



TABIIY GAZNI AMINLI TOZALASH JARAYONINING TEXNOLOGIK MOHIYATI

Xolturayeva Inoyat Nurmamat qizi

Qarshi davlat universiteti

Annotatsiya. *Ushbu maqolada tabiiy gaz tarkibidagi vodorod sulfid (H_2S), karbonat angidrid (CO_2) va qisman boshqa kislotali komponentlarni suvli alkanolamin eritmaları yordamida ajratish jarayonining fizik-kimyoviy hamda texnologik mohiyati tizimli tahlil qilindi. Absorber-regenerator konturida massa almashinuvi, qaytar kimyoviy reaksiyalar, boy va ishlatilgan amin oqimlarining issiqlik integratsiyasi, eritmani filtrlash va operativ nazorat bosqichlari o'zaro bog'liq holda ko'rib chiqildi. MEA, DEA va MDEA eritmalarining reaktivligi, selektivligi va regeneratsiya energiyasi jihatidan farqlari yoritildi. MDEAning H_2S bo'yicha yuqori selektivligi, past bug' bosimi va nisbatan kichik issiqlik sarfi tabiiy gazni chuqur tozalashda muhim ustunlik ekani ko'rsatildi. Adabiyot ma'lumotlari, moddiy balans va texnologik mezonlarga tayangan holda absorber harorati, bosimi, amin konsentratsiyasi, kislotali gaz yuklanishi hamda regenerator rejimining jarayon samaradorligiga ta'siri baholandi. Natijada aminli tozalash samaradorligi faqat erituvchining kimyoviy xossalriga emas, balki gaz-suyuqlik kontaktining sifati, issiqlik almashinuvi, ko'piklanish, korroziya, mexanik va erigan iflosliklarning boshqarilishiga ham bog'liqligi asoslandi.*

Kalit so'zlar: *tabiiy gaz, aminli tozalash, MDEA, H_2S , CO_2 , absorbsiyalash, desorbsiya, regenerator, kislotali gaz, massa almashinuvi, korroziya.*

KIRISH

Tabiiy gazni magistral uzatish, kriogen qayta ishlash, suyultirish yoki kimyoviy sintezga yo'naltirishdan oldin uning tarkibidagi H_2S va CO_2 miqdorini me'yoriy darajagacha kamaytirish zarur. H_2S o'ta zaharli va korrozion faol komponent bo'lsa, CO_2 gazning issiqlik berish qobiliyatini pasaytiradi, suv



ishtirokida uglerod kislotasi hosil qiladi hamda past haroratli jarayonlarda muz yoki qattiq faza paydo bo'lish xavfini oshiradi [1].

Sanoatda kislotali gazlarni ajratish uchun fizik absorbsiya, adsorbsiya, membranali ajratish va kimyoviy absorbsiya usullari qo'llanadi. Bosim, kislotali komponentlarning parsial bosimi va mahsulot sifatiga qo'yiladigan talablar hisobga olinganda, suvli alkanolamin eritmalari bilan kimyoviy absorbsiya eng ko'p qo'llanadigan va texnologik jihatdan puxta o'zlashtirilgan usullardan biridir [2]. Jarayonning asosiy afzalligi – H_2S va CO_2 ni qaytar reaksiyalar orqali bog'lash, so'ng eritmani qizdirish va bosimni pasaytirish orqali regeneratsiya qilib, absorbentni yopiq siklda qayta ishlatish imkoniyatidir.

Birlamchi amin – monoetanolamin (MEA) CO_2 bilan tez reaksiyaga kirishadi va chuqur tozalashni ta'minlaydi, biroq uning regeneratsiyasi ko'proq issiqlik talab qiladi, korroziya va degradatsiyaga moyilligi yuqoriroq. Ikkilamchi amin – dietanolamin (DEA) oraliq xossalarga ega. Uchlamchi amin – metildietanolamin (MDEA) CO_2 bilan to'g'ridan-to'g'ri karbamat hosil qilmaydi; u CO_2 gidratatsiyasi natijasida bikarbonat hosil bo'lishini katalizlaydi. Shu sababli CO_2 yutilish tezligi MEAg nisbatan pastroq, ammo H_2S bilan proton almashinuvi juda tez kechadi. Bu holat MDEAni H_2S ni CO_2 ishtirokida selektiv ajratish, amin yo'qotilishini va qaynatgichdagi issiqlik sarfini kamaytirish uchun qulay qiladi [3].

Texnologik nuqtai nazardan aminli qurilma alohida apparatlar yig'indisi emas, balki massa almashinuvi, gidravlika, issiqlik uzatish va eritma sifatini boshqarish bir-birini belgilaydigan yagona konturdir. Xom gazning bosimi va harorati, H_2S/CO_2 nisbati, uglevodorod kondensati va mexanik aralashmalar miqdori absorberning yuklanishini belgilaydi. Kambag'al aminning konsentratsiyasi, harorati va qoldiq kislotali gaz yuklanishi esa tozalangan gaz sifatiga to'g'ridan-to'g'ri ta'sir ko'rsatadi. Boy aminning regeneratordagi desorbsiyasi yetarli bo'lmasa, aylanma eritmaning faol sig'imi kamayadi va gaz sifatining barqarorligi buziladi [4].

Maqolaning maqsadi tabiiy gazni aminli tozalash jarayonining kimyoviy, massa almashinish va apparat-texnologik asoslarini bir butun tizim sifatida ochib



berish, MDEA asosidagi kontur uchun boshqaruvchi omillarni ajratish hamda energiya sarfi va ekspluatatsion ishonchlilikni uyg'unlashtiruvchi tavsiyalarni shakllantirishdan iborat.

Tadqiqot vazifalari: aminlar bilan H_2S va CO_2 yutilish reaksiyalarini tahlil qilish; absorber-regenerator konturining funksional bog'lanishlarini aniqlash; asosiy rejim parametrlarining ajratish samaradorligiga ta'sirini baholash; korroziya, ko'piklanish va degradatsiyani kamaytirishga qaratilgan texnologik choralarni umumlashtirish.

TADQIQOT USULI

Tadqiqot adabiy-manbaviy, hisobiy-analitik va tizimli texnologik tahlil usullariga asoslandi. Alkanolaminli absorbsiya bo'yicha fundamental va amaliy manbalardagi fazaviy muvozanat, reaksiya kinetikasi, eritma zichligi-viskoziteti, degradatsiya va sanoat ekspluatatsiyasi haqidagi ma'lumotlar qiyoslandi [5]. Ko'rib chiqilgan tizim chegarasi xom gaz separatoridan boshlab absorber, boy/kambag'al amin issiqlik almashtirgichi, flesh-idish, regenerator, qaynatgich, kondensator, nasos va filtrlash blokigacha bo'lgan yopiq siklni qamrab oldi.

Kislotali komponent bo'yicha ajratish samaradorligi quyidagi ifoda bilan baholandi:

$$\eta_i = [(y_{i,in} - y_{i,out}) / y_{i,in}] \cdot 100 \%,$$

bu yerda $y_{i,in}$ va $y_{i,out}$ – i-komponentning mos ravishda absorberga kirish va undan chiqishdagi mol ulushi. Absorbentning ishchi sig'imi boy va kambag'al eritmalaridagi kislotali gaz yuklanishlari farqi bilan ifodalandi:

$$\Delta\alpha = \alpha_{boy} - \alpha_{kambag'al}, \text{ mol kislotali gaz / mol amin.}$$

Amin eritmasining zarur aylanma sarfi soddalashtirilgan moddiy balans orqali aniqlandi:

$$L_a = G \cdot (Y_{in} - Y_{out}) / (C_a \cdot \Delta\alpha),$$

bu yerda L_a – amin eritmasi sarfi; G – quruq gazning mol sarfi; Y_{in} va Y_{out} – gaz fazadagi kislotali komponentning mol nisbatlari; C_a – eritmadagi faol aminning molyar konsentratsiyasi. Ifoda shuni ko'rsatadiki, regeneratsiya chuqurligi ortib $\Delta\alpha$

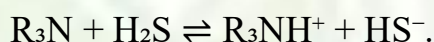


kattalashsa, bir xil tozalash vazifasi uchun eritma sarfi kamayadi. Biroq haddan tashqari chuqur regeneratsiya qaynatgich bug'i sarfini oshiradi; shu bois optimum energiya va mahsulot sifati bo'yicha topiladi.

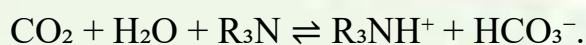
Texnologik baholash mezonlari sifatida tozalangan gazdagi H_2S va CO_2 qoldiq miqdori, aminning boy/kambag'al yuklanishi, eritma aylanma sarfi, absorberdagi bosim yo'qotilishi, regenerator qaynatgichi issiqlik yuklamasi, suv balansi, ko'piklanish tendensiyasi, korroziya tezligi va issiqlik barqaror tuzlar miqdori qabul qilindi. Gaz tarkibini xromatografik va oltingugurtli birikmalarni potensiometrlik aniqlash standartlari ham hisobga olindi [6]. Natijalar aniq bir korxona tajribasi sifatida emas, loyiha va ekspluatatsiya uchun adabiyotlarga tayangan muhandislik diapazonlari sifatida talqin qilindi.

NATIJALAR VA ULARNING MUHOKAMASI

Aminli tozalashning birinchi mohiyati – gaz fazadagi kislotali komponentning suyuqlik fazaga o'tishi va u yerda qaytar kimyoviy bog'lanishidir. H_2S suvda dissotsilanib, aminning asosiy markazini protonlaydi:



CO_2 uchun suvli muhitda umumiy yo'l bikarbonat hosil bo'lishi bilan ifodalanadi:



Birlamchi va ikkilamchi aminlarda esa karbamat hosil bo'lishi ham muhim:



MDEA uchlamchi amin bo'lgani uchun barqaror karbamat bermaydi. Natijada uning nazariy CO_2 sig'imi yuqoriroq bo'lishi mumkin, regeneratsiyada kimyoviy bog'ni uzish uchun sarflanadigan energiya esa nisbatan kamayadi. Shu bilan birga, CO_2 ning suyuq fazadagi reaksiyasi gidratatsiya bosqichi bilan cheklangani sababli massa almashinish yuzasi va kontakt vaqti MDEA tizimida alohida ahamiyatga ega. Tezlikni oshirish zarur bo'lsa, MDEAgga piperazin yoki tezkor amin qo'shilgan aktivlangan eritmalar qo'llanadi [5, 6].



Ikkinchi mohiyat – qarama-qarshi oqimli massa almashinuvidir. Absorberning pastki qismidan xom gaz, yuqorisidan kambag'al amin beriladi. Kolonna bo'ylab yuqoriga ko'tarilgan gazda kislotali komponentlar kamayib boradi; pastga oqayotgan eritmaning yuklanishi esa ortadi. Yuqori bosim va pastroq harorat absorbsiya uchun termodinamik jihatdan qulay. Lekin harorat juda pasaysa uglevodorod kondensatsiyasi, viskozitetning ortishi va gidrat xavfi kuchayishi mumkin. Kambag'al amin harorati odatda xom gazning shudring nuqtasi va og'ir uglevodorodlar kondensatsiyasi hisobga olingan holda tanlanadi.

Uchinchi mohiyat – yutilgan komponentlarni eritmada ajratib, aminni qayta tiklashdir. Boy amin bosimi pasaytirilganda flesh-gaz va erigan yengil uglevodorodlarning bir qismi ajraladi. So'ng boy eritma issiqlik almashtirgichda kambag'al amin hisobiga qizdiriladi va regeneratoring yuqori qismiga yuboriladi. Past bosim, qaynatgichdan beriladigan issiqlik va suv bug'ining stripping ta'siri muvozanatni desorbsiya tomonga siljitadi. Regenerator tubidan olingan kambag'al amin issiqligini boy oqimga beradi, sovitiladi va nasos orqali absorberga qaytariladi.

Tizimli tahlil natijasida jarayon samaradorligini belgilovchi asosiy parametrlar va ularning texnologik ta'siri 1-jadvalda umumlashtirildi. Keltirilgan diapazonlar MDEA qo'llanadigan ko'plab sanoat sxemalari uchun boshlang'ich muhandislik yo'riqnomasi bo'lib, xom gaz tarkibi, mahsulot spetsifikatsiyasi va litsenziar talablariga ko'ra aniqlashtirilishi lozim.

1-jadval. Aminli tozalash konturining boshqaruvchi omillari

Ko'rsatkich	Muhandislik oralig'i	Jarayondagi roli
MDEA konsentratsiyasi	30–50 massa %	Sig'im va aylanma sarfni belgilaydi; yuqori konsentratsiyada viskozitet va korroziya nazorati kuchaytiriladi.
Absorber harorati	odatda 35–55 °C	Pastroq harorat eruvchanlikni oshiradi; kondensatsiya va



Ko'rsatkich	Muhandislik oralig'i	Jarayondagi roli
		ko'piklanish xavfi cheklov bo'ladi.
Absorber bosimi	kon bosimiga yaqin, ko'pincha 2–10 MPa	Kislotali gaz parsial bosimini va massa o'tishning harakatlantiruvchi kuchini oshiradi.
Boy/kambag'al yuklanish	loyiha bo'yicha nazorat qilinadi	$\Delta\alpha$ kattalashishi eritma sarfini kamaytiradi, ammo regeneratsiya chuqurligi energiya talab qiladi.
Regenerator tubi	taxminan 115–125 °C	Desorbsiyani ta'minlaydi; ortiqcha harorat degradatsiya va korroziyani tezlashtiradi.
Filtrlash va karbon	uzluksiz yon oqim	Qattiq zarrachalar, degradatsiya mahsulotlari va ko'pik hosil qiluvchilarni kamaytiradi.

Jadvaldan ko'rinadiki, bosimni yoki amin konsentratsiyasini alohida oshirish doimo eng yaxshi yechim emas. Masalan, konsentratsiya ortishi eritmaning faol modda miqdorini ko'paytiradi, biroq viskozitet oshishi plyonka bo'yicha massa o'tishini sekinlashtirishi mumkin [7]. Xuddi shuningdek, regeneratorga ortiqcha bug' berish kambag'al amin yuklanishini kamaytiradi, lekin suv yo'qotilishi, bug' sarfi va termik degradatsiya xavfini oshiradi. Shuning uchun optimal rejim mahsulot sifati, issiqlik sarfi va eritma barqarorligining birgalikdagi mezoni bilan aniqlanishi kerak.

Absorber samaradorligini gaz va suyuqlikning kolonna bo'ylab bir tekis taqsimlanishi belgilaydi. Nasadkali kolonnada suyuqlik taqsimlagichlarning noto'g'ri ishlashi quruq zonalar va kanal hosil bo'lishiga olib keladi; taretkali kolonnada esa ko'piklanish, suyuqlik olib chiqilishi yoki yig'ilib qolishi kuzatilishi



mumkin. Har ikki holatda ham nazariy kontakt pog'onalari soni kamayib, tozalangan gazdagi H_2S yoki CO_2 miqdori ortadi. Shu bois differensial bosim, kolonna bo'ylab harorat profili va tozalangan gaz tarkibini birgalikda kuzatish gidravlik nosozlikni kimyoviy sig'im yetishmasligidan ajratishga yordam beradi.

Boy/kambag'al amin issiqlik almashtirgichi energiya integratsiyasining markaziy elementidir. Boy aminni regeneratorga kirishdan oldin qizdirish qaynatgich yuklamasini kamaytiradi; kambag'al aminning sovishi esa keyingi sovitgich yukini yengillashtiradi. Biroq issiqlik almashtirgichning ifloslanishi yoki plastina/quvurlardagi sizib o'tish harorat yaqinlashuvini yomonlashtiradi, suv balansini buzadi va aylanma sarf oshirilsa ham gaz sifatini tiklamasligi mumkin. Shuning uchun issiqlik almashinuvi koeffitsienti, kirish-chiqish haroratlari va bosim yo'qotilishi trend asosida nazorat qilinishi lozim.

Ekspluatatsion barqarorlikka uchta guruh iflosliklar ta'sir qiladi. Birinchisi – korroziya mahsulotlari, qum va boshqa mexanik zarrachalar; ular nasadka va filtrlarni tiqaydi. Ikkinchisi – og'ir uglevodorodlar, kompressor moyi va sirt-faol moddalar; ular ko'piklanishni kuchaytiradi. Uchinchisi – formiat, asetat, oksalat, tiotsianat kabi issiqlik barqaror tuzlar; ular oddiy regeneratsiyada parchalanmaydi, amindagi asosiylik zaxirasini kamaytiradi va korroziyani tezlashtiradi [8]. Mexanik patron filtr, faol ko'mirli yon-oqim filtri va zarur hollarda ion almashinish yoki elektrodializ asosidagi reclaim eritma sifatini tiklashning o'zaro to'ldiruvchi vositalaridir [9].

Korroziyani boshqarish faqat inhibitor dozasi bilan cheklanmaydi. Eritmada kislotali gaz yuklanishi, harorat, oqim tezligi, xloridlar va issiqlik barqaror tuzlar miqdori, shuningdek kislorod kirishi nazorat qilinishi kerak. Yuqori haroratli boy amin quvurlari, regenerat qaynatgichi, issiqlik almashtirgichning issiq tomoni va ikki fazali oqim zonalari xavfli nuqtalar hisoblanadi. Kupon, elektr qarshilik zondi, ultratovushli qalinlik o'lchovi va eritma tahlili birgalikda qo'llansa, korroziya oqibatini emas, uning sababini aniqlash imkoniyati oshadi.



Energiya sarfini kamaytirish uchun avvalo ortiqcha eritma aylanishini bartaraf etish, kambag'al aminning zarur yuklanishini mahsulot spetsifikatsiyasi bilan muvofiqlashtirish, issiqlik almashtirgichning yaqinlashuv haroratini tiklash va regenerator refluksini optimallashtirish maqsadga muvofiq. Bu choralar absorberdagi kontakt yuzasini saqlagan holda qaynatgich bug'i sarfini kamaytiradi. Jarayonni raqamli trendlar asosida boshqarish bir martalik laboratoriya tahlilidan ko'ra nosozliklarni ertaroq aniqlaydi.

O'tkazilgan tahlil aminli tozalashda uchta o'zaro bog'liq optimum mavjudligini ko'rsatdi. Birinchi optimum – absorpsion: yetarli massa almashinish yuzasi, gaz-suyuqlik nisbati va harakatlantiruvchi kuchni ta'minlash. Ikkinchi optimum – regeneratsion: kambag'al aminning qoldiq yuklanishini mahsulot talabiga yetarli darajada tushirish, biroq ortiqcha bug' sarflamaslik. Uchinchi optimum – ekspluatatsion: eritma tozaligi, suv balansi, korroziya va ko'piklanishni barqaror ushlab turish. Ulardan bittasi buzilsa, qolgan ikkitasi hisobiga uzoq muddatli kompensatsiya qilish iqtisodiy va texnik jihatdan samarasiz bo'ladi.

MDEA asosidagi texnologiya ayniqsa H_2S ni selektiv ajratish zarur bo'lgan yuqori bosimli gazlarda maqsadga muvofiq. Biroq CO_2 ni juda chuqur kamaytirish talab qilinganda sof MDEAning kinetik cheklanishi absorber balandligi yoki eritma sarfining oshishiga olib kelishi mumkin. Bunday vaziyatda aktivlangan MDEA, aralash amin yoki texnologik bosqichlarni kombinatsiyalash samaraliroq bo'ladi. Erituvchi tanlovi faqat "yutilish sig'imi" bo'yicha emas, xom gazning H_2S/CO_2 nisbati, kerakli selektivlik, bug' resursi, materiallar korroziyabardoshligi va kislota gazining keyingi qayta ishlanishi bilan birga amalga oshirilishi kerak.

Natijalarni sanoatga tatbiq etishda onlayn H_2S/CO_2 analizatorlari ma'lumotlarini laboratoriyada aniqlanadigan amin konsentratsiyasi, boy va kambag'al yuklanish, pH, issiqlik barqaror tuzlar, temir va ko'piklanish ko'rsatkichlari bilan bog'lash tavsiya etiladi. Shu asosda "gaz sifati – eritma holati – energiya sarfi" uchligi bo'yicha texnologik karta tuziladi. Bunday karta operatorga



aylanma sarfni shunchaki oshirish o'rniga, og'ishning ildiz sababini aniqlash imkonini beradi.

XULOSALAR

1. Tabiiy gazni aminli tozalashning texnologik mohiyati H_2S va CO_2 ning gaz fazadan suvli amin eritmasiga massa o'tishi, qaytar kislota-asos reaksiyalari orqali bog'lanishi va regenerator sharoitida desorbsiyalanishidan iborat.

2. Absorber va regenerator yagona yopiq kontur sifatida qaralishi lozim: kambag'al amin sifati absorber natijasini, boy amin yuklanishi esa regeneratorning issiqlik talabini belgilaydi.

3. MDEA H_2S bo'yicha selektivligi, pastroq korrozion faolligi va regeneratsiya energiyasining nisbatan kichikligi bilan ajralib turadi; CO_2 ni chuqur ajratishda aktivator yoki qo'shimcha kontakt yuzasi talab qilinishi mumkin.

4. Jarayonning barqarorligi amin konsentratsiyasi va haroratidan tashqari, gidravlik taqsimlanish, filtrlash, issiqlik integratsiyasi, suv balansi, ko'piklanish, degradatsiya va issiqlik barqaror tuzlar nazoratiga bog'liq.

5. Optimal boshqaruv mahsulot gazining spetsifikatsiyasini minimal aylanma eritma va regeneratsiya bug'i sarfi bilan ta'minlash, shu bilan birga eritma hamda uskunaning xizmat muddatini saqlash tamoyiliga asoslanishi kerak.

ADABIYOTLAR

1. Kohl A. L., Nielsen R. B. Gas Purification. 5th ed. Houston: Gulf Publishing Company, 1997. 1395 p.
2. Mokhatab S., Poe W. A., Mak J. Y. Handbook of Natural Gas Transmission and Processing. 4th ed. Oxford: Gulf Professional Publishing, 2019. 862 p.
3. GPSA. GPSA Engineering Data Book. 14th ed. Tulsa: Gas Processors Suppliers Association, 2018.
4. Rochelle G. T. Amine Scrubbing for CO_2 Capture // Science. 2009. Vol. 325, No. 5948. P. 1652–1654. DOI: 10.1126/science.1176731.



5. Bishnoi S., Rochelle G. T. Absorption of Carbon Dioxide into Aqueous Piperazine: Reaction Kinetics, Mass Transfer and Solubility // Chemical Engineering Science. 2000. Vol. 55. P. 5531–5543.
6. Rinker E. B., Ashour S. S., Sandall O. C. Kinetics and Modeling of Carbon Dioxide Absorption into Aqueous Solutions of N-Methyldiethanolamine // Industrial & Engineering Chemistry Research. 1995. Vol. 34. P. 1117–1121.
7. Weiland R. H., Dingman J. C., Cronin D. B., Browning G. J. Density and Viscosity of Some Partially Carbonated Aqueous Alkanolamine Solutions and Their Blends // Journal of Chemical & Engineering Data. 1998. Vol. 43. P. 378–382. DOI: 10.1021/je9702044.
8. Zhang J., Fennell P. S., Trusler J. P. M. Density and Viscosity of Partially Carbonated Aqueous Tertiary Alkanolamine Solutions // Journal of Chemical & Engineering Data. 2015. Vol. 60. P. 2392–2403.
9. Gouedard C., Picq D., Launay F., Carrette P.-L. Amine Degradation in CO₂ Capture. I. A Review // International Journal of Greenhouse Gas Control. 2012. Vol. 10. P. 244–270. DOI: 10.1016/j.ijggc.2012.06.015.
10. DuPart M. S., Bacon T. R., Edwards D. J. Understanding Corrosion in Alkanolamine Gas Treating Plants // Hydrocarbon Processing. 1993. Vol. 72, No. 4. P. 75–80.
11. Rooney P. C., DuPart M. S., Bacon T. R. Oxygen's Role in Alkanolamine Degradation // Hydrocarbon Processing. 1998. Vol. 77, No. 7. P. 109–113.
12. Cummings A. L., Smith G. D., Nelsen D. K. Advances in Amine Reclamation Technology // Laurance Reid Gas Conditioning Conference. Norman, Oklahoma, 2007.
13. Maddox R. N. Gas and Liquid Sweetening. 3rd ed. Tulsa: Campbell Petroleum Series, 1982. 493 p.
14. Bahadori A. Natural Gas Processing: Technology and Engineering Design. Oxford: Gulf Professional Publishing, 2014. 896 p.



15. ISO 13686:2013. Natural Gas – Quality Designation. Geneva: International Organization for Standardization, 2013.