ISNN 3030-3907

2026
MAY
ISSUE - 5
VOLUME - 4

DEVELOPMENT OF SCIENCE

scientific journal



Development of science

Ilmiy jurnal

MAY 2026
Issue - 5, VOLUME - 4

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

UDK 678.073:678.746.22

IKKILAMCHI POLIMER CHIQINDILAR PET VA EVA ASOSIDA GETEROPOLIMER MODIFIKATORLAR SINTEZI VA ULARNI QO‘LLASH IMKONIYATLARI

Xo‘jaqulov Kamoliddin Ramazanovich
Buxoro davlat texnika universiteti PhD, dotsent.
Ubaydullayeva Sevara Ahmad qizi
Buxoro davlat texnika universiteti106-22 KT gurux talabasi
Email: zehniddin2012@mail.ru

Annotatsiya. Ushbu maqolada ikkilamchi polimer chiqindilar poli(etilentereftalat) (PET) va etilen-vinil asetat (EVA) sopolimeri asosida sintez qilinadigan geteropolimer modifikatorlarga oid ilmiy adabiyotlarining tahlili keltirilgan. Maqolada ikkala polimerni birlashtirish jarayonidagi asosiy muammolar mos kelmaslik (immitsibillik), interfazal birikishning pastligi va fazaviy ajralish mexanizmlari ko‘rib chiqilgan. Katalitik transesterifikatsiya, malein angidrid bilan payvand, epoksid funksional guruhlaridan foydalangan holda reaktiv kompabilizatsiya va zanjir uzaytirgichlar yordamida PET/EVA tizimining xossalarini yaxshilash yo‘llari tahlil qilingan. Adabiyotlar sharhida hozirgi kunda mavjud bo‘lgan muammolar, masalan mikrostrukturaning nazorat qilinishi, foydalanilgan PET ning xossalarini tiklash va modifikatorlarning amaliy qo‘llanish sohalari muhokama etilgan. Maqolada asosiy maqsad sifatida reaktiv eritma kompabilizatsiyasi orqali PET-EVA asosida yangi geteropolimer modifikator sintezi va ularning surkov materiallar xossasiga ta‘sirini o‘rganishni belgilaydi.

Kalit sozlar: poli(etilentereftalat), etilen-vinil asetat, geteropolimer, reaktiv kompabilizatsiya, transesterifikatsiya, grafting, zanjir uzaytirgich, modifikator, immitsibel blendlar.

Аннотация. В настоящей статье представлен анализ научной литературы, посвящённой синтезу гетерополимерных модификаторов на основе вторичных полимерных отходов поли(этилентерефталата) (ПЭТ) и сополимера этилен-винилацетата (ЭВА). Рассмотрены основные проблемы, возникающие при совмещении указанных полимеров, в частности их термодинамическая несовместимость (иммисцибильность), низкая прочность межфазного взаимодействия, а также механизмы фазового разделения. Проанализированы методы улучшения свойств системы ПЭТ/ЭВА, включая каталитическую трансэтерификацию, прививку с использованием малеинового ангидрида, реактивную компатибилизацию с применением эпоксидсодержащих функциональных групп, а также использование удлинителей цепи. В рамках литературного обзора

ISSN 3030-3907

обсуждаются актуальные научно-технические проблемы, такие как контроль микроструктуры материалов, восстановление свойств вторичного ПЭТ и расширение областей практического применения получаемых модификаторов. Основной целью работы является синтез новых гетерополимерных модификаторов на основе системы ПЭТ-ЭВА методом реактивной расплавной компатибилизации, а также исследование их влияния на эксплуатационные свойства смазочных материалов.

Ключевые слова: поли(этилентерефталат), этилен-винилацетат, гетерополимер, реактивная компатибилизация, трансэтерификация, привитая сополимеризация, удлинитель цепи, модификатор, иммисцибельные смеси.

Abstract. This article presents an analysis of the scientific literature devoted to the synthesis of heteropolymeric modifiers based on secondary polymer waste, namely poly(ethylene terephthalate) (PET) and ethylene–vinyl acetate (EVA) copolymer. The main challenges associated with blending these polymers are considered, including their thermodynamic incompatibility (immiscibility), low interfacial adhesion, and the mechanisms of phase separation. Methods for improving the properties of PET/EVA systems are analyzed, including catalytic transesterification, grafting using maleic anhydride, reactive compatibilization via epoxy-functional groups, and the use of chain extenders. The literature review also addresses current scientific and technological challenges, such as controlling the microstructure of materials, restoring the properties of recycled PET, and expanding the practical application fields of the resulting modifiers. The primary objective of this work is the synthesis of new heteropolymeric modifiers based on PET–EVA systems via reactive melt compatibilization, as well as the investigation of their influence on the performance properties of lubricating materials.

Key words: poly(ethylene terephthalate), ethylene–vinyl acetate, heteropolymer, reactive compatibilization, transesterification, graft copolymerization, chain extender, modifier, immiscible blends.

KIRISH.

Bugungi kunda zamonaviy polimer materialshunosligida ikki yoki undan ortiq polimerlarni birlashtirish orqali yangi, xossalari yaxshilangan materiallar yaratish strategiyasi keng qo‘llanilmoqda. Biroq, kimyoviy tuzilishi va qutblanishi turlicha bo‘lgan polimerlarni birlashtirish ko‘pincha fazaviy ajralish (phase separation) va interfazal yopishishning pastligi kabi muammolarni keltirib chiqaradi. Poli(etilentereftalat) (PET) aromatik poliefir sinfiga mansub, yuqori mexanik mustahkamlik, kimyoviy va termik barqarorlikka ega termoplast hisoblanadi. Etilen-vinil asetat (EVA) esa etilenning vinil asetat bilan sopolimeri

ISSN 3030-3907

bo‘lib, yuqori elastiklik, past haroratda pishiqlik va yaxshi yopishish xossalariga ega.

PET ning asosiy kamchiligi mo‘rtligi bo‘lib, ya‘ni zarb ta’siriga chidamsizligi va past haroratlarda sinuvchanligi. EVA ning esa zichligi past, issiqlik ta’siriga bardosh berish xossasi past ekanligi. Nazariy jihatdan, ushbu ikki polimerni birlashtirib, ularning quyidagi kamchiliklarini yaxshilab kompleks xossa bergan holda geteropolimer modifikator yaratish imkoniyatlari mavjud. Ammo amalda, PET (qutbli, kristallanuvchi poliefir) va EVA (kam qutbli, elastomer) juda past termodinamik muvofiqlikka ega bo‘lib, ular oddiy aralashtirish orqali bir jinsli tizim hosil qila olmaydi.

Dunyo bo‘yicha olib borilayotgan tadqiqotlar bu muammoni hal etish uchun turli reaktiv kompabilizatsiya usullarini ishlab chiqishga qaratilgan. Shu bilan birga, PET ni qayta ishlash (recycling) jarayonida zanjirlarning parchalanishi muammosi ham yangi modifikatorlar ishlab chiqishni dolzarb masalaga aylantirmoqda. EVA uning elastikligini oshiruvchi komponent sifatida, PET/EVA asosidagi geteropolimer modifikatorlar esa qayta ishlangan PET ning xossalarini tiklash vositasi sifatida katta ilmiy va amaliy qiziqish uyg‘otmoqda.

Ushbu maqolaning maqsadi dunyo ilmiy adabiyotlarida PET va EVA asosida amalga oshirilgan tadqiqotlarni tizimli tahlil qilish, mavjud muammolarni aniqlab, yangi geteropolimer modifikatorlar sintezi bo‘yicha ilmiy asoslangan maqsadni belgilashdan iborat.

PET - aromatik dikarbon kislota (tereftal kislota) va ikki atomli spirt (etilenglikol) ning polikondensatsiya usulida polimerlanishi orqali olinadi. Kimyoviy formulasi: $-[O-CH_2-CH_2-O-CO-C_6H_4-CO]_n-$. PET ning asosiy fizik-kimyoviy xossalari quyidagi 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval

PET ning asosiy fizik-kimyoviy xossalari

T.r	Ko‘rsatkich	Qiymat	ASTM standarti
1	Zichlik (g/cm³)	1.33-1.38	ASTM D792
2	Erish nuqtasi Tm (°C)	250-260	DSC, ISO 11357
3	Shishalanish harorati Tg (°C)	72-80	DSC, ISO 11357
4	Tortish mustahkamligi (MPa)	55-75	ASTM D638
5	Uzayish (% uzilishda)	50-300	ASTM D638
6	Zarbiy qovushqoqligi (kJ/m²)	2-5 (kesikli)	ISO 179
7	HDT 1.82 MPa (°C)	65-110	ISO 75
8	Suv shimishi (%)	0.1-0.2	ASTM D570

Bugungi kunda PET ning keng qo‘llanilish sohalariga qaramay, uning bir qancha salbiy cheklovchi xususiyatlari mavjud. Birinchidan, PET mo‘rt material

ISSN 3030-3907

bo‘lib, zarb yuk ta’siriga bardosh berish qobiliyati past bo‘lib zarbiy mustahkamlik bo‘yicha atigi 2–5 kJ/m² ni tashkil etadi. Ikkinchidan, qayta ishlash (termomexanik qayta ishlash) jarayonida esterifikatsiya zanjirlarining gidrolizi sodir bo‘lib, molekulyar massasining pasayishiga, eritma qovushqoqligining yo‘qolishiga va mexanik xossalarining yomonlashishiga olib keladi [1, 2]. Uchinchidan, PET ning qutbliligi (polyar xarakteri) tufayli u kam qutbli poliolefinlar bilan termodinamik jihatdan mos kelmaydi, bu esa ko‘p komponentli aralashmalar yaratishda jiddiy qiyinchilik tug‘diradi [3].

EVA - etilen va vinil asetat monomerlarining zanjir o‘sishi hisobiga polimerlanishi natijasida olingan (chain-growth polymerization) material. Kimyoviy formulasi: $-[CH_2-CH_2]_m-[CH_2-CH(OCOCH_3)]_n-$. Vinil asetat (VA) miqdori 10 dan 50% gacha o‘zgarib, materialning xossasini katta darajada belgilaydi.

EVA ning asosiy afzalligi shundan iboratki yuqori zarbiy qovushqoqligi (zarb sinovida sinmaydi), past haroratlarga (-50°C gacha) chidamlilik xossalari va nisbatan past narxi. Biroq EVA ning issiqlikka bardoshliligi PET nikiga nisbatan ancha past (Tg ≈ -30°C, Tm ≈ 70-90°C, 20% VA uchun), zichligi esa PET dan ancha kam. EVA ham poliolefin sinfiga mansub bo‘lgani uchun uni PET bilan aralashtirish interfazal muammolarga olib keladi [4, 5].

PET va EVA ning termodinamik jihatdan mos kelmasligi dastlab Lacroix va boshqalar (1997, 2000) tomonidan reologik va morfologik usullar bilan isbotlangan [6]. Tadqiqotchilar PETG/EVA tizimining interfazal kuchlanishini Palierne emulsiya modeli yordamida aniqladi va u tarkibga hamda haroratga qarab 4.5 dan 7 mN/m gacha o‘zgarishini ko‘rsatdi. Bu qiymat ikki fazaning bir-biridan yaxshi ajralishiga yordam beruvchi muhim termodinamik ko‘rsatkich hisoblanadi. Bunday yuqori interfazal kuchlanish sharoitida oddiy aralashtirishda disperslangan faza katta tomchilar hosil qiladi va interfazal yopishish juda past bo‘ladi.

Morfologik tadqiqotlarda (SEM) aniqlanishucha kompabilizatorsiz PET/EVA aralashmasi dag‘al, ko‘p o‘lchamli faza tuzilmasiga ega bo‘lib, mexanik xossalari individual komponentlardan sezilarli darajada past bo‘ladi [7]. Ushbu muammo “ikki qutbli polimer juft” (polar-nonpolar pair) muammosi deb ataladi va uni hal etmay turib, PET/EVA sistemasidan sanoat ahamiyatiga ega material tayyorlab bo‘lmaydi.

PET/EVA tizimini reaktiv kompabilizatsiya qilishning birinchi va eng samarali yo‘li sifatida Lacroix, Cassagnau va boshqalar tomonidan katalitik transesterifikatsiya tadqiq etilgan [6, 7]. Ushbu usulda PETG va EVA aralashmasiga dibutiltin oksid (DBTO) katalizatori qo‘shilishi orqali interfazada

ISSN 3030-3907

efir almashinuvi reaktsiyasi amalga oshiriladi va in situ sopolimer (PETG-co-EVA) hosil bo‘ladi.

Lacroix va boshqalar (1994, 1999) o‘z ishlarida 70/30 PETG/EVA aralashmasiga 2.4% DBTO qo‘shilganda uzilishdagi uzayish 20% dan 140% gacha ortishini aniqlagan. Bu ko‘rsatkich materialning mo‘rtligidan plastiklikka o‘tganining yaqqol dalili hisoblanadi. Tahlillar shundan dalolat beradiki disperslangan faza zarrachalarining qisqarishini (ya‘ni yaxshi dispersiyani) va G* modulining oshishini tasdiqlaydi. YaMR spektroskopiyasi tekshiruvlari esa DBTO ta‘sirida haqiqatan ham efir almashinuvi reaktsiyasi ketayotganini kimyoviy jihatdan isbotlagan [6].

Xuddi shu tizimda Cassagnau va boshqalar (2000) PBT/EVA aralashmasini malein angidrid (MAH) yordamida reaktiv kompabilizatsiya qilgan. Birinchi bosqichda dikumil peroksid (DCP) ishtirokida EVA-g-MAH sintez qilindi, keyin bu mahsulot PBT bilan aralashtirilganda PBT-g-EVA sopolimeri hosil bo‘lishi FTIR yordamida tasdiqlangan [8].

Ishlatilgan PET (rPET) ning sifatini EVA qo‘shish va PMDA (piromellitik diangidrid) zanjir uzaytiruvchi orqali yaxshilash imkoniyati Moghanlou va boshqalar (Sahand Universiteti, Tabriz, 2020) tomonidan chuqur o‘rganilgan [9]. Tadqiqotda RPET/EVA aralashmalari 90/10, 70/30 va 60/40 nisbatlarda arlashtiruvchi reaktorda tayyorlangan.

Ushbu tadqiqot shuni ko‘rsatdiki, PMDA ning 0.5% miqdori aralashmaning morfologiyasini tubdan o‘zgartiradi. Bu esa materialning mexanik xossalarini (ayniqsa cho‘zilishdagi mustahkamlik va uzayish) sezilarli darajada yaxshilashga imkon beradi [9].

Parallel ravishda, zanjir uzaytiruvchilar sifatida PMDA va Joncryl ADR-4400 (BASF) ni solishtirgan tadqiqotlar (Odet va boshqalar, 2022; Himmelsbach va boshqalar, 2024, 2025) shuni ko‘rsatadiki, rPET ni modifikatsiya qilishda Joncryl PMDA ga nisbatan ancha samarali hisoblanadi, chunki Joncryl ko‘p funksiyali epoksid guruhlar orqali bir vaqtning o‘zida tarmoqlangan (branched) va uzaytirilgan zanjir hosil qiladi [10, 11].

Bevosita PET bilan emas, lekin EVA asosidagi graft sopolimer sintezi metodologiyasi yaxshi ishlab chiqilgan bo‘lib, bu PET bilan qo‘llash imkoniyatini ko‘rsatadi. Ayniqsa, Castelvetro va boshqalar (2012) tomonidan EVA-g-PLA sopolimerlarini transeterifikatsiya orqali sintez qilish muhim yo‘l-yo‘riq beradi [12].

Ushbu tadqiqotda EVA va polilaktid (PLA) o‘rtasidagi transeterifikatsiya reaktsiyasi $Ti(OPh)_4$ va $Ti(OPr)_4$ katalizatorlari ishtirokida olib borildi. Olingan EVA-g-PLA sopolimerlari EVA/PLA oddiy aralashmalariga nisbatan sezilarli darajada yaxshiroq mexanik xossalar va biologik parchalanish qobiliyatini

ISSN 3030-3907

namoyish etgan. FTIR, DSC va reologik tahlillar sopolimer hosil bo‘lganini tasdiqlagan [12, 13].

Ushbu metodologiyaning PET/EVA tizimiga ko‘chirilishi ilmiy jihatdan asoslangan: PET ham poliefir bo‘lgani uchun EVA bilan titan alkoksid katalizatorlari ishtirokida transeterifikatsiya reaktsiyasiga kirishishi mumkin. Biroq bu yo‘nalish hali yetarlicha o‘rganilmagan bo‘lib, bu tadqiqot uchun muhim boshliq (research gap) hisoblanadi.

Coltelli, Ciardelli va boshqalar (2000) PET va HDPE aralashmasini kompabilizatsiya qilish uchun maxsus sintez qilingan EVA va EVOH asosidagi sopoliefirlarni ishlatgan [14]. Bu ishda EVA va EVOH segmentlari payvandlanish orqali poliefirlarga biriktirilgan va olingan sopoliefirlar PET/HDPE aralashmasida kompabilizator sifatida sinalgan. Kompabilizatsiya qilingan barcha aralashmalar morfologiyaning katta o‘zgarishini, qovushqoqlikning oshishini va mexanik xossalar ayniqsa uzilishdagi uzayishning sezilarli yaxshilanishini ko‘rsatdi. Malein angidrid funksionallashtirilgan elastomerlar bilan ham taqqoslash o‘tkazilgan va kompabilizatsiya mexanizmlari farqlangan. Bu tadqiqot PET bazali tizimda EVA segmentlarini kimyoviy jalb etish strategiyasining amalda ishlaydigan isboti hisoblanadi.

EVA ni boshqa polimerlar bilan reaktiv kompabilizatsiya qilishga oid keng qamrovli tadqiqotlar, PET/EVA tizimiga tadbiq etganda quyidagi xulosalarni beradi. PBT/EVA tizimida malein angidrid yordamida kompabilizatsiya (Cassagnau va boshqalar, 2004) EVA-g-MAH sintez qilingan, so‘ngra PBT bilan aralashtirilganda PBT-g-EVA sopolimeri hosil bo‘lgan, FTIR tasdiqlagani bo‘yicha PBT terminal guruhlar va MAH o‘rtasida reaksiya borgan [8, 15].

EVA-g-PMMA sintezi ATRP usuli bilan (Tомic va boshqalar, 2017–2024) EVA ning qisman gidrolizi → EVACl makroinitsiator sintezi → PMMA zanjirlarining payvand — uch bosqichli sintez sxemasi ishlab chiqilgan. Olingan EVA-g-PMMA sopolimeri optik tolali qoplama sifatida ishlatilgan [16].

PP/EVA aralashmalari uchun PP-g-MAH asosidagi kompabilizatorlar (Russo va boshqalar, 2020) PP va EVA immitsibel bo‘lib, PP-g-MAH kompabilizator sifatida ishlatilganda interfazal yopishish sezilarli yaxshilanagan [17]. Bu natija PET/EVA tizimiga mutanosib: PET uchun mos funksionallashtirilgan kompabilizator kerak.

Rossini va boshqalar (Brazil) PET shishalaridan PET/PP/PE/EVA to‘rt komponentli polimer aralashmasini tayyorlab, ionlashtiruvchi nurlanish ta‘sirida modifikatsiyani o‘rgangan [18]. Bu tadqiqot ionlashtiruvchi nurlanish PET va EVA o‘rtasida ham kimyoviy bog‘ hosil qila olishini ko‘rsatadi, ya‘ni radiatsion sintez PET/EVA sopolimerini olishning yana bir yo‘li hisoblanadi.

ISSN 3030-3907

Yaqinda Kumar va boshqalar (ACS, 2025) EVA ni qayta ishlatishning yangi yo‘lini taklif etdi. EVA → EVOH (gidroliz) → EVOH zarrachalarini PU qatronida reaktiv to‘ldirgich sifatida ishlatish yo‘lini tadqiq qilgan [19]. EVOH zarrachalarining PU matritsasida yopishishi uretan bog‘lar orqali ta‘minlangan. Bu tadqiqot EVA ning OH guruhlarining (gidrolizdan keyin) poliefirlar bilan reaktsiyaga kirishish imkoniyatini yaqqol ko‘rsatadi. PET/EVA tizimida gidrolizlangan EVA (EVOH) ni oraliq mahsulot sifatida ishlatish strategiyasini asoslaydi.

Adabiyotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, PET va EVA o‘rtasidagi reaktiv kompabilizatsiya va payvand sopolimer sintezi uchun bir nechta muhim bo‘shliqlar mavjud [21;22]. Birinchidan, PETG/EVA tizimini katalitik transeterifikatsiya yordamida kompabilizatsiya qilish 1994-2000 yillar orasida o‘rganilgan bo‘lsada, keyingi tadqiqotlarda bu yo‘nalish davom ettirilmagan. Ikkinchidan, qayta ishlangan PET bilan EVA ning birgalikdagi aralashgan tizimida PMDA zanjir uzaytiruvchidan foydalanish morfologiyani o‘zgartiradi, ammo hosil bo‘ladigan payvand sopolimerning tavsifi (FTIR, YaMR) va mexanizmi hali to‘liq yoritilmagan. Uchinchidan, PET/EVA asosidagi geteropolimer modifikatorni maqsadli sintez qilib, uni boshqa tizimlarda surkov materiallarga modifikator sifatida sinash bo‘yicha tadqiqotlar mavjud emas.

ADABIYOTLAR

1. Incarnato L., Scarfato P., Di Maio L., Acierno D. Structure and rheology of recycled PET modified by reactive extrusion // Polymer. — 2000. — Vol. 41. — P. 6825–6831.
2. Jang J.Y., Sadeghi K., Seo J. Chain-extending modification for value-added recycled PET: A review // Polymer Reviews. — 2022. — Vol. 62. — P. 860–889.
3. Li J., Xu Y., Ren C. et al. Strategies to improve the compatibility of PET and PE blends // SSRN Preprint. — 2025. — DOI: 10.2139/ssrn.5768483.
4. Wikipedia contributors. Ethylene-vinyl acetate // Wikipedia, The Free Encyclopedia. — 2025. — [Elektronik resurs].
5. International Journal of Advanced Research in Basic Sciences. Overview on EVA blended foam: synthesis, morphology and applications. — 2023. — Vol. 5. — P. 1–18.
6. Lacroix C., Aressy M., Carreau P.J. Properties of PETG/EVA blends: 1. Reactive compatibilization: rheological, morphological and mechanical properties // Polymer. — 1997. — Vol. 38(21). — P. 5417–5426.
7. Lacroix C., Bousmina M., Carreau P.J., Favis B.D. Properties of PETG/EVA blends: 2. Study of reactive compatibilization by n.m.r. spectroscopy and linear viscoelastic properties // Polymer. — 1996. — Vol. 37. — P. 2381–2390.

ISSN 3030-3907

8. Cassagnau P. et al. Reactive compatibilization of the PBT/EVA blend by maleic anhydride // Polymer. — 2004. — Vol. 45(5). — P. 1771–1780.
9. Moghanlou S., Khamseh M., Razavi Aghjeh M., Pourabbas B. Influence of chain extension and blending on crystallinity and morphological behavior of recycled-PET/ethylene vinyl acetate blends // Journal of Polymers and the Environment. — 2020. — Vol. 28. — P. 1756–1769.
10. Odet F., Ylla N., Delage K., Cassagnau P. Influence of chain extenders on recycled standard and opaque PET rheology and melt-spun filament properties // ACS Applied Polymer Materials. — 2022. — Vol. 4. — P. 8290–8302.
11. Himmelsbach A., Gerschmann L., Akdevelioğlu Y., Nofar M., Ruckdäschel H. Kinetic analysis of PMDA-induced chain extension in polyester blends: differential reactivity of rPET and PBT during reactive extrusion // Industrial & Engineering Chemistry Research. — 2025. — Vol. 64(5). — P. 2553–2560.
12. Castelvetro V. et al. Synthesis of EVA-g-PLA copolymers using transesterification reactions // Materials Chemistry and Physics. — 2012. — Vol. 134. — P. 893–901.
13. Moura I. et al. EVA/PLA blends compatibilized with EVA-g-PLA grafted copolymers synthesized by reactive extrusion // ResearchGate. — 2012.
14. Coltelli M.B., Ciardelli F. et al. On the compatibilization of PET/HDPE blends through a new class of copolyesters // Polymer. — 2000. — Vol. 41. — P. 5765–5776.
15. Coltelli M.B., Aglietto M., Ciardelli F. Influence of the transesterification catalyst structure on the reactive compatibilization and properties of PET/dibutyl succinate functionalized poly(ethylene) blends // European Polymer Journal. — 2008. — Vol. 44. — P. 1512–1524.
16. Tomić N.Z., Marinković A.D. et al. A new approach to compatibilization study of EVA/PMMA polymer blend used as an optical fibers adhesive // International Journal of Adhesion and Adhesives. — 2017. — Vol. 79. — P. 83–92.
17. Russo L. et al. Processing and characterization of polypropylene (PP)/ethylene–vinyl acetate (EVA) blend-based glassy carbon composites // Discover Applied Sciences. — 2020. — Vol. 2. — P. 432.
18. Rossini E. et al. Preparation of the PET/PP/PE/EVA polymeric blend from PET bottles and modification studies induced by ionizing radiation // Academia.edu. — 2015.
19. Kumar D.I., Rajarathinam M.D. et al. Upcycling of ethylene-vinyl acetate copolymer through hydrolysis and reactive-filling into polyurethane resins // ACS Sustainable Resource Management. — 2025. — Vol. 2(9). — P. 1691–1699.

ISSN 3030-3907

20. Qu M., Lu D., Deng H. et al. A comprehensive study on recycled and virgin PET melt-spun fibers modified by PMDA chain extender // Materials Today Communications. — 2021. — Vol. 29. — P. 103013.
21. Himmelsbach A. et al. Upgrading and enhancement of recycled polyethylene terephthalate with chain extenders: in-depth material characterization // Industrial & Engineering Chemistry Research. — 2024. — Vol. 63(28). — P. 12277–12287.
22. Garcia F.G., Soares B.G. Reactive compatibilization of PBT/EVA blends with an ethylene-acrylic acid copolymer and a low molar mass bis-oxazoline // Academia.edu. — 2004.

ISSN 3030-3907