M 3 VA M 3 PIP TMC BDSA MEMBRANALARI SAMARADORLIGINING QIYOSIY BAHOSI

Xolturayeva Inoyat Nurmamat qizi
Qarshi davlat universiteti

Annotatsiya. *Maqolada ishlatilgan MDEA eritmasini termik barqaror tuzlardan tozalashda g‘ovak M-3 tayanch membranasi hamda uning sirtida PIP/TMC/0,5% BDSA selektiv qatlam hosil qilingan kompozit variantning samaradorligi qiyoslandi. M-3 uchun 35% MDEA va 50 bar sharoitida olingan natijalar jami TBTning 60,4%, xloridning 96,0% va oltingugurtli anionlarning 93,0% kamayganini ko‘rsatdi. Kompozit membrana bo‘yicha qiymatlar tajriba natijasi emas, balki adabiyot va ajratish mexanizmi asosida belgilangan validatsiya maqsadlaridir. Qiyoslash uchun ion ushlanishi, MDEA yo‘qotilishi, permeans, barqarorlik va CIP tiklanishi mezonlari taklif qilindi.*

Kalit so‘zlar: *MDEA, termik barqaror tuzlar, M-3 membrana, PIP, TMC, BDSA, nanofiltratsiya, Donnan itarilishi, selektivlik.*

Аннотация. *Проведена сравнительная оценка пористой опорной мембраны M-3 и композитного варианта с селективным слоем PIP/TMC/0,5% BDSA для удаления термостабильных солей из отработанного раствора MDEA. Для M-3 при 35% MDEA и 50 бар установлено снижение суммарных ТСС на 60,4%, хлоридов на 96,0% и серосодержащих анионов на 93,0%. Показатели композитной мембраны представлены как цели экспериментальной валидации, а не как полученные результаты. Сравнение основано на удержании ионов, потерях MDEA, проницаемости, долговременной стабильности и восстановлении потока после CIP.*

Ключевые слова: *MDEA, термостабильные соли, мембрана M-3, PIP, TMC, BDSA, нанофильтрация, доннановское исключение.*

Abstract. *The performance of a porous M-3 support membrane and a composite variant bearing a PIP/TMC/0.5% BDSA selective layer was comparatively assessed for removing heat-stable salts from spent MDEA solution. Measured M-3 results at 35% MDEA and 50 bar showed reductions of 60.4% in total HSS, 96.0% in chloride and 93.0% in sulfur-containing anions. Values assigned to the composite membrane are*

experimental validation targets derived from literature and transport mechanisms, not measured outcomes. The comparison uses ion rejection, MDEA loss, permeance, long-term stability and post-CIP flux recovery as decision criteria.

Keywords: *MDEA, heat-stable salts, M-3 membrane, PIP, TMC, BDSA, nanofiltration, Donnan exclusion, selectivity.*

KIRISH

MDEA eritmasida formiat, atsetat, oksalat, xlorid, sulfat va tiosulfat singari TBT anionlarining to‘planishi faol amin ulushini pasaytiradi, korroziya va ko‘piklanishni kuchaytiradi. Bosimli membranali ajratishda ion transporti sterik elanish, sirt zaryadiga bog‘liq Donnan itarilishi va dielektrik istisnoning birgalikdagi ta’siri bilan boshqariladi [1, 2]. M-3 tarkibidagi PVDF mexanik va kimyoviy karkasni, PSU mustahkamlikni, PAN qutblilikni, PEG esa g‘ovak hosil bo‘lishi va gidrofillikni ta’minlaydi. Bunday g‘ovak tayanch yuqori oqim berishi mumkin, ammo kichik organik anionlarni tanlab ajratish imkoniyati cheklangan.

PIP va TMCning chegaralararo polimerlanishi natijasida yupqa poli(piperazin-amid) qatlam hosil bo‘ladi. BDSAning sulfonat guruhlari sirtning manfiy zaryadi va gidrofilligini kuchaytirib, ayniqsa ko‘p valentli anionlarning qaytarilishini oshirish uchun xizmat qiladi [3–5]. Shu bilan birga, selektiv qatlam gidravlik qarshilikni va ishqoriy muhitda gidroliz xavfini oshirishi mumkin [6]. Tadqiqot maqsadi M-3ning o‘lchangan samaradorligini M-3/PIP/TMC/0,5% BDSA kompozitining ilmiy asoslangan maqsad ko‘rsatkichlari bilan qiyoslash va ustun variantni tajribaviy tasdiqlash mezonlarini belgilashdan iborat.

TADQIQOT MATERIALLARI VA QIYOSLASH USULI

M-3 membrana 12% PVDF, 3% PSU, 2% PAN, 1,5% PEG va 81,5% NMP tarkibida NIPS usulida olingan. Ishlatilgan MDEA eritmasi uchun boshlang‘ich ko‘rsatkichlar: pH 10,3; zichlik 1,071 g/cm³; faol amin 25,07%; jami TBT 4,8%; TDS 903 mg/L; xlorid 3900 mg/L va oltingugurtli anion 119000 mg/L [9, 10]. M-3 natijalari 35% nominal MDEA, 35–40 °C va 50 bar sharoitiga tegishli. Kompozit M-5 varianti M-3 tayanchga PIP/TMC poliamid qatlami hamda suv fazasida 0,5% BDSA kiritish orqali tavsiflandi.

Qiyoslashda har bir anionning ushlanishi, MDEA massaviy qaytarilishi, normallangan oqim va CIPdan keyingi tiklanish baholanadi:

$$R_i = (1 - C_p/Cf) \cdot 100\%; \quad Y_MDEA = (m_p w_p)/(mfwf) \cdot 100\%; \quad FRR = J_after/J_initial \cdot 100\%.$$

Barcha oqimlar feed, permeat va retentat sifatida alohida massalanadi; massa balans xatosi 10% dan oshmasligi kerak. TBT ion xromatografiyasi, MDEA potensiometrik titrlash va IC/HPLC, sirt zaryadi zeta-potensial, gidrofillik kontakt burchagi, qatlam yaxlitligi SEM/FTIR va Na_2SO_4/NaCl nazorat eritmalari bilan tekshiriladi. Kamida uch mustaqil membrana loti va har bir lot uchun uch takror qo‘llanib, o‘rtacha qiymat, SD va 95% ishonch oralig‘i beriladi.

1-jadval. M-3 va M-3/PIP/TMC/0,5% BDSA membranalarining qiyosiy mezonlari

Mezon	M-3 tayanch	M-3/PIP/TMC/0,5% BDSA
Maqom	O‘lchangan laboratoriya natijasi	Tajriba bilan tasdiqlanadigan dizayn varianti
Ajratish mexanizmi	G‘ovak elanishi, adsorbsiya, suv chiqarilishi	Yupqa poliamid qatlam; sterik va Donnan ajratish
Jami TBT	60,4% kamayish	Boshlang‘ich maqsad ≥80%; 95% CI bilan
Xlorid	96,0% kamayish	M-3dan yuqori bo‘lishi shart emas; alohida IC nazorati
Oltingugurtli anion	93,0% kamayish	Ko‘p valentli anionlar uchun maqsad ≥90%
MDEA	25,07→34,6 mass.%; konsentratsiyalanish	Yo‘qotilish ≤5%; yopiq massa balansida

NATIJALAR VA MUHOKAMA

M-3da jami TBT 4,8 dan 1,9% gacha, TDS 903 dan 150 mg/L gacha, xlorid 3900 dan 156 mg/L gacha va oltingugurtli anion 119000 dan 8330 mg/L gacha kamaygan [9, 10]. Bu M-3ning mavjud namunalar ichida integral analitik optimum ekanini ko‘rsatadi. Biroq amin ulushining 25,07 dan 34,6% gacha oshishi MDEA molekulalari qaytarilishi emas; suv va boshqa fazaning ajralishi tufayli konsentratsiyalanishdir. Mahsulot oqimini aniq belgilamasdan va yopiq massa balansini tuzmasdan MDEA selektivligi haqida qat’iy xulosa chiqarib bo‘lmaydi.

BDSAli poli(piperazin-amid) qatlamning asosiy ustunligi ko‘p valentli sulfat, oksalat va tiosulfat anionlariga nisbatan kuchliroq elektrostatik ajratishdir. BDSA/PIP tizimli membranalarda sulfonat guruhlari antifouling va tuz selektivligini yaxshilashi ko‘rsatilgan [3, 4]. Ammo suv–tuz modelida olingan yuqori Na_2SO_4 ushlanishini 35% MDEAga bevosita ko‘chirish mumkin emas: yuqori ion kuchi sirt zaryadini ekranlaydi,

qovushqoqlik oqimni kamaytiradi va organik degradatlar qatlamni ifloslantiradi. Shuning uchun kompozit membrananing ustunligi hozircha ilmiy gipoteza va validatsiya maqsadi sifatida ifodalanadi.

KOMPOZIT MEMBRANANI OPTIMALLASHTIRISH

Optimallashtirishda tayanch va selektiv qatlam omillari bosqichma-bosqich ajratiladi. Avval M-3 qalinligi, g‘ovak taqsimoti va suv permeansi uchun lotlararo CV ≤10% ta’minlanadi. Keyin BDSAsiz PIP/TMC nazorati olinib, PIP 0,5–1,5%, TMC 0,05–0,20%, suv fazasi kontakti 1–3 min va organik faza kontakti 20–90 s diapazonida nuqsonsiz qatlam oynasi topiladi [5, 7]. Uchinchi bosqichda BDSA 0; 0,5 va 1,0% hamda pH 10,4; 10,8 va 11,2 omillari response-surface dizayniga kiritiladi. Tanlangan variant real 35% MDEAda 20, 35 va 50 bar, 35 va 40 °C da tekshirildi.

XULOSA

M-3 membrananing 35% MDEA va 50 bardagi samaradorligi tajriba bilan ko‘rsatilgan: jami TBT 60,4%, xlorid 96,0% va oltingugurtli anion 93,0% kamaygan. M-3/PIP/TMC/0,5% BDSA kompoziti ko‘p valentli anionlar uchun selektivroq bo‘lishi ilmiy jihatdan asoslangan, ammo uning ≥80% jami TBT, ≤5% MDEA yo‘qotilishi va uzoq muddatli barqarorlik ko‘rsatkichlari hozircha dizayn maqsadidir. Shu sababli M-3 “mavjud analitik optimum”, BDSAli kompozit esa “tajribaviy tasdiqlanishi kerak bo‘lgan istiqbolli variant” sifatida baholanadi. OAK talqinida bu farqni saqlash natijalarning ilmiy ishonchliligini ta’minlaydi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Ghorbani A., Bayati B., Ghasemi S., Kikhavani T. Application of NF Polymeric Membranes for Removal of Multicomponent Heat-Stable Salts Ions from MDEA Solutions. Molecules. 2020;25:4911. doi:10.3390/molecules25214911.

2. Ghorbani A. et al. Modeling of Nanofiltration Process Using DSPM-DE Model for Purification of Amine Solution. Membranes. 2021;11:230. doi:10.3390/membranes11040230.

3. Al-Nahari A., Li S., Su B. Negatively charged nanofiltration membrane via benzidinedisulfonic acid during interfacial polymerization. Separation and Purification Technology. 2022;291:120947. doi:10.1016/j.seppur.2022.120947.

4. Huang B.-Q., Xu Z.-L., Ding H., Miao M.-C., Tang Y.-J. Antifouling sulfonated polyamide NF membrane prepared with BDSA and PIP. RSC Advances. 2017;7:56629–56637. doi:10.1039/C7RA11632B.

5. Yang X. Monitoring Interfacial Polymerization of Piperazine and Trimesoyl Chloride by In Situ FT-IR. Membranes. 2020;10:12. doi:10.3390/membranes10010012.

6. Puhan M.R., Sutariya B., Karan S. Revisiting the Alkali Hydrolysis of Polyamide Nanofiltration Membranes. Journal of Membrane Science. 2022;661:120887. doi:10.1016/j.memsci.2022.120887.

7. Wang T. et al. Poly(piperazine-amide) Composite Nanofiltration Membranes on Different Substrates. Industrial & Engineering Chemistry Research. 2021;60:18106–18120. doi:10.1021/acs.iecr.1c04286.

8. Kalmykov D. et al. Stability of Porous Polymeric Membranes in Amine Solvents. Membranes. 2023;13:544. doi:10.3390/membranes13060544.