

**PAPET MODIFIKATORI BILAN OLINGAN PLYONKA MARKALI
POLIETILENNING TARKIBIY TUZILISHI VA XOSSALARI.****Jo‘rayev Adham To‘laganovich***mustaqil izlanuvchi***Nuriddinov Dilshod Latif o‘g‘li***mustaqil izlanuvchi***Tilavov Husan Shomurodovich***texnika fanlari nomzodi, dotsent**Qarshi davlat texnika universiteti*

Annotatsiya: Maqolada ikkilamchi polietilentereftalat (VPET) va dietilenglikol (DEG) asosida olingan alkogoliz mahsuloti (PAPET) bilan modifikatsiyalangan plyonka markali polietilen (F-Y957, F-Y346, F-0120) namunalarining IQ-spektroskopik (FTIR) tahlili va fizik-mexanik xossalari o‘rtasidagi bog‘liqlik ko‘rib chiqilgan. FTIR spektrlarida $1714-1745\text{ sm}^{-1}$ sohasida kuzatilgan karbonil ($\text{C}=\text{O}$) yutilish polosasi PAPET tarkibidagi teraftalat ester fragmentlarining PE matritsasiga muvaffaqiyatli kiritilganini tasdiqlaydi, $2914-2916$ va $2848-2849\text{ sm}^{-1}$ dagi CH_2 valent tebranishlari va $717-731\text{ sm}^{-1}$ dagi kristall PE dubleti esa asosiy polietilen zanjiri saqlanib qolganini ko‘rsatadi. Tarkibiy tahlil natijalari fizik-mexanik sinov ma‘lumotlari bilan solishtirilib, PAPET miqdori va VPET:DEG nisbati oshishi bilan plyonka markali PE namunalarida elastiklik moduli, zarba mustahkamligi va ESCR ko‘rsatkichlarining nomonoton (bir tekis bo‘lmagan) o‘zgarishi tarkibiy geterogenlik bilan bog‘liq ekanligi ko‘rsatildi.

Kalit so‘zlar: polietilen, IQ-spektroskopiya, FTIR, PAPET, PET alkogolizi, plyonka markali PE, karbonil guruhi, ESCR.

Аннотация: В статье рассмотрена взаимосвязь между результатами ИК-спектроскопического (FTIR) анализа и физико-механическими свойствами образцов пленочного полиэтилена марок F-Y957, F-Y346 и F-0120, модифицированных продуктом алкоголиза (PAPET), полученным на основе вторичного полиэтилентерефталата (ВПЭТ) и диэтиленгликоля (ДЭГ). Наличие полосы поглощения карбонильной группы ($\text{C}=\text{O}$) в области $1714-1745\text{ см}^{-1}$ на FTIR-спектрах подтверждает успешное введение терефталатных сложноэфирных фрагментов PAPET в полиэтиленовую матрицу. Валентные колебания групп CH_2 при $2914-2916$ и $2848-2849\text{ см}^{-1}$, а также характерный дублет кристаллического полиэтилена в области $717-731\text{ см}^{-1}$ свидетельствуют о сохранении основной полиэтиленовой цепи. Результаты структурного анализа сопоставлены с данными физико-механических

испытаний. Показано, что с увеличением содержания PAPET и изменением соотношения VPET:ДЭГ наблюдается немонотонное изменение модуля упругости, ударной прочности и показателя ESCR пленочных образцов полиэтилена, что связано со структурной гетерогенностью модифицированной полимерной системы.

Ключевые слова: полиэтилен, ИК-спектроскопия, FTIR, PAPET, алкоголиз ПЭТ, пленочный полиэтилен, карбонильная группа, ESCR.

Abstract: The paper examines the relationship between the FTIR structural analysis and physical-mechanical properties of film-grade polyethylene (F-Y957, F-Y346, F-0120) modified with an alcoholysis product (PAPET) obtained from secondary polyethylene terephthalate (VPET) and diethylene glycol (DEG). The carbonyl (C=O) absorption band observed at 1714-1745 cm^{-1} confirms successful incorporation of terephthalate ester fragments from PAPET into the PE matrix, while the CH_2 stretching bands at 2914-2916 and 2848-2849 cm^{-1} and the crystalline PE doublet at 717-731 cm^{-1} confirm that the base polyethylene chain structure is retained. Comparison with mechanical test data shows that the non-monotonic variation of elastic modulus, impact strength and ESCR with increasing PAPET content and VPET:DEG ratio is related to structural heterogeneity of the modified films.

Key words: polyethylene, FTIR spectroscopy, PAPET, PET alcoholysis, film-grade PE, carbonyl group, ESCR.

Kirish: Plyonka markali polietilen (PE) mahsulotlarining ekspluatatsion xossalarini oshirish va shu bilan birga ikkilamchi polimer xomashyoni (VPET) qayta ishlash muammosini hal etish maqsadida, ilgari o'rganilgan in'yeksion markali PE namunalari qatorida plyonka markali PE (F-Y957, F-Y346, F-0120) namunalari ham VPET-DEG alkogoliz mahsuloti (PAPET) bilan modifikatsiyalandi. Modifikatsiya natijasida PE matritsasida yuzaga keladigan tarkibiy o'zgarishlarni tasdiqlash uchun IQ-Fure spektroskopiyasi (FTIR, Shimadzu asbobida, 4000-400 sm^{-1} diapazonda, ruxsat etilganlik 4 sm^{-1}) qo'llanildi. Ushbu maqolaning maqsadi - spektral ma'lumotlarni fizik-mexanik sinov natijalari bilan taqqoslab, PAPET kiritilishining PE plyonka strukturasi va xossalariga ta'sir mexanizmini ochib berishdan iborat.

Tadqiqot materiallari va metodikasi.

Tadqiqot ob'ekti sifatida SHGKM va boshqa korxonalarda ishlab chiqarilgan plyonka markali PE granulalari (F-Y957, F-Y346, F-0120) olindi. Ularga PAPET (VPET:DEG = 1:0,1; 1:0,2 va 1:0,3 molyar nisbatlarida olingan) 0,5; 3 va 8 % miqdorda kiritilib, ekstruderda aralashtirildi. Har bir tarkibdan tayyorlangan namunalar (N-11 dan N-271 gacha va F-Y3461, F-Y9571, N-R-61 kodli namunalar) IQ-spektrometrda %T (o'tkazuvchanlik) rejimida, 5

marta skanerlash bilan tekshirildi. Fizik-mexanik xossalar (MFI, zichlik, elastiklik moduli, Izod zarba mustahkamligi, Vika/HDT, ESCR, erish harorati, oqim chegarasi, uzayish, Rokvell qattiqligi) standart usullarda aniqlandi.

Natijalar va muhokama.

Barcha o'rganilgan namunalarning FTIR spektrlarida (N-11, N-21, N-31, N-51, N-71, N-82, N-91, N-101, N-111, N-121, N-131, N-141, N-151, N-161, N-171, N-191, N-201, N-211, N-231, N-232, N-241, N-251, N-261, N-271, N-R-61 hamda plyonka namunalari F-Y3461 va F-Y9571) quyidagi umumiy xarakterli polosalar aniqlandi (1-jadval).

To'lqin soni-1, sm^{-1}	To'lqin soni-2, sm^{-1}	Tayinlanishi
2914-2916	2848-2849	CH_2 guruhlarining valent tebranishlari (asimmetrik/simmetrik) - PE asosiy zanjiri
1714-1745	-	$\text{C}=\text{O}$ (karbonil, slojnoefir) guruhining valent tebranishi - PAPET tarkibidagi teraftalat ester fragmentlari mavjudligini tasdiqlaydi
1631-1660	-	Qo'shimcha $\text{C}=\text{O}/\text{C}=\text{C}$ tebranishlari (ba'zi namunalarda, oksidlanish yoki qisman gidroliz mahsulotlari izi)
1462-1472	-	CH_2 guruhining deformatsion (qaychisimon) tebranishi
1340-1373	1247-1279	CH_2 wagging va $\text{C}-\text{O}$ valent tebranishlari (ester bog'i)
1095-1132	1016-1038	$\text{C}-\text{O}-\text{C}$ efir bog'ining valent tebranishi
717-731	605-646	CH_2 rocking (PE kristall fazasi indikator, dublet)
540-624	459-575	Past chastotali skelet tebranishlar

Barcha namunalarda kuzatiladigan 2914-2916 va 2848-2849 sm^{-1} dagi kuchli dublet - polietilenning CH_2 guruhlariga xos asimmetrik va simmetrik valent tebranishlar bo'lib, bu asosiy PE zanjiri saqlanib qolganini tasdiqlaydi. Diqqatga sazovor jihati shundaki, deyarli barcha modifikatsiyalangan namunalarda (masalan, N-11, N-21, N-31, N-71, N-82, N-101, N-121, N-131, N-141, N-151, N-161, N-171, N-191, N-201, N-211, N-231, N-232, N-241, N-251, N-261, N-R-61, shuningdek F-Y3461 va F-Y9571 plyonka namunalari) 1714-1745 sm^{-1} sohasida o'rtacha intensivlikdagi yutilish polosasi kuzatiladi - bu esa slojnoefir ($\text{C}=\text{O}$) guruhining valent tebranishi bo'lib, PAPET tarkibidagi qoldiq teraftalat ester fragmentlarining PE matritsasida mavjudligini bevosita tasdiqlovchi dalildir. Faqat sof PE ga

yaqin ba'zi namunalarda (masalan, N-111, N-271) bu polosa kuzatilmadi yoki juda zaif namoyon bo'ldi, bu esa ularda PAPET miqdori nisbatan kam yoki tarqalishi notekis bo'lganidan dalolat berishi mumkin.

Ba'zi namunalarda (N-91, N-121, N-131, N-211, N-232) $1631-1660\text{ cm}^{-1}$ sohasida qo'shimcha zaif polosa kuzatiladi, bu qisman oksidlanish yoki alkogoliz jarayonida hosil bo'lgan qo'shimcha karbonil/vinil tipidagi mahsulotlar izi bo'lishi mumkin. $717-731\text{ cm}^{-1}$ dagi dublet (CH_2 rocking) barcha namunalarda saqlanib qoladi va bu PE ning kristall fazasi modifikatsiyadan keyin ham izchil saqlanib qolishini ko'rsatadi - ya'ni PAPET asosan amorf oraliqlarda tarqaladi, kristall lamellalar tuzilishiga sezilarli ta'sir ko'rsatmaydi.

Plyonka markali PE namunalarining fizik-mexanik xossalari.

2-jadvalda. F-Y957, F-Y346 va F-0120 markalari uchun MFI va zichlik ko'rsatkichlari, **3-jadvalda** esa mexanik va issiqlik-fizik xossalar keltirilgan.

Marka	VPE T: DEG	PAPE T,%	E, MPa	Izo d-10	Vika, °C	HDT ,°C	σ_{im} , MPa	ε ,%
F-Y957	1:0,1	0,5	898	24,8	127,6	77,1	25,6	514
F-Y957	1:0,1	3	675	4,8	119,2	70,8	19,3	32
F-Y957	1:0,1	8	646	5,1	119,1	70,7	19,8	134
F-Y957	1:0,2	0,5	830	74,7*	127,5	80,1	24,1	863
F-Y957	1:0,2	3	811	48,0	127,5	80,6	24,1	628
F-Y346	1:0,1	0,5	269	73,0	105,1	58,4	10,1	849
F-Y346	1:0,1	3	624	5,8	118,0	70,0	21,0	116
F-Y346	1:0,1	8	943	5,8	128,0	84,0	23,3	839
F-Y346	1:0,2	0,5	620	5,9	119,6	69,0	20,0	117
F-Y346	1:0,2	3	837	5,4	127,0	78,0	22,1	30
F-Y346	1:0,3	0,5	540	6,5	119,4	69,6	19,0	347
F-Y346	1:0,3	3	539	6,4	119,0	67,2	18,9	621
F-0120	1:0,1	0,5	299	30,0	130,4	61,0	10,3	850
F-0120	1:0,1	3	261	74,0	104,3	58,6	10,7	851
F-0120	1:0,1	8	279	35,0	102,9	60,9	9,9	133
F-0120	1:0,2	0,5	886	4,7	127,5	84,0	25,0	821
F-0120	1:0,2	8	659	6,4	119,5	72,0	19,8	359
F-0120	1:0,3	0,5	251	84,8	105,0	59,6	10,5	862
F-0120	1:0,3	8	225	45,5	103,2	58,8	10,1	862

* - 3-Partiyadagi F-Y957 (1:0,2) namunalarida Izod ko'rsatkichlari boshqa namunalarga nisbatan g'ayrioddiy yuqori (75-87 kJ/m²) qiymatlarni ko'rsatdi; bu qiymatlarni tasdiqlash uchun qo'shimcha takroriy sinovlar tavsiya etiladi.

F-Y957 markasida PAPET miqdori 0,5 % dan 8 % gacha oshganda (1:0,1 nisbatda) elastiklik moduli 898 dan 646 MPa gacha, zarba mustahkamligi (+23°C) esa 43 dan 7,2 kJ/m² gacha keskin pasayadi - bu FTIR natijalarida kuzatilgan karbonil polosasi intensivligining namunalar orasida notekis taqsimlanishi bilan izchil bo'lib, PAPET miqdori oshishi bilan oligoefir fazasining agregatlanish ehtimoli ortishini tasdiqlaydi. F-Y346 markasida esa aksincha, 8 % PAPET miqdorida (1:0,1 nisbat) elastiklik moduli 269 dan 943 MPa gacha, ESCR esa amalda nolga yaqin holatdan 7,5 soatgacha ortadi - bu holat F-Y346 asosiy polimerining tarkibiy tuzilishi F-Y957 dan farqli ekanligini (ehtimol, past zichlikdagi yoki chiziqli tuzilishga yaqin PE turi) va shu sababli PAPET bilan o'zaro ta'sirining boshqacha kechishini ko'rsatadi.

F-0120 markasida barcha PAPET nisbatlarida ESCR ko'rsatkichi past (aksariyat hollarda aniqlanmagan yoki 7 soatgacha) bo'lib qolmoqda, biroq 1:0,2 nisbatda 0,5 % PAPET miqdorida keskin sakrash kuzatiladi (ESCR = 1920 soat, elong = 821%) - bu natija ham tasodifiy tarkibiy muvofiqlik (masalan, PAPET zarrachalarining PE amorf fazasida bir tekis, agregatlanmagan holda tarqalishi) natijasi bo'lishi ehtimoli yuqori va qo'shimcha mikroskopik (SEM) tekshiruvlar bilan tasdiqlanishi lozim.

Tarkib-xossa bog'liqligi bo'yicha umumlashtirish.

FTIR va fizik-mexanik sinov natijalarini birgalikda tahlil qilish shuni ko'rsatadiki, PAPET modifikatorining plyonka markali PE xossalriga ta'siri faqat uning miqdoriga emas, balki: (a) asosiy PE markasining zichligi/tarmoqlanish darajasiga, (b) PAPET tayyorlashda qo'llanilgan VPET:DEG nisbatiga va (c) ekstruziya jarayonida modifikatorning matritsada tarqalish bir jinsliligiga bog'liq. Karbonil polosasining barcha namunalarda deyarli bir xil to'lqin sonida (1714-1745 sm⁻¹) kuzatilishi PAPET ning kimyoviy tabiati barqaror ekanligini, ammo mexanik xossalarning keng chegarada tebranishi esa modifikatorning fiziko-mexanik tarqalish jarayoni hali to'liq optimallashtirilmaganini ko'rsatadi.

Xulosa:

1. FTIR spektroskopiyasi yordamida PAPET (VPET-DEG alkogoliz mahsuloti) bilan modifikatsiyalangan barcha plyonka markali PE namunalarida 1714-1745 sm⁻¹ sohasida karbonil (C=O) polosasi aniqlandi, bu PAPET tarkibidagi teraftalat ester fragmentlarining PE matritsasiga muvaffaqiyatli kiritilganini tasdiqlaydi; shu bilan birga 2914-2916, 2848-2849 va 717-731 sm⁻¹dagi polosalar asosiy PE zanjiri va uning kristall fazasi saqlanib qolganini ko'rsatadi.

2. Plyonka markali PE namunalarida (F-Y957, F-Y346, F-0120) PAPET miqdori va VPET:DEG nisbati o'zgarishi bilan elastiklik moduli, zarba mustahkamligi va ESCR ko'rsatkichlari markaga bog'liq holda har xil (ba'zan qarama-qarshi) tendensiyalarni namoyon etadi, bu asosiy PE tarkibiy tuzilishining modifikator bilan o'zaro ta'sir mexanizmiga sezilarli ta'sir ko'rsatishini isbotlaydi.

3. F-Y957 markasida PAPET miqdori oshishi mexanik ko'rsatkichlarni pasaytirs, F-0120 va F-Y346 markalarida ba'zi tarkiblarda ESCR va zarba mustahkamligining keskin yaxshilanishi kuzatildi; bu natijalar tasodifiy tarkibiy muvofiqlik natijasi bo'lishi ehtimoli borligi sababli, qo'shimcha mikrostruktura tahlili (SEM, DSC) bilan tasdiqlanishi tavsiya etiladi.

4. Amaliy nuqtai nazardan, plyonka markali PE ni PAPET bilan modifikatsiyalashda har bir asosiy marka uchun optimal PAPET miqdori va VPET:DEG nisbati alohida tanlanishi, jarayon esa tarkibiy bir jinslilikni ta'minlovchi aralashtirish rejimlari bilan birga olib borilishi lozim.

Adabiyotlar ro'yxati

1. Cho'liyev J.R., Ro'ziqulov A.A. Polietilenga ishlatishda yaroqli to'ldiruvchilarning fizik-mexanik xususiyatlari // "Nazariy va amaliy kimyo va zamonaviy kimyo texnologiyasining muammolari" respublika ilmiy-amaliy anjumani materiallari, Qarshi davlat universiteti. - 2023.

2. Karshiyev M.T., Ro'ziqulov A.Yu., Nurqulov F.N. Biomodifikatorlar bilan polietilenni modifikatsiyalash hamda ularning xossalarini tadqiq etish // FarDU. Ilmiy xabarlar. - 2023. - №2. - B. 151-156.

3. Ziyamuhamedov J., Tojixodjayev Z. Development of compositions and research of methods for increasing the strength properties of organomineral thermoplastics // Innovatsion texnologiyalar. - 2023. - Vol.49, №1. - B. 61-66.

4. Pardal F., Tersac G. Comparative reactivity of glycols in PET glycolysis // Polymer Degradation and Stability. - 2006. - Vol. 91. - P. 2567-2578.

5. Hoang C.N., Le T.T.N., Hoang Q.D. Glycolysis of poly(ethylene terephthalate) waste with diethyleneglycol under microwave irradiation and $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ catalyst // Polymer Bulletin. - 2019. - Vol. 76, №1. - P. 23-34.

6. Lopez C.V., Smith R.C. Chemical recycling of poly(ethylene terephthalate): glycolysis, oleoyl chloride esterification and vulcanization to yield durable composites // Materials Advances. - 2023.

7. Ptiček Siročić A., Hrnjak-Murgić Z., Jelenčić J. Glycolysis and FTIR characterization of PET waste products // 18th European Symposium on Polymer Spectroscopy (ESOPS18), Zadar, Croatia. - 2010. - B. 43.

8. Almond J., Sugumaar P., Wenzel M.N., Hill G., Wallis C. Determination of the carbonyl index of polyethylene and polypropylene using specified area under band methodology with ATR-FTIR spectroscopy // e-Polymers. - 2020. - Vol. 20, №1. - P. 369-381.

9. Patel M.R., Patel J.V., Mishra D., Sinha V.K. Synthesis and characterization of low volatile content polyurethane dispersion from depolymerised polyethylene terephthalate // Journal of Polymers and the Environment. - 2007. - Vol. 15. - P. 97-105.