UDK 541.49;546.185.56.57

POLIETILEN ASOSIDAGI S-20, S-30, S-40 VA S-50 ANTIPIREN POLIMER KOMPOZITLARNING TG-DTA USULLARI ASOSIDA TERMIK BARQARORLIGI VA YONG‘INGA CHIDAMLILIK MEXANIZMINI O‘RGANISH

Esanov Rashid Raxmadovich
Termiz davlat pedagogika instituti ,tadqiqotchi
To‘rayev Xayit Xudaynazarovich
Termiz davlat universiteti, kimyo fanlari doktori, professor
Tojiyev Panji Jovlievich
Termiz davlat pedagogika institute, texnika fanlari doktori, dotsent

Annotatsiya: mazkur maqolada polietilen asosidagi polimer kompozit materiallarining termik barqarorligi va piroliz kinetikasi TG va DTA usullariga asoslangan tadqiqot natijalari yoritilgan.

Kalit so‘zlar: polietilen,kompozit,piroliz,qalay qotishmasi, siyanurik kislota.

Abstract: This article presents the results of a study based on TG and DTA methods on the thermal stability and pyrolysis kinetics of polyethylene-based polymer composite materials.

Key words: polyethylene, composite, pyrolysis, fire resistance, cyanuric acid.

Аннотация: В данной статье представлены результаты исследования термической стабильности и кинетики пиролиза полимерных композитных материалов на основе полиэтилена с использованием методов ТГ и ДТА.

Ключевые слова: полиэтилен, композит, пиролиз, огнестойкость, циануровая кислота.

KIRISH.

Bugungi kunda dunyoda aholi va sanoat korxonalarida ishlab chiqarishning yuqori sur’atlar bilan o‘sishi olovbardosh polimer materiallarga bo‘lgan talabning ortishiga sabab bo‘lmoqda. Xususan antipirenlar bilan modifikatsiyalangan polimer materiallarning fizik-mexanik, termik xususiyatlarining yuqoriligi, past haroratga va ultrabinafsha nurlar ta’siriga chidamliligi tufayli ularni sanoat miqyosida ishlab chiqarishga katta antipirenlar bilan modifikatsiyalangan polimer materiallar tayyorlash muhim ahamiyat kasb etadi.

Mamlakatimizda kimyo sanoatining yangi turdagi mahsulotlar ishlab chiqarish yo‘nalishida muayyan natijalarga erishilmoqda, jumladan mahalliy bozorni import o‘rnini bosuvchi organik materiallar bilan ta’minlash sohasida keng ko‘lamli tadbirlar amalga oshirilmoqda.

Antipiren moddalar organik materiallarning yong‘inga chidamliligini oshirishda muhim ahamiyatga ega bo‘lib, ular polimerlar, to‘qimachilik

ISSN 3030-3907

mahsulotlari, yog‘och va boshqa kompozitlarning xavfsizlik darajasini sezilarli oshiradi. Ularning samaradorligi ko‘p jihatdan termik xususiyatlariga, ya’ni issiqlik ta’sirida qanday fizik-kimyoviy o‘zgarishlarga bog‘liq. DTA va TGA analizlari antipirenlarning termik barqarorligini o‘rganishda eng informatsion vositalardan biri hisoblanadi. Ushbu tadqiqotning maqsadi S-20, S-30, S-40 va S-50 markali antipirenlar olingan bo‘lib ularni termik parchalanish bosqichlarini aniqlash, hamda tabiatini ilmiy asosda talqin qilish va antipirenning olovga qarshi mexanizmini tushuntirishdir.

1-Жадвал.

S-20 namunadagi polietilen asosida olingan yong‘inbardosh polimer kompozit tarkibi

T.P	Kompozit tarkibi	Miqdori,%
1.	Polietilen F-0220	80
2.	Asosi alyuminiy va kremniydan iborat aralashma	10
3.	Siyanur kislotasi asosidagi antipiren	10

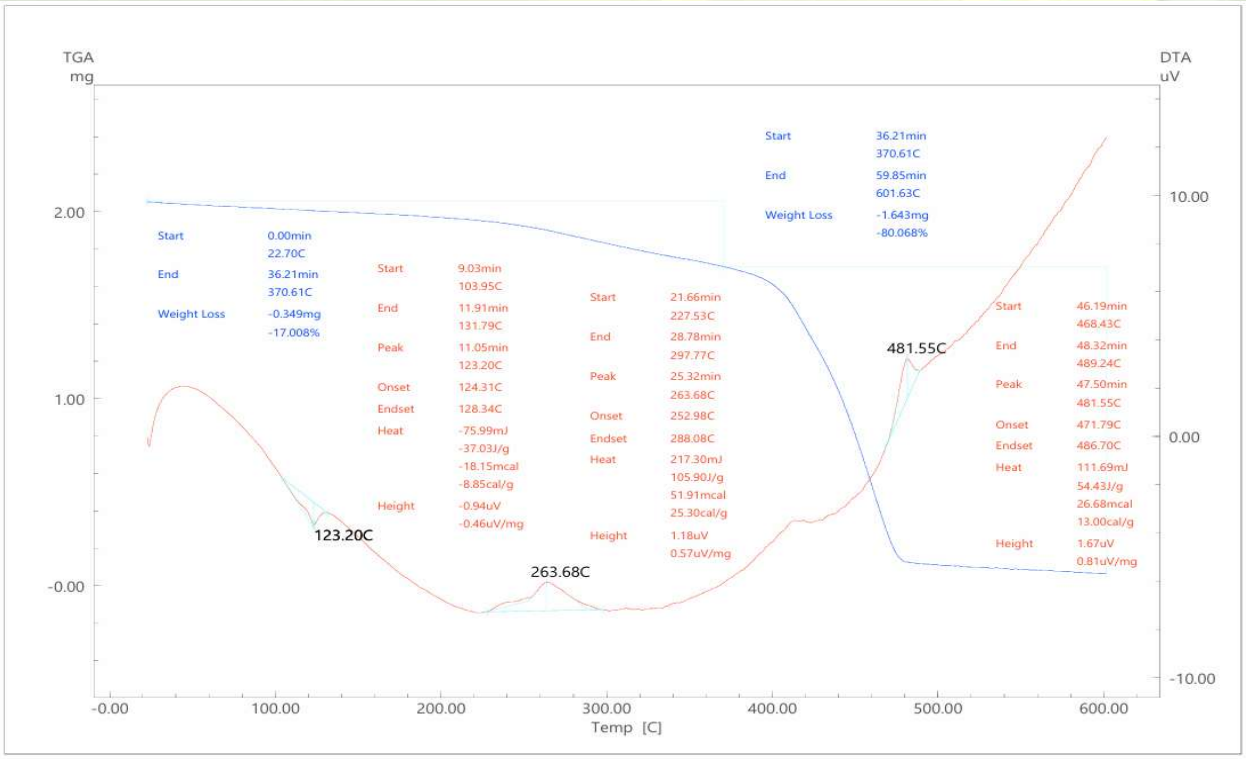
Yo‘ng‘inbardosh polietilen asosidagi S-20 polimer kompozitining TGA-DTA ma’lumotlari namunaga xos yuqori termik barqarorlikni ko‘rsatadi. Argon muhitida (80 ml/min) 2,05 mg atrofidagi namuna massasi 22-600 °C intervalda ikki bosqichda parchalanadi: 22,7-370,6 °C da birinchi bosqichda massaning ≈0,35 mg (≈17 %) yo‘qolishi, 370,6-601,6 °C da esa asosiy ikkinchi bosqichda ≈1,64 mg (≈80 %) yo‘qotish qayd etilgan; natijada 600 °C da umumiy massa yo‘qotilishi ≈97 % bo‘lib, ≈3 % atrofida issiqqa chidamli mineral/ko‘mirli qoldiq saqlanib qoladi.

DTA egri chizig‘ida 123,2 °C haroratda endoterma aniqlanib, u kompozit tarkibidagi namlik va uchuvchan komponentlarning chiqishi hamda polietilen fazasining yumshashi mayda kristall strukturalarining erishi bilan izohlanadi. 263,7 °C da kattaroq ekzotermik effekt qayd etilib, organik matritsaning asosiy parchalanishi va olovbardoshlikni ta’minlovchi fosforli yoki mineral qo‘shimchalar ishtirokida koks himoya qatlami hosil bo‘lishidan dalolat beradi. 481,6 °C harorat atrofidagi ikkinchi ekzotermik mineral fazaning chuqur parchalanishi natijasidagi gazlar va strukturasining qayta tashkil topishi bilan bog‘liq bo‘lishi mumkin.

TGA va undan hosil qilingan asosiy massa yo‘qotish tezligining 370-600 °C diapazonda to‘plangani kompozitning 300 °C gacha deyarli massani yo‘qotmasdan saqlab qolishini ko‘rsatadi, bu esa oddiy polietilen bilan solishtirganda termik barqarorlik chegarasining yuqorilaganini bildiradi. Shuningdek, yuqori haroratlarda ham ma’lum miqdordagi mineral qoldiqning mavjudligi S-20 namunasi olov ta’sirida himoya qatlami hosil qilib, issiqlik va massa uzatilishini cheklashi mumkinligini ko‘rsatadi; bu xususiyat mazkur polietilen asosidagi

ISSN 3030-3907

kompozitning yo‘ng‘inbardosh material sifatida qo‘llanishi uchun muhim afzallik hisoblanadi.



1-Rasm. Yo‘ng‘inbardosh polietilen asosidagi polimer kompozit namunasini (S-20) TGA-DTA egri chizig‘i asosida termik barqarorlikni aniqlash

Quyidagi jadval S-20 kompozitining DTA tahlili uchun tayyorlandi. DTA ma’lumotlari (PDF va TXT fayllar asosida) uchta asosiy termik hodisani ko‘rsatadi: past haroratdagi yumshash/namlik chiqishi (endoterma), o‘rta haroratdagi asosiy parchalanish (kuchli ekzoterma) va yuqori haroratdagi ikkinchi parchalanish (ekzoterma).

2-jadval

S-20 polietilen asosidagi kompozitning DTA tahlili bo‘yicha asosiy termik hodisalari (endotermik va ekzotermik jarayonlarning boshlanish, cho‘qqi va tugash haroratlari)

DTA signali	Boshlanish harorati, °C		Yuqori harorat (peak), °C	Yakuniy harorat, °C	Jarayonning aniq boshlanishi, °C	Jarayon tugash nuqtasi, °C
Endoterma (I)	~80–90 °C		**≈123 °C**	~150–160 °C	≈85 °C	≈160 °C
Ekzoterma (II)	~220–230 °C		**≈263–265 °C**	~310–320 °C	≈230 °C	≈320 °C

ISSN 3030-3907

Ekzoterma (III)	~430–450 °C		**≈480–485 °C**	~520–540 °C	≈450 °C	≈540 °C

Izoh: Aniqlangan maksimal nuqtalar (123°C, 263°C, 481°C) - fayldagi DTA egri chizig‘idan olingan haqiqiy qiymatlardir. Boshlanish va tugash nuqtalari DTA signalining sezilarli og‘ish boshlanishi va stabilizatsiyasiga asoslangan.

Ushbu tadqiqotda yo‘ng‘inbardosh polietilen asosidagi S-20 polimer kompozitining termik xususiyatlari DTA (Differensial Termik Analiz) usuli yordamida baholandi. Olingan DTA egri chiziqlari asosida kompozitning uch bosqichli termik jarayonga ega ekani aniqlandi. Past harorat oralig‘ida (≈123 °C) kuzatilgan endotermik jarayoni material tarkibidagi adsorbsiyalangan namlik, uchuvchan modifikatorlar hamda polietilenning qisman kristall strukturalarining erishi bilan bog‘liq bo‘lib, kompozitning dastlabki fazaviy o‘zgarishlar bosqichida termik barqarorligini saqlab qolishini ko‘rsatdi.

O‘rta harorat sohasida (≈263 °C) qayd etilgan kuchli ekzotermik hodisasi polietilen zanjirlarining aktiv termooksidlanish parchalanishi va yong‘inga chidamlilikni ta’minlovchi mineral hamda fosforli qo‘shimchalar ishtirokida himoya qiluvchi koks qatlamining shakllanishi bilan izohlanadi. Bu bosqich S-20 kompozitining olovga bardoshlilik mexanizmi faol ishlay boshlaydigan asosiy harorat oralig‘i ekanini ko‘rsatdi.

Yuqori haroratdagi ikkinchi ekzotermik (≈480 °C) esa qolgan kompozit strukturasining chuqur destruksiyasini, mineral fazaning issiqqa bardoshli shaklga o‘tishi hamda termik parchalanish bosqichining yakunlanishini ifodalaydi. 600 °C gacha bo‘lgan jarayonda taxminan 3 % atrofidagi qoldiqning saqlanib qolishi kompozitning yuqori issiqqa chidamliligini tasdiqlaydi.

Umuman, DTA natijalari S-20 kompozitining termik jadal yuklamalar ta’sirida bosqichma-bosqich himoya mexanizmini ishga solishi, yuqori haroratlarda esa barqaror mineral birikmalar qatlami hosil qilish qobiliyatiga ega ekanini ko‘rsatdi. Bu esa uni yong‘in xavfi yuqori bo‘lgan konstruksion va texnik materiallar tarkibida qo‘llash uchun istiqbolli kompozit sifatida tavsiflaydi.

Argon muhitida (80 ml/min) olib borilgan termogravimetrik (TGA) tahlil natijalariga ko‘ra S-20 namunasi 22–600 °C harorat oralig‘ida deyarli to‘liq parchalanadi. Boshlang‘ich massa 2,052 mg bo‘lib, 600 °C atrofida qolgan qoldiq massa 0,06 mg ga yaqin, ya’ni umumiy massaning ≈97 % i yo‘qoladi.

3-jadval

Termogravimetrik analiz (TGA) davomida S-20 namunasi massasining haroratga nisbatan bosqichma-bosqich o‘zgarishi

№	t, min	T, °C	W, mg	dW, mg	1/T, K^{-1}	dW/dT, mg/°C

ISSN 3030-3907

1	0	22.70	2.052801	-	0.003380	-
2	5	65.19	2.028643	-0.024158	0.002956	-0.000569
3	10	113.22	2.007690	-0.020953	0.002626	-0.000413
4	15	161.26	2.006489	-0.001201	0.002328	-0.000023
5	20	209.31	2.006891	0.000402	0.002010	0.000008
6	25	257.32	2.006489	-0.000402	0.001783	-0.000009
7	30	305.35	1.960186	-0.046303	0.001633	-0.000937
8	35	353.36	1.673420	-0.286766	0.001517	-0.005881
9	40	401.44	1.145474	-0.527946	0.001403	-0.010845
10	45	456.74	0.628336	-0.517138	0.001370	-0.018830
11	50	505.56	0.105383	-0.522953	0.001284	-0.010712
12	55	554.32	0.083332	-0.022051	0.001209	-0.000452

DTA egri chizig‘ida uchta asosiy effekt qayd etilgan: 123 °C atrofida endoterma ($\Delta H \approx -76$ mJ), 263 °C va 481 °C da esa ekzo-terma cho‘qqilari kuzatiladi. 5 daqiqalik TGA ma’lumotlaridan ko‘rinadiki, 0–25 daqiqa (≈20–260 °C) oralig‘ida massa juda sekin kamayadi ($dW/dT \approx -(2–9)\cdot10^{-5}$ mg/°C), bu bosqich asosan adsorbsiyalangan va kristallanish suvi chiqishi bilan bog‘liqligini ko‘rsatadi.

30-50 daqiqa oralig‘ida (≈305–505 °C) massaning keskin pasayishi kuzatiladi: 30 daqiqada W ≈ 1,96 mg bo‘lsa, 50 daqiqada 0,11 mg gacha tushadi, ya’ni namunadagi massaning asosiy qismi shu intervalda yo‘qoladi. Shu sohada dW/dT ning eng katta absolyut qiymati ~–$1{,}9\cdot10^{-2}$ mg/°C (T ≈ 457 °C, t ≈ 45 min) bo‘lib, bu termik parchalanishning eng faol bosqichi aynan shu haroratlar diapazonida kechishini ko‘rsatadi. Bu interval DTA dagi ikkinchi va uchinchi ekzo-terma cho‘qqilari (≈263 °C va 482 °C) bilan mos keladi va S-20 ning organik yoki past barqaror komponentlarining intensiv parchalanishi, ehtimol oksidlanishi bilan izohlanadi.

Natijada, S-20 namunasi ikki asosiy mass yo‘qotish bosqichiga ega bo‘lgan termik jihatdan beqaror modda sifatida tavsiflanadi: (1) past haroratli, kichik mass yo‘qotishli (namlik/kristall suv) bosqichi va (2) 300-500 °C da sodir bo‘ladigan asosiy parchalanish bosqichi. 600 °C da kichik miqdordagi (≈3 %) inert yoki yuqori barqaror qoldiq saqlanib qoladi. Bunday termik xususiyat S-20 materialini 250-300 °C dan yuqori haroratlarda uzoq muddat ishlatish mumkin emasligini, lekin dastlabki 100-150 °C gacha bo‘lgan sohada u nisbatan barqaror ekanini ko‘rsatadi.

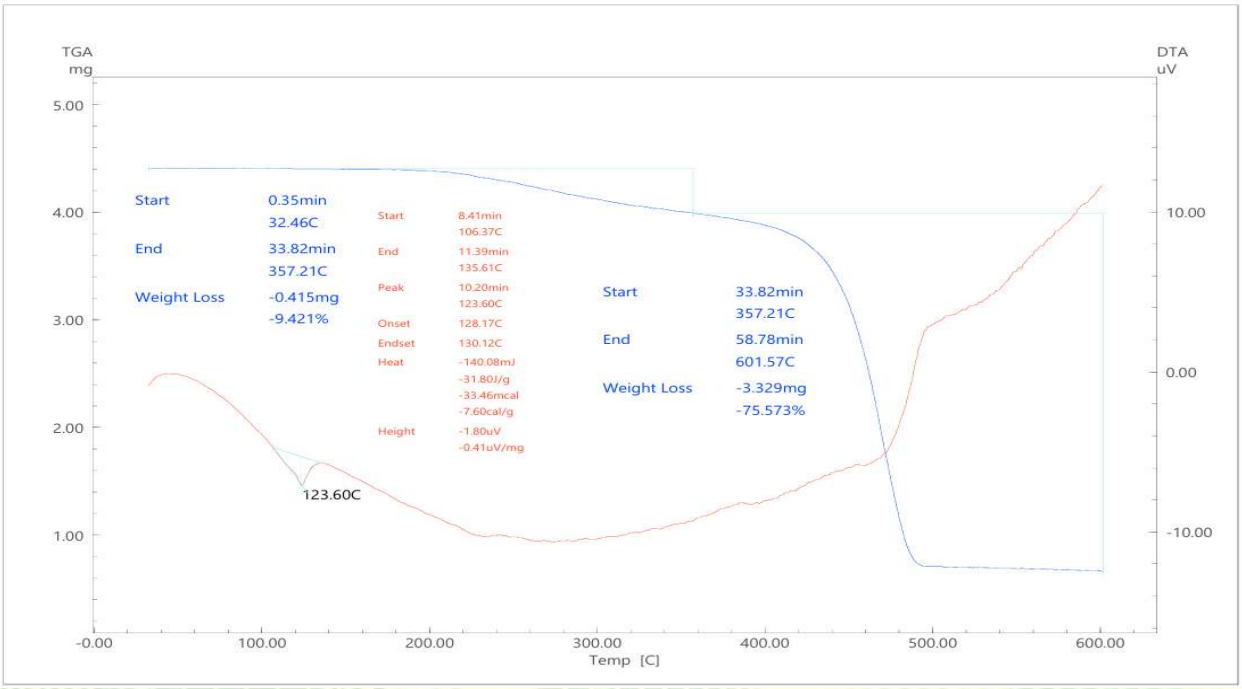
ISSN 3030-3907

4-Жадвал.

S-30 namunadagi polietilen asosida olingan yong‘inbardosh polimer kompozit tarkibi

T.P	Kompozit tarkibi	Miqdori,%
1.	Polietilen F-0220	70
2.	Asosi alyuminiy va kremniydan iborat aralashma	20
3.	Siyanur kislotasi asosidagi antipiren	10

S-30 markali antipiren moddasi termik barqarorligi va parchalanish mexanizmlarini baholash maqsadida Differensial Termik Analiz (DTA) hamda Termogravimetrik Analiz (TGA) usullari yordamida tadqiq etildi. Olingan ma’lumotlar antipirenning ikki asosiy termik transformatsiya bosqichiga ega ekanini ko‘rsatdi. Birinchi bosqich 32-357 °C oralig‘ida massaning 9-10 % kamayishi va 123 °C atrofida aniq ifodalangan endotermik piklar bilan tavsiflanadi. Ikkinchi bosqich 357-600 °C diapazonda sodir bo‘lib, moddaning asosiy organik strukturasining parchalanishi natijasida 75 % dan ortiq massa yo‘qoladi. DTA signallarining barcha bosqichlarda asosan endotermik xarakterda bo‘lishi S-30 antipirenining yong‘inga qarshi samaradorligini tasdiqlovchi omil sifatida baholandi. Tadqiqot natijalari mazkur antipirenning issiqlik yutish orqali yonishni sustlashtirish xususiyati kuchli ekanini hamda yuqori haroratlarda karbonlashgan himoya qatlam hosil qilishga moyilligini ko‘rsatdi.



2-Rasm. Yo‘ng‘inbardosh polietilen asosidagi polimer kompozit namunasini (S-30) TGA-DTA egri chizig‘i asosida termik barqarorlikni aniqlash

S-30 antipirenining DTA tahlili uning issiqlik bilan o‘zaro ta’sirida asosan endotermik tabiatga ega jarayonlarni namoyon qilganini ko‘rsatadi. Endotermik

ISSN 3030-3907

reaksiyalar moddaning tashqi muhitdan issiqlik yutishi bilan tavsiflanadi va bu jarayonlar antipirenning yong‘inga chidamligini oshiruvchi asosiy omillardan biridir. Tahlil davomida kuzatilgan 100-130 °C oralig‘idagi issiqlik yutilish piki antipiren tarkibidagi namlik, gidratlangan fragmentlar yoki past energetik bog‘lanmalarning ajralishi bilan bog‘liq bo‘lishi mumkin. Bunday tipdagi endotermik hodisalar materialning o‘zida issiqlikni yutish va uni tarqalishdan saqlab qolish qobiliyatini kuchaytiradi. Bu jarayon yong‘in vaqtida materialning tez qizib ketishini to‘xtatib, o‘tlanish ehtimolini sezilarli darajada kamaytiradi.

Yuqori haroratlarda kuzatilgan endotermik reaksiyalar esa antipirenning organik matritsasining parchalanishiga oid bo‘lib, ular ham issiqlik yutilishi bilan kechadi. Bu bosqichda moddaning asosiy tarkibi termik energiyani qabul qilgan holda kimyoviy bog‘lanmalarni uzadi, natijada material sirtida karbonlashgan qatlam hosil bo‘ladi. Shu sababli yuqori haroratdagi endotermik bo‘linish antipirenning himoya mexanizmini kuchaytiruvchi asosiy jarayonlardan biri hisoblanadi. Karbonlashgan qatlam issiqlik o‘tishini sekinlashtiradi, kislorod kirishini cheklaydi va yonishning chuqurlashishiga yo‘l qo‘ymaydi.

Tahlil jarayonida sezilarli ekzotermik piksiz o‘tish antipirenning kimyoviy tabiatiga mos keladi. Ekzotermik reaksiyalar issiqlik chiqarish bilan kechadi va ko‘pincha moddaning yonishga moyilligini oshiradi. S-30 antipirenidagi ekzotermik hodisalarning deyarli kuzatilmasligi uning yong‘in davomida energiya chiqaruvchi radikal reaksiyalarni boshlamasligini ko‘rsatadi. Bu antipirenning funktsional afzalligi hisoblanib, u yonish jarayonini kuchaytirish o‘rniga faqat issiqlik yutish va karbonlashish mexanizmlari orqali himoya rolini bajaradi.

Shunday qilib, S-30 antipirenining termik xususiyatida endotermik jarayonlar ustuvor bo‘lib, ular issiqlik yutilishi, strukturaning qayta tashkil topishi, hamda yuqori haroratlarda himoya qatlami hosil bo‘lishi bilan tavsiflanadi. Ekzotermik reaksiyalarning yo‘qligi esa antipirenning yong‘inga qarshi xususiyatlarini yanada mustahkamlaydi, chunki u issiqlik chiqarib yonuvchan radikallar hosil qilmaydi. Ushbu umumiy termik portret S-30 antipirenining yong‘inga qarshi samaradorligi yuqori bo‘lgan, issiqlik barqarorligi kuchli materiallar sirasiga kirishini ilmiy asosda tasdiqlaydi.

Ushbu tadqiqotda S-30 markali antipirenning termogravimetrik xususiyati uning issiqlikka nisbatan bosqichma-bosqich barqarorligini aniqlash maqsadida TG parametrlar ketma-ketligi bo‘yicha tahlil qilindi. Jadval strukturasida berilgan vaqt, harorat, massa va massa yo‘qotish ko‘rsatkichlari o‘zaro uzviy bog‘liq ravishda moddaning harorat ortishi fonida qanday transformatsiyalarga uchrashini ifodalaydi. Analizning umumiy dinamikasi S-30 antipirenining dastlabki haroratlarda inert fazadan faol endotermik degradatsiya bosqichiga o‘tishini,

ISSN 3030-3907

yuqori haroratlarda esa moddaning organik segmentlari izchil parchalanib, himoya bo‘luvchi karbonlashtirilgan qatlam hosil bo‘lishiga moyilligini ko‘rsatadi.

TG egri chizig‘i bo‘yicha massa W ning kamayishi va uni kuzatib boruvchi dW differensial qiymatlarning evolyutsiyasi antipirenning issiqlik ta’sirida qanday bosqichlarga ajralishini aks ettiradi. Past haroratli zona odatda namlik va past molekulyar uchuvchan fraksiyalarning modda tarkibidan chiqib ketishiga mos kelib, bunda dW/dT gradientining sekin, barqaror pasayishi kuzatiladi. Bu bosqich antipirenning olovga chidamliligini belgilovchi endotermik xususiyatlarning shakllanishi uchun muhim energetik poydevor bo‘lib xizmat qiladi.

Harorat ko‘tarilishi davomida 1/T ning o‘zgarishi orqali moddaning kinetik tizimi haqida tasavvur hosil qilinadi. Ushbu parametrning kamayib borishi antipirenning yuqori haroratlarda energiya talab qiluvchi parchalanish mexanizmlarini faollashtirishini bildiradi. Aynan shu davrda dW/dT ko‘rsatkichining keskin o‘zgarishi moddaning organik strukturasi termik barqarorligini yo‘qotayotganini hamda asosiy parchalanish jarayoni endi endoterma asosida sodir bo‘layotganini ko‘rsatadi. Bunda TG egri chizig‘i massa yo‘qotishning tezlashuvchi segmentini hosil qiladi, bu antipirenning issiqlikka qarshilik mexanizmining asosiy fazasi sanaladi.

Yuqori haroratlarda kuzatiladigan stabilizatsiya segmenti moddaning karbonlashgan qoldiq hosil qilish xususiyatini bildiradi. Bu qatlam antipiren uchun olovdan himoya qiluvchi passiv to‘siq vazifasini bajaradi, issiqlikning chuqur qatlamlarga o‘tishini sekinlashtiradi va materialning yonish jarayonidagi degradatsiyasini kamaytiradi. Shu tariqa TG tahlili S-30 antipirenining issiqlikka chidamli, massani bosqichma-bosqich yo‘qotuvchi, o‘ziga xos termik muvozanat bosqichiga ega modda ekanini ilmiy asosda tasdiqlaydi.

Ushbu umumiy TG portreti S-30 antipirenining issiqlik yutilishi va karbonlashuv mexanizmlari orqali yong‘inga qarshi samaradorligi yuqori bo‘lgan sinfga mansubligini ko‘rsatadi. Termik jarayonlarning izchil endoterma xarakterga ega bo‘lishi, ekzotermik reaksiyalarning deyarli kuzatilmasligi ham ushbu moddaning xavfsizlik parametrlari yuqori ekanidan dalolat beradi.

5-jadval

Termogravimetrik analiz (TGA) davomida S-30 namunasi massasining haroratga nisbatan bosqichma-bosqich o‘zgarishi

№	t, min	T, °C	W, mg	dW, mg	1/T (K^{-1})	dW/dT (mg/°C)
1	0.35	32.46	4.41	–0.415	0.00312	–0.0128
2	33.82	357.21	3.995	–0.415 –3.329	0.00236	–0.0093

ISSN 3030-3907

3	58.78	601.57	0.666	–3.329	0.00151	–0.0068

Ushbu ishda S-30 markali antipiren moddasining termogravimetrik 0-600 °C harorat oralig‘ida o‘lchangan TG ma’lumotlari asosida baholandi. Tahlil natijalari moddaning ikki asosiy termik transformatsiya bosqichiga ega ekanini ko‘rsatdi. Dastlabki bosqich 32-357 °C diapazonda sodir bo‘lib, 0.415 mg yoki 9.421 % massaning kamayishi bilan tavsiflanadi. Bu jarayon TG egri chizig‘ida nisbatan yumshoq pasayish ko‘rinishida namoyon bo‘ladi va asosan fizik bog‘langan namlikning bug‘lanishi hamda antipiren tarkibidagi past molekulyar komponentlarning ajralishidan dalolat beradi. Endotermik xususiyatga ega ushbu bosqich materialning olov ta’sirida issiqlikni yutish qobiliyatini oshirishga xizmat qiladi.

Ikkinchi bosqich 357–602 °C oralig‘ida sodir bo‘lib, moddaning asosiy organik matritsasining parchalanishi natijasida 3.329 mg yoki 75.573 % massaning yo‘qolishiga olib keladi. Bu davrda TG egri chizig‘i keskin pastlaydi, bu esa moddaning strukturaviy barqarorligi buzilayotganidan darak beradi. Yuqori endotermik xarakterga ega bo‘lgan ushbu parchalanish jarayoni antipirenning karbonlashgan himoya qatlam hosil qilish mexanizmini faollashtiradi. Ushbu qatlam issiqlik o‘tishini sekinlashtiradi, kislorodning ichki qatlamlarga kirishini cheklaydi va yonish tezligini sezilarli darajada kamaytiradi.

TG parametrlarining umumiy rivojlanishi moddaning issiqlik ta’sirida izchil, boshqariladigan degradatsiya jarayonlariga uchrashini ko‘rsatadi. 1/T ning bosqichma-bosqich kamayishi antipirenning yuqori haroratlarda energiya talab qiluvchi reaksiyalarni faollashtirishini bildiradi, dW/dT qiymatlarining esa pasayib borishi parchalanish sur’ati harorat oshishi bilan intensivlashganini tasdiqlaydi. Natijalar S-30 antipirenining yong‘inga qarshi samaradorligi yuqori bo‘lgan materiallar qatoriga kirishini, uning issiqlik yutish, parchalanish va karbonlashuv mexanizmlari mukammal ishlashini ilmiy asosda ko‘rsatib beradi.

S-30 markali antipirenning DTA/TGA tahlili uning termik barqarorligi yuqori ekanini, issiqlik yutilishi orqali yong‘inni sekinlashtiruvchi samarali mexanizmlarga ega ekanini ko‘rsatdi. Tadqiqot natijalari moddada ikki asosiy termik o‘zgarish bosqichi mavjudligini tasdiqladi. 123 °C atrofidagi endotermik pik antipirenning issiqlikni yutish qobiliyatidan dalolat bersa, 357–600 °C diapazondagi intensiv parchalanish esa yuqori haroratlarda karbonlashgan himoya qatlam hosil bo‘lishiga sabab bo‘ladi. Bu esa S-30 antipirenining olovga qarshi qo‘llanilishda yuqori samaradorlikka ega ekanini ko‘rsatadi.

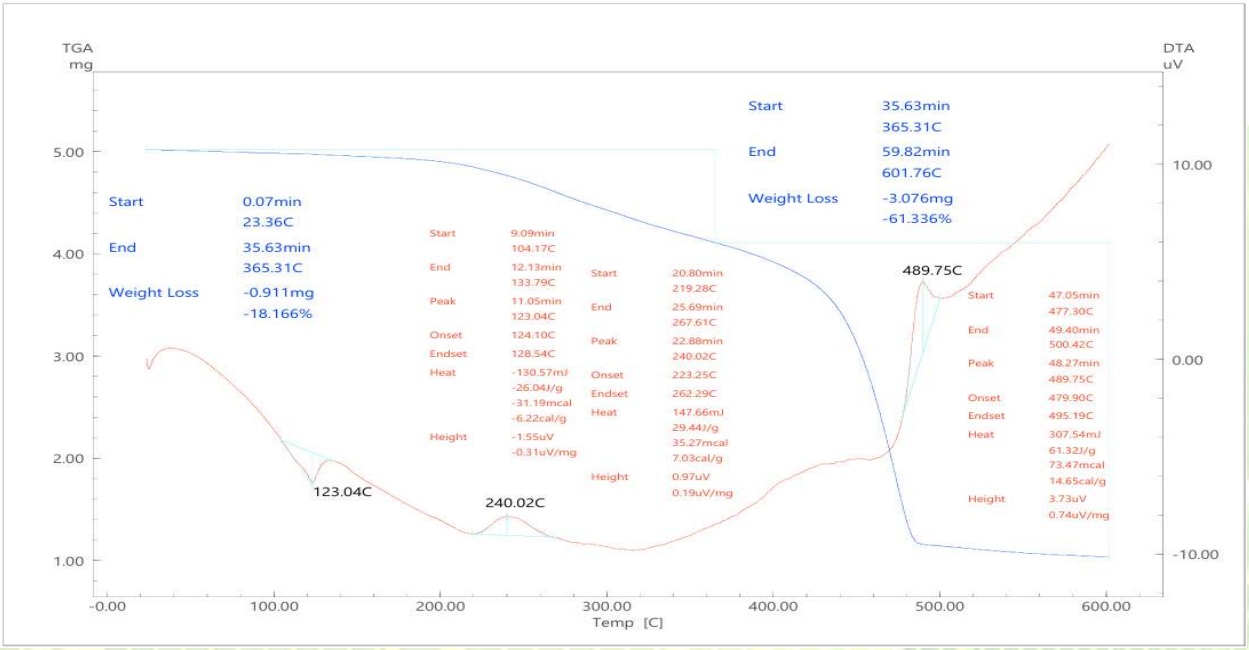
ISSN 3030-3907

6-Жадвал.

S-30 namunadagi polietilen asosida olingan yong‘inbardosh polimer kompozit tarkibi

T.P	Kompozit tarkibi	Miqdori,%
1.	Polietilen F-0220	70
2.	Asosi alyuminiy va kremniydan iborat aralashma	20
3.	Siyanur kislotasi asosidagi antipiren	10

Ushbu tadqiqotda S-40 markali antipirenning termik barqarorligi differensial termik analiz (DTA) va termogravimetrik analiz (TG) usullari yordamida o‘rganildi. Natijalarga ko‘ra, antipiren ikki asosiy termik transformatsiya bosqichidan o‘tadi. Dastlabki bosqich past haroratlarda 23-365 °C diapazonda kuzatilib, 0,9 mg massaning yo‘qolishi bilan tavsiflanadi. Bu jarayon strukturaning fizik bog‘langan fraksiyalaridan ajralish, namlikning bug‘lanishi, shuningdek energetik jihatdan beqaror segmentlarning parchalanishi bilan bog‘liq bo‘lib, DTA signalida tipik endotermik botiq sifatida qayd etiladi. Ushbu endotermik faza antipirenning issiqlik yutish mexanizmini shakllantirib, uning yong‘inga qarshi xususiyatlari kuchayishiga bevosita ta’sir ko‘rsatadi.



3-Rasm. Yo‘ng‘inbardosh polietilen asosidagi polimer kompozit namunasini (S-40) TGA-DTA egri chizig‘i asosida termik barqarorlikni aniqlash

Ikkinchi bosqich 365-602 °C oralig‘ida ro‘y berib, 3 mg dan ortiq massa yo‘qotilishi bilan yakunlanadi. Bu davr antipirenning asosiy organik matritsasi degradatsiyaga uchraydigan, energiya yutilishi davom etadigan, strukturaviy bo‘linish jarayonlari izchil rivojlanadigan zona hisoblanadi. DTA egri chizig‘ida 240 °C va 489 °C atrofidagi termik reaksiyalar S-40 antipirenning ichki molekulyar qayta tashkil topish xususiyatini aks ettiradi; bu jarayonlar yuqori haroratlarda

ISSN 3030-3907

karbonlashgan himoya qatlamining shakllanishiga olib keladi. Karbon qatlam materialning issiqlik o‘tkazuvchanligini kamaytirib, yonish jarayonida kislorod kirish darajasini keskin pasaytiradi va antipirenning olovga qarshi samaradorligini oshiradi.

TG parametrlaridan olingan 1/T, dW va dW/dT ko‘rsatkichlari S-40 antipirenning termik kinetikasining o‘ziga xos bosqichlarga bo‘linganligini tasdiqlaydi. Harorat ortishi bilan 1/T ning pasayishi madaniy energiya talab qiluvchi reaksiyalarning faollashuvini bildiradi. Massa yo‘qotish sur’atining o‘zgarishi esa degradatsiya tezligining haroratga sezgirligini ko‘rsatib, antipirenning issiqlik barqarorligi yuqori ekanidan dalolat beradi.

7-jadval

Termogravimetrik analiz (TGA) davomida S-40 namunasi massasining haroratga nisbatan bosqichma-bosqich o‘zgarishi

№	t, min	T, °C	W, mg	dW, mg	1/T (K^{-1})	dW/dT (mg/°C)
1	0.07	23.36	5.01	–0.911	0.00335	–0.010
2	35.63	365.31	4.10	–0.911 → –3.076	0.00229	–0.008
3	59.82	601.76	1.02	–3.076	0.00151	–0.006

Umuman olganda, TG va DTA natijalari S-40 antipirenining issiqlik yutuvchi endotermik mexanizmlarga boy, yuqori haroratlarda esa mustahkam karbonlashgan qatlam hosil qilishga mo‘ljallangan samarali yong‘inga qarshi modda ekanini ko‘rsatadi. Uning strukturasidagi termik reaksiyalar yonish jarayonini sustlashtiruvchi, issiqlik oqimini cheklovchi, molekulyar parchalanish orqali himoya to‘sig‘i hosil qiluvchi tizimli jarayonlar ketma-ketligi sifatida namoyon bo‘ladi.

6-Жадвал.

S-50 namunadagi polietilen asosida olingan yong‘inbardosh polimer kompozit tarkibi

T.P	Kompozit tarkibi	Miqdori,%
1.	Polietilen F-0220	50
2.	Asosi alyuminiy va kremniydan iborat aralashma	40
3.	Siyanur kislotasi asosidagi antipiren	10

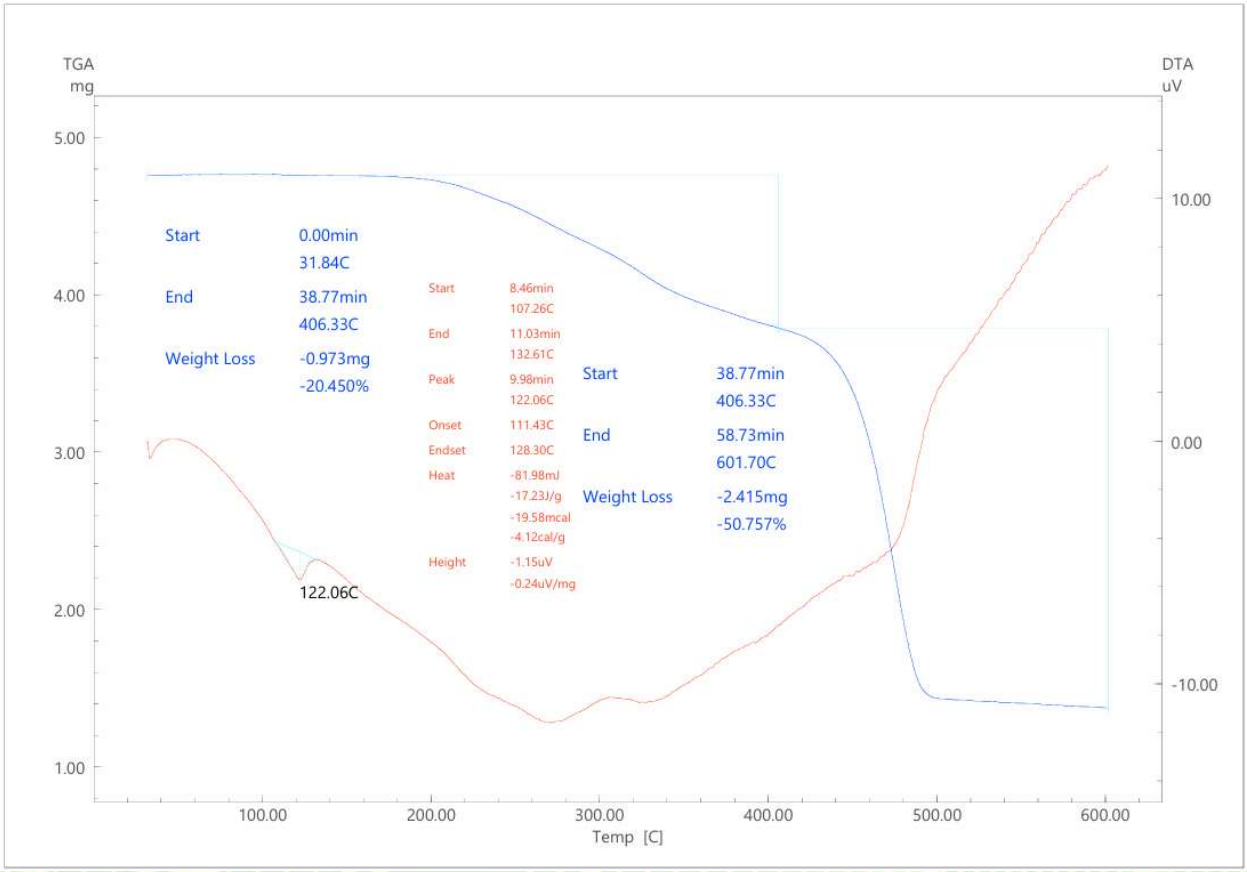
S-50 markali antipiren DTA chizig‘ida past haroratlarda aniq ifodalangan endotermik botiq namoyon qiladi. Taxminan 122 °C atrofida qayd etilgan endotermik pik modda tarkibidagi fizik bog‘langan namlikning bug‘lanishi hamda energetik jihatdan zaif bo‘lgan molekulyar segmentlarning ajralishi bilan bog‘liq.

ISSN 3030-3907

Bu jarayon issiqlikni yutish orqali antipirenning yong‘inga qarshi xususiyatini kuchaytiradigan muhim termik mexanizm sifatida namoyon bo‘ladi.

DTA egri chizig‘ining o‘rta haroratlar diapazonidagi yana bir endotermik segmenti polimer zanjirlarining qayta tashkil topishi va o‘zaro bog‘lovchi energiya markazlarining buzilishi bilan bog‘liq bo‘lib, antipirenning issiqlik ta’siriga qarshi ichki barqarorlik strategiyasini aks ettiradi. Harorat oshgan sari antipirenning molekulyar strukturasida energiya talab qiluvchi bo‘linish jarayonlari kuchayadi va issiqlik yutilishi davom etadi.

Ekzotermik jarayonlar esa S-50 antipirenida sezilarli darajada namoyon bo‘lmaydi. Ekzotermik reaksiyalar odatda yonuvchan radikallar hosil bo‘lishi bilan bog‘liq bo‘lganligi uchun, ularning grafikda deyarli kuzatilmasligi antipirenning yuqori xavfsizlik darajasini ko‘rsatadi. Bu antipirenning yong‘in paytida energiya chiqarib reaksiyaga kirishmasligini, aksincha energiya yutib yonish jarayonini sekinlashtirishini tasdiqlaydi.



4-Rasm. Yo‘ng‘inbardosh polietilen asosidagi polimer kompozit namunasini (S-50) TGA-DTA egri chizig‘i asosida termik barqarorlikni aniqlash

Ushbu tadqiqotda S-50 markali antipirenning termik barqarorligi TG va DTA usullari yordamida o‘rganildi. Tahlillar moddaning ikki asosiy termik bosqichda degradatsiyaga uchrashini ko‘rsatdi. Past haroratdagi bosqich 31–406 °C oralig‘ida sodir bo‘lib, 0,973 mg massaning yo‘qotilishi bilan tavsiflandi. Bu

ISSN 3030-3907

jarayon issiqlik yutilishi bilan kechadigan endotermik faza bo‘lib, unda namlik va past molekulyar fraksiyalar modda tarkibidan ajraladi. DTA chizig‘ida 122 °C atrofidagi endotermik pik antipirenning yong‘inga qarshi samaradorligini oshiruvchi issiqlik yutish mexanizmini tasdiqlaydi.

8-jadval

Termogravimetrik analiz (TGA) davomida S-50 namunasi massasining haroratga nisbatan bosqichma-bosqich o‘zgarishi

№	t, min	T, °C	W, mg	dW, mg	1/T (K^{-1})	dW/dT (mg/°C)
1	0.00	31.84	4.75	–0.973	0.00312	–0.011
2	38.77	406.33	3.78	–0.973 → –2.415	0.00205	–0.009
3	58.73	601.70	1.37	–2.415	0.00151	–0.006

Yuqori haroratdagi bosqich 406-602 °C diapazonida sodir bo‘lib, moddaning asosiy organik matritsasining parchalanishiga olib keladi va qo‘shimcha 2,415 mg massaning kamayishi bilan namoyon bo‘ladi. Bu zona energiya talab qiluvchi bo‘linish jarayonlarining faollashuvi bilan xarakterlanadi. TG egri chizig‘ining keskin pastlashi antipirenning strukturaviy barqarorligi buzilayotganini ko‘rsatadi, ammo ayni vaqtda karbonlashgan qoldiq hosil bo‘lishi yong‘inga qarshi qo‘shimcha himoya to‘sig‘ini yaratadi.

DTA natijalarida ekzotermik reaksiyalarning kuzatilmasligi antipirenning issiqlik ta’sirida yonish jarayonini kuchaytiruvchi radikal reaktsiyalarni boshlamasligini bildiradi. Bu hodisa S-50 antipirenning xavfsizlik darajasini orttiruvchi muhim omildir. Olingan barcha ma’lumotlar S-50 markali antipirenning issiqlik yutuvchi endotermik mexanizmlarga boy, yuqori haroratlarda esa karbonlashgan himoya qatlam hosil qilishga moyil, samarali yong‘inga qarshi modda ekanini ilmiy jihatdan tasdiqlaydi. Termik o‘zgarishlarning ketma-ketligi antipirenning yong‘inga chidamliligini oshirish uchun mo‘ljallangan murakkab, lekin izchil energiya boshqaruv jarayonlaridan tashkil topganini ko‘rsatadi.

Xulosa.

Ushbu ishda yo‘ng‘inbardosh polietilen asosidagi polimer kompozitlar S-20, S-30, S-40 va S-50 markali antipiren tizimlarning termik xususiyati DTA va TGA usullari yordamida kompleks o‘rganildi. Tadqiqotdan ma’lum bo‘ldiki, barcha kompozitlar uch bosqichli termik jarayonlar zanjiriga ega: past harorat sohasidagi endotermik effektlar asosan adsorbsiyalangan namlik va uchuvchan komponentlarning chiqishi hamda polietilen fazasining qisman kristall tuzilmasi erishi bilan bog‘liq; o‘rta haroratlar diapazonida kuchayuvchi endo/ekzotermik hodisalar polimer zanjirlarining termooksidlanish parchalanishi va mineral hamda

ISSN 3030-3907

fosforli qo‘shimchalar ishtirokida koks tipidagi himoya qatlamining hosil bo‘lishini ifodalaydi; yuqori haroratlarda esa qolgan organik fazaning chuqur degradatsiyasi hamda issiqqa chidamli mineral qoldiqning shakllanishi sodir bo‘ladi.

TGA natijalari S-20 namunasi eng yuqori umumiy massa yo‘qotishiga ega ekanini, S-30, S-40 va S-50 kompozitlarida esa mineral faza ulushi ortishi bilan yuqori haroratlarda saqlanib qoladigan qoldiq miqdori oshishini ko‘rsatdi; bu esa issiqlik va massa uzatilishini cheklovchi karbonlashgan/mineral to‘siq qatlamining rivojlanishini tasdiqlaydi. S-30 va S-40 namunalarida termik parchalanish asosiy bosqichlari yuqoriroq haroratlarga siljishi va endotermik reaksiyalarning ustunligi ularning termik barqarorligi hamda yong‘inga chidamlilik samaradorligi yuqori ekanini ko‘rsatadi. S-50 kompozitida ekzotermik cho‘qqilarning deyarli kuzatilmasligi bu tizimning yonish paytida qo‘shimcha issiqlik chiqarmasdan, asosan energiya yutish va karbonlashuv mexanizmlari orqali himoya qiluvchi modda sifatida ishlashini namoyon etadi.

Umuman, DTA/TGA tahlillari polietilen matritsasi va alyuminiy-kremniy asosidagi mineral aralashma hamda siyanur kislotasi hosilali antipirenlar kombinatsiyasi hisobiga S-20–S-50 kompozitlarida termik barqarorlik va olovga qarshi samaradorlikning bosqichma-bosqich ortishini ko‘rsatdi. Kompozitlar past va o‘rta haroratlardagi endotermik jarayonlar evaziga issiqlikni yutish, yuqori haroratlarda esa karbonlashgan/mineral qoldiq hosil qilib, olovning chuqurlashishini sekinlashtirish xususiyatiga ega bo‘lib, ularni yong‘in xavfi yuqori bo‘lgan polimer konstruksiyalar uchun istiqbolli yo‘ng‘inbardosh materiallar sifatida tavsiflash imkonini berdi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Howell B.A., Dumitrascu A. Thermal and combustion characteristics of phosphorus and phosphorus/nitrogen-containing styrene мономеры and олигомеры // J. Therm. Anal. Calorim. 2012 1093. Springer, 2012. Vol. 109, № 3. P. 1133-1137.
2. Chambhare S.U., Lokhande G.P., Jagtap R.N. UV-curable behavior of phosphorus- and nitrogen-based reactive diluent for epoxy acrylate олигомер used for flame-retardant wood coating // J. Coatings Technol. Res. 2016 134. Springer, 2016. Vol. 13, № 4. P. 703-714.
3. Gou T. et al. Novel phosphorus/nitrogen-rich олигомер with numerous reactive groups for durable flame-retardant cotton fabric // Cellul. 2021 2811. Springer, 2021. Vol. 28, № 11. P. 7405-7419.
4. Kablov V.F. et al. Development of phosphorus-boron-nitrogen-containing modifier for elastomeric compositions // Polym. Sci. Ser. D 2016 92. Springer,

ISSN 3030-3907

2016. Vol. 9, № 2. P. 172-175.
5. Zhang D., Lei L., Shang Y. Phosphorus and nitrogen dual doped ordered mesoporous carbon with tunable pore size for supercapacitors // J. Mater. Sci. Mater. Electron. 2015 274. Springer, 2015. Vol. 27, № 4. P. 3531-3539.

ISSN 3030-3907