KOMPOZITSION GLIKOLNI QO‘LLASH TEXNOLOGIYASI VA TEXNIK IQTISODIY SAMARADORLIK

Xamrokulova Gulnoza Odiljon qizi
Iqtisodiyot va pedagogika universiteti

Annotatsiya. *Maqolada tabiiy gazni trietilenglikol bilan quritish qurilmasida kompozitsion absorbentni tayyorlash, dozalash, filtrlash, regeneratsiya qilish va qayta aylantirishning yaxlit texnologik yechimi ishlab chiqildi. Taklif etilgan yondashuv TEGning suv yutish qobiliyatini alohida oshirish bilan cheklanmay, ko'piklanish, korroziya, termik-oksidlanish degradatsiyasi, glikol olib ketilishi va reboiler energiyasini bir vaqtda nazorat qiladi. 2021-2025-yillarda e'lon qilingan tajriba ishlari tahlili qo'ndirmalarni moslik sinovisiz birlashtirish xavfli ekanini ko'rsatdi: 50 sikldan keyin korroziya ingibitori va ko'pik so'ndirgichning 1:1 aralashmasida ko'pik balandligi 37 mm va so'nish vaqti 7,9 s bo'lgan. Namunaviy sanoat ssenariysida TEG sirkulyatsiyasini 10 %, reboiler energiyasini 8 % va make-up sarfini 15 % kamaytirish natijasida yillik sof samara 148,3 mln so'm, kapital qo'yilmaning oddiy qoplanish muddati 1,65 yil deb hisoblandi. Qiymatlar korxona dalolatnomasi emas, aniq ko'rsatilgan hisobiy shartlar asosidagi texnik-iqtisodiy ssenariydir.*

Kalit so'zlar: *tabiiy gaz, trietilenglikol, kompozitsion glikol, absorbsiya, regeneratsiya, ko'piklanish, korroziya, energiya sarfi, texnik-iqtisodiy samaradorlik.*

Аннотация. *Разработана технологическая схема приготовления, дозирования, фильтрации, регенерации и циркуляции композиционного абсорбента на основе ТЭГ. Решение объединяет контроль влаги, пенообразования, коррозии, деградации, уноса гликоля и тепловой нагрузки ребойлера. Анализ реальных 50-цикловых испытаний показал необходимость проверки совместимости присадок. Для расчетного промышленного сценария получен чистый годовой эффект 148,3 млн сум и простой срок окупаемости 1,65 года. Экономические показатели являются результатом сценарного расчета, а не производственным актом.*

Ключевые слова: *природный газ, триэтиленгликоль, композиционный абсорбент, регенерация, пенообразование, коррозия, экономическая эффективность.*

Abstract. *An integrated technology is proposed for preparation, dosing, filtration, regeneration and recycle of a TEG-based composite absorbent. The approach jointly controls water removal, foaming, corrosion, degradation, glycol carryover and reboiler duty. Published 50-cycle tests demonstrate that additives must be screened for compatibility. Under an explicitly defined industrial calculation scenario, the annual net benefit is 148.3 million UZS and the simple payback period is 1.65 years. These economic figures are scenario estimates rather than plant-certified results.*

Keywords: *natural gas, triethylene glycol, composite glycol, absorption, regeneration, foaming, corrosion, techno-economic efficiency.*

Kirish

Tabiiy gaz tarkibidagi suv bug'i gidrat hosil bo'lishi, quvurlarda korroziya va mahsulot spetsifikatsiyasining buzilishiga olib keladi. TEG bilan absorbsiya uzluksiz ishlashi, glikolning past uchuvchanligi va eritmani qayta regeneratsiya qilish imkoniyati sababli sanoatda keng qo'llanadi. Jarayon samaradorligi esa faqat quruq gazning shudring nuqtasi bilan belgilanmaydi. Boy TEGga uglevodorodlar va tuzlarning o'tishi, havo kirishi, reboilerda mahalliy qizib ketish, ko'pik va filtrning to'yinishi sirkulyatsiya sarfi hamda glikol yo'qotilishini oshiradi [1-4].

Qashshoq TEG konsentratsiyasini oshirish odatda gazdan ko'proq suv ajratishga yordam beradi, lekin regeneratsiya haroratini nazoratsiz ko'tarish oksidlanish va termik parchalanishni tezlashtiradi. Yuqori qovushqoqlik massa uzatish qarshiligini va nasos yukini oshiradi; ko'pik esa absorberning foydali kontakt balandligini kamaytirib, glikolning gaz bilan olib ketilishiga sharoit yaratadi. Shuning uchun kompozitsion absorbentning haqiqiy foydasi laboratoriyadagi gigroskopiklik bilan emas, butun absorber-regenerator siklining barqarorligi bilan baholanishi lozim.

Mavjud tadqiqotlarda TEG-suv-gaz fazaviy muvozanati, regeneratsiyani intensivlashtirish, MDEA bilan suv yutilishini kuchaytirish, ko'pik va degradatsiya diagnostikasi alohida yo'nalishlarda o'rganilgan [1-6]. Biroq funksional qo'ndirmalarni dozalash, ularning o'zaro mosligi va natijani pul oqimiga aylantirish bir xil mezonlar tizimida kam yoritilgan. Mazkur ishning vazifasi shu bo'shliqni to'ldirib, texnologik xavfsizlik cheklovlari bajarilgandagina iqtisodiy optimumni qabul qiladigan bosqichli yondashuvni taklif etishdan iborat.

1. Tadqiqotning maqsadi va metodikasi

Tadqiqot maqsadi kompozitsion TEGni amaldagi absorber-regenerator konturiga xavfsiz kiritish algoritmini ishlab chiqish va uning texnik-iqtisodiy samarasini hisobiy ssenariyda baholashdan iborat. Metodika uch dalil qatlamini birlashtirdi: 2021-2025-

yillardagi tajriba va modellashtirish ishlari tahlili; massa-issiqlik balansiga tayangan texnologik hisob; kapital va operatsion pul oqimlari bo'yicha iqtisodiy baholash. TEG-suv-gaz muvozanatining bosimga bog'liqligi Qvistgaard va hammualliflarning 6,0; 9,0 va 12,5 MPa dagi o'lchovlari bilan, degradatsiya mexanizmi Høisæter va hammualliflarning oksidlanish tajribalari bilan asoslandi [1-3].

Kompozitsiya bitta qat'iy retsept sifatida emas, balki diagnostika natijasiga bog'liq boshqariladigan tizim sifatida qaraldi. Bazaviy TEGdagi suv miqdori Karl Fischer usulida, kislota soni titrlash bilan, MEG/DEG va organik kislotalar xromatografiya bilan, ko'pik esa 50 ± 0,5 °C da balandlik va to'liq so'nish vaqti bo'yicha aniqlanishi kerak. Korroziya kuponlari, differensial bosim, qashshoq TEG sarfi va reboiler yoqilg'i sarfi bir xil vaqt oralig'ida qayd qilinadi. Har qanday gigroskopik modifikator, ingibitor va ko'pik so'ndirgich avval alohida, keyin kombinatsiyada 5, 10, 25 va 50 absorbsiya-regeneratsiya siklida tekshiriladi.

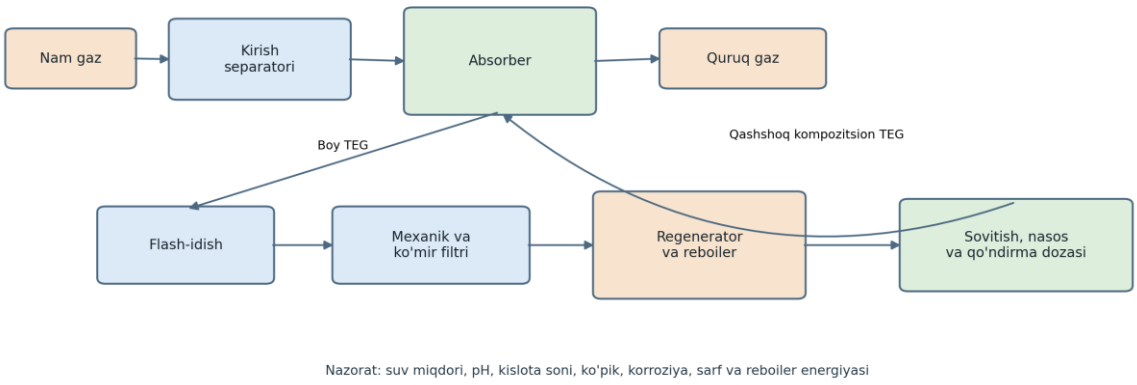
Texnik mezon quruq gaz suv spetsifikatsiyasiga mosligi saqlangan holda TEG sirkulyatsiyasi, energiya, glikol make-up va to'xtashlarning kamayishidan tuzildi. Iqtisodiy hisobda yillik sof samara quyidagicha topildi:

$$S_\gamma = S_e + S_{te}g + S_D + S_m - Cq - Cn, \qquad (1)$$

bu yerda S_e - energiya tejalishi; $S_{te}g$ - make-up kamayishi; S_D - rejasiz to'xtashlarning qisqarishi; S_m - filtr va chiqindi xarajatlarining kamayishi; Cq - qo'ndirma xarajati; Cn - qo'shimcha nazorat va xizmat xarajati. Oddiy qoplanish muddati $Tq = K/S_\gamma$, besh yillik sof joriy qiymat esa $NPV = \Sigma[S_\gamma/(1+r)^t] - K$ formulalari bilan hisoblandi. Diskont stavkasi r = 12 % deb qabul qilindi.

2. Kompozitsion glikolni qo‘llashning texnologik konsepsiyasi

1-rasm. Kompozitsion TEGni absorber-regenerator konturida qo‘llash sxemasi



Sxemada nam gaz avval tomchi va qattiq aralashmalardan ajratiladi, absorberda qashshoq kompozitsion TEG bilan qarama-qarshi oqimda kontaktlanadi. Boy glikol flash-idishda bosimini pasaytirib erigan gazlarning asosiy qismini chiqaradi, mexanik va faol ko'mir filtrlaridan o'tadi, so'ng boy-qashshoq TEG issiqlik almashtirgichi orqali regeneratorga beriladi. Regeneratsiyadan keyin eritma sovitiladi; qo'ndirma faqat nazorat tahliliga muvofiq qashshoq TEG liniyasiga dozalanadi. Shu joylashuv reboilerda qo'ndirma konsentratsiyasining nazoratsiz to'planishi va termik parchalanish xavfini kamaytiradi.

Modifikator kiritilishidan oldin aylanma TEG inventari va uning haqiqiy suv ulushi aniqlanadi. Bir martalik boshlang'ich doza inventar massasiga, keyingi make-up dozasi esa yo'qotilgan TEG va qo'ndirma balansiga nisbatan hisoblanadi. Qo'ndirma konsentratsiyasini faqat nasos sarfi bo'yicha nazorat qilish yetarli emas: bug'lanish, filtrda adsorbsiya va reboilerda parchalanish sabab faol komponentning eritmadagi qoldiq miqdori davriy tahlil qilinadi.

Absorber uchun suv balansi $m_s = Qg(Ykir - Ychiq)$, minimal TEG sirkulyatsiyasi esa tajribada aniqlangan ishchi yuklanish ΔW bo'yicha $L = m_s/\Delta W$ munosabatidan baholanadi. Kompozitsion rejimda L qiymatini pasaytirish faqat chiqish gazining suv miqdori, absorber ΔP si va glikol olib ketilishi bazaviy rejimdan yomonlashmaganda ruxsat etiladi. Bu qoida energiya tejashni mahsulot sifati hisobiga olishning oldini oladi.

3. Adabiyotdagi real siklli tajribalar tahlili

Liang va hammualliflar 97 mass.% TEG namunalarini 200 °C da 10 minutdan qizdirib, har sikldan keyin 50 °C gacha sovitgan va jarayonni 50 marta takrorlagan [4]. Ko'pik balandligi, uning to'liq so'nish vaqti va gaz-suyuqlik sirtlararo tarangligi 50-sikl tugagach o'lchangan. Ushbu ish kompozitsion glikol texnologiyasi uchun muhim amaliy xulosani beradi: nomi 'ko'pik so'ndirgich' bo'lgan reagent ham ko'p komponentli TEG muhitida boshqa qo'ndirma bilan sinergik emas, balki antagonistik ta'sir ko'rsatishi mumkin.

1-jadval. 50 sikldan keyingi TEG ko‘piklanishi bo‘yicha nashr etilgan tajriba natijalari [4]

Namuna va konsentratsiya	Ko‘pik balandligi H_0, mm	To‘liq so‘nish vaqti, s	Sirtlar aro taranglik, mN/m
Korroziya ingibitori, 1500 mg/l	34,0	7,6	31,1*

Namuna va konsentratsiya	Ko‘pik balandligi H_0, mm	To‘liq so‘nish vaqti, s	Sirtlar aro taranglik, mN/m
Ko‘pik so‘ndirgich, 1250/2000 mg/l	28,0	7,8	30,1*
Ingibitor + so‘ndirgich 1:1, 1500 mg/l	37,0	7,9	29,6*
Yengil + og‘ir uglevodorod 4:1, 3000 mg/l	1,48	14,8	38,6
MDEA, 2000 mg/l	2,4	14,0	34,3**

Izoh: * sirtlararo taranglik 750 mg/l da; ** MDEA uchun sirtlararo taranglik 1500 mg/l da o'lchangan. Ko'pik so'ndirgichda H_0 maksimumi 1250 mg/l, so'nish vaqti maksimumi 2000 mg/l da qayd etilgan. Manbada 0, 1, 5, 10 va 25-sikllar uchun alohida sonli qiymatlar berilmagan; shu sababli ular interpolatsiya qilinmadi.

Ingibitor va so'ndirgichning 1:1 aralashmasida H_0 = 37 mm bo'lishi alohida reagentlar natijasidan ham yuqori. Bu sirt faol moddalar TEG-gaz chegarasida birgalikda to'planib, yupqa plyonkani barqarorlashtirganini ko'rsatadi. Uglevodorod aralashmasida boshlang'ich ko'pik past bo'lsa-da, 14,8 s so'nish vaqti drenajning sekinlashganini bildiradi. Demak, texnologik qabul mezoni faqat ko'pikning maksimal balandligi emas, balandlik-so'nish vaqti juftligi bo'lishi kerak.

Høisæter va hammualliflar TEG oksidlanishida MEG, DEG, chumoli, sirka va glikol kislotalari, formaldegid, atsetaldegid hamda yuqori glikollar hosil bo'lishini ko'rsatgan [2]. Keyingi ishda bitta rang yoki pH ko'rsatkichi degradatsiyani to'liq ifodalamasligi, titrlash, xromatografiya va spektroskopiyani birlashtirish zarurligi asoslangan [3]. Shu sababli kompozitsiyani sanoatga joriy etishdan oldin qo'ndirma suv yutishni yaxshilasa ham kislota soni, karbonil signali, korroziya va ko'pik mezonlaridan birortasini yomonlashtirmasligi talab qilinadi.

Lotfi va Keshavarz MDEA qo'shilishi TEGning suv bug'ini yutish qobiliyatini oshirishi mumkinligini ko'rsatgan [5]. Biroq 1-jadvaldagi MDEA natijasi uning ko'pikning to'liq so'nish vaqtini uzaytirishi mumkinligini bildiradi. Shuning uchun MDEA yoki boshqa gigroskopik modifikator bo'yicha laboratoriya optimumi absorber massauzatishi, regenerator issiqlik yuklamasi va siklli barqarorlik bilan qayta tekshirilishi lozim.

Natijalarni texnologik talqin qilishda ko'pik balandligi va so'nish vaqti bilan birga sirtlararo taranglik trendi kuzatiladi. Past taranglik odatda pufak hosil bo'lishini osonlashtiradi, ammo ko'pikning yakuniy barqarorligi plyonka qovushqoqligi, sirt faol komponentlarning adsorbsiyasi, qattiq zarrachalar va uglevodorodlarga ham bog'liq. Shu sababli bitta γ qiymatidan sanoatdagi ko'pik xavfini to'g'ridan-to'g'ri bashorat qilish mumkin emas.

Siklli sinov uchun boshlang'ich, 1-, 5-, 10-, 25- va 50-sikl namunalarida suv miqdori, kislota soni, degradatsiya indeksi, H_0/t_s, korroziya va massa yo'qotilishi bir xil metodika bilan aniqlanishi tavsiya etiladi. 50-siklda yaxshi ko'ringan, lekin 5-10-siklda cho'kma yoki tez kislotalanish bergan tarkib sanoat uchun maqbul emas. Natijalar kamida uch parallel tajribada o'rtacha qiymat, standart og'ish va 95 % ishonch oralig'i bilan berilishi kerak.

Shunday qilib, maqbul kompozitsiya qo'shimcha suv yutish bilan birga ko'pik va korroziyani bazaviy TEGdan oshirmaydigan, regenerator haroratida parchalanmaydigan hamda filtr bilan qaytarilmas yo'qotishga uchramaydigan tarkibdir. Ushbu ko'p mezonli qabul mezoni maqolaning keyingi texnologik va iqtisodiy hisoblariga asos bo'ldi.

4. Texnologik rejim va boshqaruv algoritmi

Taklif etilgan texnologiya mavjud TEG qurilmasini to'liq almashtirmaydi; u tayyorlash-dozalash moduli, qo'shimcha nazorat va filtratsiya rejimini joriy konturga qo'shadi. Qashshoq TEGning maqsadli konsentratsiyasi gaz tarkibi va talab etilgan shudring nuqtasidan kelib chiqib belgilanadi. Reboiler harorati TEGning termik barqarorlik chegarasidan oshirilmaydi; yuqori konsentratsiya zarur bo'lsa, stripping gazi, vakuum yoki intensiv massa uzatish apparati ko'rib chiqiladi. Aylanma qo'ndirmali qurilmada TEG regeneratsiyasini kuchaytirish imkoniyati tajribaviy va modellashtirish orqali tasdiqlangan [6], pilot termosifonli yupqa plyonkali qurilmada esa energetik intensivlashgan glikol qaytarish rejimi sinovdan o'tkazilgan [10].

2-jadval. Kompozitsion TEGni joriy etishning operatsion xaritasi

B osqich	Operatsiya	Nazorat ko‘rsatkichi	Qabul mezoni
1	Boshlang‘ich diagnostika	Suv, pH, kislota soni, ko‘pik, qattiq faza	Bazaviy qiymat qayd etiladi
2	Alohida qo‘ndirmalarni skrining	Suv yutish, qovushqoqlik, H_0 va t_s	Bazaviy TEGdan yomon emas

B osqich	Operatsiya	Nazorat ko‘rsatkichi	Qabul mezoni
3	Komponentlar mosligi	5-50 siklda ko‘pik, DI va korroziya	Majburiy xavfsizlik chegarasi buzilmaydi
4	Pilot dozalash	Quruq gaz suvi, ΔP, TEG sarfi	Mahsulot spetsifikatsiyasi barqaror
5	Regeneratsiya va filtratsiya	Reboiler energiyasi, rang, kislotalilik	Trend nazorat chegarasida
6	Iqtisodiy verifikatsiya	TEG, energiya, to‘xtash va reagent xarajati	Musbat NPV va maqbul Tq

Kompozitsiya uchun doza 'qancha ko'p bo'lsa, shuncha yaxshi' tamoyili bilan emas, minimal samarali doza bo'yicha tanlanadi. Dastlab idishdagi TEGdan vakillik namuna olinadi. Qo'ndirma kichik sirkulyatsion konturda aralashtiriladi, eruvchanlik va cho'kma hosil bo'lishi tekshiriladi; so'ng qashshoq TEG oqimiga kalibrlangan nasos bilan uzatiladi. Har doza o'zgarishidan keyin kamida uch marta takroriy namuna olinib, gazning chiqish namligi va ko'pik trendi barqarorlashmaguncha navbatdagi bosqichga o'tilmaydi.

Jarayonning asosiy xavfsizlik blokirovkalari: absorberda yuqori sath; filtrda yuqori differensial bosim; reboilerda yuqori harorat; qashshoq TEG nasosi sarfining pasayishi va flash-idishda ortiqcha bosim. Nazorat algoritmi yuqori ko'pik yoki ΔP aniqlansa qo'ndirma berishni to'xtatib, bazaviy TEG rejimiga qaytishni ta'minlashi kerak. Bunday qaytuvchan joriy etish sanoat sinovining texnik tavakkalini kamaytiradi.

5. Texnik-iqtisodiy baholash shartlari

Hisobiy ssenariyda qurilma yiliga 7920 soat ishlaydi. Bazaviy TEG sirkulyatsiyasi 18,0 m³/soat, reboiler issiqlik sarfi 1,60 GJ/soat va TEG make-up 12 t/yil deb qabul qilindi. Kompozitsion rejimda bir xil quruq gaz sifati saqlangan holda sirkulyatsiya 10 %, issiqlik sarfi 8 % va make-up 15 % kamayadi degan tekshiriladigan maqsad qo'yildi. Issiqlik narxi 80 ming so'm/GJ, TEG narxi 24 mln so'm/t deb olindi. Ushbu narxlar korxona shartnomasi emas; amaliy hisobda ular joriy tijorat takliflari bilan almashtiriladi.

Kapital qo'yilmaga qo'ndirma tayyorlash idishi, aralashtirgich, kalibrlangan dozalash nasosi, qo'shimcha filtr, sarf o'lchagich va laboratoriya nazoratini moslashtirish xarajatlari kiritildi. Operatsion xarajat qo'ndirma, tahlil, nasos elektr energiyasi va xizmatdan tuzildi. Foyda esa faqat to'g'ridan-to'g'ri tejash bo'yicha

hisoblandi; mahsulot sifati buzilishi xavfining kamayishi yoki ekologik jarimalar kabi baholash qiyin bo'lgan foydalar bazaviy hisobga kiritilmadi.

Taqqoslashning to'g'riligi uchun bazaviy va kompozitsion davrlar gaz sarfi, kirish namligi, bosim va harorat bo'yicha normallashtiriladi. Yillik tejash kuzatilgan mutlaq farqdan emas, bir million Nm^3 qayta ishlangan gazga to'g'ri keluvchi solishtirma TEG hamda energiya sarfi farqidan aniqlanadi. Rejasiz to'xtash foydasi faqat operator jurnali, signal tarixi va ishlab chiqarish yo'qotishi bilan tasdiqlanganda pul oqimiga kiritiladi.

6. Hisob natijalari va muhokama

3-jadval. Namunaviy sanoat ssenariysining texnik-iqtisodiy natijalari

Ko‘rsatkich	Hisoblash asosi	Yillik samara, mln so‘m
Reboiler energiyasi tejalishi	1,60 × 7920 × 0,08 = 1013,8 GJ	81,1
TEG make-up tejalishi	12 × 0,15 = 1,8 t	43,2
To‘xtashlar qisqarishi	Ko‘pik va korroziya hodisalari ssenariysi	60,0
Filtr va chiqindi xarajati	Xizmat oralig‘i uzayishi ssenariysi	12,0
Yalpi yillik tejash	Yuqoridagi bandlar yig‘indisi	196,3
Qo‘ndirma va nazorat xarajati	30,0 + 12,0 + 6,0	−48,0
Sof yillik samara S_γ	196,3 − 48,0	148,3
Kapital qo‘yilma K	Idish, nasos, filtr va asboblar	245,0
Oddiy qoplanish muddati	245,0 / 148,3	1,65 yil
5 yillik NPV, r = 12 %	148,3 × 3,6048 − 245,0	289,6

Hisob natijasiga ko'ra eng katta pul oqimi reboiler energiyasi va rejasiz to'xtashlarning qisqarishidan shakllanadi. Biroq bu ikki band eng noaniq omillardir. Sof samara 100 mln so'm/yilgacha pasaysa qoplanish 2,45 yilga uzayadi; 200 mln so'm/yilga yetsa 1,23 yilga qisqaradi. Demak, joriy etish qarorini laboratoriya ko'pik sinovi emas, kamida 30-90 kunlik bazaviy va kompozitsion pilot davrlarning bir xil gaz yuklamasida o'lchangan energiya, make-up va to'xtash ma'lumotlari belgilashi kerak.

Liu va hammualliflar takomillashtirilgan TEG qurilmasini texnik, iqtisodiy va ekologik mezonlarda birgalikda baholagan [7]. Mukherjee va Diwekar esa jarayon

noaniqligi hamda BTEX emissiyasi mavjudligida bitta maqsadli optimum yetarli emasligini ko'rsatgan [8, 9]. Ushbu maqoladagi yondashuv mazkur tamoyilni kompozitsion absorbentga ko'chiradi: quruq gaz sifati majburiy cheklov, iqtisodiy minimum esa faqat ko'pik, korroziya va degradatsiya bo'yicha xavfsizlik chegaralari bajarilganda qabul qilinadi.

Xulosa

Kompozitsion TEGni qo'llash texnologiyasi tayyorlash va dozalash moduli, flash-ajratish, ikki bosqichli filtratsiya, issiqlik integratsiyasi, ehtiyotkor regeneratsiya hamda holat bo'yicha analitik nazoratdan iborat yaxlit kontur sifatida ishlab chiqildi. Real 50-siklli tajribalar qo'ndirmalar mosligini tekshirmasdan ingibitor va ko'pik so'ndirgichni birlashtirish ko'pik balandligini 37 mm gacha oshirishi mumkinligini ko'rsatdi. Shu sababli texnologiyaning asosiy ilmiy yangiligi qo'ndirma tanlashni suv yutish, ko'pik, degradatsiya, korroziya va energiya mezonlari bilan bog'laydigan bosqichli qabul algoritmidir. Hisobiy ssenariyda sof yillik samara 148,3 mln so'm, oddiy qoplanish 1,65 yil va besh yillik NPV 289,6 mln so'mni tashkil etdi. Sanoat bo'yicha yakuniy xulosa bazaviy va tajriba davrlarining o'lchangan pul oqimlari bilan verifikatsiya qilingandan keyin beriladi.

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. Høisæter 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.

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

4. 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;13:1261. DOI: 10.3390/pr13051261.

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

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

7. 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.

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

9. Mukherjee R., Diwekar U.M. Multi-objective optimization of the TEG dehydration process for BTEX emission mitigation. ACS Sustainable Chemistry & Engineering. 2021;9:1213-1228. DOI: 10.1021/acssuschemeng.0c06951.

10. Peruzzo T., Battisti R., Alves J.L.F. va boshq. Triethylene glycol recovery by an energetically intensified thermosyphon-assisted falling film distillation unit. Chemical Engineering and Processing. 2022;176:108970. DOI: 10.1016/j.cep.2022.108970.