MDEANING FIZIK KIMYOVIY XOSSALARI VA ISHCHI ERITMA HOLATI

Xolturayeva Inoyat Nurmamat qizi
Qarshi davlat universiteti

Annotatsiya. *Maqolada tabiiy gazni nordon komponentlardan tozalashda qo‘llaniladigan N-metildietanolaminning molekulyar tuzilishi, asosiy fizik-kimyoviy konstantalari va suvli ishchi eritmasining ekspluatatsion holati tahlil qilindi. MDEA uchlamchi alkanolamin bo‘lib, H_2S bilan tez proton almashinish reaksiyasiga kirishadi, CO_2 ni esa suv ishtirokida bikarbonat shaklida bog‘laydi. Eritma konsentratsiyasi va haroratining zichlik, qovushqoqlik, massa almashinuvi hamda regeneratsiya energiyasiga ta’siri yoritildi.*

Kalit so‘zlar: *MDEA, tabiiy gazni tozalash, ishchi eritma, fizik-kimyoviy xossalar, CO_2 yuklanishi, H_2S, termik barqaror tuzlar, qovushqoqlik, korroziya.*

Аннотация. *В статье проанализированы молекулярное строение, основные физико-химические константы N-метилдиэтаноламина и эксплуатационное состояние его водного рабочего раствора, применяемого для очистки природного газа от кислых компонентов. МДЭА является третичным алканоламином: он быстро взаимодействует с H_2S по механизму переноса протона, а CO_2 связывает преимущественно в форме бикарбоната в присутствии воды. Рассмотрено влияние концентрации и температуры раствора на плотность, вязкость, массоперенос и энергозатраты регенерации.*

Ключевые слова: *МДЭА, очистка природного газа, рабочий раствор, физико-химические свойства, загрузка CO_2, H_2S, термостабильные соли, вязкость, коррозия.*

Abstract. *This article analyzes the molecular structure, principal physicochemical constants, and operating condition of aqueous N-methyldiethanolamine used for natural-gas sweetening. MDEA is a tertiary alkanolamine that rapidly reacts with H_2S through proton transfer, whereas CO_2 is mainly bound as bicarbonate in the presence of water. The effects of solvent concentration and temperature on density, viscosity, mass transfer, and regeneration energy are discussed.*

Keywords: *MDEA, natural-gas sweetening, working solvent, physicochemical properties, CO_2 loading, H_2S, heat-stable salts, viscosity, corrosion*

Kirish

Tabiiy gaz tarkibidagi vodorod sulfidi va karbonat angidrid gazning korrozion faolligini oshiradi, quvur va kriogen qurilmalarda ekspluatatsion xavflarni yuzaga keltiradi hamda tovar gaz sifatiga salbiy ta’sir ko‘rsatadi. Shu sababli aminli absorbsiya tabiiy gazni tayyorlash tizimlarining asosiy bosqichlaridan biridir. N-metildietanolamin MDEA past bug‘ bosimi, suv bilan to‘liq aralashishi, H_2S ga nisbatan yuqori selektivligi va birlamchi hamda ikkilamchi aminlarga qaraganda nisbatan kam regeneratsiya issiqligi bilan ajralib turadi [1–4].

Sanoat sharoitida MDEAning foydali xususiyatlari eritmaning butun aylanish davrida o‘zgarmasdan qolmaydi. Absorberda kislota gazlari bilan yuklanish, regeneratorda qizdirish, xom gazdagi kislorod va oltingugurtli aralashmalar, qo‘shimcha suvdagi mineral ionlar, korroziya mahsulotlari va uglevodorod kondensati ishchi eritma tarkibini murakkablashtiradi. Natijada faol amin miqdori kamayadi, termik barqaror tuzlar TBT to‘planadi, qovushqoqlik va elektr o‘tkazuvchanlik o‘zgaradi, ko‘piklanish hamda korroziya kuchayishi mumkin [5–8].

Maqolaning maqsadi MDEAning fizik-kimyoviy xossalari bilan ishchi eritmaning amaldagi holati o‘rtasidagi bog‘lanishni ochib berish, ishlatilgan eritmani baholash uchun zarur ko‘rsatkichlar tizimini asoslash va loyiha doirasidagi 20, 30 hamda 35 mass.% eritmalarni tekshirishning yaxlit metodologiyasini shakllantirishdan iborat. Bunda sof modda konstantalari, suvli eritmaning transport xossalari, kislota-gaz yuklanishi, degradatsiya mahsulotlari va TBT miqdori bitta diagnostik konturda ko‘rib chiqiladi.

MDEAning molekulyar tuzilishi va reaksiya xususiyati

MDEA molekulasida ikki gidroksietil guruhi va azot atomiga bog‘langan metil guruhi mavjud. Azotda vodorod bo‘lmagani sababli u uchlamchi amin hisoblanadi va CO_2 bilan barqaror karbamat hosil qilmaydi. Suvli muhitda MDEA proton qabul qiluvchi asos sifatida CO_2 gidratlanishini jadallashtiradi. Jarayonni soddalashtirib quyidagi bosqichlar bilan ifodalash mumkin:

$$MDEA + H_2O \rightleftharpoons MDEAH^+ + OH^-$$

$$CO_2 + OH^- \rightleftharpoons HCO_3^-$$

$$MDEA + CO_2 + H_2O \rightleftharpoons MDEAH^+ + HCO_3^-$$

$$MDEA + H_2S \rightleftharpoons MDEAH^+ + HS^-$$

Bikarbonat mexanizmi MDEAning nazariy CO_2 sig‘imini karbamat hosil qiluvchi aminlarga nisbatan yuqori qilishga yordam beradi, biroq CO_2 bilan bevosita reaksiyaning sekinligi massa almashinuvi tezligini cheklaydi. H_2S esa kuchliroq kislota sifatida MDEA bilan tez proton almashadi. Shuning uchun MDEA tabiiy gazdan H_2S

ni selektiv ajratish, CO_2 ning bir qismini gaz fazasida qoldirish talab etiladigan texnologik rejimlar uchun ayniqsa qulaydir [3,5]. Absorbsiya tezligini oshirish maqsadida piperazin kabi aktivatorlar qo‘llanishi mumkin, ammo aktivator eritmaning qovushqoqligi, degradatsiyasi va regeneratsiya rejimiga alohida talablar qo‘yadi [9].

Tadqiqot materiallari va usullari

Tadqiqot obyekti sifatida yangi MDEA, 20, 30 va 35 mass.% konsentratsiyali model suvli eritmalar hamda tabiiy gazni aminli tozalash qurilmasidan olingan ishlatilgan eritma qabul qilindi. Eritmalar holatini qiyoslashda harorat 35–40 °C oralig‘ida barqarorlashtiriladi; namuna olish paytida boy va kambag‘al amin oqimi, texnologik bosim, regeneratsiya harorati va eritmaning aylanish tarixi qayd etiladi. Bu ma’lumotlarsiz bir xil pH yoki bir xil nominal konsentratsiyaga ega namunalarni to‘g‘ri qiyoslash mumkin emas.

Umumiy MDEA kislota-asos titrlashi yoki validatsiyalangan xromatografik usul bilan, faol MDEA esa TBT bilan protonlangan fraksiyani hisobga oluvchi differensial yondashuv orqali aniqlanadi. CO_2 yuklanishi umumiy noorganik uglerod yoki kislotalashdan keyin ajralgan CO_2 miqdori bo‘yicha, H_2S yuklanishi esa sulfiddagi oltingugurtni selektiv aniqlash orqali baholanadi. TBT anionlari uchun ion xromatografiya asosiy usul bo‘lib, formiat, asetat, oksalat, xlorid, sulfat, tiosulfat va tiotsianatni alohida miqdoriy aniqlash imkonini beradi [7,10]. Metall ionlari ICP-OES bilan, organik degradatsiya mahsulotlari HPLC yoki GC-MS bilan tekshiriladi.

Zichlik tebranuvchi U-naychali densimetrda, dinamik qovushqoqlik rotatsion yoki kapillyar viskozimetrda, elektr o‘tkazuvchanlik konduktometrda o‘lchanadi. Barcha ko‘rsatkichlar bir xil haroratda berilishi lozim, chunki haroratning kichik farqi ham qovushqoqlik va zichlikni sezilarli o‘zgartiradi. Har bir tahlil kamida uch parallel o‘lchovda bajarilib, o‘rtacha qiymat, standart og‘ish va usulning kengaytirilgan noaniqligi ko‘rsatiladi. Nazorat eritmalari va sertifikatlangan standartlardan foydalanish OAK talab qiladigan natijalar kuzatuvchanligini ta’minlaydi.

MDEAning asosiy fizik kimyoviy xossalari

1 jadval Sof MDEAning asosiy fizik kimyoviy ko‘rsatkichlari

Ko‘rsatkich	Qiymat yoki tavsif	Manba
Kimyoviy formula	$C_5H_{13}NO_2$	[1, 2]
Molyar massa	119,16 g mol^{-1}	[1, 2]

Ko‘rsatkich	Qiymat yoki tavsif	Manba
CAS raqami	105-59-9	[1, 2]
Tuzilishi	Uchlamchi amin va ikki gidroksil guruhi	[1, 3]
Tashqi ko‘rinishi	Rangsiz yoki och sarg‘ish gigroskopik suyuqlik	[1, 3]
Zichligi	1,038 g mL^{-1}, 25 °C	[2]

Jadvaldagi qiymatlar sof modda uchun berilgan. Ishchi suvli eritmaning xossalari MDEA ulushi, kislota-gaz yuklanishi va ifloslanish darajasiga bog‘liq bo‘lgani uchun sof modda konstantalarini to‘g‘ridan-to‘g‘ri texnologik hisobga qo‘llash mumkin emas. Amaliy model uchun aynan kerakli konsentratsiya va haroratdagi zichlik, qovushqoqlik, issiqlik sig‘imi hamda fazaviy muvozanat ma’lumotlari tanlanishi kerak [4,5].

Natijalar va muhokama

Konsentratsiya va haroratning ishchi xossalarga ta’siri

Suvli MDEA eritmasida amin ulushi ortishi molekulalararo vodorod bog‘lari va eritma ichki ishqalanishini kuchaytiradi. Natijada zichlik va, ayniqsa, qovushqoqlik oshadi. Karunarathne va hammualliflarning tajribaviy ma’lumotlari MDEA–suv tizimida harorat oshishi bilan zichlik va qovushqoqlik kamayishini, MDEA konsentratsiyasi ortishi bilan esa ikkala ko‘rsatkichning o‘sishini ko‘rsatadi [4]. Qovushqoqlikning ortishi suyuq fazadagi diffuziya koeffitsiyentini pasaytiradi, absorber nasosining energiya sarfini va massa almashinuvi qarshiligini oshiradi. Shu sababli yuqori amin konsentratsiyasi doimo yuqori ishlab chiqarish samaradorligini anglatmaydi.

30–50 mass.% diapazon sanoatda MDEAning absorbsion sig‘imi, gidravlik xossalari va korroziya xavfi o‘rtasidagi muvozanat sifatida uchraydi. Mazkur loyiha uchun 20, 30 va 35 mass.% darajalar tanlangani konsentratsiya ta’sirini past, o‘rta va amaliy ishchi sohalarda solishtirish imkonini beradi. 20 mass.% eritma kamroq qovushqoq va massa almashinuvi uchun qulay, lekin bir xil kislota-gaz miqdorini yutish uchun katta aylanish sarfi talab qilishi mumkin. 35 mass.% eritma ko‘proq aminga ega, biroq uning gidravlik qarshiligi, nasos yuklamasi va membranali tozalashdagi konsentratsion qutblanishi yuqoriroq bo‘lishi mumkin.

Harorat ikki qarama-qarshi ta’sirga ega. Absorberga kirishda haroratning oshishi qovushqoqlikni kamaytirib diffuziyani tezlashtiradi, ammo CO_2 va H_2S ning muvozanat eruvchanligini pasaytiradi. Regeneratorda haroratning oshishi kislota gazlarini desorbsiyalashni kuchaytiradi, lekin uzoq muddatda termik degradatsiya va korroziya xavfini ko‘paytiradi. Demak, absorberdagi optimal harorat faqat kinetika bilan emas, gaz eruvchanligi, bug‘lanish yo‘qotilishi va uskunaning gidravlik holati bilan birgalikda belgilanadi.

Ishchi eritma holatini kompleks baholash

2 jadval MDEA ishchi eritmasining diagnostik ko‘rsatkichlari

Ko‘rsatkich	Diagnostik mazmuni	Talqin qilish qoidasi
Faol MDEA	Kislota gazini bog‘lay oladigan erkin asos fraksiyasi	Kamayishi TBT yoki degradatsiya bilan bog‘liq bo‘lishi mumkin
Umumiy MDEA	Erkin va protonlangan aminning yig‘indisi	Faol MDEA bilan birga talqin qilinadi
Suv miqdori	Eritma konsentratsiyasi va issiqlik balansini belgilaydi	Bug‘lanish yoki kondensat kirishi nominal tarkibni o‘zgartiradi
pH	Eritmaning umumiy kislota-asos holati	Yakka holda faol amin miqdorini ko‘rsatmaydi
CO_2 va H_2S yuklanishi	mol gaz mol^{-1} amin	Boy va kambag‘al eritma ishchi sig‘imini belgilaydi
TBT anionlari	Formiat, asetat, oksalat, SCN^-, Cl^-, SO_4^{2-} va boshqalar	Aminni qaytmas protonlab, korroziya va ko‘piklanishni kuchaytiradi

Jadvaldan ko‘rinadiki, bitta ko‘rsatkich eritmaning holatini to‘liq tavsiflamaydi. Masalan, suv bug‘lanishi umumiy MDEA foizini oshirishi mumkin, biroq faol amin massasi ko‘paymaydi. Xuddi shuningdek, pH nisbatan yuqori bo‘lib turgan holda ham TBT bilan bog‘langan amin ulushi sezilarli bo‘lishi mumkin. Shuning uchun laboratoriya xulosasi massa balansi va ion balansi bilan tekshirilishi zarur.

Ishlatilgan MDEA eritmasining amaliy diagnostikasi

Loyiha doirasida nominal 35 mass.% ishlatilgan MDEA eritmasi 35–40 °C va 50 bar sharoitida M-3 PVDF PSU PAN PEG tayanch membranasi orqali qayta ishlangan. Mazkur sinov membrananing chuqur mexanistik tavsifi emas, balki ishchi eritma

holatini fizik-kimyoviy indikatorlar asosida baholash uchun amaliy misol sifatida ko‘rib chiqildi. Kirish va permeat oqimlarida faol MDEA, jami TBT, umumiy erigan moddalar TDS, xlorid hamda oltingugurtli anionlar nazorat qilindi.

3 jadval Ishlatilgan MDEA eritmasining tozalashdan oldingi va keyingi holati

Ko‘rsatkich	Kirish eritmasi	Permeat	Qiyosiy o‘zgarish
Analitik MDEA	25,07 mass.%	34,60 mass.%	+38,0% nisbiy konsentratsiyalanish
Jami TBT	4,80 mass.%	1,90 mass.%	60,4% kamayish
TDS	903 mg L^{-1}	150 mg L^{-1}	83,4% kamayish
Xlorid	3900 mg L^{-1}	156 mg L^{-1}	96,0% kamayish
Oltingugurtli anionlar	119000 mg L^{-1}	8330 mg L^{-1}	93,0% kamayish

Kirish eritmasidagi analitik MDEAning 25,07 mass.% bo‘lishi nominal 35 mass.% qiymat bilan haqiqiy faol eritma holati orasida farq mavjudligini ko‘rsatadi. Bu farq suv balansi, kislota-gaz yuklanishi, TBT bilan protonlangan amin, namuna olish va qo‘llangan analitik usul bilan bog‘liq bo‘lishi mumkin. Tozalashdan keyingi 34,60 mass.% qiymatni MDEA massasi 38% ga tiklandi deb talqin qilish noto‘g‘ri; u asosan ionlar va suvning tanlab o‘tishi yoki ushlanishi natijasidagi konsentratsiyalanish effektini ifodalaydi. Haqiqiy amin qaytarilishi kirish, permeat va retentat sarflari asosidagi to‘liq massa balansi bilan aniqlanishi kerak.

TBTning 4,8 dan 1,9 mass.% gacha kamayishi faol amin ulushini va eritmaning regeneratsiyalanish qobiliyatini yaxshilash yo‘nalishini ko‘rsatadi. Xlorid hamda oltingugurtli anionlarning yuqori darajada kamayishi korroziya xavfini pasaytirish uchun muhim. Biroq oltingugurtli anionlarning boshlang‘ich 119000 mg L^{-1} qiymati juda yuqori bo‘lgani sababli natijani mustaqil ion standartlari, suyultirish koeffitsiyenti va ion balansi bilan qayta tasdiqlash talab etiladi. Bu metrologik tekshiruv OAK ishida natijani ishonchli himoya qilish uchun zarur.

Xulosa

1. MDEAning uchlamchi amin tuzilishi H_2S bilan tez proton almashinishi va CO_2 ni suv ishtirokida bikarbonat shaklida bog‘lashini ta’minlaydi; bu xususiyat H_2S ni selektiv ajratish uchun ilmiy asosdir.

2. MDEA–suv eritmasining zichligi va qovushqoqligi amin konsentratsiyasi ortishi bilan oshadi, harorat ortishi bilan kamayadi. Shu sababli konsentratsiya tanlovi absorbsion sig‘im, massa almashinuvi, nasos energiyasi va regeneratsiya xarajatlari muvozanatiga asoslanishi kerak.

3. Ishchi eritma holatini nominal MDEA foizi yoki pH bilan yakka tartibda baholash yetarli emas. Faol va umumiy MDEA, suv, CO_2/H_2S yuklanishi, TBT anionlari, qovushqoqlik, zichlik, elektr o‘tkazuvchanlik, metall ionlari, ko‘piklanish va korroziya birgalikda nazorat qilinishi lozim.

4. Nominal 35 mass.% ishlatilgan eritmada analitik MDEAning 25,07 mass.% bo‘lishi nominal va haqiqiy faol holat o‘rtasidagi farqni ko‘rsatdi. Membranadan keyingi 34,60 mass.% qiymat amin massasining tiklanishi emas, konsentratsiyalanish effekti sifatida talqin qilinishi kerak.

5. TBT va anionlarning kamayishi eritma sifatini yaxshilaydi, ammo membranali tozalash samaradorligini ishonchli baholash uchun permeat-retentat massa balansi, parallel tahlillar, suyultirish koeffitsiyenti va o‘lchash noaniqligi majburiy ravishda berilishi zarur.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. PubChem. N-Methyldiethanolamine. CID 7767. National Center for Biotechnology Information. https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/N-Methyldiethanolamine (murojaat sanasi 11.09.2026).

2. Merck Sigma-Aldrich. N-Methyldiethanolamine, CAS 105-59-9: product and physicochemical data. https://www.sigmaaldrich.com/US/en/product/aldrich/471828 (murojaat sanasi 11.09.2026).

3. Dow Inc. N-Methyldiethanolamine MDEA: product overview and applications. https://www.dow.com/en-us/pdp.n-methyldiethanolamine-mdea.85619z.html (murojaat sanasi 11.09.2026).

4. Karunarathne S.S., Eimer D.A., Øi L.E. Density, viscosity, and excess properties of MDEA + H_2O, DMEA + H_2O, and DEEA + H_2O mixtures. Applied Sciences. 2020. Vol. 10. No. 9. Article 3196. DOI: 10.3390/app10093196.

5. Moioli S., Pellegrini L.A. Describing physical properties of CO_2 unloaded and loaded MDEA + PZ solutions. Chemical Engineering Research and Design. 2018. Vol. 138. P. 116–124.

6. Pal P., AbuKashabeh A., Al-Asheh S., Banat F. Accumulation of heat stable salts and degraded products during thermal degradation of aqueous MDEA using microwave digester and high pressure reactor. Journal of Natural Gas Science and Engineering. 2014. Vol. 21. P. 1043–1047. DOI: 10.1016/j.jngse.2014.11.007.

7. Verma N., Verma A. Amine system problems arising from heat stable salts and solutions to improve system performance. Fuel Processing Technology. 2009. Vol. 90. No. 4. P. 483–489. DOI: 10.1016/j.fuproc.2009.02.002.