

REAKTIV EKSTRAKTSIYA JARAYONINING EKSERGIYA TAHLILI

Osmonova Gulbahor botir qizi

TDTU Olmaliq filiali, Kimyoviy texnologiya yo'nalishi 11A-21KT guruh talabasi

Ibadullayeva Marjona Shuhrat qizi

TDTU Olmaliq filiali, Kimyoviy texnologiya yo'nalishi 11A-21KT guruh talabasi

Darxanova Sevinch Abduvoxiq qizi

TDTU Olmaliq filiali, Kimyoviy texnologiya yo'nalishi 11A-22KT guruh talabasi

Abdisamatov Sahobiddin Abdujalil o'g'li

TDTU Olmaliq filiali, Kimyoviy texnologiya yo'nalishi 11B-22KT guruh talabasi

Annotatsiya. Ushbu ish intensiv izotermik reaktiv ekstraktsiya jarayonining eksergiya tahlilini o'tkazish metodologiyasini taklif qiladi. Usul ikki bosqichni o'z ichiga oladi. Birinchisi, har bir komponent va umumiy jarayon uchun eksergiya yo'qotishlari va yutuqlarini baholashga imkon berish uchun materialdan foydalanish diagrammasini (MFD) modellashtirish va moslashtirishni o'z ichiga oladi. Ikkinchi qadam, turli reaktiv qazib olish konfiguratsiyalar exergy foydalanish exergy ko'rsatkichlari hisoblash orqali taxmin qilingan. Strategiya operatsiya va dizayn parametrlarining ko'rsatkichlarga ta'sirini baholaydi va exergydan eng yaxshi foydalangan holda jarayon konfiguratsiyasini aniqlaydi. Usul butil asetat va n-amil-asetat reaktiv ekstraktsiya jarayonlarida, bitta va ko'p bosqichli operatsiyalarda qo'llanilgan. Tadqiqotning ikkala holati uchun eksergiya ko'rsatkichlarining yaxshilanishi ikki bosqichli qarshi oqim konfiguratsiyasi yordamida olingan. Butilatsetat va n-amil-asetat uchun 88,45% va 82,97% eksergiya ko'rsatkichi mahsulot oqimi uchun aniqlandi. Usul optimal ishlash va dizayn parametrlarini qidirishni qo'llab-quvvatlashi va yuqori samarali reaktiv ekstraktsiya jarayonlarini ishlab chiqishda yordam berishi mumkin.

Kalit so'zlar: Azotli o'g'it oqava suvlari, azotni olib tashlash, biogaz, barqaror oqava suvlarni tozalash, CANON (Completely autotrophic nitrogen removal over nitrite - To'liq avtotrofik azot nitritni olib tashlash)

1. Kirish

Eksergiya tahlili odatda energiya samaradorligini tavsiflash va yaxshilash uchun izotermik bo'lmagan kimyoviy jarayonlarga qo'llaniladi. Izotermik bo'lmagan jarayonlar haqida ba'zi asarlar: Budiman va Ishida (2004), Gannadzadeh va boshq. (2012), Kusumaningtyas va boshq. (2014), Gourmelon va boshq. (2015) va Querino va boshq. (2019). Biroq, eksergiya tahlili izotermik kimyoviy jarayonda juda keng tarqalgan emas (Yamamoto va Ishida, 2000a, 2002). Reaktiv ekstraktsiya izotermik sharoitda tahlil qilinishi mumkin bo'lgan jarayonlardan biridir. Reaktiv ekstraktsiya-

bu kimyoviy reaksiyaning suyuqlik-suyuqlik ekstraksiyasi bilan birlashishi tufayli kuchaygan jarayon. Birlashtirilgan funktsiyalar (reaksiya va ajralish) va jarayonning sinergetik ta'siri reaksiyaning selektivligi va rentabelligini hamda ajralishni yaxshilashga yordam beradi. Ushbu ishning asosiy qiziqishi eksergiya tahlilini reaktiv suyuqlik-suyuqlik ekstraksiyasiga qo'llashdir. Reaktiv ekstraksiyadagi tadqiqot ishlari uchta asosiy toifani o'z ichiga oladi: (1) kimyoviy va biologik mahsulotlarni ishlab chiqarish va ajratishga qaratilgan eksperimental ishlar ((Patnaik, 1992; Malinovskiy, 2000; Kahya va boshq., 2001; Barth va boshq., 2008; Datta va boshq., 2009; Samarov va boshq., 2015). (2) muvozanat va muvozanatsiz sharoitlarga asoslangan dizayn usullarini o'z ichiga olgan nazariy tahlillar (Piret va boshq., 1960; Trambouze va Piret, 1960; Minotti va boshq., 1996; Minotti va boshq., 1998; Samant va Ng, 1998; Pai va boshq., 2004 yil; ol rat-Acosta va boshq., 2014; Prieto va boshq., 2014; ol Rrtx-Acosta va boshq., 2016). (3) reaktiv-qazib olish jarayonining fizik-kimyoviy harakatini tahlil qilish uchun tadqiqotlar (Bart boshq., 2008; boy va boshq., 2018, 2019, 2020; Qin va boshq., 2019). Ushbu ishlarning aksariyati asosan issiqlik (issiqlik uzatish tufayli) va kimyoviy (massa uzatish va aralashtirish jarayoni tufayli) qaytarilmaslik (Demirel, 2004) natijasida hosil yo'qotilishini hisobga olmaydi. Exergy tahlili turli xil qaytarilmasliklarni aniqlash va miqdorini aniqlash uchun foydali vositadir. Tizimning tarkibiy qismlari va foydali ishlarning yo'qotilishini nazorat qilish uchun qo'llaniladi. Issiqliksiz ajratish jarayonlarining misollari, kimyoviy reaksiyalar bo'lsa ham, bo'lmasa ham, issiqlik va kimyoviy irrelativliklarni o'z ichiga oladi, distillatsiya, bug'lantirish va kristallizatsiya kabi jarayonlarni o'z ichiga oladi. Distillatsiya ustunidagi barcha sub-jarayonlar uchun exergy yo'qotishlari 3-D diagrammada ifodalangan (Budiman va Ishida, 1996); ushbu mualliflar ushbu diagramma operatsiya sharoitlari va ajratish o'rtasidagi munosabatlarni aniqlash uchun muhim ma'lumotlarni o'z ichiga oladi deb ko'rsatadilar. Budiman va boshqalar (2011) distillatsiya ustunini grafik tahlil qildilar, bunda kondensator va reboilerda exergy yo'qotishlari aniqlangan. Yamamoto va Ishida (2000b) gomoniya kimyoviy reaksiyalari bo'lgan tizimlarga materiallardan foydalanish diagrammasini (MUD) qo'lladilar; mualliflar o'z usullarini metanol sintezi uchun turli jarayon konfiguratsiyalarida qo'lladilar. Kusumaningtyas va boshqalar (2014) biodizel ishlab chiqarish uchun reaktiv distillatsiya ustunida exergy tahlilini o'tkazdilar; ular reaksiyaning hosildorligiga ta'sir qiluvchi reaktantning molar sur'ati va ustundagi qadoqlash balandligi o'rtasidagi ta'sirni o'rgandilar. Boshqa tomondan, absorpsiya, suyuqlik-suyuqlik ajratish va lixiviyatsiya kimyoviy reaksiyalar bo'lmagan izotermik ajratish jarayonlariga misol bo'lib, faqat kimyoviy irrelativlik va ikki faza o'rtasida massa transferini o'z ichiga oladi. Khoa va boshqalar (2012) absorpsiya ustunini 3-D diagramma bilan tahlil qildilar; diagrammadagi egri chiziqlar jarayonning exergy yo'qotishlariga operatsiya va dizayn parametrlarining ta'sirini taqdim etadi; diagramma

faqat exergy yo'qotishlarini miqdoriy ravishda o'lchashni emas, balki uni kamaytirish yo'lini ko'rsatadi. Yamamoto va Ishida (2000a) ikki fazali ajratish uchun MUDni ishlab chiqdilar. Ushbu diagramma har bir komponentning ikki fazada taqsimlanishini va ko'p bosqichli tizimlarda exergy yo'qotishining kamayishini tasvirlaydi. Keyinchalik, Yamamoto va Ishida (2002) bir diagramma yordamida faza konsentratsiyalaridagi o'zgarishlarni, taqsimlash koeffitsiyentlarini, tanlovni va exergy yo'qotishining xatti-harakatlarini tahlil qilishni ta'minlovchi grafik usulni taklif etdilar. Mualliflar kichik exergy yo'qotishlari kichik miqdordagi erituvchi moddalar va erituvchi tanlov tufayli yuzaga kelishini aniqladilar.

2. Tavsiya etilgan eksergiya tahlili reaktiv ekstraksiya jarayoni metodologiyasi.

Taklif etilayotgan usulda uchta bosqich ko'rib chiqiladi: (1) reaktiv ekstraksiya jarayonini loyihalash tahlili, (2) reaktiv (MUD) orqali eksergiya tahlili va (3) eksergiya ko'rsatkichlari va eksergiya uchlik diagrammasini tahlil qilish. Ushbu qadamlarning har biri quyidagicha tavsiflanadi.

2.1. Reaktiv ekstraksiya jarayonini loyihalash tahlili.

Ushbu bosqichda reaktiv ekstraksiya jarayonining turli xil konfiguratsiyalari tahlil qilinadi; ushbu konfiguratsiyalar o'zaro va qarshi operatsiyalarda bir bosqichli va bir nechta bosqichlarni o'z ichiga oladi. Maqsad ikkala suyuq fazada ham reaksiya aralashmasining tarkibi va konversiya va cheklash ish sharoitlari, kompozitsion profillarni, oqimlarni taxmin qilishdir. Ilgari xabar algoritmlar (OlanA Kosta va boshq., 2014, 2016; Prieto va boshq., 2014; Minotti va boshq., 1996) ushbu bosqichda tahlilni o'tkazish va ishtirok etgan o'zgaruvchilarni aniqlash uchun ishlatilishi mumkin. Ushbu bosqichda olingan ma'lumotlar muhim ahamiyatga ega va keyingi bo'limda ishlab chiqilgan energiya yo'qotishlari va yutuqlarini hisoblash uchun asos sifatida qaraladi.

2.2. Reaktiv (MUD) orqali eksergiya tahlili.

Birinchi va ikkinchi termodinamika qonunlari ushbu bosqichda eksergiyaning yo'qotishlari va yutuqlarini aniqlash uchun ishlatiladi. Baholash amalga oshiriladi: (I) har bir komponent tomonidan, (II) bosqich bo'yicha, (III) bosqich bo'yicha va (IV) jarayon konfiguratsiyasi bo'yicha. Matematik va grafik yondashuv ushbu bo'limda tasvirlangan. Dastlab Yamamoto va Ishida (2000A, 2000b) tomonidan taklif qilingan MUDni moslashtirish bilan bir qatorda ishlatilgan reaksiyani ikki bosqichda ifodalash matematik modelni taqdim etamiz.

2.2.1. Eksergiya yo'qotishlarini baholash uchun matematik model va reaktiv ekstraksiya jarayonining yutuqlari.

(1) bir bosqichli reaktiv ekstraksiya jarayonini ko'rsatadi, bu yerda qaytariladigan reaksiya, $aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$, sxematik tarzda ifodalanadi. Ushbu turdagi reaksiyalarni reaktiv ekstraksiya qilish mumkin. Suyuq ozuqa oqimlari bir-biri bilan aralashtiriladi; keyin aralash reaksiyaga kirishib, psevdoboshlang'ich tarkibiga yetib boradi va nihoyat

reaktiv suyuqlik-suyuqlik muvozanatiga erishiladi. Shundan so'ng, fazani ajratish ikkita oqim hosil qiladi: ekstrakt va rafinat. Barqaror holat sharoitida reaksiya rafinat fazasida har bir r th reaksiyasi uchun r [mol] reaksiyasi darajasi bilan amalga oshiriladi; haroratda T va j komponentining mollari rafinat fazasidan ekstrakt fazasiga o'tkazilib, komponentning bunday fazalar orasida qayta tarqalishiga olib keladi. Xona haroratini hisobga olgan holda, T_0 (298,15 K), o'zgarish exergy EI reaktiv ekstraktsiya bosqichida i ga ko'ra entalpiya (H_i) va entropiya (S_i) ning o'zgarishi bilan bog'liq:

$$(1) \quad \Delta \varepsilon_i = \Delta H_i - T_0 \Delta S_i$$

Xuddi shunday, Yamamoto va Ishida (2000B) tomonidan xabar qilinganidek, t haroratda issiqlik qo'shilishi yoki yo'qolishi sodir bo'lganda, exergy loss (EXL) tomonidan berilgan

$$(2) \quad EXL = -[\Delta \varepsilon_i + (-\Delta H_i)\{1 - (T_0/T)\}] = -(T_0/T)(\Delta H_i - T\Delta S_i)$$

Entropiyaning o'zgarishi S_i Eq bo'yicha. (2) i bosqichda entropiya balansi orqali olinadi:

$$\begin{aligned} \Delta S_i = & \sum_j n_{j,Rout} \bar{s}_{j,Rout} + \sum_j n_{j,Eout} \bar{s}_{j,Eout} \\ & - \sum_j n_{j,Rin} \bar{s}_{j,Rin} - \sum_j n_{j,Ein} \bar{s}_{j,Ein} \end{aligned} \quad (3)$$

$$n_{j,Rout} = n_{j,Rin} - \delta_j + \sum_r (v_{jr} \xi_r) \quad (4)$$

$$n_{j,Eout} = n_{j,Ein} + \delta_j + \sum_r (v_{jr} \xi_r) \quad (5)$$

$$\bar{s}_j = s_j^0 - R \ln a_j \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \Delta S_i = & \sum_j \delta_j [\Delta S_{P,j}^0 - R \ln(a_{j,Eout}/a_{j,Rout})] \\ & + \sum_r \xi_r [\Delta S_r^0 - R \ln(a_{rj,Eout}/a_{rj,Rout})] \\ & - \sum_j n_{j,Rin} R \ln(a_{j,Rout}/a_{j,Rin}) - \sum_j n_{j,Ein} R \ln(a_{j,Eout}/a_{j,Ein}) \end{aligned} \quad (7)$$

Shuningdek, i bosqichda entalpiyaning umumiy o'zgarishi:

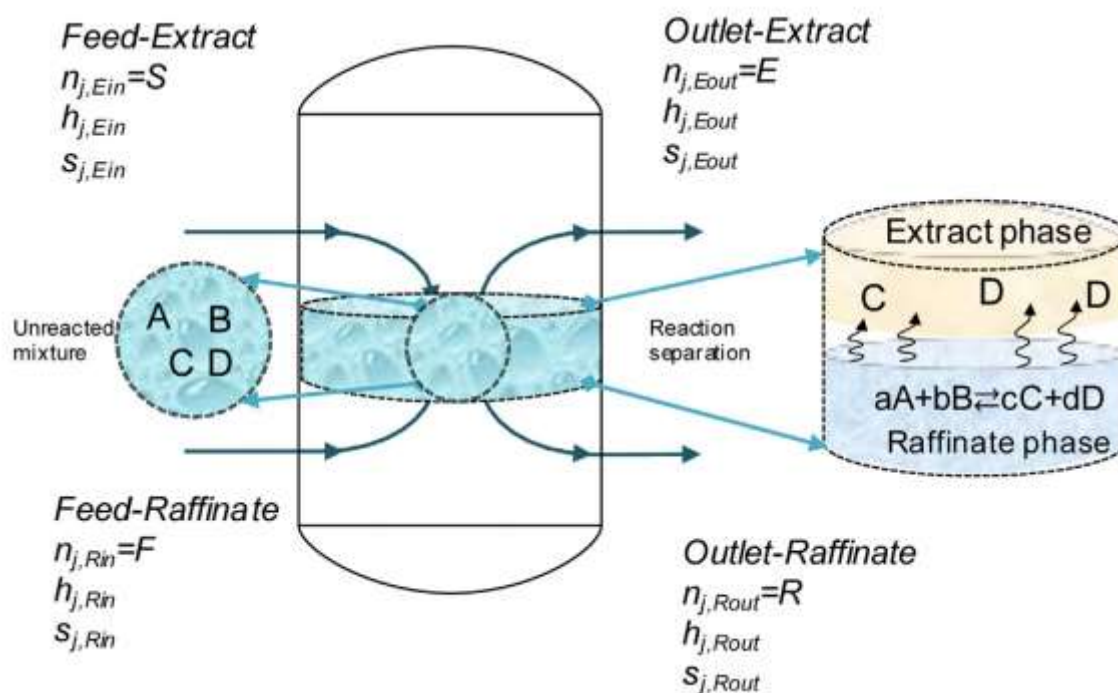
$$\begin{aligned} \Delta H_i = & \sum_j n_{j,Rout} \bar{h}_{j,Rout} + \sum_j n_{j,Eout} \bar{h}_{j,Eout} \\ & - \sum_j n_{j,Rin} \bar{h}_{j,Rin} - \sum_j n_{j,Ein} \bar{h}_{j,Ein} \end{aligned} \quad (8)$$

$$\Delta H_i = \sum_j \delta_j \Delta H_{i,j}^0 + \sum_r \xi_r \Delta H_r^0 \quad (9)$$

$$\begin{aligned}
 EXL_i = & \sum_j \delta_j RT_o (K_j/K'_j) + \sum_r \xi_r RT_o (K_r/K'_r) \\
 & - \sum_j n_{j,Rin} RT_o \ln(a_{j,Rout}/a_{j,Rin}) - \\
 & - \sum_j n_{j,Ein} RT_o \ln(a_{j,Eout}/a_{j,Ein})
 \end{aligned} \quad (10)$$

Eq o'ng tomonida birinchi muddatli. (10) j komponentining ikki suyuq faza o'rtasida o'tkazilishi natijasida eksergiyaning yo'qolishini va uning chiqish sharoitida hisoblangan faza muvozanatiga nisbatan og'ishini ifodalaydi. Komponent uchun muvozanat holati saqlanganda j u chiqish holatiga yetguncha tenglik $K_j = K'_j$ ushlab turadi va shuning uchun eksergiyaning yo'qolishi 0 ga teng. Eq ikkinchi muddatli. (10) - reaktiv muvozanat konsentratsiyasi va chiqish sharoitida olingan og'ish; reaksiya muvozanatga yetganda bu atama nolga teng. Eq uchinchi va to'rtinchi shartlari. (10) rafinat va ekstrakt fazalari uchun kirish va chiqish sharoitidagi konsentratsiyalarning o'zgarishini ifodalaydi. Ideal tizim uchun eksergiyaning yo'qolishini faollik koeffitsientlari o'rniga mol fraktsiyalari yordamida baholash mumkin; Shuning uchun Eq. (10) sifatida ifodalanishi mumkin:

$$\begin{aligned}
 EXL_i = & \sum_j \delta_j RT_o (K_j/K'_j) + \sum_r \xi_r RT_o (K_r/K'_r) \\
 & - \sum_j n_{j,Rin} RT_o \ln(x_{j,Rout}/x_{j,Rin}) \\
 & - \sum_j n_{j,Ein} RT_o \ln(x_{j,Eout}/x_{j,Ein})
 \end{aligned} \quad (11)$$



Rasm №1. Reaksiya sodir bo'lishidan oldin aralashtirish chap tomonda ifodalanadi; chiqish oqimi ma'lum darajada reaksiya bilan (o'ngda) ikkita suyuq fazaga bo'linadi.

Eq. ((11) energiya yo'qotilishini taxmin qilishga imkon beradi, X_{Li} , uchun reaktiv ekstraktsiya jarayonining bitta bosqichi. Ko'p bosqichli jarayon uchun eksbergiyaning umumiy yo'qotilishi, X_{LP} , yordamida aniqlanadi:

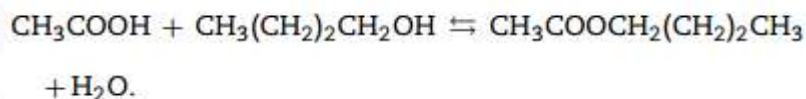
$$EXL_p = \sum_i EXL_i \quad (12)$$

3. Natijalar va munozaralar

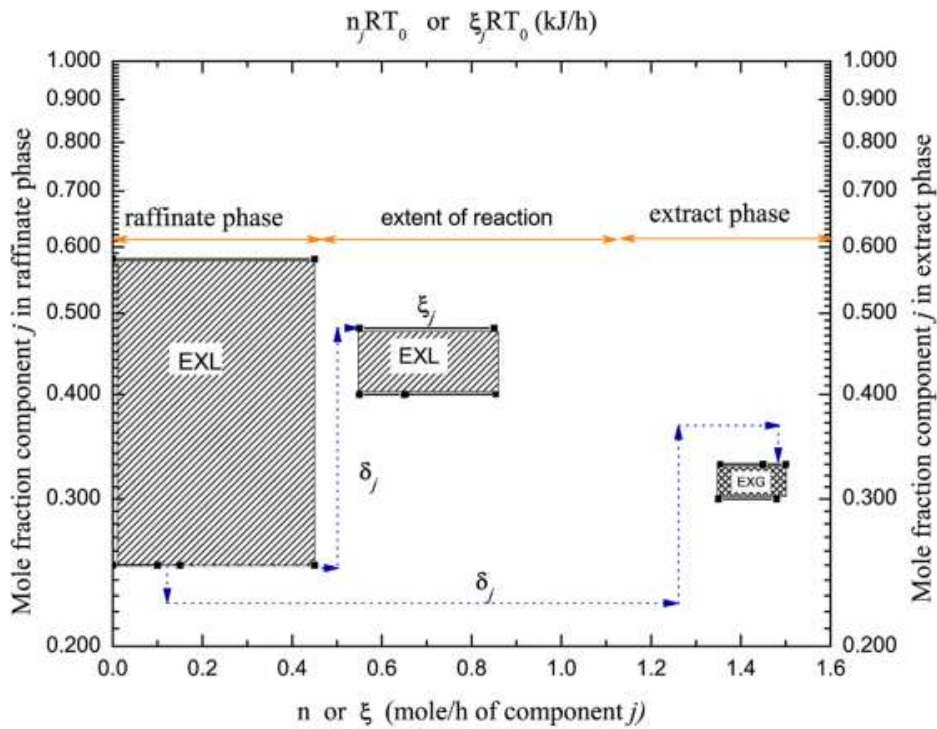
Taklif etilayotgan metodologiya esterifikatsiya reaksiyalari bilan reaktiv ekstraktsiyaning ikkita holatini tahlil qilish uchun qo'llanilgan: (1) butil asetat ishlab chiqarish va (2) n-amil asetat ishlab chiqarish. Tahlil turli xil konfiguratsiyalarni o'z ichiga oladi: oddiy bosqich va ko'p bosqichlar.

3.1. 1-tadqiqot ishi: butil-asetat ishlab chiqarish

Butil-asetat ishlab chiqarish uchun reaktiv ekstraktsiya jarayoni o'rganildi. Butil asetat sirka kislotasining n-butanol bilan esterifikatsiya reaksiyasi natijasida hosil bo'ladi. Qaytariladigan reaksiya:



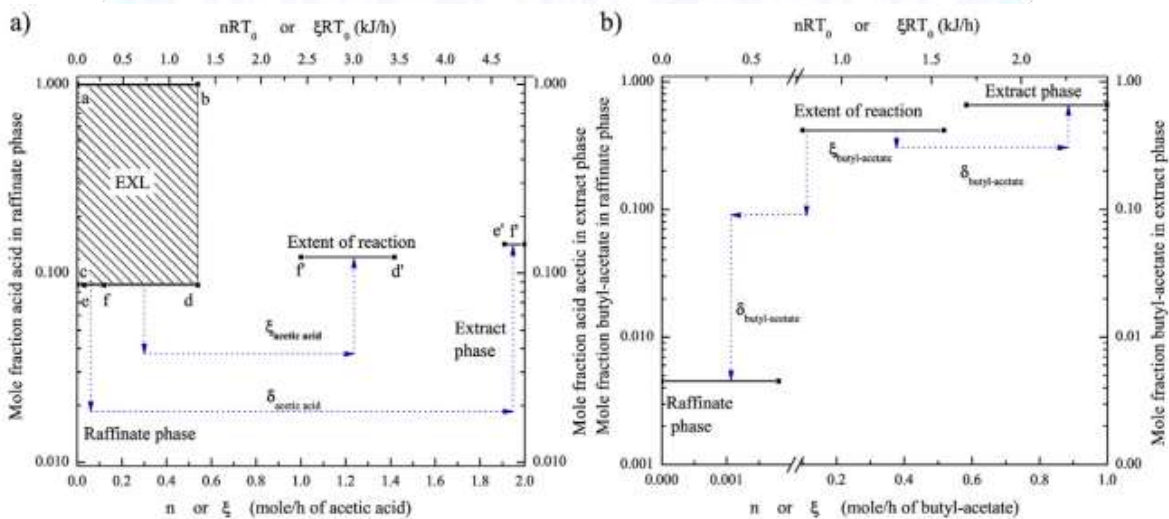
Uning sanoatdagi ahamiyati erituvchi va suvsizlantiruvchi vosita sifatidagi xususiyatlariga bog'liq. Butil asetatning reaktiv ekstraktsiyasi Minotti va boshq. (1998) va Rivera va Kardona (2004). Tahlil o'zaro faoliyat oqim va qarshi oqim konfiguratsiyalaridagi bir bosqichli va ko'p bosqichli jarayonlarni o'z ichiga oladi. 1-jadvalda ishlatilgan ma'lumotlar ko'rsatilgan.



Rasm-2 Reaktiv ekstraktsiya jarayonida bitta i bosqich uchun reaktiv MUD diagrammasi. To'ldirilgan maydon eksergiyaning yo'qolishini (EXL) yoki daromadini (EXG) ifodalaydi. Eksergiya o'zgarishini ko'rsatish uchun eksa shkalasi.

Table 1 – Stream data of feed and solvent flow in each configuration and number of stages (N).

Configuration type	F (mol/h) x_F	S (mol/h) x_S				N					
		Acetic acid	Butanol	Butyl acetate	Water						
Single stage	0.5390 1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.4610	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1
Single stage	1.0000 0.2500	0.0000	0.0000	0.7500	0.5000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1
Counter-current	1.0000 0.2500	0.0000	0.0000	0.7500	0.5000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	2
Cross-current	1.0000 0.2500	0.0000	0.0000	0.7500	0.2500	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	2



Rasm-3 Reaktiv rejim, reaktiv ekstraktsiya orqali bitta bosqichda, erituvchi bilan oziqlantirish nisbati $S/F = 0,855$. (a) sirka kislotasi uchun reaktiv rejim. (b) butil-asetat uchun reaktiv rejim. To'ldirilgan maydon eksergiyaning yo'qolishini ko'rsatadi va uzluksiz chiziq rafinatdan ekstrakt fazasiga o'tkazilgan mollarni, shuningdek reaksiya natijasida iste'mol qilingan mollarni ifodalaydi.

Xulosa

Ushbu ish reaktiv ekstraktsiya jarayonini eksergiya tahlili uchun metodologiyani taklif qiladi reaktiv materialdan foydalanish diagrammasi (MUD). Ushbu diagramma reaktiv ekstraktsiya jarayonining maqsadga muvofiqligini o'rganish orqali tahlil qilishga imkon beradi exergy daromad/yo'qotish, asosiy tarkibiy qismlarning tarkibi, reaksiya darajasi va oqim oqimlari. Reaktiv rejimni ishlab chiqish uchun matematik model taklif qilindi; bundan tashqari, o'zaro faoliyat oqim konfiguratsiyasining alohida holati uchun, ekstrakt oqimlarini taqdim etish strategiyasi har bir bosqich tashkil etildi. Reaktiv rejim eksergiya yo'qotishlari va yutuqlari yuzaga keladigan hududlarni topishga imkon beradi. Reaktiv ekstraktsiya jarayonini tahlil qilish exergy indikatorlari diagrammasi orqali to'ldirildi, bu jarayonning samaradorligini oshirish uchun yaxshilanishi mumkin bo'lgan jihatlarni aniqlashga imkon beradi Butil-asetat ishlab chiqarish uchun reaktiv MUD shuni ko'rsatadiki, eng past o'ziga xos EXL qiymati $s/F=0,85$ nisbati uchun $IE = 47,76\%$, $IR = 23,4\%$, $II = 49,90\%$. IQ va II foizlari jarayonni yordamida yaxshilash mumkinligini ko'rsatadi qoldiq oqim va qaytarilmaslikni kamaytirish, bu chegara shartlari bilan ko'rsatilgan. Yagona bosqich va qarshi oqim konfiguratsiyasi butil-asetat uchun kamroq yo'qotishlarni ko'rsatdi, ammo qarshi oqim konfiguratsiyasi qoldiqdan foydalanish va qaytarilmaslikda yaxshiroq ko'rsatkich qiymatlariga ega edi. N-amil-asetatning reaktiv loyida 6 bosqichli va 2 bosqichli qarshi oqim konfiguratsiyalarida kamroq yo'qotishlar mavjud. Ushbu konfiguratsiyalar uchun ko'rsatkichlar shuni ko'rsatadiki 2 bosqichli qarshi oqim qoldiq oqimdan yaxshiroq foydalanadi va qaytarilmasligini kamaytiradi. Xulosa qilib aytganda, exergy tahlilidan birgalikda foydalanish reaktiv MUD va eksergiya ko'rsatkichlari orqali jarayonning xatti-harakati va samaradorligini baholashga imkon beradi. Bu taklif metodologiyasi uchun qo'llanilishi mumkin, deb kutilmoqda faqatgina ushbu konfiguratsiyalarda emas, balki turli xil konfiguratsiyalarda jarayonni takomillashtirish uchun parametrik optimallashtirishni amalga oshirib, yanada murakkab jarayon oqim diagrammalarini hosil qilish mumkinligini sinovdan o'tkazish mumkin.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Bart, H.J., Drumm, C., Attarakih, M.M., 2008. Process intensification with reactive extraction columns. Chem. Eng.Process. 47 (5), 745–754.
2. Berg, L., Yeh, A.I., 1987. Separation of n-amyl acetate and water from n-amyl alcohol by extractive distillation. U.S. Patent No.4670106.

3. Budiman, A., 2008. Graphical separation performance-exergy analysis for revamping of distillation column. *AIChE J.* 1,61–69.
4. Budiman, A., Ishida, M., 1996. Three-dimensional graphical exergy analysis of a distillation column. *J. Chem. Eng. Jpn.* 29, 662–668.
5. Budiman, A., Ishida, M., 2004. A new method for disclosing internal phenomena in a distillation column by use of material-utilization diagram. *Energy* 29, 2213–2223.
6. Budiman, A., Sutijan, Sawitri, D.R., 2011. Graphical exergy analysis of retrofitted distillation column. *Int. J. Exergy* 8 (4),477–493.
7. Chiang, S.F., Kuo, C.L., Yu, C.C., Wong, D.S.H., 2002. Design alternatives for the amyl acetate process: coupled reactor/column and reactive distillation. *Ind. Eng. Chem. Res.*41 (13), 3233–3246.
8. Datta, D., Kumar, S., Babu, B.V., 2009. Intensification of propionic acid separation from aqueous solution using reactive extraction with tri-n-butyl phosphate (TBP) dissolved in decane and 1-decanol. *Proceedings of International Conference on Separation Process.*
9. Demirel, Y., 2004. Thermodynamic analysis of separation systems. *Sep. Sci. Technol.* 39 (16), 3897–3942.
10. Ghannadzadeh, A., Thery-Hetreux, R., Baudoin, O., Baudet, P., Floquet, P., Joulia, X., 2012. General methodology for exergy balance in ProSimPlus process simulator. *Energy* 44 (1), 38–59.
11. Gourmelon, S., Hetreux, R., Floquet, P., 2015. A new graphical representation of the exergy balance. *Chem. Eng. Trans.* 43,1–6.
12. Gutiérrez, M.L.F., PhD Thesis 2008. Estudio y diseño de procesos reacción extracción simultáneos. Universidad Nacional de Colombia, Manizales Colombia.
13. Kahya, E., Bayraktar, E., Mehmeto, G.U., 2001. Optimization of process parameters for reactive lactic acid extraction. *Turk. J. Chem.* 25, 223–230.
14. Kaiser, V., Gurlia, J.P., 1985. The ideal column concept: applied exergy to distillation. *Chem. Eng.* 19 (45), 45–53.
15. Khoa, T.D., Shuhaimi, M., Nam, H.M., 2012. Application of three dimensional exergy analysis curves for absorption columns. *Bien. Int. Workshop Adv. Energy Stud.* 37 (1), 273–280