

ENERGETIKA CHIQINDISIDAN SANOAT RESURSIGACHA: UCHUVCHI KULNING NEFT-GAZ TEXNOLOGIYALARIDAGI O‘RNI

Sharipov Bekmurod Sharopovich

Buxoro davlat texnika universiteti dotsenti, O‘zbekiston Respublikasi

ORCID: 0009-0002-1087-5196

Istamov Shaxzodbek Isom o‘g‘li

Buxoro davlat texnika universiteti tayanch doktoranti, O‘zbekiston Respublikasi

ORCID: 0009-0007-3646-3807

Annotatsiya. Issiqlik elektr stansiyalarining yirik hajmdagi qattiq chiqindisi bo‘lgan uchuvchi kul so‘nggi o‘n yillikda neft va gaz sanoatining turli sohalarida xom-ashyo sifatida faol o‘rganilmoqda. Ushbu maqolada uchuvchi kulning quduqlarni sementlash, burg‘ilash eritmalari uchun funksional to‘ldiruvchi, neft qazib olishni oshirish, proppant va uning qoplamasi, ishlab chiqarilgan suvlarni tozalash, hamda gaz quduqlaridan ko‘pik yordamida suyuqlikni chiqarish kabi sohalarda qo‘llanilishi tahlil qilingan.

Kalit so‘zlar: *uchuvchi kul, neft-gaz sanoati, geopolimer sement, burg‘ilash eritmasi, EOR, proppant.*

Abstract. Fly ash, a large-tonnage solid waste of thermal power plants, has been actively studied over the past decade as a raw material for various segments of the oil and gas industry. This article analyzes the use of fly ash in well cementing, as a functional filler for drilling fluids, in enhanced oil recovery, as a proppant and proppant coating, in produced water treatment, and in foam-assisted liquid unloading from gas wells.

Keywords: *fly ash, oil and gas industry, geopolymer cement, drilling fluid, EOR, proppant.*

Аннотация. Летучая зола, являющаяся крупнотоннажным твёрдым отходом тепловых электростанций, в течение последнего десятилетия активно изучается в качестве сырья для различных отраслей нефтегазовой промышленности. В настоящей статье проанализировано применение летучей золы при цементировании скважин, в качестве функционального наполнителя буровых растворов, при повышении нефтеотдачи пластов, в качестве проппанта и покрытия

для него, при очистке попутно добываемых (пластовых) вод, а также при удалении жидкости из газовых скважин с помощью пенообразователей.

Ключевые слова: летучая зола, нефтегазовая промышленность, геополимерный цемент, буровой раствор, МУН (повышение нефтеотдачи пластов), проппант.

Kirish. Ko‘mirda ishlaydigan issiqlik elektr stansiyalari yiliga yuz millionlab tonna uchuvchi kul hosil qiladi; u changlanish va yer osti suvlarining ifloslanishiga sabab bo‘ladigan ekologik muammodir. Shu bilan birga neft-gaz sanoati quduq qazishdan suvni utilizatsiya qilishgacha katta hajmda xom-ashyo va kimyoviy reagentlarni talab qiladi, ularning aksariyati yuqori narxda import qilinadi. Energetika chiqindisini bu sanoat uchun qimmatli resursga aylantirish ham ekologik, ham iqtisodiy yechim bo‘la oladi. Uchuvchi kulning neft-gaz sanoatidagi asosiy qo‘llanilish yo‘nalishlarini tizimlashtirish va ularning texnologik tayyorlik darajasini baholash maqolaning asosiy maqsadi hisoblanadi (1-rasm).



1-rasm. Uchuvchi kulning neft-gaz sanoatidagi asosiy qo‘llanilish yo‘nalishlari
Materiallar va metodlar

Maqola sharh (review) xarakterida bo‘lib, uchuvchi kulning neft-gaz sanoatida qo‘llanilishiga oid ilmiy nashrlarni tahlil qilishga asoslangan. Manbalar ScienceDirect, MDPI, ACS Publications va Taylor & Francis nashrlaridan, shuningdek sanoat nashri

(Hart Energy)dan tanlab olindi. Qidiruvda fly ash, geopolymer cement, drilling fluid, EOR, proppant, produced water va foam kalit soʻzlaridan foydalanildi. Tahlilga 2016–2025-yillarda eʼlon qilingan, uchuvchi kulning neft-gaz texnologiyalaridagi qoʻllanilishi boʻyicha tajriba natijalari keltirilgan manbalar kiritildi. Maʼlumotlar qoʻllanilish yoʻnalishlari boʻyicha guruhlanib, har bir yoʻnalishning texnologik tayyorlik darajasi baholandi.

Natijalar

Quduqlarni sementlashda qoʻllanilishi

Anʼanaviy Portland sementi yuqori harorat va bosim sharoitida CO₂ taʼsirida vaqt oʻtishi bilan degradatsiyaga uchrab, quduq izolyatsiyasini buzishi mumkin. Shu sababli uchuvchi kul (Class F va Class C) asosidagi ishqoriy faollashtirilgan geopolimer sementlar muqobil sifatida oʻrganilmoqda [1]. Na₂C₂O₄ + Ca(OH)₂ bilan faollashtirilgan Class C kul geopolimeri 75 °C da 24–48 soat ichida 25,3–25,6 MPa bosim mustahkamligiga erishgan [1, 2]; u Portland sementidan yuqori mexanik mustahkamlik koʻrsatib, 250 °C gacha haroratda CO₂ taʼsiriga chidagan [2]. Biroq Class F kul geopolimeri suyuqlik yoʻqotish va qotish vaqti koʻrsatkichlari boʻyicha standart Class G sementidan hali orqada qoladi, turli manba kullari tarkibining beqarorligi esa sanoatda joriy etishni murakkablashtiradi; shu sababli har bir partiya uchun individual retsept ishlab chiqish talab etiladi [3].

Burgʻilash eritmalarida qoʻllanilishi

Uchuvchi kul suvli va neft asosidagi burgʻilash eritmalarida ogʻirlashtiruvchi agent, filtratsiya yoʻqotishini kamaytiruvchi qoʻshimcha va reologik modifikator sifatida qoʻllanilishi mumkin. Ilmenit asosida zichlashtirilgan eritmaga 3% uchuvchi kul qoʻshilganda plastik qovushqoqlik, oqim chegarasi va gel mustahkamligi mos ravishda 28%, 9% va 25% ga yaxshilangan, filtrat hajmi esa 23% ga kamaygan [5]. Neft asosidagi eritmalarda kul 350 °C gacha haroratda samarali ogʻirlashtiruvchi va elektr barqarorligini oshiruvchi material sifatida sinalgan; bunda jigarrang koʻmir kuli (Class F) linyit kuliga (Class C) qaraganda yaxshiroq reologik va filtratsion natija bergan [4].

Neft qazib olishni oshirishda (EOR) qoʻllanilishi

Uchuvchi kul EOR sohasida ikki asosiy yo‘nalishda qo‘llaniladi. Birinchisi — gidrolizlangan poliakrilamid (HPAM) bilan mustahkamlangan «HPAM–kul» polimer tizimlari bo‘lib, ular polimer eritmasining in‘eksion qobiliyatini saqlagan holda suv ishlab chiqarishni kamaytirish va konformansni boshqarishda qo‘llaniladi [6]. Ikkinchisi — kul nanozarrachalari bilan barqarorlashtirilgan ko‘pik tizimlari: sirt-faol modda bilan birgalikda ishlatilganda zarrachalar ko‘pik barqarorligini, jumladan xom neft ishtirokida ham, sezilarli oshiradi; bu ta’sir zarrachalarning ho‘llanuvchanligini boshqarish orqali tushuntiriladi [7].

Proppant va qoplama materiali sifatida qo‘llanilishi

Sanoatda uchuvchi kul asosidagi mikroproppant texnologiyasi (masalan, tijorat «EcoReach» mahsuloti) joriy etilgan: kichik va yengil zarrachalar yoriqlar tarmog‘iga chuqurroq kirib borib, qazib olinadigan tog‘ jinsi hajmini kengaytiradi [8].

Ishlab chiqarilgan (plastovoy) suvlarni tozalashda qo‘llanilishi

Neft konlaridan chiqadigan ifloslangan suvni tozalash uchun HCl va FeCl_3 bilan modifikatsiyalangan uchuvchi kul sorbent sifatida sinalgan. HCl bilan ishlov berilganda solishtirma sirt yuzasi $3,16 \text{ m}^2/\text{g}$ dan $48,89 \text{ m}^2/\text{g}$ gacha oshgan, bu esa neft tomchilarini sorbsiyalash samaradorligini sezilarli oshirgan [9]. Bu yo‘nalish oddiy va arzon yechim sifatida alohida ahamiyatga ega.

Gaz quduqlarida ko‘pik yordamida suyuqlikni chiqarish

Past unumli gaz quduqlarida tubga to‘plangan suyuqlikni ko‘pik yordamida chiqarish iqtisodiy va moslashuvchan usul hisoblanadi. Uchuvchi kul nanozarrachalari bu yerda ham ko‘pikni qattiq zarrachali mexanizm orqali barqarorlashtiruvchi komponent sifatida ishlatilishi mumkinligi ko‘rsatilgan [10].

Muhokama

Tahlil shuni ko‘rsatadiki, uchuvchi kulning barcha olti yo‘nalishda qo‘llanilishi xom-ashyo narxini pasaytiradi (chunki bu sanoat chiqindisi) va an’anaviy materiallarni import qilish ehtiyojini kamaytiradi. Biroq kulning kimyoviy tarkibi ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CaO}$ nisbati, Class F yoki Class C turi) ko‘mir manbaiga qarab farq qiladi, bu esa har bir stansiya kuli uchun alohida retsept va sifat nazorati tizimini talab qiladi.

Texnologik tayyorlik darajasi bo'yicha yo'nalishlar bir xil emas. Sementlash eng ko'p o'rganilgan yo'nalish bo'lsa-da, ba'zi ko'rsatkichlarda hali Class G sementidan orqada. Burg'ilash eritmalari va ishlab chiqarilgan suvlarni tozalash yo'nalishlari mavjud jarayonga minimal o'zgartirish bilan integratsiya qilinishi mumkinligi sababli eng tez joriy etiladigan yechimlardir. EOR va ko'pik yordamida suyuqlikni chiqarish yo'nalishlari asosan laboratoriya va pilot bosqichida bo'lib, qo'shimcha dala sinovlarini talab qiladi. Proppant yo'nalishi nisbatan yangi bo'lib, tijoratlashtirish bosqichida.

O'zbekiston sharoitida Angren va Yangi-Angren issiqlik elektr stansiyalari kuli mavjudligini hisobga olib, dastlab burg'ilash eritmalari uchun qo'shimcha va ishlab chiqarilgan suvlarni tozalash uchun sorbent sifatida qo'llashdan boshlab, so'ngra olingan tajriba asosida ko'pik yordamida suyuqlikni chiqarish kabi murakkabroq yo'nalishlarga o'tish maqsadga muvofiq.

Shuningdek, uchuvchi kul ishtirokidagi ko'pik texnologiyasi YGSO gazini tayyorlash jarayonining faqat bitta bosqichi ekanligini ta'kidlash lozim: quduq tubidan suyuqlik chiqarilgandan so'ng gaz talab etiladigan namlik darajasiga keltirilishi uchun qo'shimcha quritish bosqichidan o'tkaziladi. Mazkur bosqichda qo'llaniladigan adsorbsion quritish usuli va uning O'zbekiston YGSO sharoitidagi qo'llanilish imkoniyatlari [11], quritishda ishlatiladigan kimyoviy reagentlar va qattiq adsorbentlarning samaradorlik mezonlari [12], hamda noorganik adsorbentlarning regeneratsiya qobiliyatini oshirish yo'llari [13] muallif jamoasining tegishli tadqiqotlarida yoritilgan bo'lib, ular uchuvchi kul asosidagi texnologiyalar bilan birgalikda YGSO gazini kompleks tayyorlashning yaxlit texnologik zanjirini shakllantiradi.

Xulosa

Uchuvchi kul neft va gaz sanoatining deyarli barcha bosqichlarida qo'llanilishi mumkin bo'lgan arzon va ekologik jihatdan foydali xom-ashyo ekanligi aniqlandi. Biroq uning tarkibining o'zgaruvchanligi sanoatda keng joriy etilishining asosiy muammosi bo'lib qolmoqda. Kelgusi tadqiqotlar mahalliy kul manbalarini, jumladan O'zbekiston issiqlik elektr stansiyalari kulini, standartlashtirilgan tarkib bilan sanoatga joriy etishga qaratilishi tavsiya etiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati

1. Utilization of fly ash-based geopolymer for well cement during CO₂ sequestration: A comprehensive review and a meta-analysis. Gas Science and Engineering, 2023.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2949908923001024>
2. Fly ash Class C based geopolymer for oil well cementing. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2020.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0920410519304504>
3. Evaluating the Performance of Class F Fly Ash Compared to Class G Cement for Hydrocarbon Wells Cementing: An Experimental Investigation. Materials, 17(11), 2710, 2024. <https://doi.org/10.3390/ma17112710>
4. Evaluation of Using Fly Ash as a Weighing Material for Oil-Based Drilling Fluid. ACS Omega, 2023. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c03779>
5. Investigating the suitability of North Dakota fly ash as fluid loss reducing additive in densified water-based drilling fluid. Powder Technology, 2023.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0032591023007556>
6. Hydrolyzed polyacrylamide – Fly ash reinforced polymer for chemical enhanced oil recovery: Part 1 – Injectivity experiments. Fuel, 2020.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016236119316643>
7. Rezaee M., Hosseini-Nasab S.M., Fahimpour J., Sharifi M. New Insight on improving foam stability and foam flooding using fly-ash in the presence of crude oil. Journal of Petroleum Science and Engineering, 214, 110534, 2022.
<https://doi.org/10.1016/j.petrol.2022.110534>
8. So Fly Ash: Coal Byproduct Enters Specialty Proppant Space. Hart Energy, 2023.
<https://www.hartenergy.com/technology-and-innovation/he-crude-oil-recovery-proppant-technology-superior-energy/>
9. Removal of oil from simulated oilfield wastewater using modified coal fly ashes. Desalination and Water Treatment, 57(21), 2016.
<https://doi.org/10.1080/19443994.2015.1033470>

10. Synergy of Fly Ash and Surfactant on Stabilizing CO₂/N₂ Foam for CCUS in Energy Applications. *Energies*, 18(15), 4181, 2025. <https://doi.org/10.3390/en18154181>

11. Sharipov B.Sh., Istamov Sh.I. Yer osti gaz omborlaridan olingan gazni quritishning adsorbsion usuli va uning O‘zbekiston sharoitida qo‘llanilish imkoniyatlari // "Neft-gazkimyo, yoqilg‘i sanoati, polimerlar va yuqori molekulyar birikmalar sohasida innovatsion ishlanmalarni raqamlashtirish istiqbollari hamda ekologik jihatlarning ilg‘or muhandislik yechimlari" mavzusidagi xalqaro ilmiy-texnikaviy konferensiya. Maqola va tezislar to‘plami. Buxoro, 2026, 10 aprel. B. 330–333.

12. Sharipov B.Sh., Istamov Sh.I. Gazni quritishda qo‘llaniladigan kimyoviy reagentlar va ularning samaradorligi tahlili // "Neft-gazkimyo, yoqilg‘i sanoati, polimerlar va yuqori molekulyar birikmalar sohasida innovatsion ishlanmalarni raqamlashtirish istiqbollari hamda ekologik jihatlarning ilg‘or muhandislik yechimlari" mavzusidagi xalqaro ilmiy-texnikaviy konferensiya. Maqola va tezislar to‘plami. Buxoro, 2026, 10 aprel. B. 317–320.

13. Istamov Sh.I. Gaz quritish jarayonlarida qo‘llaniladigan noorganik adsorbentlarning regeneratsiya qobiliyatini oshirish // "Tafakkur va talqin": iqtidorli talabalar, magistrantlar, tayanch doktorant va doktorantlarning respublika ilmiy-amaliy anjuman to‘plami. Buxoro, 2026, 15-may. B. 84–86.