

METILDIETANOLAMIN ERITMASINI TUZLARDAN POLIMER KOMPOZIT MEMBRANALAR YORDAMIDA TOZALASH

Gulnoza Mamatqulovna Absalyamova^{1,*}, Samandar Jovliyevich O'rinov¹¹ Toshkent kimyo-texnologiya instituti, Toshkent, O'zbekiston

ORCID (Absalyamova G.M.): 0000-0003-0275-0414

* Corresponding author: urinovsamandar5@gmail.com

ARTICLE INFO

Dates:

Received: 11.06.2026

Accepted: 21.07.2026

Published: 25.07.2026

DOI:

10.66960/jof.3093-8899.00033

Copyright:

CC BY 4.0

ANNOTATSIYA

Maqolada gazni aminli tozalash jarayonlarida qo'llaniladigan metildietanolamin (MDEA) eritmalarini termobarqaror va erigan tuzlardan polimer kompozit membranalar yordamida tozalashning ilmiy-texnologik asoslari yoritilgan. MDEA eritmasida xlorid, sulfat, karbonat va metall ionlarining to'planishi absorbsiya samaradorligini pasaytirishi, qovushqoqlik, ko'piklanish va korroziya xavfini oshirishi ko'rsatildi. Nanofiltratsiya va teskari osmosga asoslangan membranali regeneratsiya yuqori selektivlik, past energiya sarfi, modulli konstruktsiya va ekologik xavfsizlik bilan tavsiflanadi. Tahlil natijalariga ko'ra, NaCl uchun 85-92 %, CaCl₂ uchun 88-95 %, Na₂SO₄ uchun 90-97 % gacha ushlab qolish darajasi erishilishi mumkin.

Kalit so'zlar: metildietanolamin, MDEA, polimer kompozit membrana, nanofiltratsiya, teskari osmos, tuzlarni ajratish, termobarqaror tuzlar, absorbent regeneratsiyasi.

АННОТАЦИЯ

В статье обобщены научно-технологические основы очистки растворов метилдиэтаноламина от растворенных и термостабильных солей с применением полимерных композитных мембран. Показано, что накопление хлоридов, сульфатов, карбонатов и ионов металлов снижает эффективность абсорбции, повышает вязкость, пенообразование и коррозионную активность раствора. Мембранная регенерация на основе нанофильтрации и обратного осмоса характеризуется высокой селективностью, энергоэффективностью и экологической безопасностью.

Ключевые слова: метилдиэтаноламин, мембранная фильтрация, полимерная композитная мембрана, нанофильтрация, обратный осмос.

ABSTRACT

This paper summarizes the scientific and technological basis for removing dissolved and heat-stable salts from methyldiethanolamine solutions using polymer composite membranes. The accumulation of chlorides, sulfates, carbonates and metal ions decreases absorption efficiency and increases viscosity, foaming and corrosion risk. Nanofiltration and reverse-osmosis membrane regeneration is characterized by high selectivity, lower energy demand, modular design and environmental compatibility.

Keywords: methyldiethanolamine, MDEA, membrane filtration, polymer composite membrane, nanofiltration, reverse osmosis.

How to cite:

Absalyamova G.M., O'rinov S.J. Metildietanolamin eritmasini tuzlardan polimer kompozit membranalar yordamida tozalash // Journal of future. 2026. Vol. 2. Iss. 4. pp. 9-12. <https://doi.org/10.66960/jof.3093-8899.00033>

Kirish

Metildietanolamin (MDEA) eritmalari neft-gaz, kimyo va energetika sanoatida tabiiy gaz, sintez gazi hamda texnologik gazlardan H₂S va CO₂ kabi nordon komponentlarni ajratishda keng qo'llaniladi. MDEA ning asosiy afzalligi - H₂S ga nisbatan selektivligi, past bug'lanish bosimi, nisbatan kam regeneratsiya energiyasi va kimyoviy barqarorligidir. Shu sababli u sanoat gazlarini chuqur tozalashda iqtisodiy jihatdan qulay absorbentlardan biri hisoblanadi [1, 4].

Uzoq muddatli ekspluatatsiya davomida MDEA eritmasida xloridlar, sulfatlar, karbonatlar, bikarbonatlar, tiolsulfatlar hamda Fe, Na, Ca va Mg ionlari to'planadi. Ular gaz tarkibidagi aralashmalar, texnologik suv sifati, uskunalari korroziyasi hamda aminning termik yoki oksidlanish parchalanishi natijasida hosil bo'ladi. Tuzlarning yig'ilishi eritma qovushqoqligini oshiradi, massa almashinuvini sekinlashtiradi, absorber-desorber tizimida ko'piklanish va korroziya xavfini kuchaytiradi. Natijada absorbentning xizmat muddati qisqaradi va regeneratsiya xarajatlari ortadi [2, 6].

An'anaviy tozalash usullari (termik regeneratsiya, ion almashinish, kimyoviy neytrallash va mexanik filtrlash) amaliyotda qo'llanilsa-da, ular yuqori energiya sarfi, reagent ehtiyoji, chiqindi hosil bo'lishi yoki sorbentni tez-tez almashtirish zarurati bilan cheklanadi. Shu nuqtai nazardan, polimer kompozit membranalar asosidagi nanofiltratsiya (NF) va teskari osmos (RO) jarayonlari MDEA eritmasini chuqur regeneratsiya qilish uchun istiqbolli hisoblanadi [2, 4].

Polimer kompozit membranalar odatda zich selektiv faol qatlam va g'ovak tayanch qatlamdan iborat bo'ladi. Faol qatlam ionlarning o'tishini nazorat qiladi, tayanch qatlam esa mexanik mustahkamlik va barqaror oqimni ta'minlaydi. Ajratish mexanizmi o'lcham bo'yicha saralash, diffuziya, konvektsiya, gidratlangan ion radiusi va membrana sir-tidagi zaryad bilan bog'liq elektrostatik qaytarish omillarining birgalikdagi ta'siri orqali amalga oshadi [3, 5].



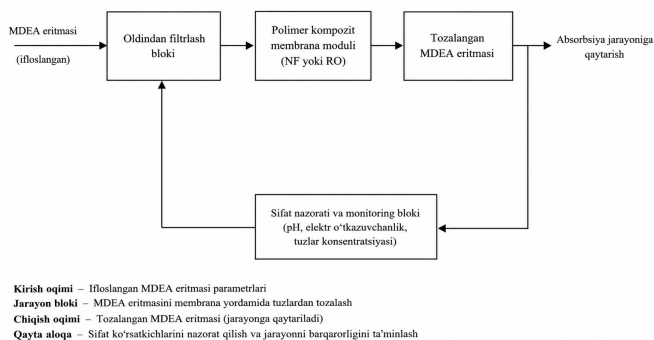
1-rasm. MDEA eritmasini membranali tozalash jarayonining ixcham texnologik sxemasi.

Tadqiqotning maqsadi - MDEA eritmasidan erigan tuzlarni polimer kompozit membranalar yordamida ajratish jarayonining fizik-kimyoviy asoslarini, asosiy texnologik parametrlarini va sanoatga joriy etish imkoniyatlarini ixcham holda baholashdan iborat. Ishning ilmiy-amaliy ahamiyati absorbentni xizmat muddatini uzaytirish, energiya sarfini kamaytirishi, korroziyani pasaytirish va gazni tozalash qurilmalarining barqaror ishlashini ta'minlash bilan belgilanadi.

Material va metodlar

Tadqiqotda sanoat sharoitiga yaqin tarkibli model MDEA eritmasi va yupqa qatlamli polimer kompozit membranalar asosiy obyekt sifatida tanlandi. Model eritma tarkibi 30-50 % mass. MDEA, suv va erigan tuzlardan iborat bo'lib, unga Cl⁻, SO₄²⁻, CO₃²⁻ hamda Fe²⁺/Fe³⁺ ionlari kiritildi. Ushbu ionlar aminli gaz tozalash tizimlarida uchraydigan asosiy termobarqaror tuzlar tarkibini modellashtirish uchun tanlandi.

Membrana materiali sifatida poliamid faol qatlamli, polisulfon yoki polieterimid asosidagi g'ovak tayanch qatlamga ega kompozit membranalar ko'rib chiqildi. Membrananing yuzasi va kesimi SEM orqali, gidrofilligi kontakt burchagi usuli bilan, eritma xossalari esa pH-metriya, konduktometriya va viskozimetriya yordamida baholandi. Jarayonning gidrodinamik ko'rsatkichlarini hisoblash, membranali apparat mod- elini tahlil qilish hamda MDEA konsentratsiyasi va haroratning eritma qovushqoqligiga ta'sirini o'rganish parametrik modellashtirish va regres-



2-rasm. MDEA konsentratsiyasi va haroratning qovushqoqlikka ta'siri.

siya usullari yordamida MATLAB va OriginPro dasturiy paketlarida amalga oshirildi.

Membrananing tuzlarni ushlab qolish darajasi quyidagi tenglama bilan baholandi:

$$R = (1 - C_p/C_f) \times 100\%,$$

bu yerda; R - tuzlarni ushlab qolish darajasi %, C_p - permeatdagi ion konsentratsiyasi, C_f - boshlang'ich eritmadagi ion konsentratsiyasi.

Permeat oqimi membrana yuzasidan o'tgan suyuqlik hajmiga ko'ra quyidagicha hisoblandi:

$$J = V/(A \times t),$$

bu yerda; J - permeat oqimi $L/(m^2 \cdot soat)$, V - filtrlangan suyuqlik hajmi, A - membrana yuzasi, t - vaqt.

Bosim ta'siri umumiy ko'rinishida;

$$J = L_p(\Delta P - \Delta \pi)$$

ifodasi bilan izohlanadi; bu yerda L_p - membrananing gidravlik o'tkazuvchanligi, ΔP - bosim farqi, $\Delta \pi$ - osmotik bosim farqi.

Natijalar va muhokama

MDEA eritmasining konsentratsiyasi ortishi bilan uning zichligi, qovushqoqligi va pH qiymatlari oshishi aniqlandi. Ayniqsa, eritma qovushqoqligining ko'tarilishi membrana yuzasi orqali moddalarning diffuziyalanishini va massa uzatish jarayonini sekinlashtiradi. Harorat oshirilganda esa aksincha, eritma qovushqoqligi kamayib, ionlarning diffuziya tezligi va permeat oqimi (J) ortadi. Bu holat Stoks-Eynshteyn kinetik bog'lanishi bilan to'liq izohlanadi: $D = k_B T / (6\pi\eta r)$, ya'ni ionlarning diffuziya koeffitsiyenti (D) muhitning dinamik qovushqoqligiga (η) teskari mutanosibdir. Olingan eksperimental va parametrik natijalar quyidagi 2-jadvalda umumlashtirildi.

Membrana tuzilishi va ajratish mexanizmi

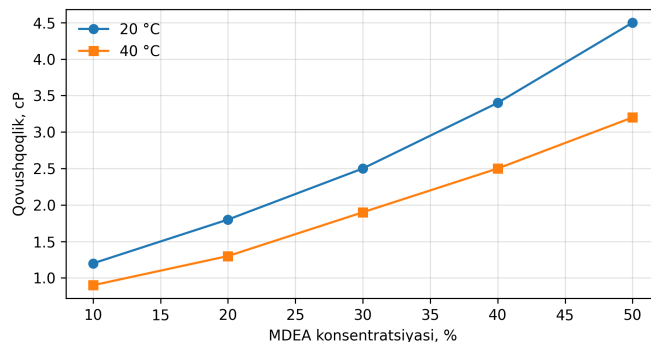
Kompozit membrana asimmetrik tuzilishga ega: yuqori qismida zich selektiv qatlam, pastki qismida esa g'ovak tayanch qatlam joylashadi. Selektiv qatlam ion transportini cheklaydi, tayanch qatlam esa gidravlik oqim va mexanik barqarorlikni ta'minlaydi. Nanozarrachalar bilan modifikatsiya qilingan membranada gidrofilik ortishi permeat oqimini yaxshilaydi va membrana ifloslanishining sekinlashishiga yordam beradi.

Tuzlarni ajratish mexanizmi faqat g'ovak o'lchami bilan emas, balki membrana sirt zaryadi va ionlarning gidratlangan radiusi bilan ham belgilanadi. Ikki valentli ionlarning yuqori darajada ushlab qolinishi Donnan muvozanati va elektrostatik qaytarish mexanizmi bilan bog'liq. Shu sababli sulfat va kalsiy ionlari bir valentli xlorid ionlariga nisbatan samaraliroq ajratiladi.

Olingan natijalar polimer kompozit membranalar MDEA eritmasidagi asosiy erigan tuzlarni sezilarli darajada kamaytirishi mumkinligini ko'rsatadi. Tuzlarning konsentratsiyasi pasayishi absorbentning ion kuchini kamaytiradi, massa almashinuv sharoitini yaxshilaydi va korroziya xavfini pasaytiradi. Bu jarayon gaz tozalash tizimlarida MDEA eritmasining xizmat muddatini uzaytirish uchun muhim omildir.

Bosim, harorat va g'ovaklarning bloklanishi ta'siri

Bosim membranalni filtratsiyada asosiy harakatlantiruvchi kuch bo'lib, bosim ortishi bilan permeat oqimi oshadi. Biroq yuqori bosim sharoitida



3-rasm. Model tuzlar uchun membranada ushlab qolish darajasi.

membrana yuzasida konsentratsion polarizatsiya kuchayadi: tuzlar selektiv qatlam yaqinida to'planib, qo'shimcha diffuzion qarshilik hosil qiladi. Shu sababli bosimni haddan tashqari oshirish har doim ham samaradorlikni mutanosib ravishda ko'paytirmaydi.

Haroratning 25 °C dan 50 °C gacha oshishi eritma qovushqoqligini kamaytirib, permeat oqimini taxminan 20-35 % ga oshirishi mumkin. Shu bilan birga, polimer membranalarining termik barqarorligi cheklanganligi sababli harorat rejimi membrana materiali va eritma tarkibiga mos holda tanlanishi zarur.

Uzoq muddatli ishlashda membrana ifloslanishi - ya'ni g'ovaklarning bloklanishi, sirt adsorbsiyasi, kristall cho'kma va gel qatlam shakllanishi - permeat oqimini kamaytiruvchi asosiy omil hisoblanadi. Kimyoviy yuvish va oldindan filtrlash bosqichlari qo'llanganda membrananing dastlabki o'tkazuvchanligini 90 % gacha tiklash mumkinligi ushbu texnologiyaning qayta foydalanish imkoniyatini ko'rsatadi.

Sanoatda qo'llash istiqboli

Membranali tozalash texnologiyasi aminli gaz tozalash qurilmalarida mavjud regeneratsiya blokiga qo'shimcha yoki mustaqil yordamchi modul sifatida joriy etilishi mumkin. Bunda ifloslangan MDEA eritmasi oldindan mexanik filtrlashdan o'tkaziladi, so'ng bosimli NF/RO membrana moduliga uzatiladi. Permeat tarkibida tuzlar miqdori kamaygan MDEA eritmasi jarayonga qaytariladi, retentat esa tuzlar boy konsentrat sifatida alohida qayta ishlash yoki utilitatsiyaga yuboriladi.

Texnologiyaning asosiy afzalliklari - yuqori selektivlik, past nisbiy energiya sarfi, uzluksiz ishlash, modulli kengaytirish imkoniyati va chiqindi miqdorining kamligidir. Amaliy cheklovlar esa membrana narxi, membrana ifloslanishiga chidamlilik, uzoq muddatli kimyoviy barqarorlik va optimal yuvish rejimini tanlash bilan bog'liq. Shuning uchun sanoatga joriy etishdan oldin pilot miqyosli sinovlar, massa balansi va iqtisodiy samaradorlik hisoblari bajarilishi lozim.

Xulosa

Metildietanolamin eritmasini polimer kompozit membranalar yordamida tuzlardan tozalash MDEA sifatini tiklash, absorbsiya samaradorligini saqlash va gaz tozalash qurilmalarining barqaror ishlashini ta'minlash uchun istiqbolli texnologik yechim hisoblanadi. Qisqartirilgan tahlil asosida quyidagi asosiy xulosalar shakllantirildi:

- MDEA eritmasida xlorid, sulfat, karbonat va metall ionlarining to'planishi qovushqoqlikni oshiradi, massa almashinuvini sekinlashtiradi, ko'piklanish va korroziya xavfini kuchaytiradi.
- Poliamid faol qatlamli polimer kompozit membranalar NF/RO rejimida tuzlarni selektiv ushlab qolish imkonini beradi; sulfat va kalsiy ionlari xlorid ionlariga nisbatan samaraliroq ajratiladi.
- Tuzlarning ushlab qolish darajasi NaCl uchun 85-92 %, $CaCl_2$ uchun 88-95 %, Na_2SO_4 uchun 90-97 % diapazonida baholanadi.
- Bosim permeat oqimini oshiradi, ammo yuqori bosimda konsentratsion polarizatsiya jarayonini cheklaydi; harorat oshishi oqimni yaxshilasa-da, membrananing termik barqarorligi hisobga olinishi kerak.

1-jadval. Tadqiqot obyekti va jarayon sharoitlarining qisqa tavsifi

Ko'rsatkich	Qabul qilingan qiymat/holat	Texnologik mazmuni
MDEA ulushi	30-50 % mass.	Sanoat aminli eritmalari diapazoniga yaqin model muhit
Asosiy tuzlar	NaCl, Na ₂ SO ₄ , Na ₂ CO ₃ , FeCl ₃	Xlorid, sulfat, karbonat va metall ionlari ta'sirini baholash
Ish bosimi	0,5-3,0 MPa	Membrana jarayonining asosiy harakatlantiruvchi kuchi
Harorat	20-40 °C	Qovushqoqlik va diffuziya tezligiga ta'sir qiladi
Ajratish usuli	NF/RO polimer kompozit membrana	Tuzlarni ushlab qolish va MDEA eritmasini qayta ishlatish

2-jadval. MDEA eritmasining asosiy fizik-kimyoviy xossalari

Konsentratsiya, %	Harorat, °C	Zichlik, g/cm ³	Qovushqoqlik, cP	pH
10	20	1.01	1.2	11.0
10	40	1.0	0.9	10.8
20	20	1.03	1.8	11.5
20	40	1.02	1.3	11.2
30	20	1.06	2.5	12.0
30	40	1.04	1.9	11.7
40	20	1.09	3.4	12.2
40	40	1.07	2.5	11.9
50	20	1.12	4.5	12.5
50	40	1.1	3.2	12.2

3-jadval. Tuzlarni membrana orqali ushlab qolish darajasi

Tuz/ion manbai	Ushlab qolish, %	Asosiy mexanizm	Texnologik izoh
NaCl	85-92	O'lcham bo'yicha saralash va qisman elektrostatik qaytarish	Bir valentli ionlar uchun ushlab qolish nisbatan pastroq
CaCl ₂	88-95	Gidratlangan radius va ikki valentli ion ta'siri	Qattiqlik va cho'kma hosil qilish xavfini kamaytiradi
Na ₂ SO ₄	90-97	Donnan muvozanati va kuchli elektrostatik qaytarish	Termobarqaror sulfat tuzlarini kamaytirishda eng samarali

4-jadval. Jarayon parametrlarining membranali ajratishga ta'siri

Parametr	Ijroiy ta'siri	Cheklovchi holat
Bosim	Permeat oqimini oshiradi	Konsentratsion polarizatsiya kuchayishi mumkin
Harorat	Qovushqoqlikni kamaytiradi, diffuziyani tezlashtiradi	Yuqori harorat membrana barqarorligini pasaytiradi
MDEA konsentratsiyasi	Sanoat sharoitiga yaqin absorbent xossalarini beradi	Qovushqoqlik va osmotik qarshilik ortadi
Oldindan filtrlash	g'ovaklarning bloklanishini kamaytiradi	Qo'shimcha apparat bosqichi talab etadi
Kimyoviy yuvish	O'tkazuvchanlikni tiklaydi	Reagent tanlash membrana materialiga mos bo'lishi kerak

- Membrana ifloslanishini kamaytirish uchun oldindan filtrlash, optimal ish rejimi va kimyoviy yuvish bosqichlari zarur; regeneratsiyadan so'ng o'tkazuvchanlikning katta qismi tiklanishi texnologiyaning iqtisodiy imkoniyatini oshiradi.

- Membranali regeneratsiya MDEA xizmat muddatini uzaytirish, reagent sarfini kamaytirish, korroziya xavfini pasaytirish va aminli gaz tozalash jarayonlarini ekologik xavfsizroq qilishga xizmat qiladi.

Kelgusida ushbu yo'nalishda g'ovaklarning bloklanishiga chidamli nano-modifikatsiyalangan membranalar yaratish, real sanoat MDEA namunalari uzoq muddatli sinovlar o'tkazish, pilot qurilma massa balans

va texnik-iqtisodiy samaradorlik hisoblarini ishlab chiqish maqsadga muvofiqdir.

Foydalanilgan adabiyotlar

- [1] Jaafari, L.; Jaffary, B.; Idem, R. Screening study for selecting new activators for activating MDEA for natural gas sweetening. Sep. Purif. Technol. 2018, 199, 320–330.
- [2] Gutierrez, J.P.; Benitez, L.A.; Ruiz, E.L.A.; Erdmann, E. A sensitivity analysis and a comparison of two simulators performance for the process of natural gas sweetening. J. Nat. Gas Sci. Eng. 2016, 31, 800–807.

- [3] Qeshta, H.J.; Abuyahya, S.; Pal, P.; Banat, F. Sweetening liquefied petroleum gas (LPG): Parametric sensitivity analysis using Aspen HYSYS. *J. Nat. Gas Sci. Eng.* 2015, 26, 1011–1017.
- [4] Santaniello, A.; Golemme, G. Interfacial control in perfluoropolymer mixed matrix membranes for natural gas sweetening. *J. Ind. Eng. Chem.* 2018, 60, 169–176.
- [5] Qiu, K.; Shang, J.F.; Ozturk, M.; Li, T.F.; Chen, S.K.; Zhang, L.Y.; Gu, X.H. Studies of methyldiethanolamine process simulation and parameters optimization for high-sulfur gas sweetening. *J. Nat. Gas Sci. Eng.* 2014, 21, 379–385.
- [6] Fouad, W.A.; Berrouk, A.S. Using mixed tertiary amines for gas sweetening energy requirement reduction. *J. Nat. Gas Sci. Eng.* 2013, 11, 12–17.
- [7] Jassim, M.S. Sensitivity analyses and optimization of a gas sweetening plant for hydrogen sulfide and carbon dioxide capture using methyldiethanolamine solutions. *J. Nat. Gas Sci. Eng.* 2016, 36, 175–183.
- [8] Keewan, M.; Banat, F.; Alhseinat, E.; Zain, J.; Pal, P. Effect of operating parameters and corrosion inhibitors on foaming behavior of aqueous methyldiethanolamine solutions. *J. Petrol. Sci. Eng.* 2018, 165.