



TABIIY GAZLARNI NORDON KOMPONENTLARDAN TOZALASHDA HOSIL BO'LGAN TERMIK BARQAROR TUZLARNI AJRATISH UCHUN MEMBRANALI FILTR OLISH VA TAHLIL USULLARI

Xolturayeva Inoyat Nurmamat qizi

Qarshi davlat universiteti

Annotatsiya. Maqolada tabiiy gazni H_2S va CO_2 dan alkanolaminlar bilan tozalash konturida to'planadigan termik barqaror tuzlarni (TBT) ajratishga mo'ljallangan yupqa qatlamli kompozit membranali filtrni olish va baholash metodologiyasi ishlab chiqildi. Tayanch sifatida kimyoviy barqaror g'ovak PTFE, sirtni gidrofillashtiruvchi polidopamin (PDA) oraliq qatlami hamda piperazin (PIP), trimesoilxlorid (TMC) va 0,5% 2,2'-benzidindisulfon kislotasi (BDSA) ishtirokida fazalararo polimerlanish orqali hosil qilinadigan sulfonlangan poliamid selektiv qatlam tanlandi. Membrana olishda tayanchni tozalash, PDA bilan funkcionallashtirish, suvli va organik fazalarni ketma-ket kontaktlash, termik mustahkamlash va konditsionerlash bosqichlari asoslandi. Morfologik va kimyoviy tuzilishni SEM, AFM, ATR-FTIR va XPS; sirt xossalari kontakt burchagi va zeta-potensial; ajratish ko'rsatkichlarini permeat oqimi, TBTni ushlab qolish darajasi, MDEA uzatilishi va selektivlik orqali baholash taklif etildi. Formiat, asetat, oksalat, sulfat, tiosulfat va tiotsianat ionlari ion xromatografiyasida, MDEA miqdori titrimetrik va HPLC usullarida aniqlanadi. Adabiyotlar tahlili asosida BDSAning manfiy zaryad va gidrofillikni kuchaytirishi Donnan ajratish mexanizmini yaxshilashi, biroq ortiqcha sulfonlanish qatlam zichligi va amin yo'qotilishi o'rtasidagi muvozanatni buzishi mumkinligi ko'rsatildi. Ish membranani laboratoriya va pilot sharoitida verifikatsiya qilish uchun takrorlanuvchan sinov algoritmini taklif etadi.



***Kalit so'zlar:** tabiiy gaz, alkanolamin, MDEA, termik barqaror tuzlar, membranali filtr, PTFE, polidopamin, piperazin, trimesoilxlorid, BDSA, fazalararo polimerlanish, nanofiltratsiya, ion xromatografiyasi.*

KIRISH

Tabiiy gazni nordon komponentlardan tozalashda monoetanolamin, dietanolamin va ayniqsa metildietanolamin (MDEA) eritmalari keng qo'llanadi. Uzoq muddatli siklik ekspluatatsiyada kislorod, yuqori harorat, SO_x , NO_x , COS, CS_2 , xom gazdagi organik kislotalar va korroziya mahsulotlari aminning qaytmas o'zgarishlariga sabab bo'ladi. Hosil bo'lgan formiat, asetat, glikolat, oksalat, sulfat, tiosulfat va tiotsianat anionlari protonlangan amin bilan regeneratorda parchalanmaydigan termik barqaror tuzlarni hosil qiladi [1–4]. TBTning to'planishi erkin amin ulushini kamaytiradi, eritmaning ion kuchi va korrozion faolligini oshiradi, ko'piklanish va issiqlik almashinish sirtlarining ifloslanishini kuchaytiradi. Natijada absorberdagi massa almashinish yomonlashadi, aylanma sarf va qaynatgich issiqlik yuklamasi ortadi. Oddiy filtrlash erigan ionlarni ushlaymaydi, oddiy bug'latish esa tuzlarni aminning termik zararlanishisiz ajratishga doimo imkon bermaydi [2, 5].

MUAMMONING QO'YILISHI

Amaliy reclaiming usullari ion almashinish, elektrodializ, vakuum distillatsiyasi va membranali kontaklashni qamrab oladi [5, 14, 15]. Elektrodializ MDEA oqimida yuqori TBT chiqarish darajasini ta'minlashi mumkin: 2023-yilgi BMED+ED ikki bosqichli tadqiqotda boshlang'ich TBT miqdori taxminan 1920 mg/L bo'lgan degradatsiyalangan amin eritmasidan 94,93% TBT chiqarilgani xabar qilingan [6]. Biroq elektrod juftlari, membrana paketlari va elektr energiyasi sarfi jarayonni murakkablashtiradi. Bosim ostidagi yupqa qatlamli kompozit membrana esa ixcham, uzluksiz va modulli yechim bo'lishi mumkin, lekin u amin muhitida kimyoviy barqarorlik hamda "anionni ushlab–MDEAni o'tkazish" selektivligini bir vaqtda ta'minlashi kerak [16, 17].



PTFE tayanch yuqori kimyoviy va termik chidamlilikka ega, ammo uning past sirt energiyasi suvli monomer fazasining bir tekis namlanishini qiyinlashtiradi. PDA qoplamasi katexol va amin guruhlari orqali PTFE yuzasini gidrofillashtiradi hamda keyingi poliamid qatlam uchun adgezion ko'priki hosil qiladi [7, 8]. PIP–TMC fazalararo polimerlanishi nanofiltratsiya uchun yupqa poliamid to'ri beradi; BDSAning sulfonat guruhlari esa sirtning manfiy zaryadi va namlanishini kuchaytiradi [9–11].

Maqolaning maqsadi PTFE/PDA–PIP/TMC–0,5% BDSA kompozit membranali filtrini olish, strukturaviy tavsiflash va MDEA tarkibidagi TBT anionlarini ajratish samaradorligini baholashning ilmiy asoslangan usullarini shakllantirishdan iborat. Ish nashr etilgan ma'lumotlarga tayangan metodik tadqiqot bo'lib, keltirilgan tayyorlash konsentratsiyalari keyingi tajribada optimallashtiriladigan boshlang'ich diapazonlardir.

TADQIQOT USULI

MATERIALLAR VA MEMBRANANI OLIISH

Tadqiqot obyekti sifatida g'ovakligi 60–80% va o'rtacha g'ovak o'lchami 0,1–0,45 μm diapazonidagi PTFE mikrofiltr tayanch, dopamin gidroxlorid, Tris-HCl buferi, PIP, TMC, BDSA, n-geksan hamda model MDEA eritmalari qabul qilindi. Model eritma 20, 30 va 35 massa % MDEA asosida tayyorlanib, unga formiat, asetat, oksalat, sulfat va tiotsianatning ma'lum miqdorlari qo'shiladi. Real ishlatilgan amin namunasi mexanik zarrachalardan 5 μm patron filtr orqali oldindan tozalanadi; uning pH, zichlik, viskozitet, faol MDEA va umumiy TBT ko'rsatkichlari boshlang'ich holatda aniqlanadi.

PTFE disklar etanol va deionlangan suvda ketma-ket yuvilib, quritiladi. Sirtni faollashtirish uchun tayanch 2,0 g/L dopamin saqlagan pH 8,5 Tris-HCl eritmasida 6–12 soat yumshoq aralashtirishda ushlanadi. Ishqoriy muhitda dopamin oksidlanib o'z-o'zidan polimerlanadi va PTFE yuzasida yupqa PDA qatlami hosil qiladi. Namuna suv bilan yuvilib, bog'lanmagan oligomerlardan tozalanadi. PDA qoplamasining davomiyligi haddan tashqari uzaytirilsa g'ovak og'izlari torayishi



mumkin; shu sababli massa ortishi, kontakt burchagi va toza suv oqimi parallel nazorat qilinadi [7, 8].

Selektiv qatlam fazalararo polimerlanishda olinadi. PTFE/PDA tayanch 0,5–1,0 massa % PIP va 0,5 massa % BDSA saqlagan suvli faza bilan 1–3 min kontaktlashtiriladi; ortiqcha eritma rezina valik yoki azot oqimi bilan chiqariladi. So‘ng sirt 0,10–0,20 massa % TMCning n-geksandagi eritmasi bilan 30–90 s ishlanadi. Suv–organik faza chegarasida PIP va BDSAning amin guruhlari TMCning asilxlorid guruhlari bilan reaksiyaga kirishib, ko‘ndalang bog‘langan sulfonlangan poliamid qatlam hosil qiladi. Membrana 60–80 °C da 5–10 min termik mustahkamlanadi, n-geksan va deionlangan suv bilan yuviladi hamda sinovgacha suvda saqlanadi [9–11].

0,5% BDSA boshlang‘ich optimal tarkib sifatida olinadi, ammo uning miqdori quruq monomerlar yig‘indisiga nisbatan aniq ko‘rsatilishi shart. Nazorat namunalari PTFE, PTFE/PDA va PTFE/PDA–PIP/TMC tarkibida tayyorlanadi. Har bir variant kamida uch mustaqil partiyada olinib, har bir partiyadan kamida uchta disk sinov qilinadi. Bu yondashuv tayanchning tabiiy notekisligi bilan kimyoviy modifikatsiya ta’sirini ajratishga imkon beradi.

MEMBRANANI FIZIK-KIMYOVIY TAHLIL QILISH

ATR–FTIR spektrida PDA uchun aromatik C=C va C–N, poliamid qatlam uchun amide I va amide II polosalari, BDSA ishtiroki uchun sulfonat guruhlariga xos S=O tebranishlari kuzatiladi. XPS tahlilida N 1s, O 1s va S 2p signallarining paydo bo‘lishi qatlamning element tarkibini tasdiqlaydi. Yuza va ko‘ndalang kesim SEM tasvirlari poliamid qoplamaning uzluksizligi, nuqsonlar va qalinligini; AFM esa o‘rtacha g‘adir-budurlikni baholaydi. Tasvirlar bir xil kattalashtirish va kamida besh tasodifiy maydonda olinadi.

Statik suv kontakt burchagi 5 μ L tomchi bilan kamida besh nuqtada o‘lchanadi. PTFEga PDA yotqizilgach kontakt burchagining kamayishi sirtning gidrofillashganini ko‘rsatadi. Zeta-potensial pH 3–11 oralig‘ida oqim potentsiali usulida aniqlanadi; BDSAli membranada sulfonat guruhlari tufayli izoelektrik



nuqtaning pasayishi va ishchi pHda manfiy zaryadning kuchayishi kutiladi. G'ovak o'lchami kapillyar oqim porometriyasi bilan, qatlamning amin muhitidagi barqarorligi esa 20–35% MDEAda 24–168 soat saqlashdan oldin va keyin massa, FTIR, kontakt burchagi hamda oqimning o'zgarishi orqali baholanadi.

FILTRLASH VA ANALITIK HISOBLASH USULLARI

Ajratish sinovlari faol yuzasi aniq o'lchangan ko'ndalang oqimli yacheykada 20–40 °C va 0,5–4,0 MPa transmembran bosimda o'tkaziladi. Eritma 300–500 rpm ekvivalent kesuvchi oqimda aralashtiriladi yoki kanalda barqaror tangensial tezlik saqlanadi. Membrana avval deionlangan suvda, so'ng MDEA eritmasida oqim barqarorlashguncha zichlanadi. Har bir nuqtada permeat massasi vaqt bo'yicha qayd etiladi, retentat hajmi bug'lanish va namuna olish yo'qotishlariga tuzatiladi.

$$J_v = V_p / (A \cdot t),$$

bu yerda J_v – permeat oqimi, $L \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$; V_p – permeat hajmi, L; A – faol membrana yuzasi, m^2 ; t – vaqt, h. Bosim bo'yicha gidravlik o'tkazuvchanlik $L_p = J_v / \Delta P$ orqali aniqlanadi. MDEA konsentratsiyasi ortishi bilan viskozitet oshgani uchun oqimni faqat bosim bilan emas, harorat va viskozitetga normallab qiyoslash zarur.

$$R_i = (1 - C_{p,i} / C_{f,i}) \cdot 100 \%,$$

bu yerda R_i – i-komponentni ushlab qolish darajasi; $C_{f,i}$ va $C_{p,i}$ – uning ozuqa va permeatdagi konsentratsiyalari. TBTdan tozalashda maqsad tanlangan texnologik konfiguratsiyaga bog'liq. Agar tozalangan amin permeat sifatida olinadigan bo'lsa, TBT anionlari uchun yuqori R_i va MDEA uchun yuqori uzatilish talab qilinadi. Agar diafiltratsiyada tuzlar permeatga chiqarilsa, aksincha MDEA yuqori ushlanib, TBTning o'tishi maksimal bo'lishi kerak. Shuning uchun “TBTni ushlab” va “TBTni chiqarish” atamalari oqim sxemasi ko'rsatilmasdan qo'llanmasligi lozim.

$$T(MDEA) = (C_{p,MDEA} / C_{f,MDEA}) \cdot 100 \%; \quad S = T(MDEA) / (100 - R(TBT)).$$

Faol MDEA kislota-asos titrlash va HPLC bilan; formiat, asetat, glikolat, oksalat, sulfat, tiosulfat va tiotsianat ion xromatografiyasida aniqlanadi [12]. Metall



ionlari ICP–OES, umumiy organik uglerod TOC analizatori, rang UV–Vis spektrofotometriyada o‘lchanadi. Massaviy balans yopilishi har bir komponent uchun 95–105% oralig‘ida bo‘lishi qabul mezoni sifatida belgilanadi. Natijalar o‘rtacha $\pm$ standart og‘ish shaklida berilib, omillar ta’siri ikki tomonlama ANOVA va $p < 0,05$ mezonida baholanadi.

NATIJALAR VA ULARNING MUHOKAMASI

QATLAM HOSIL BO‘LISHINING ILMIY ASOSLARI

Adabiyotlar tahlili PTFEning kimyoviy barqaror tayanch sifatidagi afzalligi uning ayni paytda asosiy kamchiligi ekanini ko‘rsatadi: inert va gidrofob sirt PIP suvli fazasini bir tekis ushlamaydi. PDA oraliq qatlami bu qarama-qarshilikni yumshatadi. Katexol–xinon va amin guruhlari orqali u PTFEga fizik-kimyoviy yopishadi, suvli fazaning tarqalishini yaxshilaydi hamda poliamidning tayanchdan ko‘chib ketish xavfini kamaytiradi. Ryu va hammualliflar PDAni turli material yuzalarini funksionallashtiruvchi universal qoplama sifatida umumlashtirgan [8].

PIP–TMC reaksiyasida juda qisqa kontakt va past monomer miqdori nuqsonli qatlamga, ortiqcha vaqt va konsentratsiya esa qalin, yuqori qarshilikli qatlamga olib keladi. BDSA sulfonat guruhlari gidratlangan zaryad markazlarini kiritadi. Manfiy zaryad bir va ikki valentli anionlarni Donnan itarilishi orqali ajratadi; ayniqsa sulfat va oksalat uchun ta’sir kuchliroq bo‘lishi mumkin. Shu bilan birga, poliamidning bo‘sh hajmi va zaryad zichligi MDEAning neytral/protonlangan shakllari transportini ham belgilaydi. Demak, eng yaxshi membrana eng yuqori tuz ushlashga ega namuna emas, balki TBT–MDEA selektivligi, oqim va chidamlilikning muvozanatini ta’minlagan namuna hisoblanadi.

1-jadval. Membrana olish va baholash bosqichlarining nazorat mezonlari



Bosqich	Boshqariladigan omil	Tahlil usuli	Qabul mezonlari
PTFE/PDA	Dopamin, pH, vaqt	Kontakt burchagi, FTIR, massa	Bir tekis gidrofillash; oqimning keskin yo'qolmasligi
PIP/TMC/B DSA	Monomer miqdori, kontakt va qotirish	SEM, AFM, FTIR, XPS	Uzluksiz, nuqsonsiz va S saqlagan qatlam
Bosim sinovi	ΔP , T , MDEA miqdori	J_v , L_p , viskozitet	Barqaror oqim va qaytar deformatsiya
Ajratish	Anion turi va konsentratsiya	IC, titrlash, HPLC	Yuqori TBT-MDEA selektivligi; 95–105% balans
Barqarorlik	MDEAda 24–168 h saqlash	FTIR, SEM, oqim, R_i	Qatlam ko'chmasligi va ko'rsatkichlar saqlanishi

Jadvaldagi qabul mezonlari yakuniy son emas, balki tajriba sifatini nazorat qiluvchi metodik chegaralardir. Masalan, kontakt burchagining kamayishi o'zi yetarli dalil emas: PDA qoplamasi g'ovaklarni yopib qo'ygan bo'lsa, gidrofillik oshsa ham foydali oqim kamayadi. Xuddi shuningdek, anionning yuqori ushlanishi MDEA ham ushlanib qolsa yoki oqim juda kichik bo'lsa, texnologik samaradorlikni bildirmaydi.

BOSIM VA MDEA KONSENTRATSIYASINING TA'SIRI

Transmembran bosim ortishi bilan J_v dastlab deyarli chiziqli ko'payadi. Yuqori bosimda konsentratsion qutblanish, poliamid qatlamning siqilishi va tayanch deformatsiyasi sabab o'sish sekinlashishi mumkin. 20% MDEA eritmasida viskoz qarshilik nisbatan kichik bo'lgani uchun oqim 30 va 35% eritmalaridagidan yuqori bo'lishi kutiladi. Shu bois turli konsentratsiyadagi natijalarni faqat bir xil bosimda emas, eritmaning o'lchangan dinamik viskoziteti va zichligi bilan birga berish zarur.



Ion ushlanishida bosim ikki xil rol o'ynaydi. Oqimning ortishi konvektiv transportni kuchaytirib, kuzatiladigan ushlanishni oshirishi mumkin; biroq membrana sirtidagi konsentratsion qutblanish lokal anion miqdorini ko'paytirib, samarali selektivlikni pasaytiradi. Aralashtirish tezligi yoki ko'ndalang oqim tezligi o'zgarmasa, bosim ta'siri massa almashinish qarshiligi bilan chalkashadi. Shuning uchun bosim qatori har bir MDEA konsentratsiyasi uchun kamida 0,5; 1,0; 2,0; 3,0 va 4,0 MPa nuqtalarida, bir xil gidrodinamik sharoitda o'tkazilishi tavsiya etiladi.

TBT TARKIBI VA AJRATISH MEXANIZMI

HSS aralashmasidagi anionlar zaryad valentligi, gidratlangan o'lchami va poliamid bilan maxsus o'zaro ta'siri bo'yicha farq qiladi. Manfiy zaryadlangan BDSAli qatlamda ikki valentli sulfat va oksalatning Donnan itarilishi odatda monovalent formiat va asetatnikidan kuchli bo'ladi. Tiotsianatning qutblanuvchanligi va organik tabiatli qismi esa poliamidga taqsimlanishini o'zgartirishi mumkin. Shu sababli "umumiy TBT" bilan birga har bir anionning individual konsentratsiyasi berilishi kerak; umumiy titr selektivlik mexanizmini ochib bermaydi.

MDEA eritmasida protonlangan amin kationlari elektr neytrallikni saqlaydi. Ularning membrana sirtiga adsorbsiyasi zeta-potensialni qisman ekranlab, suyultirilgan tuz eritmasida o'lchangan zaryaddan farqli ishchi holat hosil qiladi. Bundan tashqari, degradatsiya mahsulotlari va korroziya ionlari poliamid bilan komplekslanishi yoki g'ovaklarni ifloslantirishi mumkin. Shuning uchun sinovlar avval bitta tuzli model eritmalarida, keyin ko'p komponentli model eritmada va nihoyat real ishlatilgan MDEAda bajariladi. Bu ketma-ketlik membrananing ichki selektivligi bilan matritsa ta'sirini ajratadi.

ANALITIK ISHONCHLILIK VA MEMBRANA BARQARORLIGI

Ion xromatografiyasida MDEA matritsasi kolonkaga ortiqcha yuk tushirmasligi uchun namuna validatsiyalangan koeffitsientda suyultiriladi, 0,22 μm filtdan o'tkaziladi va standart qo'shish usuli bilan matritsa effekti tekshiriladi. Har bir anion uchun kalibrlash chizig'i, aniqlash va miqdoriy aniqlash chegarasi,



qaytaruvchanlik hamda tiklanish darajasi ko'rsatiladi. MDEAni titrlash umumiy ishqoriylikni berishi mumkin; degradatsiya mahsulotlari mavjud bo'lganda faol MDEAni HPLC yoki boshqa ajratuvchi usul bilan tasdiqlash zarur [12, 13].

Qisqa muddatli yuqori ushlanish membrananing uzoq muddatli yaroqliligini kafolatlamaydi. Ishlatilgan amin tarkibidagi uglevodorodlar, temir sulfidi, polimerlashgan degradatsiya mahsulotlari va antifoam sirtini ifloslantiradi. Oqimning vaqt bo'yicha J_t/J_0 nisbati, suv bilan yuvilgandan keyingi oqim tiklanishi $FRR = J_w,2/J_w,1 \cdot 100\%$ hamda qaytmas ifloslanish ulushi hisoblanadi. 5–10 sikldan keyin SEM va ATR–FTIR bilan qatlamning ko'chishi yoki gidrolizi tekshiriladi.

PIP–TMC poliamid qatlam ishqoriy amin muhitida amid bog'larining gidrolizi, shishish va zaryad ekranlanishiga uchrashi mumkin. PDAning oksidlanish darajasi va PTFE bilan adgeziyasi ham uzoq muddatda o'zgaradi. Shuning uchun membrana “MDEAga chidamli” deb faqat qisqa kontakt burchagi sinovi asosida emas, kamida 168 soatlik statik saqlash va uzluksiz filtrlashdan keyingi kimyoviy, morfologik hamda transport ko'rsatkichlari asosida baholanishi kerak.

ТЕХНОЛОГИК ТАЛQIN

PTFE/PDA–PIP/TMC–0,5% BDSA membranasi amaliy sxemaga kiritishda oqimlarning vazifasi aniq belgilanadi. TBT retentatda qolib, MDEA permeatga o'tadigan rejimda tozalangan permeat amin konturiga qaytariladi, konsentrlangan retentat esa utilizatsiya yoki ikkilamchi qayta ishlashga yuboriladi. Bunday sxemada MDEA uzatilishi yuqori, rang beruvchi yirik degradatlar va TBT ushlanishi esa yetarli bo'lishi kerak. Diafiltratsion rejimda MDEA retentatda saqlanadi, kichik ionlar yuvish suvi bilan permeatga chiqariladi; bu holda suv balansi va keyingi regeneratsiya energiyasi hisobga olinadi.

Membranali usulning afzalligi modullilik va past haroratda ishlashidir. Cheklovlari esa konsentratsion qutblanish, real aminning murakkab matritsasi, membrana ifloslanishi va konsentratni boshqarishdan iborat. Shu sababli membrana mexanik va faol ko'mirli oldindan filtrlashdan keyin yon oqimda ishlatilishi maqsadga muvofiq. Jarayon samaradorligi faqat TBT foizi bilan emas, qaytarilgan



faol MDEA massasi, energiya sarfi, membrana maydoni, tozalash oralig'i va chiqindi hajmi bo'yicha baholanadi.

Taklif etilgan metodologiya laboratoriya natijalarini sanoatga bevosita ko'chirish emas, balki masshtablash uchun zarur ma'lumotlarni yig'ish tizimidir. Pilot sinovda bosim yo'qotilishi, harorat, oqim, individual anionlar, MDEA balansi va membrana tozalash chastotasi uzluksiz qayd etilishi lozim. Shundan keyingina membrana maydoni, modul soni va iqtisodiy samaradorlik ishonchli hisoblanadi.

XULOSALAR

PTFE/PDA-PIP/TMC-0,5% BDSA kompozit membranasi termik barqaror tuzlarni ajratish uchun ilmiy jihatdan istiqbolli tuzilma hisoblanadi: PTFE kimyoviy barqaror tayanch, PDA gidrofil va adgezion oraliq qatlam, PIP-TMC esa zich poliamid to'r vazifasini bajaradi; BDSA sulfonat guruhlari zaryad asosidagi selektivlikni kuchaytiradi.

Membrana olishda dopamin polimerlanish vaqti, PIP/TMC konsentratsiyasi, BDSAning aniq ulushi, fazalararo kontakt hamda termik mustahkamlash rejimi asosiy boshqariladigan omillardir. Ularning har biri oqim, nuqsonsizlik va zaryad zichligi bilan birgalikda optimallashtirilishi kerak.

TBTni ajratish samaradorligini ishonchli baholash uchun SEM, AFM, ATR-FTIR, XPS, kontakt burchagi va zeta-potensial natijalari permeat oqimi, individual anionlar ushlanishi, MDEA uzatilishi, massaviy balans va uzoq muddatli barqarorlik bilan bog'lanishi lozim.

20-35% MDEA konsentratsiyasining viskozitetga ta'siri bosim-oqim bog'lanishini sezilarli o'zgartiradi. Shu sababli bosim ta'siri bir xil gidrodinamik va harorat sharoitida, viskozitetga normallangan holda qiyoslanishi zarur.

Keltirilgan usullar laboratoriya tajribasini rejalashtirish uchun asos bo'lib, haqiqiy sanoat samaradorligi real ishlatilgan MDEAda ko'p siklli pilot sinovlar, aniq massaviy balans va texnik-iqtisodiy hisob bilan tasdiqlanishi kerak.



ADABIYOTLAR

1. Kohl A. L., Nielsen R. B. Gas Purification. 5th ed. Houston: Gulf Publishing Company, 1997. 1395 p.
2. 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.
3. Vega F., Sanna A., Navarrete B., Maroto-Valer M. M., Cortés V. J. Degradation of Amine-Based Solvents in CO₂ Capture Process by Chemical Absorption // Greenhouse Gases: Science and Technology. 2014. Vol. 4. P. 707–733. DOI: 10.1002/ghg.1446.
4. 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.
5. Wang T., Hovland J., Jens K. J. Amine Reclaiming Technologies in Post-Combustion Carbon Dioxide Capture // Journal of Environmental Sciences. 2015. Vol. 27. P. 276–289.
6. Wang Y., Fang M., Huang Y., Wang T., Li S., Lu X., Xie Y. Removal of Heat Stable Salts from Degraded Amine Solvent by 'BMED+ED' Two-Stage Electrodialysis Unit // International Journal of Greenhouse Gas Control. 2023. Vol. 127. 103939. DOI: 10.1016/j.ijggc.2023.103939.
7. Lee H., Dellatore S. M., Miller W. M., Messersmith P. B. Mussel-Inspired Surface Chemistry for Multifunctional Coatings // Science. 2007. Vol. 318. P. 426–430. DOI: 10.1126/science.1147241.
8. Ryu J. H., Messersmith P. B., Lee H. Polydopamine Surface Chemistry: A Decade of Discovery // ACS Applied Materials & Interfaces. 2018. Vol. 10. P. 7523–7540. DOI: 10.1021/acsami.7b19865.
9. Lv Z., Hu J., Zheng J., Zhang X., Wang L. Antifouling and High Flux Sulfonated Polyamide Thin-Film Composite Membrane for Nanofiltration // Industrial & Engineering Chemistry Research. 2016. Vol. 55. P. 4726–4733. DOI: 10.1021/acs.iecr.6b00409.



10. Li M., Yao Y., Zhang W., Zheng J., Zhang X., Wang L. Fractionation and Concentration of High-Salinity Textile Wastewater Using an Ultra-Permeable Sulfonated Thin-Film Composite // Environmental Science & Technology. 2017. Vol. 51. P. 9252–9260. DOI: 10.1021/acs.est.7b01795.
11. Petersen R. J. Composite Reverse Osmosis and Nanofiltration Membranes // Journal of Membrane Science. 1993. Vol. 83. P. 81–150. DOI: 10.1016/0376-7388(93)80014-O.
12. ISO 10304-1:2007. Water Quality – Determination of Dissolved Anions by Liquid Chromatography of Ions – Part 1. Geneva: ISO, 2007.
13. Supap T., Idem R., Tontiwachwuthikul P., Saiwan C. Analysis of Monoethanolamine and Its Oxidative Degradation Products during CO₂ Absorption from Flue Gases // Industrial & Engineering Chemistry Research. 2006. Vol. 45. P. 2437–2451. DOI: 10.1021/ie050559d.
14. Chen F., Chi Y., Zhang M., Yang K., Fu C. Removal of Heat Stable Salts from N-Methyldiethanolamine Wastewater Using Electrodialysis: A Pilot-Scale Study // Desalination and Water Treatment. 2020. Vol. 196. P. 48–57. DOI: 10.5004/dwt.2020.25935.
15. Bazhenov S., Vasilevsky V., Rieder A., Unterberger S., Grushevenko E., Volkov V., Volkov A. Heat Stable Salts Removal by Electrodialysis: Reclaiming of MEA Used in Post-Combustion CO₂ Capture // Energy Procedia. 2014. Vol. 63. P. 6349–6356. DOI: 10.1016/j.egypro.2014.11.668.
16. Baker R. W. Membrane Technology and Applications. 3rd ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2012. 575 p.
17. Mulder M. Basic Principles of Membrane Technology. 2nd ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1996. 564 p.