



GLIKOL KOMPOZITSIYALARINING EKSPLOATATSION XOSSALARINI TADQIQ ETISH

Xamrokulova Gulnoza Odiljon qizi
Iqtisodiyot va pedagogika universiteti

Annotatsiya: Ushbu maqolada tabiiy gazlarni absorbsion quritishda qo'llaniladigan glikol kompozitsiyalarining asosiy ekspluatatsion xossalari tadqiq etilgan. Glikol asosidagi absorbentlarning gigroskopikligi, qovushoqligi, zichligi, termik va oksidlanish barqarorligi, korrozion faolligi hamda ko'piklanishga moyilligi kabi ko'rsatkichlarning quritish jarayoni samaradorligiga ta'siri tahlil qilingan. Kompozitsiya tarkibiga kiritiladigan funksional qo'ndirmalarning suv bug'ini yutish qobiliyati, regeneratsiya darajasi va absorbentning xizmat muddatiga ta'siri baholangan. Shuningdek, harorat, glikol konsentratsiyasi va regeneratsiya rejimlarining kompozitsiyalar fizik-kimyoviy xususiyatlariga bog'liqligi ko'rib chiqilgan. Tadqiqot natijalari glikol kompozitsiyalarining optimal tarkibini tanlash, ularning termik degradatsiyasi va korrozion ta'sirini kamaytirish, ko'piklanishning oldini olish hamda tabiiy gazning talab etilgan shudring nuqtasiga erishish imkonini beradi. Taklif etilgan yondashuv glikolli quritish qurilmalarining barqaror ishlashini ta'minlash, absorbent sarfini kamaytirish va regeneratsiya jarayonining energiya samaradorligini oshirishga xizmat qiladi.

Kalit so'zlar: tabiiy gaz, glikol kompozitsiyasi, trietilenglikol, absorbent, absorbsion quritish, gigroskopiklik, qovushoqlik, termik barqarorlik, korroziya, ko'piklanish, funksional qo'ndirma, regeneratsiya, shudring nuqtasi, ekspluatatsion xossalari.

Kirish

Boshlang'ich diagnostikaning vazifasi kompozitsiya yechishi kerak bo'lgan real ekspluatatsion muammoni aniqlashdir. Yangi TEG va ishlab chiqarishning turli nuqtalaridan olingan namunalarda suv, glikol tarkibi, zichlik, qovushoqlik, pH,



kislota soni, rang, sirt tarangligi, qattiq zarrachalar, ionlar, ko'pik hamda korroziya tezligi qiyoslanadi. Har bir ko'rsatkich jarayonning namuna olish vaqtidagi reboiler harorati, filtr holati va xom gaz yuklamasi bilan bog'lanadi.

Tahlil ketma-ketligi sabab-oqibatni farqlashga yordam beradi. Masalan, pH pasayishi va kislota soni ortishi organik kislotalar bilan tasdiqlansa, oksidlanish degradatsiyasi ehtimoli kuchayadi. Rang va suspenziya ortishi temir yoki FeS bilan birga kuzatilsa, korroziya mahsulotlari va filtr muammosi ko'rib chiqiladi. Ko'pik ortishi sirt tarangligi pasayishi bilan kuzatilsa sirt-faol ifloslanish, sirt tarangligi deyarli o'zgarmasdan ko'pik barqarorlashsa mayda qattiq zarrachalar ta'siri ehtimoli baholanadi [7-9].

Natijalar nazorat kartalari bilan ham ifodalanadi. Bir martalik namuna favqulodda holatni ko'rsatishi mumkin, ammo kompozitsiya retsepturasini tanlash uchun vaqt bo'yicha takrorlanadigan tendensiya zarur. Shu sababli kamida uch ish kuni va imkon bo'lsa turli mavsumlarda olingan namunalarning tarqalishi ko'rsatiladi. Agar qashshoq TEG suv miqdori yoki pH keskin tebransa, avval regenerator boshqaruvi tekshiriladi; qo'ndirma texnologik nosozlikni niqoblash uchun ishlatilmaydi.

1-jadval.

2021–2025-yillardagi real tajriba ishlari asosida yangi va ishlatilgan TEGning boshlang'ich diagnostika ko'rsatkichlari

Ko'rsatkich	Yangi TEG	Ishlatilgan TEG	Boy TEG	Regeneratsiya / model	Usul, sharoit, manba
Suv, mass. %	0,02 (RPD 0,00%) [37]	0,33 (RPD 3,08%) [37]; 0,25 [38]	6,65 (RPD 0,15%) [37]; 8,00 [38]	NR	Kulonometrik KF; ASTM D6304:2020 [37, 38]



Ko'rsatkich	Yangi TEG	Ishlatilgan TEG	Boy TEG	Regeneratsiya / model	Usul, sharoit, manba
TEG, mass. %	100,06 ¹ (RPD 0,20%) [37]	99,74 (RPD 0,10%) [37]; 99,75 [38]	93,56 (RPD 0,10%) [37]; 92,00 [38]	>99,7; optimal sharoitda >99,98 [15]	GC, ASTM E2409 [37]; RPB- regeneratsiya [15]
DEG, mass. %	0,01 (RPD 2,20%) [37]	0,23 (RPD 22,10%) [37]	0,15 (RPD 10,10%) [37]	NR	GC, ASTM E2409; 2 parallel aniqlash [37]
pH (1:1 TEG-suv)	NR	7,80 [38]	6,05 [38]	NR	pH-metr; 50 ml TEG + 50 ml deionizatsiyalangan suv [38]
Tuzlilik, mg/l	NR	750 [38]	12 500 [38]	NR	AgNO ₃ bilan titrlash, K ₂ CrO ₄ indikator [38]
Kislota soni, mg KOH/g	NR	NR	NR	NR	Tanlangan 2021– 2025 manbalarda sonli natija berilmagan
SG (20 °C)	1,126 (RPD 0,00%) [37]	1,125 (RPD 0,00%) [37]	1,112 (RPD 0,00%) [37]	NR	Stabinger SVM 3000; ASTM D4052 [37]



Ko'rsatkich	Yangi TEG	Ishlatilgan TEG	Boy TEG	Regeneratsiya / model	Usul, sharoit, manba
Qovushqoqlik, mPa·s	NR	NR	NR	NR	Tanlangan manbalarda ayni namunalarga berilmagan
Sirt tarangligi, mN/m	NR	NR	NR	33,8 ² [9]	50 °C; 97 mass.% TEG + 2000 mg/l MgCl ₂ ; 50 sikl [9]
Ko'pik H ₀ / so'nish vaqti	NR	NR	NR	2,6 mm / 38 s ³ [9]	50 °C; 97 mass.% TEG + 1,5 mg/l CaCO ₃ ; 50 sikl [9]
Fe, mg/kg	NR	NR	NR	NR	Tanlangan manbalarda sonli natija berilmagan
Korroziya, mm/yil	NR	NR	NR	NR	Tanlangan manbalarda sonli natija berilmagan

NR - manbada sonli natija hisobot qilinmagan. [37] sanoat laboratoriyasida fresh, lean va rich TEG namunalari ikki parallel aniqlash bilan tekshirilgan; [38] boshqa gaz qurilmasidagi lean va rich TEGning dala natijalaridir (kontaktor 75 barg va 45 °C). [9] 97 mass.% TEG asosidagi 50 siklli laboratoriya modeliga, [15] esa aylanuvchi nasadkali apparatdagi regeneratsiyaga tegishli. ¹GC natijasining 100% dan biroz yuqori chiqishi usul qaytaruvchanligi bilan bog'liq analitik natijadir. ² va ³ turli model aralashmalariga tegishli; ular bitta namunaning juft ko'rsatkichi emas. Jadvaldagi qiymatlar muallif tajribasi emas, dissertatsiya tajribalarini rejalash va qiyoslash uchun adabiyot benchmarkidir.

Natijalar suv yutilishi bilan boy TEG tarkibidagi suvning 6,65–8,00 mass.% gacha ortishi va TEG ulushining 92,00–93,56 mass.% gacha kamayishini ko'rsatadi.



[38] manbasida lean TEGdan rich TEGga o'tishda pH 7,80 dan 6,05 gacha pasaygan, tuzlilik esa 750 dan 12 500 mg/l gacha oshgan. Biroq [37] va [38] turli korxona hamda usul sharoitlariga mansub bo'lgani uchun ular orasida umumiy statistik tanlanma yoki sababiy korrelyatsiya hisoblanmaydi. DEG uchun RPDning 10,10–22,10% bo'lishi ushbu kichik konsentratsiyalarni ko'proq takror bilan qayta tekshirish zarurligini ko'rsatadi.

Tadqiqot usuli: Modifikator skriningi uchta savolga javob beradi: kompozitsiya bir fazalimi; uning qovushqoqligi va sirt xossalari massa uzatishga mosmi; suv faolligi va gazni quritish qobiliyati yaxshilanadimi. Kaliy formiat 0-20 mass.% boshlang'ich oralig'ida, MDEA esa taqqoslash tarkibi sifatida sinovdan o'tkaziladi. Har bir konsentratsiya uchun suv yutish muvozanati, yutilish tezligi, regeneratsiyadan keyingi qaytarilish va cho'kma kuzatiladi.

Kaliy formiat bo'yicha adabiyot dalillari ikki xil maqomga ega. Desikkator tajribasida 70 mass.% KCOOH eritmasi 24, 48 va 72 soatda mos ravishda 50, 71 va 87 mass.% suv yutgan; ayni tajriba seriyasidagi 100 mass.% TEG uchun qiymatlar 36, 46 va 56 mass.% bo'lgan [39]. Biroq bu KCOOHning mustaqil absorbent sifatidagi natijasidir. TEGga kaliy formiat qo'shilganda yutish sig'imining qariyb ikki baravar ortishi haqidagi xulosa esa fazaviy muvozanat va texnologik hisoblashga asoslangan [13]; uni 0–20 mass.% TEG–KCOOH aralashmasining tayyor eksperimental natijasi sifatida ko'rsatish mumkin emas.

MDEA bo'yicha 2021-yilgi nasadkali kolonna tajribasida 90 hajm.% TEG + 10 hajm.% MDEA eritmasi sinovdan o'tkazilgan tarkiblar ichida eng yuqori suv bug'i yutilishini ko'rsatgan; MDEA tajriba sharoitida ko'piklanishni sezilarli kuchaytirmagan. Shu bilan birga, absorbentdagi 5 hajm.% suv quritish samaradorligini taxminan 20% kamaytirgan [12]. 2025-yilgi 50 siklli termik tajribada esa 2000 mg/l MDEA mavjudligida sirt tarangligi 34,3 mN/m, ko'pik balandligi 2,4 mm va so'nish vaqti 14 s bo'lgan [9]. Demak, MDEA ta'siri konsentratsiya, suv miqdori va termik tarixga bog'liq.

2-jadval.



Gigroskopik modifikatorlarni skrining qilish uchun adabiyotdagi real tajriba va hisobiy benchmarklar

Kod	Tarkib	Sinov turi va sharoiti	Suv yutilishi / quritish natijasi	μ yoki γ	Ko'pik H_0/t	Manba va dalil maqomi
G-P	100 mass.% TEG	Desikkator; $m_0=21,06$ g; 24–72 soat	Suv yutilishi: 36 / 46 / 56 mass.% (24 / 48 / 72 soat)	NR	NR	[39], real desikkator tajribasi
KF-P	70 mass.% KCOOH suvli eritmasi; TEG bilan aralashma emas	Desikkator; $m_0=20,27$ g; 24–72 soat	Suv yutilishi: 50 / 71 / 87 mass.% (24 / 48 / 72 soat)	NR	NR	[39], real tajriba; mustaqil absorbent
KF-H	TEG + kaliy formiat; qo'shish ulushi ochiq annotatsiy ada NR	Fazaviy muvozanat va texnologik hisoblash	Suv yutish sig'imi bazaviy TEGga nisbatan ≈ 2 marta	NR	NR	[13], hisobiy natija; tajriba qatori emas
M-10	90 hajm.% TEG + 10 hajm.% MDEA	Nasadkali kolonna; namlantirilgan gaz; qarama-qarshi oqim	Sinovdan o'tgan MDEA tarkiblari ichida eng yuqori suv bug'i yutilishi	μ : NR	Sezilarli o'zgarish aniqlanmagan	[12], real kolonna tajribasi
M-W5	TEG asosidagi absorbent + 5 hajm.% H_2O	Nasadkali kolonna; gaz va suyuqlik sarflari o'zgartirilgan	Suv bug'i yutish samaradorligi quruq absorbentga nisbatan $\approx 20\%$ kamaygan	NR	NR	[12], real kolonna tajribasi
M-F2	97 mass.% TEG + 2000 mg/l MDEA	200 °C da 50 sikl; ko'pik va γ sinovi 50 °C da	Suv yutish / ΔT_{dp} o'lchanmagan	$\gamma=34,3$ mN/m	2,4 mm / 14 s	[9], real siklli laboratoriya tajribasi

NR — manbada sonli natija hisobot qilinmagan. [39] dagi KCOOH eritmasi

TEGga qo'shilgan modifikator emas, alohida absorbentdir; [13] hisobiy benchmark;



[12] va [9] laboratoriya tajribalaridir. Turli apparat, konsentratsiya va haroratdagi qiymatlar bitta statistik tanlanmaga birlashtirilmaydi. Jadval muallif tajribasi emas, dissertatsiya skriningi uchun adabiyot benchmarkidir.

Adabiyot benchmarklari asosida 10 hajm.% MDEA suv yutish bo'yicha istiqbolli nazorat tarkibi sifatida tanlanadi, biroq siklli qizdirishda MDEAning ko'piklanishga ta'siri alohida tekshiriladi. Kaliy formiatning mustaqil eritmasi TEGdan yuqori gigroskopiklik ko'rsatgan bo'lsa-da, bu natija uning TEGdagi 0–20 mass.% qo'ndirmasi uchun bevosita ko'chirilmaydi. Shu sababli dissertatsiya tajribasida G-0, KF-1–KF-3 va M-1–M-2 tarkiblari bir xil T, P, L/G sharoitida kamida uch takror bilan sinovdan o'tkazilib, suv yutilishi, ΔT_{dp} , qovushqoqlik, sirt tarangligi va ko'piklanish birgalikda baholanadi.

Natijalar va ularning muxokamasi: Tajribada 40 ml (45,096 g) sof TEGga 1,394 g qo'ndirmali suvli eritma qo'shib, 97 mass.% TEG tayyorlangan; qo'ndirma konsentratsiyasi 250–2000 mg/l oralig'ida o'zgartirilgan. Namuna N₂ (>99,99%) muhitida 200 °C da 10 minutdan 50 sikl regeneratsiya qilingan. Ko'pik sinovi 50 ± 0,5 °C da 5 ml namuna va 5 minut havo berish bilan bajarilgan, gaz–suyuqlik sirt tarangligi esa 50 °C da o'lchangan.

Natijalar qo'ndirma nomi “antifoam” bo'lishi uning TEGda albatta ko'pikni kamaytirishini kafolatlamasligini ko'rsatdi. 750 mg/l da sirt tarangligi korroziya inhibitori uchun 31,1 mN/m, antifoam uchun 30,1 mN/m va ularning 1:1 aralashmasi uchun 29,6 mN/m gacha pasayib, plato holatiga kelgan. Maksimal ko'pik balandligi tegishlicha 34, 28 va 37 mm, so'nish vaqti esa 7,6, 7,8 va 7,9 s bo'lgan. 1:1 aralashmaning eng past sirt tarangligi va eng baland ko'pikni berishi salbiy sinergik moslikni ko'rsatadi [9].

[9] manbada qo'ndirmalarning savdo yoki aniq kimyoviy nomlari, gravimetrik korroziya tezligi va gazni quritish samaradorligi keltirilmagan. Shu sababli jadvalda bu ko'rsatkichlar NR deb belgilandi va “mos emas” qarori faqat ko'piklanish hamda sirt tarangligi bo'yicha, aynan sinovdan o'tgan tarkib va dozalar uchun chiqarildi. Sanoatga tavsiya etishdan oldin ishlatilgan TEGda korroziya,



pitting, eritmadagi Fe, shudring nuqtasi, suv yutilishi va glikol olib ketilishi kamida uch takrorda qo‘shimcha tekshirilishi shart.

3-jadval.

2025-yilgi 50 siklli tajriba asosida qo‘ndirmalarning TEG bilan moslik matritsasi

Variant	Qo‘ndir ma	γ : doza $\rightarrow$ natija	H_0 : doza $\rightarrow$ natija	$t_{so'n}$: doza $\rightarrow$ natija	Moslik qarori
C-0	Qo‘ndir masiz 97 mass.% TEG	NR	NR	NR	Nazorat; sonli baza NR [9]
C-I	Korrozi ya ingibitor i*	750 mg/l $\rightarrow$ 31,1 mN/m	1500 mg/l $\rightarrow$ 34 mm	1500 mg/l $\rightarrow$ 7,6 s	Mos emas: ko‘pik kuchaydi [9]
C-A	Ko‘pik ingibitor i (antifoa m)*	750 mg/l $\rightarrow$ 30,1 mN/m	1250 mg/l $\rightarrow$ 28 mm	2000 mg/l $\rightarrow$ 7,8 s	Mos emas: paradoksal ko‘piklanish [9]
C-M	Ingibito r + antifoa m (1:1)*	750 mg/l $\rightarrow$ 29,6 mN/m	1500 mg/l $\rightarrow$ 37 mm	1500 mg/l $\rightarrow$ 7,9 s	Eng noqulay: sinergik ko‘piklanish [9]

γ — gaz–suyuqlik sirt tarangligi; H_0 — maksimal ko‘pik balandligi; $t_{so'n}$ — havo berish to‘xtatilgandan keyingi ko‘pikning so‘nish vaqti; NR — manbada sonli natija hisobot qilinmagan. Bir qatordagi γ , H_0 va $t_{so'n}$ qiymatlari ayrim hollarda turli konsentratsiyalarda olinganligi sababli doza har bir katakda alohida ko‘rsatildi. * Qo‘ndirmalarning savdo va aniq kimyoviy nomlari [9]da ochiqatlanmagan; faqat amino, asil, amid, silan va fenil funksional guruhlar qayd etilgan. Xulosalar [9]dagi 97 mass.% TEG, 50 sikl va ko‘rsatilgan dozalar doirasiga taalluqlidir. Korroziya tezligi va gazni quritish samaradorligi manbada o‘lchanmagan (NR).

Xulosalar



1. Boshlang'ich diagnostika ishlatilgan TEGning haqiqiy ifloslanish va degradatsiya profilini aniqlab, kompozitsiyaning maqsadli funksiyalarini belgilaydi.

2. Gigroskopik modifikator suv yutish bilan birga eruvchanlik, qovushqoqlik, ko'pik va regeneratsiya mezonlari bo'yicha tanlanadi; adabiyotdagi foyda mahalliy tajribada qayta tasdiqlanadi.

3. Ingibitor va antifoamning minimal samarali dozasi alohida va kombinatsiyada baholanib, antagonistik ta'sirlar DoE orqali aniqlanadi.

4. Optimal tarkib matematik optimum bilan cheklanmaydi; mustaqil verifikatsiya, siklli barqarorlik va barcha majburiy sifat chegaralaridan o'tishi kerak.

ADABIYOTLAR

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

2. Hoisater K.K., Buvik V., Vevelstad S.J., Knuutila H.K. Analytical tools for monitoring glycol degradation. Results in Engineering. 2024. Vol. 22. 102025. DOI: 10.1016/j.rineng.2024.102025.

3. Liang H., Huang Q., Li X., Wu Q., Yan H., Meng J. Investigation of the Factors and Mechanisms Affecting the Foaming of Triethylene Glycol in Natural Gas Purification. Processes. 2025. Vol. 13. 1261. DOI: 10.3390/pr13051261.

4. Qvistgaard D., Trancoso J., Solbraa E., Danielsen M.V., Panteli E., Kontogeorgis G.M., von Solms N. Multicomponent Vapor-Liquid Equilibrium Measurements and Modeling of Triethylene Glycol, Water, and Natural Gas Mixtures at 6.0, 9.0 and 12.5 MPa. Fluid Phase Equilibria. 2023. Vol. 565. 113660. DOI: 10.1016/j.fluid.2022.113660.

5. Rasoolzadeh A., Raeissi S., Shariati A., Peters C.J. Experimental Measurement and Thermodynamic Modeling of Methane Solubility in Triethylene Glycol within the Temperature Range of 343.16-444.95 K. Journal of Chemical & Engineering Data. 2020. DOI: 10.1021/acs.jced.0c00198.



6. Lotfi Z., Keshavarz P. High-efficiency water vapor absorption by tri-ethylene glycol combined with methyldiethanolamine. Separation and Purification Technology. 2021. Vol. 270. 118841. DOI: 10.1016/j.seppur.2021.118841.
7. Isa M.A., Eldemerdash U., Nasrifar K. Evaluation of potassium formate as a potential modifier of TEG for high performance natural gas dehydration process. Chemical Engineering Research and Design. 2013. Vol. 91(9). P. 1731-1738. DOI: 10.1016/j.cherd.2013.03.014.
8. Cao S., Liu P., Zhang L., Sun B., Zou H., Chu G., Chen J. Mass Transfer Study of Dehydration by Triethylene Glycol in Rotating Packed Bed for Natural Gas Processing. Industrial & Engineering Chemistry Research. 2018. Vol. 57(15). P. 5394-5400. DOI: 10.1021/acs.iecr.7b04813.
9. Chen W.-C., You X.-G., Liu P., Sun B.-C., Chu G.-W., Zhang L.-L. Enhanced Regeneration of Triethylene Glycol Solution by Rotating Packed Bed for Offshore Natural Gas Dehydration Process: Experimental and Modeling Study. Chemical Engineering and Processing - Process Intensification. 2021. Vol. 168. 108562. DOI: 10.1016/j.cep.2021.108562.