



TABIY GAZNI TOZALASHDA ISHLATILGAN ALKANOLAMIN ERITMALARINI TERMIK BARQAROR TUZLARDAN TOZALASH UCHUN PVDF/PPSU/PAN/PVP K30 TARKIBLI MEMBRANANI TAYYORLASH

Xolturayeva Inoyat Nurmamat qizi

Qarshi davlat universiteti

Annotatsiya. Maqolada tabiiy gazni H_2S va CO_2 dan aminli tozalash qurilmalarida ishlatilgan alkanolamin eritmalaridan termik barqaror tuzlarni ajratish uchun PVDF/PPSU/PAN/PVP K30 asosidagi g'ovak tayanch membranani nonsolvent ta'sirida fazaviy ajratish usulida tayyorlash metodologiyasi ishlab chiqildi. Polivinilidenftorid (PVDF) kimyoviy chidamlilikni, polifenilsulfon (PPSU) mexanik va termik barqarorlikni, poliakrilonitril (PAN) qutblilikni, polivinilpirrolidon K30 esa g'ovak hosil qilish va gidrofillikni boshqarishi nazariy asoslandi. PVDF/PPSU/PAN miqdori mos ravishda 10/4/4 massa % qilib olinib, PVP K30 0–3 massa % oralig'ida o'zgartiriladigan tajriba matritsasi taklif etildi. Quyma eritmani N-metil-2-pirrolidonda tayyorlash, vakuumda gazzizlantirish, 200 μm qalinlikda quyish va suvli koagulyatsiya vannasida cho'ktirish bosqichlari bayon qilindi. Membrananing morfologiyasi, funksional guruhlari, termik xossalari, g'ovakligi, kontakt burchagi, mexanik mustahkamligi, toza suv oqimi va molekulyar-massaviy kesish chegarasini aniqlash usullari tizimlashtirildi. Adabiyotlar tahlili PVP K30 miqdori ortishi membrana hosil bo'lish kinetikasi va makrog'ovaklar rivojlanishini kuchaytirishi, biroq ortiqcha qo'shimcha yuvilib ketish, nuqson va mexanik mustahkamlikning pasayishiga olib kelishi mumkinligini ko'rsatdi. Muhim jihat shundaki, taklif etilgan kompozitsiya erigan termik barqaror tuzlarni bevosita selektiv ajratuvchi yakuniy nanofiltr emas, balki keyingi selektiv qatlam uchun tayanchdir. Keltirilgan natijalar tajribada tekshirilishi lozim bo'lgan ilmiy asoslangan kutilmalar sifatida talqin qilindi.



Kalit so'zlar: tabiiy gaz, alkanolamin, MDEA, termik barqaror tuzlar, PVDF, PPSU, PAN, PVP K30, fazaviy inversiya, NIPS, g'ovak tayanch membrana, nanofiltratsiya, membrana morfologiyasi.

KIRISH

Tabiiy gazni iste'mol va transport talablariga tayyorlashda vodorod sulfid va karbonat angidridni alkanolamin eritmalari bilan yutish eng ko'p qo'llanadigan jarayonlardan biridir. Ayniqsa metildietanolamin (MDEA) H_2S ga nisbatan selektivligi, bug'lanish yo'qotishining kamligi va regeneratsiya issiqligining nisbatan pastligi bilan ajralib turadi. Shunga qaramay, aylanma amin kislorod, yuqori harorat, COS , CS_2 , SO_x/NO_x izlari, organik kislotalar va korroziya mahsulotlari bilan uzoq kontakt qilganda qaytmas degradatsiyaga uchraydi [1–4].

Degradatsiyada paydo bo'ladigan formiat, asetat, glikolat, oksalat, sulfat, tiosulfat va tiotsianat kabi anionlar protonlangan amin kationlari bilan regeneratorda parchalanmaydigan termik barqaror tuzlar (TBT; inglizcha heat-stable salts, HSS) hosil qiladi. Ular gaz oqimida mustaqil qattiq zarracha sifatida emas, balki ishlatilgan amin eritmasida erigan ionlar holida to'planadi. TBT erkin amin ulushini kamaytiradi, eritmaning ion kuchi va korrozion faolligini oshiradi, ko'piklanish, issiqlik almashinish sirtlarining ifloslanishi va energiya sarfining ortishiga sabab bo'ladi [2, 5]. Shu bois maqola nomidagi "tabiiy gazni TBTdan tozalash" texnologik jihatdan gazni bevosita emas, gazni tozalash konturidagi amin eritmasini qayta tiklashni anglatadi. Aminni qayta tiklashning vakuum distillatsiyasi, ion almashinish va elektrodializ usullari mavjud. Wang va hammualliflar degradatsiyalangan aminni bipolyar membranali hamda oddiy elektrodializning ketma-ket kombinatsiyasida qayta ishlab, tajriba sharoitida TBTning 94,93% ini chiqarish mumkinligini ko'rsatgan [6]. Biroq elektr sarfi, membrana paketlarining ifloslanishi va konsentratni zararsizlantirish masalalari saqlanib qoladi. Bosim ostidagi membranali usul modulliligi va past haroratda ishlashi bilan jozibador, ammo yuqori MDEA konsentratsiyasi, kuchli ion muhiti va degradatsiya mahsulotlari membrana materiali uchun murakkab muhit yaratadi [5, 7].



PVDF kimyoviy va mexanik chidamli gidrofob ftorpolimer bo'lib, ultrafiltratsion tayanchlar tayyorlashda keng qo'llanadi. PPSU aromatik zanjiri va sulfon guruhlari tufayli yuqori termik hamda o'lcham barqarorligiga ega. PANning nitril guruhlari qutblilikni oshiradi, PVP K30 esa suv bilan yaxshi o'zaro ta'sirlashuvchi, quyma eritma viskoziteti va solvent–nonsolvent almashinuvini o'zgartiruvchi g'ovak hosil qiluvchi qo'shimchadir [8–13]. To'rt komponentli tizimning imkoniyati ularning vazifalarini birlashtirishda, muammosi esa termodinamik moslik va fazaviy ajralishni boshqarishdadir.

TADQIQOT MAQSADI VA ILMIY YANGILIGI

Ishning maqsadi PVDF/PPSU/PAN/PVP K30 tarkibli assimetrik tayanch membranani NIPS usulida tayyorlash, uning tarkib–tuzilish–xossa bog'lanishini aniqlash va ishlatilgan MDEA eritmasida TBTni ajratishga mo'ljallangan kompozit nanofiltratsion membrana uchun yaroqlilik mezonlarini belgilashdan iborat. Ilmiy yangilik sifatida bir xil PVDF/PPSU/PAN bazasida PVP K30ning 0–3% diapazonini qamrab oluvchi tajriba matritsasi, aminga chidamlilik protokoli va tayanch bilan selektiv qatlam vazifalarini ajratib baholash tamoyili taklif qilinadi. Maqola metodik-adabiy tadqiqotdir; undagi sonli tarkiblar tajriba uchun boshlang'ich nuqtalar bo'lib, o'lchangan natija sifatida taqdim etilmaydi.

TADQIQOT USULI

MATERIALLAR VA TAJRIBA DIZAYNI

Membrana tayyorlash uchun PVDF (o'rtacha molekulyar massa va markasi pasportda ko'rsatiladi), PPSU, PAN va PVP K30 (nominal $M_w \approx 40\,000$ g/mol), erituvchi sifatida N-metil-2-pirrolidon (NMP), koagulyant sifatida deionlangan suv qabul qilinadi. Polimerlar va PVP namlik ta'sirini kamaytirish uchun 60–80 °C da vakuumda kamida 12 soat quritiladi. NMP reproduktiv toksiklik xavfiga ega bo'lgani sababli barcha operatsiyalar tortma shkafda, kimyoviy bardoshli qo'lqop va ko'zoynakda bajariladi; chiqindi erituvchi alohida idishda yig'iladi.

1-jadval. PVDF/PPSU/PAN/PVP K30 quyma eritmalarining taklif etilgan tarkibi, massa %



Namuna	PVDF	PPSU	PAN	PVP K30	NMP	Maqsad
M0	10	4	4	0	82	Qo'shimchasiz nazorat
M1	10	4	4	1	81	Past PVP miqdori
M2	10	4	4	2	80	O'rta PVP miqdori
M3	10	4	4	3	79	Yuqori g'ovaklik nomzodi

Har bir formulada umumiy polimer miqdori 18 massa % darajada saqlanadi, PVP ortishi NMP miqdorining teng kamayishi bilan kompensatsiyalanadi. Shunday dizayn PVP ta'sirini polimer konsentratsiyasi o'zgarishidan ajratadi. M0–M3ning har biri kamida uch mustaqil partiyada tayyorlanadi va har bir partiyadan uchta namuna olinadi. Quyma eritmaning 25 °C dagi viskoziteti rotatsion reometrda o'lchanadi; aynan bir xil kesish tezligida qiyoslash fazaviy inversiya kinetikasini talqin qilish uchun muhimdir.

QUYMA ERITMANI TAYYORLASH VA NIPS JARAYONI

Qurilgan PPSU 50–60 °C gacha qizdirilgan NMPga oz-ozdan qo'shib, to'liq eriguncha aralashtiriladi. Keyin PVDF, undan so'ng PAN kiritiladi. Polimerlar bir jinsli eritma bergach PVP K30 qo'shiladi va aralashma 12–24 soat yopiq idishda 250–400 min⁻¹ tezlikda aralashtiriladi. Ketma-ketlik har bir polimerning lokal aglomeratsiyasini kamaytiradi; baribir shaffoflik to'liq moslikning isboti emas. Tayyor eritma 25 °C ga keltirilib, vakuumda 6–12 soat gazsizlantiriladi. Harorat, vaqt va namlik barcha partiyalar uchun bir xil qayd qilinadi.

Eritma tekis shisha yoki to'qilmagan poliester tayanch ustiga 200 μm pichoq oralig'ida quyiladi. Quyilgan qatlam 25 ± 1 °C va 40–60% nisbiy namlikda 30–90 soniya havoda ushlab turilib, 20–25 °C deionlangan suv vannasiga tushiriladi.



Solventning suvga va suvning polimer plyonkaga qarama-qarshi diffuziyasi termodinamik beqarorlik tug'dirib, polimerga boy uzluksiz karkas va polimerga kambag'al g'ovak fazani hosil qiladi. NIPS/VNIPS bo'yicha ishlar havoda ushlab va namlikning sirt qatlami hamda makrog'ovaklarga sezilarli ta'sirini ko'rsatadi [9, 10].

Membrana birlamchi vannada 2 soat, keyin yangilanadigan suvda kamida 24 soat yuviladi. Bu bosqich NMP va bog'lanmagan PVPni chiqarish uchun zarur. Yuvish suvining umumiy organik uglerodi yoki UV-absorbsiya signali fon qiymatiga yaqinlashishi yuvish tugaganining amaliy mezoni sifatida olinadi. Quruq tavsiflash uchun namuna suv-etanol almashinuvi va xona haroratida boshqariladigan quritish orqali tayyorlanadi; SEM ko'ndalang kesimi suyuq azotda mo'rt sindiriladi. Oqim sinovigacha namunalar mikrobiologik ifloslanishni cheklovchi sharoitda deionlangan suvda saqlanadi.

STRUKTURA VIY VA FIZIK-KIMYOVIY TAVSIFLASH

SEM yordamida sirt va ko'ndalang kesim morfologiyasi kamida besh tasodifiy maydonda baholanadi: selektiv teri qatlamining qalinligi, barmoqsimon makrog'ovaklar, gubkasimon soha va nuqsonlar tasvir tahlilida miqdorlanadi. AFM $5 \times 5 \mu\text{m}$ maydonda o'rtacha g'adir-budurlik Ra va RMS qiymatini beradi. ATR-FTIR spektrida PVDFga xos C-F va faza sezgir polosalar, PPSUning aromatik va SO_2 , PANning $\text{C}\equiv\text{N}$, PVPning $\text{C}=\text{O}$ signallari kuzatiladi. PVP signali yuvishdan oldin va keyin solishtirilib, uning membranada saqlanish darajasi bilvosita baholanadi.

DSC polimer fazalarining shishalanish va erish o'tishlarini, TGA esa azot va havoda massa yo'qotish bosqichlarini ko'rsatadi. Bir nechta Tg yoki kengaygan o'tishlar aralashmaning qisman mosligi/fazalarga bo'linishi haqida ma'lumot berishi mumkin, ammo DSCning o'zi to'liq xulosa uchun yetarli emas; SEM, FTIR xaritalash va dinamik-mexanik tahlil bilan birga talqin qilinadi. PAN nitril guruhlarining kuchli ishqoriy muhitda gidrolizlanish ehtimoli sabab MDEAgabotirishdan oldingi va keyingi FTIR alohida taqqoslanadi.



Membrana g'ovakligi nam–quruq gravimetrik usulda hisoblanadi. Sirt suvi ehtiyotkorlik bilan olingan nam membrana massasi m_n , vakuumda quritilgan massa m_q , namuna yuzasi A , qalinlik δ va suv zichligi ρ_s bo'lsa, umumiy ochiq g'ovaklik quyidagicha aniqlanadi:

$$\varepsilon = [(m_n - m_q)/(\rho_s \cdot A \cdot \delta)] \cdot 100\%.$$

O'rtacha g'ovak radiusi Guerout–Elford–Ferry munosabatidan, suyuqlik viskoziteti, membrana qalinligi, barqaror hajmiy sarf va bosim farqi asosida hisoblanadi. Ushbu hisob silindrsimon g'ovak modeliga tayanganligi uchun u mutlaq o'lcham emas, namunalarni qiyoslash ko'rsatkichi sifatida talqin qilinadi. Sirt gidrofilligi 5 μ L deionlangan suv tomchisining statik kontakt burchagi bilan kamida besh nuqtada o'lchanadi. Mexanik sinovda nam holatdagi uzilish mustahkamligi va uzayish ISO 527 tamoyiliga yaqin geometriyada beriladi.

TRANSPORT, KESISH CHEGARASI VA AMINGA CHIDAMLILIK

Yassi membrana ko'ndalang oqimli yoki berk yacheykada avval 0,2 MPa da 30–60 min zichlanadi. Toza suv oqimi 0,05–0,20 MPa oralig'ida o'lchanadi. Faol yuzasi A bo'lgan membranadan t vaqt ichida V permeat o'tsa, oqim J va gidravlik o'tkazuvchanlik L_p quyidagicha aniqlanadi:

$$J = V/(A \cdot t); \quad L_p = J/\Delta P.$$

Molekulyar-massaviy kesish chegarasi (MWCO) turli molekulyar massali PEG yoki dekstran eritmaları bilan, gel-permeatsion xromatografiya yoki TOC yordamida aniqlanadi. Ushlanish $R = (1 - C_p/C_f) \cdot 100\%$ formula bo'yicha hisoblanadi; 90% ushlanishga mos molekulyar massa MWCO sifatida olinadi. Bu sinov tayanchning ultrafiltratsion xarakterini ko'rsatadi, lekin kichik formiat, asetat yoki sulfat ionlarini selektiv ushlashini isbotlamaydi.

Amin muhitiga chidamlilik M0–M3 namunalarini 20, 30 va 35 massa % yangi MDEAda hamda real ishlatilgan amin filtratida 25, 40 va 60 °C da 24, 72 va 168 soat saqlash orqali tekshiriladi. Massa, o'lcham, kontakt burchagi, FTIR, quruq va nam mexanik mustahkamlik, suv oqimi hamda MWCOdagi o'zgarishlar qayd etiladi. Nisbiy ko'rsatkich X/X_0 orqali berilib, shishish bilan PVP yuvilishi alohida



nazorat qilinadi. Real namuna bilan ishlashda H_2S ajralishi ehtimoli baholanadi va yopiq, ventilyatsiyali tizim qo'llanadi.

Ifloslanish sinovida membrana dastlab suvda $J_{w,1}$, so'ng MDEA/degradat aralashmasida J_f oqimga ega bo'ladi; suv bilan standart yuvilgach $J_{w,2}$ o'lchanadi. Oqimning tiklanish koeffitsienti $FRR = J_{w,2}/J_{w,1} \cdot 100\%$, umumiy ifloslanish $R_t = (1 - J_f/J_{w,1}) \cdot 100\%$ shaklida hisoblanadi. Natijalar o'rtacha $\pm$ standart og'ish ko'rinishida beriladi. PVP miqdori va MDEA konsentratsiyasi ta'siri ikki omilli ANOVA bilan, $p < 0,05$ mezonida tekshiriladi.

NATIJAR VA ULARNING MUHOKAMASI

KOMPONENTLARNING FUNKSIONAL ROLI VA MOSLIK MASALASI

Adabiyot ma'lumotlari asosida PVDF kompozitsiyaning kimyoviy chidamli uzluksiz karkasini hosil qilishi kutiladi. PPSU aromatik zanjiri tayanchning yuqori haroratdagi o'lcham va bosim barqarorligini kuchaytirishi mumkin. PAN nitril guruhlari sirt energiyasi hamda qutblilikni oshirib, suvning kirishini yengillashtiradi. PVP K30 esa gidrofil g'ovak hosil qiluvchi va reologik modifikator vazifasini bajaradi. Biroq bu xususiyatlar arifmetik tarzda qo'shilmaydi: to'rt polimerning NMPdagi o'zaro ta'siri, molekulyar massasi va eritma viskoziteti fazaviy ajralish yo'lini belgilaydi [8–13].

PVDF/PAN aralash membranalar fazaviy inversiya bilan olinishi va tarkibga bog'liq morfologiya berishi tajribada ko'rsatilgan [11]. PPSUning qo'shilishi termik-mexanik foyda berishi ehtimoliga qaramay, PVDF bilan yetarli termodinamik moslik avtomatik ravishda qabul qilinmaydi. Agar SEMda polimerlararo bo'shliqlar, yirik domenlar yoki mo'rt sinish kuzatilsa, eritish tartibi, umumiy polimer ulushi, koagulyatsiya vannasi tarkibi va kompatibilizatsiya strategiyasi qayta ko'riladi. Shuning uchun M0 namunasi "fazaviy optimal" emas, PVP ta'sirini ajratish uchun nazoratdir.



PVP K30 MIQDORINING KUTILADIGAN TA'SIRI

PVP suvga moyil bo'lgani uchun solvent–suv almashinuvini tezlashtirib, barmoqsimon makrog'ovaklar va umumiy g'ovaklikni ko'paytirishi mumkin. PVDF membranalar bo'yicha tadqiqotlarda PVP K30ni g'ovak hosil qiluvchi sifatida qo'llash hamda fazaviy ajratish parametrlarining morfologiyaga kuchli ta'siri qayd etilgan [9, 10, 13]. Shu sababli M1–M3 qatorida kontakt burchagining kamayishi, g'ovaklik va toza suv oqimining ortishi asosiy gipotezadir. Biroq PVP bir vaqtda quyma eritma viskozitetini oshiradi; yuqori viskozitet massaalmashuvni sekinlashtirib, ayrim tarkiblarda maydaroq yoki gubkasimon struktura berishi mumkin. Natijaning yo'nalishi tajribasiz oldindan qat'iy belgilanmaydi.

M3 yuqori g'ovaklikka nomzod sifatida kiritilgan, “eng yaxshi membrana” sifatida emas. Ortiqcha PVP koagulyatsiyada yuvilib, katta bo'shliq va ingichka karkas hosil qilishi; qoldiq PVP esa foydalanish vaqtida chiqib, oqimning beqarorligi va sirt xossalarning o'zgarishiga sabab bo'lishi mumkin. Shu bois optimal tarkib maksimal J qiymati bo'yicha emas, Lp, MWCO, qalinlik, nam mustahkamlik, FRR va 168 soatlik MDEA sinovidagi barqarorlikdan tuzilgan ko'p mezonli baho bo'yicha tanlanadi.

2-jadval. Tarkib o'zgarishida kutiladigan tendensiyalar va ularni tekshirish mezonlari

Omil	Kutiladigan foyda	Asosiy xavf	Tasdiqlovchi ko'rsatkich
PVDF karkasi	Kimyoviy chidamlilik	Gidrofoblik	FTIR, kontakt burchagi, MDEA sinovi
PPSU 4%	Qattqlik va termik barqarorlik	Fazalararo nuqson	DSC/TGA, SEM, uzilish sinovi
PAN 4%	Qutblilik va namlanish	Ishqoriy gidroliz	FTIR, massa va oqim o'zgarishi



Omil	Kutiladigan foyda	Asosiy xavf	Tasdiqlovchi ko'rsatkich
PVP K30 1–3%	G'ovaklik va oqim ortishi	Yuvilish, karkas zaiflashuvi	TOC, ε , MWCO, FRR, mexanika

TBT AJRATISHDAGI REAL FUNKSIYASI

Formiat, asetat, oksalat, sulfat va boshqa TBT anionlarining gidratlangan o'lchami ultrafiltratsion tayanch g'ovaklaridan bir necha tartib kichikdir. Shu sababli PVDF/PPSU/PAN/PVP K30 tayanchidan yuqori TBT ushlanishini kutish fizik jihatdan asoslanmagan. U g'ovakligi, oqimi va mexanik barqarorligi bilan keyinchalik hosil qilinadigan zich selektiv qatlamni ko'taradi. Yakuniy ajratish poliamid nanofiltratsion qatlam, ion-almashinuvchi qoplama yoki elektr maydoni bilan bog'langan membrana orqali amalga oshirilishi mumkin [6, 7, 14, 15].

Tayanchga yupqa poliamid qatlam fazalararo polimerlanish bilan yotqizilganda uning sirt g'ovaklari monomerning tayanch ichiga kirishi va qatlam qalinligini boshqaradi. Juda yirik g'ovaklar monomer eritmasini ortiqcha yutib, qalin yoki nuqsonli qatlam beradi; juda kichik g'ovak va past oqim esa umumiy gidravlik qarshilikni oshiradi. Demak, M2 yoki M3ning maqsadga muvofiqligi faqat "ko'p g'ovak" bilan emas, taxminan UF diapazonidagi bir jinsli sirt, yetarli mexanik modul va selektiv qatlamning uzluksiz yotishi bilan belgilanadi.

Ishlatilgan MDEAning viskoziteti suvnikidan yuqori bo'lgani sabab bir xil bosimda permeat oqimi keskin kamayadi. Harorat ortishi viskozitetni pasaytirib oqimni oshiradi, lekin polimer shishishi, PAN gidrolizi va selektiv qatlam qarishini tezlashtirishi mumkin. TBT, protonlangan MDEA, temir ionlari, issiqlik-stabil organik degradatlar va antifoam sirt zaryadi hamda ifloslanishni o'zgartiradi. Shu bois suv oqimi faqat sifat nazorati; texnologik xulosa 20–35% MDEA va real amin matritsasidagi uzoq sinovga asoslanishi kerak.

EKSPERIMENTAL NATIJALARNI TAQDIM ETISH MEZONLARI

Keyingi tajribada natijalar M0–M3 uchun quyidagi ketma-ketlikda amalga oshirildi: quyma eritma viskoziteti; sirt va kesim SEM; ε , kontakt burchagi, qalinlik



va MWCO; quruq/nam mexanik xossalar; suv va MDEA o'tkazuvchanligi; 168 soatlik kimyoviy barqarorlik; selektiv qatlam yotqizilgandan keyingi individual anion ushlanishi va MDEA balansi. Har bir o'lchovda takrorlar soni, standart og'ish va statistik ahamiyat ko'rsatiladi. Faqat chiroyli SEM tasviri yoki bitta oqim nuqtasi kompozitsiyaning ustunligini isbotlamaydi.

TBT tahlili ion xromatografiyasida individual anionlar bo'yicha bajariladi [16]. Faol MDEA kislota-asos titrlash bilan dastlab baholanib, murakkab degradat matritsasida HPLC bilan tasdiqlanadi. Selektiv qatlamli yakuniy membranada komponent ushlanishi $R_i = (1 - C_{p,i}/C_{f,i}) \cdot 100\%$ orqali, massaviy balans esa ozuqa, permeat va retentatdagi mollar asosida tekshiriladi. Balansning 95–105% oralig'i analitik qabul mezoni bo'lishi mumkin. TBT chiqarilishi bilan birga faol MDEA yo'qotilishi va suv balansi ko'rsatilmasa, jarayonning texnologik foydasi to'liq baholanmaydi.

Taklif etilgan yondashuvning cheklovi shundaki, PVDF/PPSU/PAN/PVP K30 to'rt komponentli aynan shu nisbat bo'yicha nashr etilgan to'liq eksperimental ma'lumot yetarli emas. Shuning uchun bu maqolada morfologiya, oqim yoki ushlanishning soxta sonli natijalari keltirilmadi. Kutiladigan tendensiyalar alohida PVDF/PVP, PVDF/PAN va fazaviy inversiya tadqiqotlaridan chiqarilgan ilmiy gipotezalardir. Kompozitsiya muvaffaqiyati Hansen eruvchanlik parametrlari, bulutlanish nuqtasi, reologiya va tajriba tavsifi bilan tekshirilishi shart.

TEXNOLOGIK TAVSIYALAR

Laboratoriya bosqichida M0–M3 ichidan tayanch tanlangach, uning ustiga zaryadlangan nanofiltratsion qatlam yotqizilib, bitta tuzli model eritma, ko'p komponentli model MDEA va real ishlatilgan amin ketma-ketligida sinaladi. Real amin avval 5 μm patron va faol ko'mir orqali suspenziya hamda uglevodorodlardan tozalanadi. Membrana asosiy amin konturiga emas, nazorat qilinadigan yon oqimga joylashtiriladi. Konsentratdagi TBT va yo'qotilgan MDEA alohida qayta ishlanadi; "nol chiqindi" degan da'vo massaviy balanssiz qo'llanmaydi.



Masshtablashda membrana maydoni, transmembran bosim, ko'ndalang oqim tezligi, harorat, qayta aylanish koeffitsienti va tozalash davri birgalikda optimallashtiriladi. NMPning mehnat va ekologik xavfi sabab solventni yopiq siklda qaytarish hamda xavfsizroq alternativ erituvchilarni tekshirish sanoat bosqichining majburiy qismidir. Tayanchning 60 °C MDEAdagi o'lcham barqarorligi va ko'p siklli yuvishga chidamliligi laboratoriyadagi yuqori suv oqimidan muhimroq texnologik mezon hisoblanadi.

XULOSALAR

1. PVDF/PPSU/PAN/PVP K30 tizimi ishlatilgan alkanolamin eritmasini TBTdan tozalashga mo'ljallangan kompozit membrana uchun istiqbolli g'ovak tayanch sifatida asoslandi. PVDF kimyoviy karkas, PPSU termik-mexanik mustahkamlagich, PAN qutblilik manbai, PVP K30 esa g'ovak hosil qiluvchi va gidrofil modifikator vazifasini bajaradi.

2. PVDF/PPSU/PAN = 10/4/4 massa % doimiy tarkibda PVP K30ni 0, 1, 2 va 3 massa % o'zgartirish, NMPni mos ravishda 82–79% kamaytirish va membranani 200 μ m quyish oralig'ida suvli NIPS orqali olish taklif etildi. Bu tarkiblar tayyor eksperimental optimum emas, tekshiriladigan dizayn nuqtalaridir.

3. PVP miqdori ortishi gidrofillik, g'ovaklik va oqimni oshirishi mumkin, ammo eritma viskoziteti, PVP yuvilishi, makrog'ovak nuqsonlari va mexanik mustahkamlik pasayishi qarama-qarshi ta'sir ko'rsatadi. Optimal variant SEM/AFM, ATR–FTIR, DSC/TGA, ϵ , kontakt burchagi, MWCO, nam mexanika va FRRning kompleks bahosi bilan tanlanishi lozim.

4. PVDF/PPSU/PAN/PVP K30 g'ovak tayanchning o'zi erigan TBT ionlarini samarali selektiv ajratmaydi. Yuqori TBT–MDEA selektivligi uchun tayanch ustida zaryadlangan zich nanofiltratsion yoki ion-almashinuvchi qatlam shakllantirilishi va individual anionlar bo'yicha ion-xromatografik sinov o'tkazilishi zarur.



5. Yakuniy texnologik xulosa 20–35% MDEAda 25–60 °C, kamida 168 soatlik statik va ko‘p siklli dinamik sinovlar, 95–105% massaviy balans hamda faol MDEA yo‘qotilishini hisobga olgan pilot tekshiruvdan keyingina berilishi mumkin.

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. DOI: 10.1016/j.jes.2014.12.010.
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. Baker R. W. Membrane Technology and Applications. 3rd ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2012. 575 p.
8. Mulder M. Basic Principles of Membrane Technology. 2nd ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1996. 564 p.
9. Chen M., et al. Preparation of PVDF Membrane via Synergistically Vapor and Non-Solvent-Induced Phase Separation // Applied Water Science. 2022. Vol. 12. DOI: 10.1007/s13201-022-01683-7.



10. Nawi N. I. M., et al. Development of Hydrophilic PVDF Membrane Using Vapour Induced Phase Separation Method for Produced Water Treatment // Membranes. 2020. Vol. 10. Art. 121. DOI: 10.3390/membranes10060121.
11. Mehta J., Panwar D. S., Metre A., Bhakhar M. S. Potential Evaluation of PVDF/PAN Membranes for Separation of Oil from Industrial Waste // The Open Chemical Engineering Journal. 2021. Vol. 15. P. 18–30. DOI: 10.2174/1874123102115010018.
12. Medeiros K. M., et al. Optimization of Process Parameters for Obtaining Porous PVDF/TPU Hollow Fiber Membranes with PVP K30 // Water. 2020. Vol. 12. Art. 2180. DOI: 10.3390/w12082180.
13. Santos E. N., et al. Statistical Analysis of Synthesis Parameters to Fabricate PVDF Membranes by Phase Inversion // Polymers. 2022. Vol. 14. Art. 113. DOI: 10.3390/polym14010113.
14. 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.
15. 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.
16. ISO 10304-1:2007. Water Quality — Determination of Dissolved Anions by Liquid Chromatography of Ions — Part 1. Geneva: ISO, 2007.
17. Meng N., et al. Preparation and Properties of Polyvinylidene Fluoride Membranes with PVP as Pore-Forming Agent // Polymers. 2019. Vol. 11. Art. 473. DOI: 10.3390/polym11030473.

Izoh. Maqola eksperimental protokol va adabiyotlarga tayangan ilmiy gipotezani beradi. Muallif haqidagi ma'lumotlar, real laboratoriya natijalari, ularning statistik ko'rsatkichlari va moliyalashtirish/manfaatlar to'qnashuvi bndlari jurnalga topshirishdan oldin to'ldirilishi shart.