MDEA ERITMASINI TBTDAN TOZALASH TEXNOLOGIYASINI OPTIMALLASHTIRISH VA SANOATGA TATBIQ ETISH

Xolturayeva Inoyat Nurmamat qizi
Qarshi davlat universiteti

Annotatsiya. *Ishlatilgan metildietanolamin eritmasidan termik barqaror tuzlarni membranali usulda ajratishning ko‘p mezonli optimallashtirish yondashuvi ishlab chiqildi. M-3 tarkibli PVDF/PSU/PAN/PEG membrana uchun 35% MDEA, 35–40 °C va 50 bar laboratoriya ish nuqtasi tahlil qilindi. Taqdim etilgan natijalarda jami TBT 4,8 dan 1,9% gacha, xlorid 3900 dan 156 mg/L gacha va oltingugurtli anion 119000 dan 8330 mg/L gacha kamaygan. Bosimli membrana bosqichini ion-almashinish yoki ED/BMED polishing bilan birlashtiruvchi sanoat sxemasi va pilot qabul mezonlari taklif etildi.*

Kalit so‘zlar: *MDEA, termik barqaror tuzlar, nanofiltratsiya, PVDF/PSU/PAN/PEG, optimallashtirish, cross-flow, ED/BMED, sanoat pilot qurilmasi.*

Аннотация. *Разработан многокритериальный подход к оптимизации мембранного удаления термостабильных солей из отработанного раствора метилдиэтаноламина. Для мембраны М-3 состава PVDF/PSU/PAN/PEG проанализирована лабораторная рабочая точка: 35% MDEA, 35–40 °C и 50 бар. В представленных данных суммарное содержание ТСС снизилось с 4,8 до 1,9%, хлоридов — с 3900 до 156 мг/л, серосодержащих анионов — с 119000 до 8330 мг/л. Предложена промышленная гибридная схема, объединяющая напорную мембрану с ионообменной или ED/BMED-финишной очисткой, а также критерии приемки пилотной установки.*

Ключевые слова: *MDEA, термостабильные соли, нанофильтрация, PVDF/PSU/PAN/PEG, оптимизация, поперечный поток, ED/BMED, пилотная установка.*

Abstract. *A multi-criteria approach was developed for optimizing membrane removal of heat-stable salts from spent methyldiethanolamine solution. A laboratory operating point of 35% MDEA, 35–40 °C and 50 bar was evaluated for the PVDF/PSU/PAN/PEG M-3 membrane. In the supplied dataset, total HSS decreased*

from 4.8 to 1.9%, chloride from 3900 to 156 mg/L, and sulfur-containing anions from 119000 to 8330 mg/L. An industrial hybrid process combining pressure-driven membrane separation with ion-exchange or ED/BMED polishing is proposed together with pilot-scale acceptance criteria. Mass-balance verification is identified as a prerequisite for industrial confirmation.

Keywords: *MDEA, heat-stable salts, nanofiltration, PVDF/PSU/PAN/PEG, optimization, cross-flow, ED/BMED, pilot plant.*

KIRISH

Tabiiy gazni nordon komponentlardan tozalashda MDEA eritmasining takroriy aylanishi natijasida formiat, atsetat, oksalat, xlorid, sulfat va tiosulfat singari regeneratorda parchalanmaydigan anionlar protonlangan amin bilan termik barqaror tuzlar (TBT) hosil qiladi. Ularning to‘planishi faol ishqoriylikni kamaytiradi, korroziya va ko‘piklanishni kuchaytiradi hamda absorber–regenerator konturining energiya sarfini oshiradi [3, 4]. Distillatsion reclaimer TBTni chiqaradi, biroq issiqlik sarfi va aminning termik yo‘qotilishi katta; ion-almashinish va elektrodializ esa selektiv, lekin regenerant yoki elektr energiyasi talab qiladi [3–5, 9].

Nanofiltratsiyada ajralish g‘ovak o‘lchami, Donnan itarilishi va dielektrik istisno ta’sirlarining yig‘indisi bilan belgilanadi [1, 2, 7]. MDEA konsentratsiyasi oshganda qovushqoqlik va ion kuchi ortib, oqim kamayadi va sirt zaryadi ekranlanadi. Shu sababli faqat maksimal TBT ushlanishini tanlash sanoat optimumini bermaydi: amin qaytarilishi, barqaror oqim, kompaktsiya, fouling, energiya va konsentrat hajmi bir vaqtda baholanishi kerak. Tadqiqot maqsadi M-3 membrana uchun laboratoriya ish nuqtasini asoslash va uni xavfsiz, nazorat qilinadigan gibrid sanoat texnologiyasiga o‘tkazish mezonlarini belgilashdan iborat.

TADQIQOT MATERIALLARI VA USULLARI

Tadqiqot obyekti gazni aminli tozalash konturidan olingan ishlatilgan MDEA eritmasidir. Boshlang‘ich namuna uchun 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 qiymatlari qabul qilindi [10, 11]. M-3 tayanch membranasi NIPS usulida 12% PVDF, 3% PSU, 2% PAN, 1,5% PEG va 81,5% NMP tarkibidan tayyorlangan. Cross-flow sinovida 35% nominal MDEA, 35–40 °C va 40–80 bar diapazon tahlil qilinib, 50 bar markaziy ish nuqtasi sifatida ajratildi.

Ushlanish, amin qaytarilishi va massa balansi quyidagi ifodalar bilan hisoblanadi:

$$R_i = (1 - C_p/Cf) \cdot 100\%; \quad Y_MDEA = (m_p w_p)/(mfwf) \cdot 100\%; \quad MBE = |kirish - chiqish|/kirish \cdot 100\%.$$

Ko‘p mezonli optimallashtirish funksiyasi quyidagi ko‘rinishda tuziladi:

$$D = w_1R_TBT + w_2R_Cl + w_3Y_MDEA + w_4J_norm - w_5E_norm - w_6F_norm.$$

Vaznlar korxonaning mahsulot sifati, amin narxi va energiya chekloviga mos belgilanadi. TBT anionlari ion xromatografiyasi, faol amin potensiometrik titrlash, suv Karl Fisher, metall va elementlar esa ICP-OES/XRF bilan nazorat qilinadi. Taqdim etilgan ma’lumotlarda takroriylik dispersiyasi bo‘lmagani sabab qiymatlar nuqtaviy natija sifatida talqin qilindi; yakuniy validatsiyada kamida uch mustaqil membrana loti talab etiladi.

1-jadval. M-3 membrananing 35% MDEA va 50 bardagi integral ko‘rsatkichlari

Ko‘rsatkich	Dastlabki	M-3 dan keyin	O‘zgarish
Zichlik, g/cm³	1,071	1,049	−2,1%
pH	10,3	11,0–11,3	oshgan
Faol amin, mass.%	25,07	34,6	+38,0% konsentratsiya
TDS, mg/L	903	150	−83,4%
Jami TBT, %	4,8	1,9	−60,4%
Xlorid, mg/L	3900	156	−96,0%
Oltingugurtli anion, mg/L	119000	8330	−93,0%

NATIJALAR VA ULARNING MUHOKAMASI

M-3 membranadan keyin jami TBT 60,4%, TDS 83,4%, xlorid 96,0% va oltingugurtli anion 93,0% kamaygan. Bu natija polimer NFda ko‘p komponentli TBTni ajratish mumkinligini ko‘rsatgan adabiyotlar bilan sifat jihatdan mos keladi [1, 2]. Biroq amin ulushining 25,07 dan 34,6% gacha oshishi yangi MDEA hosil bo‘lganini emas, suv va ionli fazaning boshqa oqimga o‘tishi natijasidagi konsentratsiyalanishni anglatadi. Shu bois sanoat samaradorligi faqat foiz tarkib bilan emas, feed–permeat–retentat bo‘yicha yopiq massa balansi va MDEA yo‘qotilishi orqali tasdiqlanadi.

Bosim 60–80 bargacha oshirilganda oqimning ortishi mumkin, ammo energiya sarfi, tayanch kompaktsiyasi va konsentratsion qutblanish ham kuchayadi. Xlorid hamda oltingugurtli anionlar uchun yuqori ushlanish saqlangan, 50 bar esa qo‘shimcha bosim xarajatini cheklovchi muvozanatli nuqta bo‘lgan. Demak, M-3–50 bar kombinatsiyasi hozircha analitik samaradorlik optimumidir; global sanoat optimumi uzoq muddatli oqim, amin qaytarilishi, membrana resursi va energiya ko‘rsatkichlari

bilan aniqlanadi. BDSA/PIP/TMC selektiv qatlamini qo‘llash ko‘p valentli anionlar selektivligini oshirishi mumkin [8], lekin yuqori ishqoriy MDEA muhitida gidroliz va oqim yo‘qolishi alohida tekshiriladi [6].

XULOSA

M-3 tarkibli PVDF/PSU/PAN/PEG membrana va 50 bar ish nuqtasi mavjud laboratoriya ma’lumotlari bo‘yicha jami TBT, TDS va korrozion faol anionlarni kamaytirishning maqbul kombinatsiyasini ko‘rsatdi. Natijani sanoatga ko‘chirish uchun aminning haqiqiy massaviy qaytarilishi, oqimlarning yopiq balansi, 1000 soatlik barqarorlik va CIP tiklanishi majburiy tekshirilishi kerak. Eng asoslangan yechim M-3 bosimli bosqichini kichik quvvatli ion-almashinish yoki ED/BMED polishing bilan birlashtirishdir. Bunday yondashuv membrana maydoni va polishing yuklamasini bir vaqtda kamaytirib, amin sarfi, korroziya va chiqindi bo‘yicha boshqariladigan texnologik tizim yaratadi.

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., Bayati B., Drioli E., Macedonio F., Kikhavani T., Frappa M. Modeling of Nanofiltration Process Using DSPM-DE Model for Purification of Amine Solution. Membranes. 2021;11:230. doi:10.3390/membranes11040230.

3. Zhou Z., Lin Y., Jin Y., Guan K., Matsuyama H., Yu J. Removal of heat-stable salts from lean amine solution using bipolar membrane electrodialysis. Journal of Membrane Science. 2022;645:120213. doi:10.1016/j.memsci.2021.120213.

4. Wang Y. et al. Removal of heat stable salts from degraded amine solvent by BMED+ED two-stage electrodialysis unit. International Journal of Greenhouse Gas Control. 2023;127:103939. doi:10.1016/j.ijggc.2023.103939.

5. Shirokikh S., Kalmykov D., Matveev D., Bazhenov S. Reclaiming of Amine CO_2 Solvent Using Extraction of Heat Stable Salts in a Liquid–Liquid Membrane Contactor. Membranes. 2023;13:230. doi:10.3390/membranes13020230.

6. Kalmykov D. et al. Stability of Porous Polymeric Membranes in Amine Solvents for Membrane Contactor Applications. Membranes. 2023;13:544. doi:10.3390/membranes13060544.

7. Wang R., Lin S. Pore model for nanofiltration: history, framework and limitations. Journal of Membrane Science. 2021;620:118809. doi:10.1016/j.memsci.2020.118809.

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

9. Chen G. et al. Research on the Process for Removing Heat-Stable Salts from Organic Amine Absorbents via Electrodialysis. Processes. 2025;13:2519. doi:10.3390/pr13082519.