


UO‘K: 678.7:541.124

 10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.2

UCH MONOMERLI TERPOLIMERLANISH REAKSIYASIDA TARKIBINING STRUKTURAVIY O‘ZGARISHLARI EKSPRIMENTAL VA KINETIK MODEL ASOSIDA BAHOLASH



Mavlonov Shohrux Boboxon o'g'li

PhD, dotsent, Buxoro davlat texnika universiteti, Buxoro,
O'zbekiston

E-mail: shoxrux-mavlonov@mail.ru

ORCID ID: 0009-0009-1652-6369

Science ID: FBX-0326-0012



Fozilov Sadridin Fayzullayevich

DSc, professor, Buxoro davlat texnika universiteti, Buxoro,
O'zbekiston

E-mail: sadriddinf@mail.ru

ORCID ID: 0009-0009-0313-6134

Science ID: DBX-0326-0003

Annotatsiya. Ushbu tadqiqotda TDMA–stiroł–malein ангидрид тизимида терполимерланish кинетикаси ва таркибий o'zgarishlari eksperimental hamda кинетик модел asosida o'rganildi. Inisiator konsentratsiyasi $16,8 \times 10^{-6}$ dan $51,3 \times 10^{-6}$ mol·L⁻¹ gacha oshirilganda konversiya 6,4% dan 15,2% gacha, reaksiya tezligi $4,075 \times 10^{-6}$ dan $8,965 \times 10^{-6}$ mol·L⁻¹·s⁻¹ gacha ortdi. Stiroł konsentratsiyasi ortishi bilan tezlik $3,11 \times 10^{-6}$ dan $11,07 \times 10^{-6}$ mol·L⁻¹·s⁻¹ gacha oshgani aniqlandi. Past konversiyada tarkib boshlang 'ich qiymatlarga yaqin bo'lsa-da, ayrim tizimlarda kompozitsion drift kuzatilib, MA ulushi 0,50 dan 0,70 gacha ortdi. Eksperimental natijalar model bilan yuqori moslikda ($\pm 0,02-0,04$) bo'ldi.

Kalit so'zlar: terpolimerlanish, kinetika, TDMA–St–MA tizimi, kompozitsion drift, reaktivlik nisbatlari, kinetик modellashtirish, radikal polimerlanish.

ОЦЕНКА СТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ СОСТАВА В РЕАКЦИИ ТЕРПОЛИМЕРИЗАЦИИ В ТРЁХКОМПОНЕНТНОЙ СИСТЕМЕ НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ И КИНЕТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Мавлонов Шохрух Бобохон угли

PhD, доцент, Бухарский государственный технический
университет, Бухара, Узбекистан

Фозилов Садриддин Файзуллаевич

DSc, профессор, Бухарский государственный технический
университет, Бухара, Узбекистан

Аннотация. В данной работе исследованы кинетика терполимеризации и структурные изменения в системе TDMA–стирол–малеиновый ангидрид на основе экспериментальных данных и кинетического моделирования. При увеличении концентрации инициатора от $16,8 \times 10^{-6}$ до $51,3 \times 10^{-6}$ моль·л⁻¹ конверсия возрастает с 6,4% до 15,2%, а скорость реакции — с $4,075 \times 10^{-6}$ до $8,965 \times 10^{-6}$ моль·л⁻¹·с⁻¹. Установлено, что с увеличением содержания стирола скорость реакции возрастает от $3,11 \times 10^{-6}$ до $11,07 \times 10^{-6}$ моль·л⁻¹·с⁻¹. В области низких конверсий состав близок к исходному, однако в ряде систем наблюдается композиционный дрейф (увеличение доли MA от 0,50 до 0,70). Экспериментальные данные хорошо согласуются с моделью ($\pm 0,02-0,04$).

Ключевые слова: терполимеризация, кинетика, система TDMA–стирол–малеиновый ангидрид, композиционный дрейф, реакционные коэффициенты, кинетическое моделирование, радикальная полимеризация.

EVALUATION OF COMPOSITIONAL STRUCTURAL CHANGES IN TERPOLYMERIZATION OF A TERNARY SYSTEM BASED ON EXPERIMENTAL DATA AND KINETIC MODELING

Mavlonov Shokhrukh Bobokhon ugli

PhD, Associate Professor, Bukhara State Technical University,
Bukhara, Uzbekistan

Fozilov Sadridin Fayzullayevich

DSc, Professor, Bukhara State Technical University, Bukhara,
Uzbekistan

Abstract. This study investigates the kinetics of terpolymerization and structural changes in the TDMA–styrene–maleic anhydride system based on experimental data and kinetic modeling. Increasing the initiator concentration from 16.8×10^{-6} to $51.3 \times 10^{-6} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ led to an increase in conversion from 6.4% to 15.2% and reaction rate from 4.075×10^{-6} to $8.965 \times 10^{-6} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$. It was found that increasing styrene content enhances the reaction rate from 3.11×10^{-6} to $11.07 \times 10^{-6} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$. At low conversion, the composition remains close to the initial feed; however, compositional drift is observed in some systems (MA fraction increases from 0.50 to 0.70). The experimental results show good agreement with the model (± 0.02 – 0.04).

Keywords: terpolymerization, kinetics, TDMA–styrene–maleic anhydride system, compositional drift, reactivity ratios, kinetic modeling, radical polymerization.

Kirish. Hozirgi kunda neft-kimyxo sanoatida yuqori samarali funksional prisadkalar sintez qilish uchun uch monomerli sistemalarda sodir bo‘ladigan terpolimerlanish jarayonlarini chuqur o‘rganish muhim ilmiy va amaliy ahamiyat kasb etmoqda [1,2]. Bunday sistemalarda turli kimyoviy tabiatga ega monomerlarning birgalikda polimerlanishi natijasida murakkab mikrostrukturaga ega makromolekulalar hosil bo‘ladi [3,4]. Ushbu strukturaviy xususiyatlar esa hosil bo‘layotgan terpolimerlarning fizik-kimyoviy, reologik va ekspluatatsion xossalarini belgilaydi [5].

Adabiyotlarda radikal sopolimerlanish va terpolimerlanish jarayonlari keng o‘rganilgan bo‘lib, ular asosan monomerlarning reaktivlik nisbatlari, zanjir o‘sish va terminatsiya mexanizmlariga asoslanadi [6]. Klassik Mayo–Lewis va Fineman–Ross tenglamalari yordamida ikki komponentli tizimlar uchun reaktivlik koeffitsientlarini aniqlash usullari ishlab chiqilgan. Shu bilan birga, uch va undan ortiq monomerli sistemalarda kinetik modellashtirishda zamonaviy yondashuvlar, jumladan, matematik modellar usullari keng qo‘llanilmoqda [7].

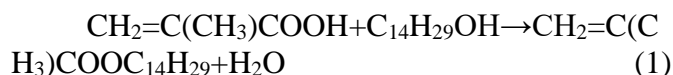
Shunga qaramay, uch monomerli sistemalarda terpolimerlanish jarayonida tarkibning strukturaviy o‘zgarishlari yetarli darajada chuqur o‘rganilmagan bo‘lib, konversiyaga bog‘liq ravishda terpolimer tarkibining o‘zgarishlari va uning kinetik parametrlar bilan bog‘liqligi to‘liq aniqlanmagan.

Bundan tashqari, eksperimental natijalar va kinetik modellar o‘rtasidagi moslikni kompleks baholash masalasi ham dolzarb bo‘lib qolmoqda.

Mazkur tadqiqotda maqsadi uch monomerli sistemada terpolimerlanish jarayonida tarkibning strukturaviy o‘zgarishlarini eksperimental ma‘lumotlar va kinetik model asosida baholashdan iborat, shuningdek, terpolimer tarkibining konversiyaga bog‘liq o‘zgarishi o‘rganilib, eksperimental natijalar kinetik model hisoblari bilan taqqoslandi hamda tizimning asosiy kinetik qonuniyatlari aniqlandi.

Materiallar va usullar. TDMA–stirol–malein anhidrid (TDMA–St–MA) uch monomerli sistemasida terpolimerlanish jarayonining kinetikasini o‘rganish va boshlang‘ich kinetik qonuniyatlarini aniqlash maqsadida tajribalar past konversiya oralig‘ida (0–15%) va (50–95%) konversiya darajasiga olib borildi.

Ishlatilgan moddalar va reagentlar: Tadqiqotlarda tetradetsil metakrilat (TDMA), metakril kislotaning yuqori molekulyar spirtlar, xususan tetradetsil spirt bilan esterifikatsiyasi orqali olindi. Ushbu jarayon kislotaning katalizatori (sulfat kislotasi) ishtirokida olib borilib, suv ajralishi bilan boradi.



Metakrilat monomerlari ishlab chiqarish va sifat ko‘rsatkichlari MDH hududida GOST 20370–

74 (metakril kislotasi efirlari uchun) yoki unga mos texnik shartlar (TU) bilan tartibga solindi, stiro (St) (GOST 10003–90) va malein anhidrid (MA) (GOST 11138–78) monomerleri qoʻllanildi. Inisiator sifatida azo-tipidagi birikma — IMDN ishlatildi. Monomer/inisiator nisbatlari 125:1, 200:1 va 800:1 diapazonlarda tanlandi. Erituvchi sifatida toluol qoʻllanilib, u reaksiya muhitining bir jinslilikini va issiqlik uzatilishini taʼminladi. Monomerlar: 80TDMA/10St/10MA, 10TDMA/80St/10MA va 10TDMA/10St/80MA mol nisbatlarida tadqiq qilindi. Tadqiqotda ishlatilgan barcha reagentlar yuqori tozalik darajasiga ega boʻlib, qoʻshimcha tozalashsiz qoʻllanildi. Monomerlarning tarkibiy tozaligi va ingibitorlardan tozalanganligi polimerlanish kinetikasiga sezilarli taʼsir koʻrsatishini hisobga olib, ular ishlatishdan oldin zarur hollarda vakuum distillyatsiyasi yoki ingibitorlarni yoʻqotish orqali tayyorlandi.

Reaktivlarning konsentratsiyasi umumiy kine-tik tenglamada quyidagicha ifodalanadi:

$$R_p = k_p[M][R] \quad (2)$$

Terpolimerlanish jarayoni: Terpolimerlanish reaksiyalari inert muhitda (N₂ atmosferasi) 95 ± 5 °C haroratda olib borildi. Reaksiya davomiyligi 0–360 minut oraligʻida oʻzgartirildi. Har bir vaqt nuqtasida namunalar olinib, monomer konversiyasi aniqlandi. Reaksiya tezligi quyidagi umumiy kinetik ifoda bilan tavsiflanadi:

$$R_p = -\frac{d[M]}{dt} \quad (3)$$

Radikal terpolimerlanishda stasionar holat sharoitida:

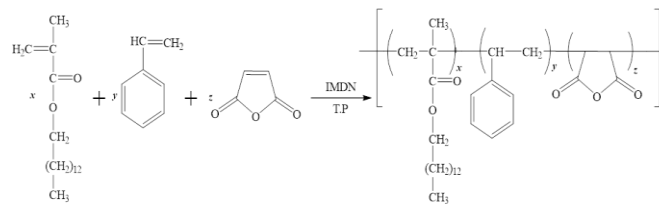
$$[R] = \sqrt{\frac{2fk_d[I]}{k_t}} \quad (4)$$

Natijada umumiy tezlik tenglamasi:

$$R_p = k_p[M] = \sqrt{\frac{2fk_d[I]}{k_t}} \quad (5)$$

Natijalar va ularning muhokamasi.

Terpolimerlarning strukturasi aniq tasvirlash uchun monomerlarning konversiyasiga harorat, inisiator konsentratsiyasi, reaktivlik koeffitsiyentlari aniqlash maqsadida radikal mexanizm usuli yordamida terpolimerning 5-15% gacha boʻlgan unumida monomerlarning turli xil mol nisbatlarida olib borildi va terpolimerlanish jarayonining kinetikasi oʻrganilib, terpolimer sintez reaksiyasi quyidagicha tasvirlandi.



1-rasm. TDMA, St va MA monomerlar asosida terpolimer sintez jarayoni.

TDMA, stiro va malein anhidrid ishtirokida olib borilgan terpolimerlanish jarayonida monomerlar konversiyasiga terpolimerlanish davomiyligi, inisiatorning turi va uning konsentratsiyasi, erituvchi tabiati, haroratlarning oʻzgarishi terpolimerning molekulyar massasi, strukturasi shakllanishiga taʼsirlari tadqiq qilindi.

1-jadval

[IMDN] ning 95 oC ±5 oC 150 minutda terpolimerlanish tezligiga taʼsiri

Namuna №	IMDN × 10 ⁻⁶ mol·L ⁻¹	Konversiya, %	R _p × 10 ⁻⁶ mol·L ⁻¹ ·s ⁻¹
1	16.8	6.4	4.075
2	25.2	8.2	4.89
3	33.6	10.6	5.705
4	42.0	12.4	7.335
5	51.3	15.2	8.965

$$[TDMA]=2.01 \text{ mol. L}^{-1}, [St] = 1.44 \text{ mol. L}^{-1}, [MA] 0.72 \text{ mol. L}^{-1}$$

TDMA–ST–MA terpolimerlanish kinetika-siga monomerlar konsentratsiyasining taʼsiri jadval va grafiklarda keltirilgan natijalar asosida miqdoriy jihatdan baholanganda inisiator ishtirokida, doimiy harorat va vaqt sharoitlarida olib borilganda, kinetik farqlarni bevosita monomer tarkibi bilan bogʻlash imkonini berdi shuningdek stiro konsentratsiyasi oshirilishi bilan polimerlanish tezligi va umumiy konversiya izchil ravishda ortishiga olib keldi.

Stirolning past konsentratsiyalarida umumiy konversiya 7,0–8,5% oraligʻida kuzatiladi. Stirolni miqdori oshirilganda esa konversiya 13,9–15,6 % gacha, terpolimerlanish tezligi R_p esa 3,11 × 10⁻⁶ dan 11,07 × 10⁻⁶ mol·L⁻¹·s⁻¹ gacha ortadi. Bu holat stirolning radikal polimerlanishga yuqori moyilligi hamda TDMA–ST–MA tizimida asosiy aktiv radikal hosil qiluvchi monomer ekanligini koʻrsatadi.

TDMA konsentratsiyasi oshirilganda ham konversiya 9,1% dan 14,3% gacha, terpolimerlanish tezligi R_p esa 4,17 × 10⁻⁶ dan 11,60 × 10⁻⁶ mol·L⁻¹·s⁻¹ gacha ortadi. Biroq stiroлга nisbatan TDMA molekulasida uzun alifatik yon zanjirlarning

mavjudligi sababli molekulaning hajmi kat-talashadi. Natijada reaksiya markaziga boshqa molekulalarning yaqinlashishi qiyinlashadi hamda jarayon davomida muhit qovushqoqligining ortishi molekulalarning erkin harakatlanishini cheklaydi.

MA konsentratsiyasi oshirilganda konversiya 5,6% dan 15,7% gacha ortadi, ammo terpolimerlanish tezligi R_p $2,58 \times 10^{-6}$ dan $11,50 \times 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ oralig'ida qoladi. Bu MA monomerining gomopolimerlanishga kam moyilligi bilan izohlanadi. Shu sababli MA asosan TDMA yoki stiroil bilan o'zaro ta'sirlashib, terpolimer zanjiriga aktiv markaz orqali qo'shiladi.

2-jadval

IMDN initsiatori ishtirokida (TDMA-St-MA) terpolimerlanish tezligiga monomerlar konsentratsiyasining ta'siri (reaksiya davomiyli 150 min, Harorat = 95 °C ± 10°C)

Namuna №	Monomer konsentratsiyasi (mol·L ⁻¹)	Konversiya (%)	R _p × 10 ⁶ (mol·L ⁻¹ ·s ⁻¹)
6 [TDMA]	0.28	7.02	3.11
7	0.86	8.35	4.31
8	2.01	13.9	9.10
9	2.59	15.6	11.07
10 [St]	0.72	9.1	4.17
11	2.16	11.4	7.48
12	2.88	14.3	11.60
13 [MA]	1.00	5.6	2.58
14	3.01	12.1	8.83
15	4.02	15.7	11.50

* [TDMA] = 1.44 mol·L⁻¹, [St] = 2.01 mol·L⁻¹, [IMDN] = 33.6 × 10⁻⁶ mol·L⁻¹

** [St] = 1.44 mol·L⁻¹, [St] = 2.01 mol·L⁻¹, [IMDN] = 33.6 × 10⁻⁶ mol·L⁻¹

*** [Sty] = 1.44 mol·L⁻¹, [MA] = 1.44 mol·L⁻¹, [IMDN] = 33.6 × 10⁻⁶ mol·L⁻¹

3-jadvalda TDMA–ST–MA terpolimerlari uchun boshlang'ich monomer (F), terpolimer tarkibidagi monomerlar nisbati (f), umumiy konversiya darajasi hamda terpolimer zanjiriga kiritilgan monomerlarning mol ulushlari keltirilgan.

3-namunada boshlang'ich monomer nisbati F=1.43, polimer tarkibidagi nisbat esa f=1.40 ni tashkil etdi. Ushbu sharoitda umumiy konversiya 10,6% bo'lib, terpolimer tarkibida TDMA, stiroil va MA monomerlarining mol ulushlari mos ravishda 1,44:1,44:2,01 ga teng bo'ldi.

6-namunada boshlang'ich monomer nisbati F=2.00, polimer tarkibida esa f=1.90f = 1.90f=1.90 bo'lib, konversiya 7,02 % ni tashkil etdi. Bu holatda terpolimer tarkibida stiroil ulushi 0,28, TDMA — 1,44 va MA — 2,01 ga teng bo'ldi.

9-namunada yuqori konversiya (15,6%) kuzatilib, boshlang'ich monomer nisbati F=0.85,

polimer tarkibi esa f=0.98 ni tashkil etdi. Ushbu sharoitda stiroilning mol ulushi 2,59, TDMA — 1,44 va MA — 2,01 ga teng bo'ldi.

10-namunada konversiya 9,1% bo'lib, monomer nisbati F=0.71, polimer tarkibi f=0.37 ga teng. Terpolimer tarkibida stiroil 1,44, TDMA 0,72 va MA 2,01 mol ulushlarda aniqlangan.

12-namunada boshlang'ich monomer nisbati F=2.88, polimer tarkibi f=2.31 va konversiya 14,3% ni tashkil etdi. Bu sharoitda TDMA ning terpolimer zanjiridagi mol ulushi 2,88 ga yetib, stiroil (1,44) va MA (2,01) ulushlari deyarli o'zgarmagan holda saqlanib qoldi.

3-jadval

Terpolimer tarkibi ([IMDN] = 33.6 × 10⁻⁶ mol·L⁻¹ Harorat = 95°C ± 3°C, Vaqt = 150 daqqa)

Namuna	Monomerlarning boshlang'ich miqdori (F)	Terpolimer tarkibidagi miqdor (f)	Konversiya, %	[TDMA] mol ulushi	[St] mol ulushi	[MA] mol ulushi
3	1.43	1.4	10.6	1.44	1.44	2.01
6	2.00	1.9	7.02	0.28	1.44	2.01
9	0.85	0.98	15.6	2.59	1.44	2.01
10	0.71	0.37	9.1	1.44	0.72	2.01
12	2.88	2.31	14.3	1.44	2.88	2.01
13	2.14	1.8	5.6	1.44	1.44	1.00
15	1.074	0.96	15.7	1.44	1.44	4.02

* Fenil protonlari cho'qqilari asosida hisoblangan.

** Asetoksi protonlari cho'qqilari asosida hisoblangan.

*** Elementar tahlil bo'yicha kislorod foizi asosida hisoblangan.

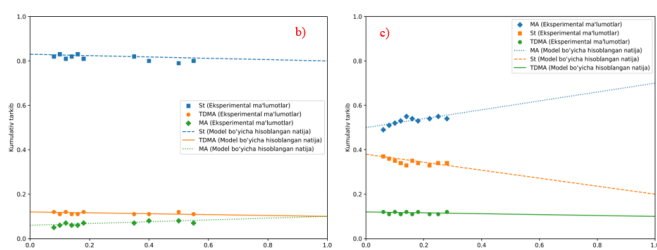
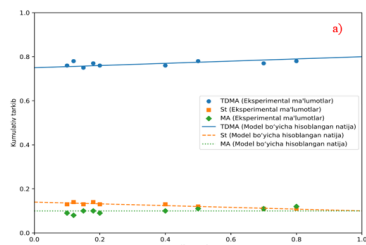
13-namunada konversiya eng past qiymatlardan biri bo'lib, 5,6% ni tashkil etdi. Monomer nisbati F=2.14, polimer tarkibi f=1.80 bo'lib, zanjir tarkibida stiroil 1,44, TDMA 1,44 va MA 1,00 mol ulushlarda kuzatildi.

15-namunada esa eng yuqori konversiya (15,7%) qayd etildi. Bu holatda boshlang'ich monomer nisbati F=1.074, polimer tarkibi f=0.96 bo'lib, terpolimer tarkibida stiroil 1,44, TDMA 1,44 va MA 4,02 mol ulushlarda aniqlangan.

Olingan natijalar shuni ko'rsatadiki, TDMA–St–MA terpolimerlanish jarayonida monomerlarning polimer zanjiriga kirishi ularning boshlang'ich nisbatiga to'liq proporsional emas. Stiroil va TDMA asosan zanjirning strukturaviy va elastik segmentlarini shakllantiradi, malein angidrid (MA) esa funksional guruhlarni kirituvchi komponent sifatida ishtirok etadi. MA ning terpolimer tarkibiga qo'shilishi ko'pincha boshqa monomerlar bilan o'zaro propagatsiya orqali amalga oshadi. Bu esa kinetik jarayonlarni boshqarish, terpolimer tarkibini nazorat qilish va ularning funksional xossalarni oldindan prognoz qilish imkonini beradi.

Terpolimer tarkibining konversiyaga bog'liq

o'zgarishini va kinetik model bilan taqqoslash: Sintez qilingan terpolimer monomerlar aralashmasida konversiya jarayonida monomerlarning zanjirga kiritilish darajasi kumulyativ tarkib funksiyasi F_i orqali baholandi va eksperimental natijalar kinetik model qiymatlari bilan solishtirildi (2-rasm).



2-rasm. (a) 0.8/0.1/0.1, (b) 0.1/0.8/0.1 va (c) 0.1/0.2/0.7 TDMA–St–MA monomerlar nisbatlarida kumulyativ terpolimer tarkibi F_i (eksperimental ma'lumotlar va model qiymatlari)

(0,8/0,1/0,1) boshlang'ich tarkibda konversiya 0,05–0,90 oralig'ida o'zgarganda, terpolimer tarkibida asosiy komponent sifatida TDMA ulushi deyarli o'zgarmay $F \approx 0,75–0,80$ oralig'ida saqlanadi. Ikkinchi va uchinchi monomerlar ulushi mos ravishda $F \approx 0,12–0,15$ ni tashkil etib, konversiya ortishi bilan ularning o'zgarishi $\pm 0,02$ dan oshmaydi.

(0,1/0,8/0,1) tarkibli sistemada esa butun konversiya davomida stiroil asosiy komponent sifatida ustunlik qiladi va uning ulushi $F \approx 0,80–0,83$ oralig'ida kuzatiladi. Shu bilan birga, TDMA ulushi

$F \approx 0,10–0,13$, MA ulushi esa $F \approx 0,06–0,10$ diapazonda o'zgaradi.

(0,1/0,2/0,7) sistemada konversiya ortishi bilan sezilarli tarkibiy qayta taqsimlanish kuzatiladi. Past konversiyada MA ulushi $F \approx 0,50–0,55$ bo'lsa, yuqori konversiyada u $F \approx 0,65–0,70$ gacha oshadi. Aksincha, stiroil ulushi $F \approx 0,35–0,40$ gacha kamayadi, TDMA ulushi esa deyarli barqaror bo'lib, $F \approx 0,10–0,12$ atrofida saqlanadi.

Uchala sistemada ham kinetik model asosida hisoblangan qiymatlar eksperimental natijalar bilan yuqori darajada mos kelib, maksimal og'ish $\pm 0,02–0,04$ dan oshmaydi. Bu esa modelning yuqori aniqlikda ($\pm 0,03$) ishlashini, tanlangan matematik yondashuvning to'g'riligini va uning adekvatligini tasdiqlaydi. Model yordamida terpolimer tarkibining o'zgarishini oldindan bashorat qilish mumkin bo'lib, TDMA–St–MA tizimida monomerlar nisbatini tanlash orqali yakuniy strukturaviy va funksional xossalarni maqsadli boshqarish imkoniyati yaratiladi. Shuningdek, bu yondashuv reaktivlik nisbatlarini aniqlash uchun ishonchli eksperimental asos bo'lib xizmat qiladi.

Xulosa. TDMA–stiroil–malein anhidrid sistemasida terpolimerlanish jarayoni monomerlar nisbati va inisiator konsentratsiyasiga bog'liq holda kechishi aniqlandi. Inisiator miqdori ortishi bilan konversiya va reaksiya tezligi oshadi. Stiroil jarayonni tezlashtiruvchi asosiy komponent bo'lib xizmat qiladi, TDMA esa asosan diffuzion omillar orqali ta'sir ko'rsatadi, malein anhidrid esa selektiv ravishda terpolimer zanjiriga inkorporatsiyalanadi. Eksperimental natijalar kinetik model bilan yuqori moslikda ($\pm 0,02–0,04$) bo'lib, modelning adekvatligini tasdiqladi. Olingan natijalar terpolimer tarkibini boshqarish va uning xossalarni oldindan prognoz qilish imkonini beradi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

- [1] Speight, J. G. (2014). The chemistry and technology of petroleum (5th ed., pp. 811–835). CRC Press.
- [2] Rudnick, L. R. (2017). Lubricant additives: Chemistry and applications (3rd ed., pp. 245–278). CRC Press.
- [3] Matyjaszewski, K., & Möller, M. (Eds.). (2012). Polymer science: A comprehensive reference (Vol. 5, pp. 101–135). Elsevier.
- [4] Matyjaszewski, K., & Davis, T. P. (Eds.). (2009). Handbook of radical polymerization (pp. 361–410). Wiley.

- [5] Totten, G. E. (Ed.). (2013). Fuels and lubricants handbook (pp. 421–450). ASTM International.
- [6] Odian, G. (2010). Principles of polymer chemistry (pp. 215–250). Springer.
- [7] Wulkow, M. (2008). PREDICI: Polymer reaction engineering simulation (pp. 55–110). Wiley-VCH.