TABIIY GAZNI QURITISHDA GLIKOLLI ABSORBENTLAR UCHUN FUNKSIONAL QO'NDIRMALAR VA KOMPOZITSIYA YARATISH YONDASHUVLARI

Xamrokulova Gulnoza Odiljon qizi
Iqtisodiyot va pedagogika universiteti

Annotatsiya. *Maqolada tabiiy gazni quritishda ishlatiladigan trietilenglikol (TEG) eritmasining ekspluatatsion xossalarini boshqaruvchi funksional qo'ndirmalar va kompozitsiya yaratish tamoyillari tahlil qilindi. Gigroskopik modifikator, korroziya ingibitori, ko'pik so'ndirgich, pH stabilizatori, antioksidant va dispersantlarning vazifasi suv yutish bilan birga qovushqoqlik, massa uzatish, termik barqarorlik, ko'piklanish va metallga ta'sir mezonlarida baholandi. 2020-2025-yillardagi tajribaviy ishlar asosida qo'ndirmalarni alohida tanlash yetarli emasligi, ularning TEG-suv-uglevodorod-tuz tizimidagi o'zaro mosligi va takroriy regeneratsiya sikllaridagi holati hal qiluvchi ekanligi ko'rsatildi. Kompozitsiyani yaratish uchun bosqichli skrining, 50 siklli termik sinov va ko'p mezonli desirability funksiyasiga asoslangan yondashuv taklif etildi. Adabiyotdagi real tajribada korroziya ingibitori hamda ko'pik so'ndirgichning 1:1 aralashmasi 1500 mg/l umumiy dozada 37 mm ko'pik balandligi va 7,9 s so'nish vaqtini bergani kompozitsion sinovning zarurligini tasdiqlaydi.*

Kalit so'zlar: *tabiiy gaz, trietilenglikol, funksional qo'ndirma, gigroskopiklik, ko'piklanish, korroziya, regeneratsiya, kompozitsiya.*

Аннотация. *Рассмотрены функциональные добавки для управления эксплуатационными свойствами триэтиленгликоля при осушке природного газа. Гигроскопические модификаторы, ингибиторы коррозии, пеногасители, стабилизаторы pH, антиоксиданты и диспергирующие компоненты оценены по водопоглощению, вязкости, пенообразованию, коррозии и устойчивости при регенерации. Предложен поэтапный подход, включающий индивидуальный скрининг, проверку совместимости и 50 циклов термического старения.*

Ключевые слова: *природный газ, триэтиленгликоль, функциональная добавка, пенообразование, коррозия, регенерация.*

Abstract. *Functional additives and composition-design principles for triethylene glycol used in natural-gas dehydration are reviewed. Hygroscopic modifiers, corrosion inhibitors, antifoams, pH stabilizers, antioxidants and dispersants are evaluated*

against water uptake, viscosity, mass transfer, foaming, corrosion and regeneration stability. A staged workflow combining single-additive screening, compatibility testing, 50-cycle thermal ageing and multi-response desirability is proposed.

Keywords: *natural gas, triethylene glycol, functional additive, foaming, corrosion, regeneration, formulation.*

Kirish

TEG tabiiy gaz tarkibidagi suv bug'ini yutish, past bug' bosimi va regeneratsiya orqali qayta ishlatilishi tufayli sanoatda asosiy suyuq absorbent hisoblanadi. Biroq aylanma eritma vaqt o'tishi bilan suv, kondensat, mexanik zarrachalar, temir birikmalari, tuzlar va degradatsiya mahsulotlarini to'playdi. Natijada qovushqoqlik va sirt xossalari o'zgaradi, absorberdagi massa uzatish yomonlashadi, ko'pik va glikol olib ketilishi kuchayadi, korroziya hamda reboiler cho'kmalari ortadi [1-4]. Shuning uchun ekspluatatsion muammoni faqat TEG konsentratsiyasini oshirish bilan hal qilish mumkin emas.

Funksional qo'ndirma aniq bir salbiy jarayonni cheklaydi, kompozitsiya esa bir nechta funksiyani o'zaro to'qnashmasdan bajarishi kerak. Masalan, suvga moyillikni oshiruvchi komponent absorbsiya sig'imini yaxshilashi mumkin, ammo qovushqoqlikni yoki uglevodorodlarning birga yutilishini oshirsa, umumiy texnologik samara pasayadi. Maqolaning maqsadi funksional qo'ndirmalarni ilmiy mezonlar bo'yicha tasniflash va TEG asosidagi barqaror kompozitsiyani yaratishning tajribaviy yondashuvini ishlab chiqishdan iborat.

Tadqiqot obyekti sifatida yangi va ekspluatatsiyada ishlatilgan TEG eritmalari, tadqiqot predmeti sifatida esa funksional qo'ndirmalar dozasi va nisbatining absorbent xossalariga ta'siri qabul qilindi. Asosiy gipoteza shundan iboratki, eng samarali tarkib har bir komponentning alohida maksimumi bilan emas, suv yutish, massa uzatish, ko'pik, korroziya va termik qarish bo'yicha muvozanatli javob bilan aniqlanadi. Shu sababli nazorat namunasi, bir komponentli namuna va ko'p komponentli kompozitsiya bir xil tajriba sharoitida qiyoslanishi kerak.

Yondashuvning ilmiy-amaliy yangiligi qo'ndirma tanlovini absorbentning boshlang'ich diagnostikasi bilan bog'lash, moslikni termik sikllardan oldin va keyin baholash hamda yakuniy qarorni ko'p mezonli funksiya orqali qabul qilishdan iborat. Bunda suv yutishning ortishi ijobiy natija sifatida faqat qovushqoqlik, korroziya, glikol olib ketilishi yoki degradatsiya mahsulotlari qabul qilib bo'lmaydigan darajada oshmagan taqdirdagina tan olinadi.

Tadqiqot metodikasi

Tahlil uchun 2020-2025-yillarda e'lon qilingan TEG-suv-gaz muvozanati, glikol qovushqoqligi, suv bug'i absorbsiyasi, regeneratsiya, oksidlanish degradatsiyasi va ko'piklanish bo'yicha tajribaviy maqolalar tanlandi [1-9]. Natijalar uch darajada umumlashtirildi: qo'ndirmaning asosiy funksiyasi; TEG va ifloslantiruvchilar bilan mosligi; takroriy qizdirish-sovitishdan keyingi barqarorligi. Har bir nomzod uchun suv yutish, qovushqoqlik, zichlik, sirt tarangligi, ko'pik balandligi va so'nish vaqti, pH, kislota soni, korroziya tezligi hamda massa yo'qotilishi bir xil namunada aniqlanishi lozim.

1-jadval. TEG kompozitsiyasidagi funksional qo'ndirmalarning vazifasi va tanlash mezoni

Qo'ndirma guruhi	Asosiy vazifa	Kutiladigan foyda	Moslik xavfi	Majburiy sinov
Gigroskopik modifikator	Suv faolligini kamaytirish va yutishni kuchaytirish	Bir xil L/G da quruq gaz namligini kamaytirish	Qovushqoqlik, nordon gaz va uglevodorod yutilishi ortishi	Muvozanat suv yutishi, qovushqoqlik, fazaviy barqarorlik
Korroziya ingibitori	Metall yuzasida himoya qatlam hosil qilish	Kupon massa yo'qotishini kamaytirish	Ko'piklanish va filtrda ushlanish	Kupon sinovi, ko'pik, faol ko'mir bilan moslik
Ko'pik so'ndirgich	Pufak plyonkasini beqarorlashtirish	Absorber ΔP si va TEG olib ketilishini kamaytirish	Suv yutish va massa uzatishga salbiy ta'sir	Ko'pik balandligi/so'nishi, kLa yoki quritish samarasi

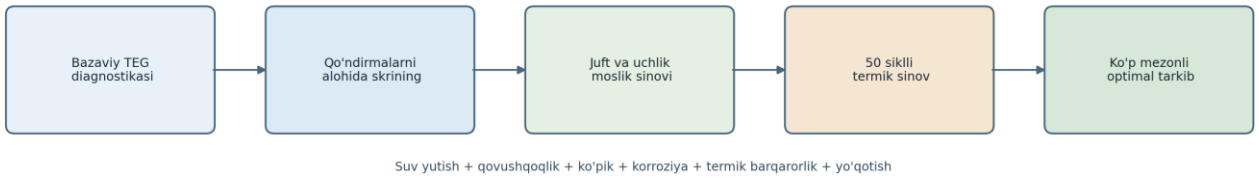
Natijalar va ularning muhokamasi

Kompozitsiya yaratishning birinchi qoidasi - bazaviy TEG diagnostikasidir. Suv miqdori, pH, kislota soni, qovushqoqlik, kul, temir, uglevodorod va ko'pik aniqlanmasdan qo'ndirma dozasi tanlansa, reagent sababni bartaraf etmasdan simptomni vaqtincha yashirishi mumkin. Neerup va Fosbol 293,15; 313,15 va 333,15 K da glikol-suv tizimlari bo'yicha 222 ta yangi tajriba nuqtasini olgan; yuqori glikol konsentratsiyasida qovushqoqlik keskin o'sishi va harorat ortishi bilan kamayishi ko'rsatilgan [8]. Demak, gigroskopiklikni oshirish qovushqoqlik va massa uzatish bilan birga optimallashtiriladi.

Ikkinchi qoida - alohida qo'ndirmadan kombinatsiyaga bosqichma-bosqich o'tish. Lotfi va Keshavarz TEGni metildietanolamin bilan birlashtirish suv bug'i

absorbsiyasini kuchaytirish imkonini ko'rsatgan [3]. Bunday gigroskopik modifikatsiya istiqbolli, lekin MDEAning CO2 va H2S bilan o'zaro ta'siri, eritma qovushqoqligi hamda regeneratsiya energiyasi mustaqil tekshirilishi kerak. Høisæter va hammualliflar oksidlangan TEGda MEG, DEG, chumoli, sirka va glikol kislotalari, formaldegid, atsetaldegid hamda yuqori glikollar hosil bo'lishini aniqlagan [7]. Bu antioksidant yoki pH stabilizatori tanlovini faqat pH bo'yicha emas, xromatografik va spektroskopik nazorat bilan asoslash zarurligini bildiradi.

1-rasm. TEG kompozitsiyasini bosqichma-bosqich yaratish algoritmi



Algoritmda keyingi bosqichga faqat avvalgi mezonlardan o'tgan namuna o'tkaziladi. Shu tartib qimmat xromatografik va korroziya sinovlari sonini kamaytiradi, ayni paytda qo'ndirmalar o'rtasidagi antagonizmni erta aniqlaydi.

Kompozitsion moslik va optimallashtirish mezonlari

Qo'ndirmalar o'zaro ta'sirining ahamiyati Liang va hammualliflarning 97 mass.% TEGni 200 °C da 10 minutdan 50 marta qizdirish-sovitish tajribasida yaqqol ko'ringan [9]. Kimyoviy qo'ndirmalar ko'piklanishga qattiq zarracha, suvda eruvchan tuz, MDEA va H2Sga qaraganda kuchliroq ta'sir ko'rsatgan. Korroziya ingibitori va ko'pik so'ndirgichning 1:1 aralashmasi 1500 mg/l umumiy dozada 37 mm ko'pik balandligi va 7,9 s so'nish vaqtini bergan. Bu qiymat universal optimum emas: u aynan mualliflar qo'llagan reagentlar va tajriba sharoitiga tegishli. Biroq natija qo'ndirmalarni alohida emas, birgalikda va takroriy regeneratsiyadan keyin baholash zarurligini tajribaviy tasdiqlaydi.

Laboratoriya skriningi uchun bazaviy 97 mass.% TEG eritmasi bilan birga gigroskopik modifikatorning 0,1; 0,3 va 0,5 mass.% darajalari, ingibitor va ko'pik so'ndirgichning ishlab chiqaruvchi tavsiya oralig'idagi uch dozasi tekshiriladi. Juft kombinatsiyalar 1:2, 1:1 va 2:1 nisbatlarda sinovdan o'tkaziladi. Ushbu oraliqlar yakuniy retsept emas, tajriba rejasining boshlang'ich nuqtasidir. Qashshoq TEGning amaldagi yuqori konsentratsiyasi va absorber sharoiti keyingi pilot bosqichda alohida tiklanadi.

2-jadval. Kompozitsiyani tanlash uchun tavsiya etiladigan tajriba matritsasi

Bosqich	O'zgaruvchi	Javob ko'rsatkichi	Qabul qilish tamoyili
Bazaviy namuna	Yangi va ishlatilgan TEG	Suv, pH, kislota soni, qovushqoqlik, Fe, kul, ko'pik	Muammo sababi va nazorat namunasi aniqlanadi
Bir komponentli skrining	Har bir qo'ndirma, kam-o'rta-yuqori doza	Suv yutish, qovushqoqlik, faza ajralishi	Suv yutish foydasi qovushqoqlik va cho'kma bilan bekor qilinmasligi
Moslik sinovi	1:2; 1:1; 2:1 juft nisbatlar	Ko'pik, korroziya, sirt tarangligi, filtrlanish	Antagonizm va sinergiya statistik jihatdan ajratiladi

Optimal tarkib bitta ko'rsatkich bo'yicha emas, vaznli desirability funksiyasi bilan tanlanishi mumkin: D = (dW^0,35 · dmu^0,15 · dF^0,20 · dC^0,20 · dT^0,10). Bu yerda dW - suv yutish, dmu - qovushqoqlik, dF - ko'pik, dC - korroziya va dT - termik barqarorlikning 0 dan 1 gacha normallangan foydalilik qiymati. Vaznlar texnologik obyekt xavfiga qarab o'zgartiriladi. Masalan, absorber olib ketilishi yuqori obyekt uchun ko'pik mezoni, nordon gazda esa korroziya mezoni og'irligi oshiriladi. Qvistgaard va hammualliflarning 6,0; 9,0 va 12,5 MPa dagi muvozanat tajribalari kompozitsiya laboratoriya bosimida yaxshi natija bergan taqdirda ham yuqori bosimli gaz muhitida tekshirilishi shartligini ko'rsatadi [1].

Texnologik tatbiq mezonlari

Kompozitsiyani sanoat konturiga kiritish reagentni reboilerga bir martalik qo'shish bilan cheklanmaydi. Dozalash nuqtasi qo'ndirmaning funksiyasiga mos tanlanadi: ko'pik so'ndirgich absorberga yaqin aylanma oqimda, korroziya ingibitori himoya qilinadigan metall yuzalar oldidan, issiqlikka sezgir komponent esa yuqori haroratli zonadan keyin berilishi mumkin. Dozalash nasosi sarfi TEG sirkulyatsiyasi bilan blokirovka qilinib, ortiqcha konsentratsiya va mahalliy cho'kma hosil bo'lishi oldi olinadi.

Pilot tatbiqda bazaviy davr va kompozitsiyali davr bir xil gaz yuklamasi bo'yicha qiyoslanadi. Asosiy ko'rsatkichlar quruq gazning suv shudring nuqtasi, reboilerning solishtirma energiyasi, filtr differensial bosimi, TEGning solishtirma yo'qotilishi, ko'pik trendi va korroziya kuponidir. Faqat laboratoriya suv yutishi yaxshilanib, ushbu operatsion ko'rsatkichlar yomonlashmasa kompozitsiya texnologik jihatdan samarali deb baholanadi.

Xulosa

TEG uchun samarali funksional kompozitsiya suv yutishni oshiruvchi bitta reagent emas, balki gigroskopiklik, qovushqoqlik, ko'piklanish, korroziya va termik barqarorlik o'rtasidagi muvozanatdir. Bazaviy diagnostika, bir komponentli skrining, juft moslik, 50 siklli termik qaritish va real gazda pilot tekshiruv ketma-ketligi eng ishonchli yondashuv hisoblanadi. Adabiyotdagi real natijalar qo'ndirmalar o'rtasidagi o'zaro ta'sir yakuniy xossani belgilashini tasdiqlaydi. Shu sababli taklif etilayotgan kompozitsiyaning ilmiy yangiligi uning komponentlar ro'yxati bilan emas, ko'p mezonli optimal nisbat, regeneratsiyadan keyingi barqarorlik va TEG yo'qotilishini kamaytirish bilan asoslanishi kerak.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Qvistgaard D., Trancoso J., Solbraa E. va boshq. Multicomponent vapor-liquid equilibrium measurements and modeling of TEG, water and natural gas mixtures at 6.0, 9.0 and 12.5 MPa. Fluid Phase Equilibria. 2023;565:113660. DOI: 10.1016/j.fluid.2022.113660.

2. Rasoolzadeh A., Raeissi S., Shariati A., Peters C.J. Experimental measurement and thermodynamic modeling of methane solubility in TEG within 343.16-444.95 K. Journal of Chemical and Engineering Data. 2020. DOI: 10.1021/acs.jced.0c00198.

3. Lotfi Z., Keshavarz P. High-efficiency water vapor absorption by triethylene glycol combined with methyldiethanolamine. Separation and Purification Technology. 2021;270:118841. DOI: 10.1016/j.seppur.2021.118841.

4. Chen W.-C., You X.-G., Liu P. va boshq. Enhanced regeneration of TEG solution by rotating packed bed for offshore natural gas dehydration. Chemical Engineering and Processing. 2021;168:108562. DOI: 10.1016/j.cep.2021.108562.

5. Liu G., Zhu L., Hong J., Liu H. Technical, economical, and environmental performance assessment of an improved TEG dehydration process for shale gas. ACS Omega. 2022;7:1861-1873. DOI: 10.1021/acsomega.1c05236.

6. Mukherjee R., Diwekar U.M. Optimizing TEG dehydration process under metamodel uncertainty. Energies. 2021;14:6177. DOI: 10.3390/en14196177.

7. Hoisaeter K.K., Buvik V., Villa Gonzalez S., Vevelstad S.J., Knuutila H.K. Oxidative degradation of triethylene glycol. Chemical Engineering Science. 2024;287:119706. DOI: 10.1016/j.ces.2024.119706.

8. Neerup R., Fosbol P.L. Physicochemical properties of aqueous mono-, di-, tri- and tetraethylene glycol solutions. Journal of Solution Chemistry. 2025;54:1595-1619. DOI: 10.1007/s10953-025-01486-9.

9. Liang H., Huang Q., Li X., Wu Q., Yan H., Meng J. Investigation of the factors and mechanisms affecting the foaming of TEG in natural gas purification. Processes. 2025;13:1261. DOI: 10.3390/pr13051261.