract.** This article analyzes the chemical modification of zeolite-based spent catalyst wastes generated in oil refining and gas-chemical processes and evaluates their use as active mineral additives in Portland cement systems. The focus is placed on spent zeolite catalysts from fluid catalytic cracking (FCC), their faujasite-type aluminosilicate structure, pozzolanic reactivity, and limitations related to residual hydrocarbons and metal impurities. Literature evidence indicates that zeolite catalyst wastes rich in  $\text{SiO}_2$  and  $\text{Al}_2\text{O}_3$  may react with  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  during cement hydration and form additional C-S-H and C-A-S-H hydrate phases. However, direct incorporation into Portland cement is not always technically safe; therefore, classification, decoking, oxidative removal of organic residues, heavy-metal extraction, washing, neutralization, fine grinding, and mineralogical control are required before application. The author proposes a staged technological approach involving laboratory testing at 5-15% replacement levels, assessment of energy demand and environmental safety of modification methods, leaching control, and long-term strength verification. The proposed approach can reduce industrial waste accumulation, lower clinker consumption, decrease the carbon footprint

of cement production, and expand the local raw material base for sustainable construction materials.

**Keywords:** zeolite catalyst waste, spent FCC catalyst, chemical modification, Portland cement, mineral additive, pozzolanic activity, clinker reduction, environmental safety

## Kirish

Hozirgi davrda neftni chuqur qayta ishlash, og'ir fraksiyalarni yengil motor yoqilg'ilariga aylantirish, gaz-kimyoy mahsulotlari olish va yuqori sifatli yoqilg'i ishlab chiqarish jarayonlari katalizatorlardan keng foydalanishni talab qiladi. Ayniqsa, fluid catalytic cracking (FCC) jarayonida seolit asosidagi katalizatorlar asosiy funksional materiallardan biri hisoblanadi. Ular xomashyo molekulalarini faollashtirish, uglevodorod zanjirlarini parchalanishga moyillashtirish va selektiv mahsulot hosil bo'lishini boshqarishda muhim rol o'ynaydi. Biroq ish jarayonida katalizatorning faol markazlari kokslanadi, metall aralashmalar bilan zaharlanadi, kristall panjarasi qisman buziladi va natijada u sanoat chiqindisiga aylanadi [1].

Seolit katalizator chiqindilarining asosiy muammosi shundaki, ular oddiy maishiy chiqindi emas, balki kimyoviy tarkibi murakkab bo'lgan texnogen mineral resursdir. Ularning tarkibida kremniy oksidi, alyuminiy oksidi, natriy, kalsiy, lantan, temir, nikel, vanadiy, koks va qoldiq organik birikmalar uchrashi mumkin. Agar bunday materiallar nazoratsiz ko'milsa yoki uzoq muddat ochiq maydonlarda saqlansa, changlanish, tuproq va suv muhitiga ayrim ionlarning o'tishi hamda ishlab chiqarish hududida ekologik yuklamaning ortishi kuzatiladi. Shu sababli seolit katalizator chiqindilarini zararsizlantirish bilan birga ularni foydali mahsulotga aylantirish masalasi dolzarb hisoblanadi.

Qurilish materiallari sanoati, xususan portlandsement ishlab chiqarish sohasi, bunday mineral chiqindilarni qayta ishlash uchun katta texnologik imkoniyatga ega. Portlandsement tarkibida faol mineral qo'shimchalar qo'llash klinker sarfini kamaytiradi, sement toshining mikrostrukturasini zichlashtiradi, ayrim hollarda kechki mustahkamlikni oshiradi va CO<sub>2</sub> emissiyasini pasaytiradi. Seolit katalizator chiqindilarining alumosilikat tabiati ularni uchuvchi kul, metakaolin, tabiiy seolit va boshqa pozzolanlarga o'xshash ikkilamchi xomashyo sifatida baholash imkonini beradi [2], [3].

Mazkur maqolaning obykti sifatida neftni qayta ishlash va gaz-kimyoy korxonalarida hosil bo'ladigan seolit asosidagi katalizator chiqindilari, predmeti sifatida esa ularni kimyoviy modifikatsiyalash va portlandsement tarkibida mineral qo'shimcha sifatida

qo'llash imkoniyatlari tanlandi. Tadqiqotning maqsadi - ilmiy manbalar asosida seolit katalizator chiqindilarining tarkibi, xavf omillari, pozzolanik faolligi va modifikatsiya usullarini tizimli tahlil qilish hamda portlandsement uchun amaliy texnologik tavsiyalar ishlab chiqishdan iborat.

### **Mavzuga oid adabiyotlar sharhi**

Seolit katalizator chiqindilarini sement tizimlarida qo'llash bo'yicha dastlabki muhim tadqiqotlardan biri Su va hammualliflar tomonidan olib borilgan. Mualliflar FCC qurilmalaridan olinadigan Ecat va EPcat turidagi chiqindilar asosan SiO<sub>2</sub> hamda Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan tashkil topishini, ularning g'ovak tuzilishga ega ekanini va portlandsementning bir qismini almashtirish imkoniyatini ko'rsatganlar [1]. Ushbu ishda ayrim tarkiblarda sementning 15% gacha qismini bunday chiqindi bilan almashtirish beton sifatiga keskin salbiy ta'sir qilmasligi qayd etilgan.

Chen, Tseng va Hsu ishlatilgan FCC katalizatorini yuqori samarali qorishmalarda pozzolanik material sifatida baholaganlar. Ularning tadqiqotlarida seolit katalizator chiqindisi sement gidratatsiyasi mahsulotlari bilan o'zaro ta'sirlashib, mustahkamlik shakllanishida faol ishtirok etishi aniqlangan [2]. Payá va hammualliflar esa FC3R deb ataladigan fluid katalitik kreking qoldig'ining portlandsement pastalaridagi pozzolanik faolligini termogravimetrik tahlil orqali o'rganib, bu material metakaolinga yaqin reaktivlik ko'rsatishini asoslaganlar [3].

García de Lomas, Sánchez de Rojas va Frías tomonidan bajarilgan tadqiqotda 10% FCC qo'shilgan qorishmalarda gidratatsiya issiqligining oshishi pozzolanik effekt bilan bog'langan, 35% almashtirishda esa yuqori doza ta'siri tufayli mustahkamlik pasayishi mumkinligi ko'rsatilgan [4]. Bu xulosa amaliy jihatdan muhim: seolit katalizator chiqindisi faol qo'shimcha bo'lsa ham, uning optimal miqdori sement turi, maydalik, suv-bog'lovchi nisbati va kimyoviy tayyorlash usuliga qarab aniqlanishi kerak.

Al-Jabri va hammualliflar FCC spent catalyst materialini sement yoki qumning qisman o'rnini bosuvchi sifatida sinab ko'rganlar. Tadqiqot natijalarida sementni 2-10% oralig'ida, qumni esa 5-25% oralig'ida almashtirish variantlari ko'rib chiqilgan va ayrim holatlarda qum o'rmini bosish rejimi ijobiyroq samara bergani qayd etilgan [5]. Bu seolit katalizator chiqindisining ikki xil funksiyasini ko'rsatadi: bir tomondan u faol pozzolan, ikkinchi tomondan esa nozik granulometrik plomba bo'lishi mumkin.

Kimyoviy modifikatsiya masalasida Vaičiukynienė va hammualliflar tomonidan olib borilgan ish alohida ahamiyatga ega. Ular chiqindi FCC katalizatorini vodorod peroksid bilan tozalash orqali qoldiq organik aralashmalar ta'sirini kamaytirgan va tozalangan pFCC materialining 28 kunlik mustahkamlikka ijobiy ta'sir ko'rsatishini aniqlaganlar [6].

Ushbu natija organik qoldiqlar, koks va neft fraksiyalari sement gidratatsiyasini sekinlashtirishi mumkinligini, shuning uchun oksidlovchi tozalash bosqichi zarurligini tasdiqlaydi.

So'nggi yillarda seolit katalizator chiqindilarini past uglerodli sementlar uchun qo'llash bo'yicha yangi tadqiqotlar paydo bo'ldi. Lei va Pavia spent FCC chiqindisining yuqori pozzolanik faollikka ega ekanini, NaOH bilan alkali-fuziya usuli faujasit tuzilishini amorflashtirish orqali reaktivlikni kuchaytirishini ko'rsatganlar [7]. Biroq mualliflar kislota bilan ishlov berish yoki ortiqcha termik ishlov hamma vaqt ham ijobiy natija bermasligini qayd etganlar. Bu esa modifikatsiya jarayonini faqat kimyoviy jihatdan emas, balki energiya, iqtisodiy va ekologik mezonlar bilan birga tanlash zarurligini anglatadi.

Soriano va hammualliflar 2024-yilda FCC qoldig'i tutuvchi sement qorishmalarida erta yoshdagi mustahkamlikni oshirish uchun tezlashtiruvchi qo'shimchalar ta'sirini o'rganganlar [8]. Girskas, Pundienė va Pranckevičienė esa tabiiy va sintez qilingan seolitlarning sement gidratatsiyasi va qotgan holatdagi xossalari ta'sirini tahlil qilib, seolitning kimyoviy tarkibi, Al/Na nisbati, pH va elektr o'tkazuvchanligi sement tizimida muhim rol o'ynashini ko'rsatganlar [9]. Bu ma'lumotlar seolit katalizator chiqindisini faqat umumiy SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> manbai sifatida emas, balki ion almashinish xossalari va ishqoriyligi nazorat qilinadigan faol material sifatida ko'rish kerakligini ko'rsatadi.

## **Tadqiqot metodologiyasi**

Maqola ilmiy-adabiy, tahliliy va texnologik umumlashtirish xarakteriga ega. Unda mavjud ilmiy manbalar qiyosiy tahlil qilindi, seolit katalizator chiqindilarining tarkibiy xususiyatlari, ularni modifikatsiyalash usullari va sement tizimidagi funksional roli tizimli yondashuv asosida baholandi. Baholashda chiqindining kimyoviy-mineral tarkibi, pozzolanik faolligi, qoldiq uglerod miqdori, og'ir metall mavjudligi, maydalanish darajasi, suv talabchanligi, qotish vaqti, mustahkamlik va eluatsiya xavfi asosiy mezon sifatida olindi.

Birinchi bosqichda seolit katalizator chiqindilari kelib chiqishiga ko'ra tasniflandi. FCC jarayonidan chiqqan Ecat va EPcat qoldiqlari nisbatan alumosilikat tabiatli va pozzolanik faol guruh sifatida, gidrotozalash yoki boshqa og'ir metall tutuvchi katalizatorlar esa ehtiyotkor qayta ishlashni talab qiladigan guruh sifatida ajratildi. Shu orqali portlandsementga qo'shish mumkin bo'lgan materiallar bilan avval zararsizlantirilishi shart bo'lgan materiallar farqlab olindi.

Ikkinchi bosqichda kimyoviy modifikatsiya usullari tahlil qilindi. Bunda oksidlovchi tozalash, kislota bilan yuvish, ishqoriy faollashtirish, alkali-fuziya, termik ishlov,

mexanokimyoviy maydalash va neytrallash usullari alohida ko'rib chiqildi. Har bir usulning asosiy maqsadi - qoldiq organik moddalarning kamayishi, kristall seolit panjarasining qisman faollashishi, zararli ionlarning ajralishi yoki materialning reaksiya yuzasini oshirish bilan bog'liq deb baholandi.

Uchinchi bosqichda portlandsement tarkibida qo'llash uchun tavsiya etiladigan laborator nazorat sxemasi ishlab chiqildi. Ushbu sxema XRF yordamida oksid tarkibini aniqlash, XRD orqali fazaviy tarkibni tekshirish, LOI orqali qizdirishda massa yo'qotilishini baholash, zarracha o'lchami taqsimotini o'lchash, Blaine yoki BET yuzasini aniqlash, pozzolanik faollik indeksini hisoblash, normal quyuvlik, qotish vaqti, 2, 7, 28 va 90 kunlik siqilish mustahkamligi hamda leaching testlarini o'tkazishni o'z ichiga oladi.

## **Tahlil va natijalar**

Seolit katalizator chiqindilarining portlandsement uchun asosiy qiymati ularning alumosilikat tarkibi bilan belgilanadi. FCC katalizatori odatda Y-tip seolit, amorf alumosilikat matritsa va bir qator yordamchi komponentlardan iborat bo'ladi. Ishlatilgan holatda seolit panjarasi to'liq faol katalitik xossasini yo'qotgan bo'lsa-da, uning tarkibidagi kremniy va alyuminiy oksidlari sement gidratatsiyasi muhitida reaktiv faza sifatida ishtirok etishi mumkin. Ayniqsa, yuqori ishqoriy muhitda Si-O-Al bog'larining qisman parchalanishi natijasida eruvchan silikat va alyuminat turlari hosil bo'ladi.

Portlandsement qotishi jarayonida klinker minerallari gidratatsiyalanib  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  hosil qiladi. Oddiy sement toshida bu portlandit fazasi mustahkamlikka bevosita katta hissa qo'shmaydi va agressiv muhitda zaif nuqta sifatida qaralishi mumkin. Seolit katalizator chiqindisi esa  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  bilan ikkilamchi reaksiyaga kirishib C-S-H, C-A-H va C-A-S-H turidagi gidratlarni hosil qiladi. Natijada sement matritsasi zichlashadi, kapillyar g'ovaklar kamayadi va kechki yoshdagi mustahkamlik oshishi mumkin [3], [4].

Biroq pozzolanik faollikning yuqori bo'lishi materialning avtomatik ravishda barcha sement tarkiblari uchun mosligini anglatmaydi. Chiqindining yuzasida koks, neft qoldig'i yoki organik birikmalar saqlanib qolsa, ular suv bilan namlanishni, sement zarrachalari bilan kontakti va gidratatsiya mahsulotlarining o'sishini sekinlashtiradi. Shu sababli organik qoldiqlarni kamaytirish kimyoviy modifikatsiyaning birinchi muhim vazifasidir. Vodород peroksid bilan oksidlovchi tozalash yoki nazoratli past haroratli dekoksatsiya bu vazifani bajarishda qo'llanishi mumkin [6].

Kislota bilan ishlov berish seolit katalizator chiqindisidagi ayrim metall ionlari va karbonatli aralashmalarni kamaytirishi mumkin. HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> yoki organik kislotalar yordamida yuvish natijasida yuzadagi ifloslanishlar kamayadi va zarrachalarning faol

sathi ochiladi. Ammo bu jarayon me'yoridan oshsa, reaktiv Si va Al turlarining ortiqcha erib ketishi, materialning pozzolanik zaxirasi kamayishi va neytrallashtirish chiqindilari hosil bo'lishi mumkin. Shuning uchun kislota bilan ishlov berish faqat metall va organik ifloslanish yuqori bo'lgan partiyalarda, pH va eluatsiya ko'rsatkichlari nazorat qilingan holda qo'llanishi kerak.

Ishqoriy faollashtirish va alkali-fuziya usullari seolit tuzilishini yanada reaktiv holatga o'tkazishi mumkin. NaOH ishtirokida yuqori haroratli faollashtirish faujasit kristall panjarasini amorf alumosilikat fazaga aylantirib, keyingi gidratatsion reaksiyalar uchun qulay sharoit yaratadi [7]. Lekin bunday usulning kamchiligi ham bor: ishqor sarfi, qo'shimcha energiya, natriy ionlarining yuqori miqdori va alkali-silika reaksiyasi xavfi. Demak, ishqoriy modifikatsiya yuqori faol qo'shimcha olishda istiqbolli bo'lsa-da, uni sementning umumiy ishqoriylik balansi bilan birga baholash zarur.

Termik ishlov berishning ta'siri murakkab. Past haroratli quritish va dekoksiatsiya organik qoldiqlarni kamaytiradi, namlikni chiqaradi va materialni maydalashga tayyorlaydi. Ammo juda yuqori haroratda seolit tuzilmasining qayta kristallanishi, sinterlanish yoki reaktiv sathning kamayishi mumkin. Ayrim tadqiqotlar oddiy kalsinatsiya faujasitni to'liq amorflashtirish uchun yetarli emasligini ko'rsatadi [7]. Shuning uchun termik ishlov mustaqil faollashtirish usuli emas, balki oksidlovchi yoki mexanik modifikatsiya bilan bog'langan yordamchi bosqich sifatida ko'rilishi maqsadga muvofiq.

Mexanokimyoviy maydalash seolit katalizator chiqindisining eng amaliy va nisbatan xavfsiz faollashtirish usullaridan biridir. Maydalash natijasida zarracha o'lchami kamayadi, reaksiya yuzasi ortadi, aglomeratlar parchalanadi va sement matritsasida bir tekis tarqalish yaxshilanadi. Biroq juda nozik maydalash suv talabchanligini oshirishi, qorishma harakatchanligini kamaytirishi va plastifikator sarfini ko'paytirishi mumkin. Shu bois 45-80 mkm oralig'idagi elash, zarracha taqsimotini nazorat qilish va superplastifikator bilan optimallashtirish tavsiya etiladi.

Seolit katalizator chiqindisini portlandsementga qo'shishda optimal doza alohida ahamiyatga ega. Adabiyotlarda 5%, 10%, 15% va ayrim hollarda 20% almashtirish darajalari sinab ko'rilgan [1], [5], [8]. Mualliflik tahliliga ko'ra, mahalliy sharoitda dastlabki laborator ishlar uchun 5-15% oralig'i eng maqbul hisoblanadi. 5% qo'shimcha texnologik xavfni kam beradi, 10% tarkib pozzolanik effektini ko'rsatishi mumkin, 15% esa klinker iqtisodi va mustahkamlik o'rtasidagi muvozanatni aniqlash imkonini beradi. 20% va undan yuqori dozalar faqat yaxshi tozalangan, mayin maydalangan va plastifikator bilan moslashtirilgan tizimlarda sinab ko'rilishi kerak.

Sement tizimidagi funksional roliga ko'ra modifikatsiyalangan seolit katalizator chiqindisini uch guruhga ajratish mumkin. Birinchi guruh - faol mineral qo'shimcha: bunda chiqindi  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  bilan reaksiyaga kirishib qo'shimcha gidratlar hosil qiladi. Ikkinchi guruh - mikroplomba: bunda material g'ovaklarni to'ldiradi va granulometrik zichlikni yaxshilaydi. Uchinchi guruh - immobilizatsion komponent: og'ir metall izlari sement matritsasida kimyoviy va fizik jihatdan bog'lanadi. Amaliy samaradorlik aynan shu uch funksiyaning birgalikdagi nisbatiga bog'liq.

Xavfsizlik nuqtai nazaridan eng muhim masala og'ir metall va eruvchan ionlar nazoratidir. FCC asosidagi seolit katalizator chiqindilarida og'ir metallar ko'pincha past yoki iz miqdorida bo'lishi mumkin, ammo bu holat har bir zavod va xomashyo turiga qarab o'zgaradi [1], [7]. Shuning uchun umumiy tavsiya emas, balki har bir partiyani XRF va leaching testi orqali tekshirish talab etiladi. Agar Ni, V, Mo, Co yoki boshqa metall ionlari yuqori bo'lsa, avval gidrometallurgik ajratish yoki kislota-yuvish bosqichi bajarilishi kerak.

Kimyoviy modifikatsiyalashning amaliy natijasi nafaqat pozzolanik faollik, balki texnologik qulaylik bilan ham baholanadi. Masalan, vodorod peroksid bilan tozalash organik ifloslanishni kamaytiradi, ammo reagent sarfi va quritish bosqichini talab qiladi. Alkali-fuziya yuqori reaktivlik berishi mumkin, ammo energiya va ishqor sarfini oshiradi. Mexanik maydalash nisbatan sodda, lekin elektr energiyasi talab qiladi va suv talabchanligini ko'paytirishi mumkin. Demak, sanoatga joriy etishda eng maqbul variant ko'pincha kombinatsiyalangan yondashuv bo'ladi: saralash - yuvish - oksidlovchi tozalash - quritish - maydalash - sement tarkibida optimallashtirish.

Taklif etilayotgan texnologik sxema quyidagicha izohlanadi. Dastlab chiqindi manbasi aniqlanadi va partiya pasporti tuziladi. Keyin yirik begona aralashmalar ajratiladi, material quritiladi va koks yoki organik qoldiq ko'rsatkichi baholanadi. Agar LOI yuqori bo'lsa, oksidlovchi tozalash yoki past haroratli dekoksatsiya qo'llanadi. Metall ko'rsatkichlari me'yordan yuqori bo'lsa, kislota bilan yuvish va neytrallashtirish amalga oshiriladi. Tozalangan material maydalanadi, elakdan o'tkaziladi va 5-15% oralig'ida portlandsementga kiritilib, standart sinovlar bajariladi.

## 1-jadval. Seolit katalizator chiqindilarini kimyoviy modifikatsiyalash bosqichlari

# МЕДИЦИНА, ПЕДАГОГИКА И ТЕХНОЛОГИЯ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА

Researchbib Impact factor: 13.94/2025, SJIF 2024 = 5.444

Том 4, Выпуск 05, Май

Bosqich	Kimyoviy- texnologik mazmuni	Kutiladigan effekt	Nazorat ko'rsatkichi
Saralash va pasportlash	FCC, EPCat, Ecat yoki metall tutuvchi boshqa katalizatorlarni alohida guruhlariga ajratish	Xavf darajasi va qo'llash yo'nalishini aniqlash	Manba, XRF, vizual va fraksion nazorat
Dekoksatsiya	Koks va qoldiq uglevodorodlarni termik yoki oksidlovchi yo'l bilan kamaytirish	Gidratatsiyani sekinlashtiruvchi organik moddalarning kamayishi	LOI, rang, hid, termogravimetriya
Oksidlovchi tozalash	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> kabi oksidlovchilar yordamida organik qoldiqlarni parchalash	Namlanish va pozzolanik reaktivlikning yaxshilanishi	pH, LOI, 28 kunlik mustahkamlik
Kislota bilan yuvish	HCl, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> yoki organik kislotalar orqali ayrim metall va karbonat aralashmalarni chiqarish	Metall ionlari va yuzaki iflosliklarning kamayishi	Leaching testi, neytrallashtan keyingi pH
Ishqoriy faollashtirish	NaOH yoki silikatli eritmalar yordamida alumosilikat tuzilmani qisman faollashtirish	Eruvchan Si va Al turlarining ortishi	Ishqor balansi, ASR xavfi, mustahkamlik
Mayin maydalash	Zarrachalarni 45-80 mkm oralig'ida	Reaksiya yuzasi va mikroplomba effektining oshishi	Zarracha taqsimoti, Blaine/BET yuzasi

Bosqich	Kimyoviy- texnologik mazmuni	Kutiladigan effekt	Nazorat ko'rsatkichi
	tayyorlash va aglomeratlarni parchalash		

2-jadval. Portlandsement tarkibida modifikatsiyalangan seolit katalizator chiqindisini qo'llash bo'yicha tavsiya

Qo'shimcha miqdori	Asosiy maqsad	Kutiladigan ijobiy ta'sir	Ehtimoliy xavf	Tavsiya
5%	Dastlabki xavfsiz sinov	Qorishma xossalariga keskin ta'sirsiz pozzolanik faollikni baholash	Samara kuchsiz ko'rinishi mumkin	Barcha partiyalar uchun boshlang'ich doza
10%	Faol mineral qo'shimcha sifatida baholash	Kechki mustahkamlik va zichlik yaxshilanishi mumkin	Suv talabchanligi ortishi mumkin	Asosiy laborator taqqoslash tarkibi
15%	Klinker iqtisodi va reaktivlik muvozanatini aniqlash	CO <sub>2</sub> izi va klinker sarfi kamayadi	Qotish va harakatchanlik o'zgarishi mumkin	Plastifikator bilan sinash tavsiya etiladi
20% va undan yuqori	Past uglerodli maxsus tarkiblar	Yuqori klinker iqtisodi	Mustahkamlik pasayishi, ishqor balansi va ASR xavfi	Faqat tozalangan va optimallashtirilgan materialda

**Ekologik va iqtisodiy samaradorlik**

Seolit katalizator chiqindilarini portlandsement uchun mineral qo‘shimchaga aylantirish bir vaqtning o‘zida ikki sanoat muammosini hal qilishga xizmat qiladi. Birinchidan, neftni qayta ishlash korxonalarida to‘planadigan katalizator chiqindilari kamayadi. Ikkinchidan, sement ishlab chiqarishda klinker ulushi qisqaradi. Klinker ishlab chiqarish eng ko‘p energiya talab qiladigan va CO<sub>2</sub> chiqaradigan bosqichlardan biri bo‘lgani uchun, har bir foiz mineral qo‘shimcha ma’lum darajada ekologik foyda beradi.

Iqtisodiy samaradorlik uch omil bilan belgilanadi: chiqindini tayyorlash xarajati, sement tarkibida klinker iqtisodi va logistika masofasi. Agar neftni qayta ishlash korxonasi sement zavodiga nisbatan yaqin joylashgan bo‘lsa, transport xarajatlari kamayadi va materialni mahalliy ikkilamchi xomashyo sifatida ishlatish imkoniyati oshadi. Biroq tayyorlash jarayoni juda murakkab yoki reagent sarfi yuqori bo‘lsa, iqtisodiy foyda pasayishi mumkin. Shu sababli sanoat tajribalarida modifikatsiya usuli minimal xavfsiz ishlov berish tamoyili asosida tanlanishi zarur.

Ekologik xavfsizlikning asosiy kafolati sifat nazoratidir. Seolit katalizator chiqindisining faqat nomiga qarab uni sementga qo‘shish mumkin emas. Har bir partiya tarkibi, qoldiq organik modda miqdori, eruvchan metallari va ishqoriyligi bo‘yicha tekshirilishi shart. Portlandsement matritsasi ko‘plab ionlarni immobilizatsiya qilish qobiliyatiga ega bo‘lsa ham, bu xususiyat laborator leaching testi bilan tasdiqlanmaguncha sanoat miqyosida qo‘llash tavsiya etilmaydi.

### **Xulosa va takliflar**

Olib borilgan ilmiy-adabiy tahlillar seolit katalizator chiqindilarini kimyoviy modifikatsiyalash orqali portlandsementga faol mineral qo‘shimcha sifatida qo‘llash imkoniyati yuqori ekanini ko‘rsatdi. Bunday chiqindilar tarkibidagi SiO<sub>2</sub> va Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sement gidratatsiyasi jarayonida Ca(OH)<sub>2</sub> bilan reaksiyaga kirishib, qo‘shimcha C-S-H va C-A-S-H fazalar hosil qilishi mumkin. Natijada sement toshining mikrostrukturasi zichlashadi, klinker sarfi kamayadi va ayrim sharoitlarda kechki mustahkamlik yaxshilanadi.

Shu bilan birga, seolit katalizator chiqindilarini bevosita portlandsementga kiritish hamma holatda ham to‘g‘ri emas. Qoldiq neft mahsulotlari, koks, og‘ir metall ionlari, yuqori ishqoriylik yoki noaniq granulometrik tarkib sement xossalariga salbiy ta‘sir qilishi mumkin. Shu sababli saralash, oksidlovchi tozalash, dekoksatsiya, kislota-yuvish, neytrallash, quritish va mayin maydalash bosqichlari material xususiyatiga qarab tanlanishi kerak.

Mualliflik taklifiga ko‘ra, portlandsement tarkibida modifikatsiyalangan seolit katalizator chiqindisini dastlab 5%, 10% va 15% miqdorlarda sinash maqsadga muvofiq.

Har bir tarkib bo'yicha normal quyuvlik, qotish vaqti, harakatchanlik, siqilish mustahkamligi, suv yutish, sovuqqa chidamlilik va leaching ko'rsatkichlari baholanishi lozim. 20% va undan yuqori dozalar faqat material to'liq tozalangan, mayin maydalangan va texnologik ko'rsatkichlar ijobiy bo'lgan hollarda ko'rib chiqilishi mumkin.

Amaliyot uchun quyidagi takliflar ilgari suriladi: birinchidan, seolit katalizator chiqindilari uchun zavod pasporti va kimyoviy tarkib monitoringi yo'lga qo'yilishi; ikkinchidan, LOI va og'ir metall miqdori me'yoriy chegaralardan oshgan partiyalar alohida zararsizlantirilishi; uchinchidan, portlandsement ishlab chiqaruvchi korxonalar bilan neft-gaz kimyosi korxonalari o'rtasida pilot sinovlar tashkil etilishi; to'rtinchidan, modifikatsiyalangan chiqindi uchun texnik shartlar, qabul qilish mezonlari va xavfsizlik protokollari ishlab chiqilishi kerak.

Umuman olganda, seolit katalizator chiqindilarini portlandsementga mineral qo'shimcha sifatida qo'llash chiqindini oddiy utilizatsiya qilish emas, balki texnogen resursni qurilish materiallari sanoatiga qaytarish jarayonidir. Ushbu yo'nalish ilmiy asoslangan kimyoviy modifikatsiya, qat'iy laborator nazorat va sanoat kooperatsiyasi bilan rivojlantirilsa, O'zbekiston sharoitida ekologik xavfsiz, iqtisodiy samarali va past uglerodli sement materiallarini ishlab chiqarishga xizmat qilishi 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. Payá, J., Monzó, J., Borrachero, M. V., & Velázquez, S. Evaluation of the pozzolanic activity of fluid catalytic cracking catalyst residue (FC3R). Thermogravimetric analysis studies on FC3R-Portland cement pastes. *Cement and Concrete Research*, 2003, 33(4), 603-609. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(02\)01026-8](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(02)01026-8)
4. García de Lomas, M., Sánchez de Rojas, M. I., & Frías, M. Pozzolanic reaction of a spent fluid catalytic cracking catalyst in FCC-cement mortars. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2007, 90, 443-447. <https://doi.org/10.1007/s10973-006-7921-7>
5. Al-Jabri, K. S., Baawain, M., Taha, R., Al-Kamyani, Z. S., Al-Shamsi, K., & Ishtieh, A. Potential use of FCC spent catalyst as partial replacement of cement or sand in cement mortars. *Construction and Building Materials*, 2013, 39, 77-81. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.05.035>

6. Vaičiukynienė, D., Grinys, A., Vaitkevičius, V., & Kantautas, A. Purified waste FCC catalyst as a cement replacement material. *Ceramics-Silikáty*, 2015, 59(2), 103-108.
7. 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>
8. Soriano, L., Borrachero, M. V., Giménez-Carbo, E., Tashima, M. M., Monzó, J., & Payá, J. Influence of accelerators on cement mortars using fluid catalytic cracking catalyst residue (FCC): Enhanced mechanical properties at early curing ages. *Materials*, 2024, 17(5), 1219. <https://doi.org/10.3390/ma17051219>
9. Girskas, G., Pundienė, I., & Pranckevičienė, J. The effect of natural and synthesised zeolites on cement-based materials hydration and hardened state properties. *Materials*, 2023, 16(16), 5608. <https://doi.org/10.3390/ma16165608>
10. Vargas, P., Soriano, L., Borrachero, M. V., Tobón, J. I., Payá, J., Monzó, 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>
11. Shekarchi, M., Bazyar, M. A., & Bazyar, A. F. S. Natural zeolite as a supplementary cementitious material - A holistic review of main properties and applications. *Construction and Building Materials*, 2023, 390, 131862.