NAMANGAN DAVLAT UNIVERSITETI
ILMIY AXBOROTNOMASI, [2026-9]
ISSN:2181-1458
ISSN:2181-0427

02.00.00-KIMYO FANLARI
journal.namdu.uz
CHEMICAL SCIENCES

IKKILAMCHI POLIETILENNI MALEIN ANGIDRID BILAN FUNKSIONALLASHTIRISH NATIJASIDA rPE-g-MAH OLISH

Juraboyeva Z.O.
NamDU magistri
Saypiyev T.S.
k.f.n., NamDU, kimyo kafedrasi dotsenti
Abdullayev O.G.
t.f.d., NamDU, kimyo kafedrasi dotsenti
Namangan davlat universiteti, O‘zbekiston
Email: Tursunpulat@mail.ru

Annotatsiya: *Bugungi kunda polimer materiallar ishlab chiqarish hajmining jadal o‘sishi va ulardan foydalanish muddatining nisbatan qisqaligi plastik chiqindilarni samarali qayta ishlash va ikkilamchi xomashyo sifatida qaytadan ishlab chiqarish jarayoniga jalb etishni dolzarb vazifalardan biriga aylantirmoqda. Ayniqsa polietilen (PE) keng qo‘llaniladigan polimerlardan biri bo‘lib, qadoqlash plyonkalari, paketlar, idishlar, quvurlar va turli maishiy hamda texnik buyumlar ishlab chiqarishda katta hajmda sarflanadi. Iqtisodiy hamkorlik va taraqqiyot tashkiloti (OECD) ma’lumotlariga ko‘ra, 2019 yilda dunyoda 353 mln tonna plastik chiqindi hosil bo‘lgan va qayta ishlash jarayonidagi yo‘qotishlarni hisobga olganda, uning atigi 9 % qismi qayta ishlangan. Polietilen, xususan LDPE va HDPE, hamda polipropilen plastik chiqindilar tarkibida ustun ulushga ega. Polietilen chiqindilarini mexanik qayta ishlash iqtisodiy jihatdan maqbul usullardan biri hisoblanadi. Biroq qayta ishlashning har bir siklida material yuqori harorat, mexanik siljish va kislorod ta’siriga uchraydi. Bu esa makromolekulyar zanjirlarning uzilishi, tarmoqlanishi, qisman ko‘ndalang bog‘lanishi va termooksidlanish jarayonlarini keltirib chiqaradi. Natijada ikkilamchi PEning molekulyar massasi, reologik xususiyatlari, plastikligi, uzilishdagi cho‘zilishi va zarbaga chidamliligi o‘zgarib, uning yuqori qiymatli mahsulotlarda qo‘llanish imkoniyatlari cheklanadi. Mazkur muammolar poliolefinlarni mexanik qayta ishlashga bag‘ishlangan tadqiqotlarda ham qayd etilgan.*

Kalit so‘zlar; *Ikkilamchi polietilen(rPE), malein angidrid(MAH), funksionallashtirish, PE-g-MAH(yoki MAPE, MAH bilan tikilgan PE), reaktiv ekstruziya, mineral to‘ldiruvchi, kalsiy karbonat, kompozit, mexanik qayta ishlash.*

ПОЛУЧЕНИЕ РПЕ-Г-МАҲ ПУТЁМ ФУНКСИОНАЛИЗАСИИ ВТОРИЧНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА МАЛЕИНОВЫМ АНГИДРИДОМ

Аннотация. *В настоящее время стремительный рост объёмов производства полимерных материалов и относительно короткий срок их эксплуатации превращают эффективную переработку пластиковых отходов и их повторное вовлечение в производственный процесс в качестве вторичного сыря в одну из актуальных задач. Полиэтилен (ПЕ) являясь одним из наиболее широко используемых полимеров и в больших количествах применяясь при производстве упаковочных плёнок, пакетов, контейнеров, труб, а также различных бытовых и технических изделий. Согласно данным Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР), в 2019 году в мире образовалось 353 млн тонн пластиковых отходов, при этом с учётом потер в процессе переработки было переработано лишь 9 % от их общего объёма. Полиэтилен, в частности полиэтилен низкой плотности (ЛДПЕ) и полиэтилен высокой плотности (ХДПЕ), а также полипропилен составляют значительную долю пластиковых отходов. Механическая переработка полиэтиленовых отходов считаясь одним из экономически селесообразных методов утилизасии. Однако в каждом цикле переработки материал подвергаясь воздействию высоких температур, механических сдвиговых напряжений и кислорода. Это приводит к разрыву макромолекулярных сепей, разветвлению, частичному образованию поперечных связей и термоокислительным процессам. В результате изменяюся молекулярная масса, реологические свойства, пластичност, относительное удлинение при разрыве и ударная прочност вторичного полиэтилена, что ограничивает возможности его применения при производстве продуксии с высокой добавленной стоимостю. Данные проблемы также отмечаюся в исследованиях, посвящённых механической переработке полиолефинов.*

Ключевые слова: *вторичный полиэтилен (рПЕ), малеиновый ангидрид (МАХ), функсионализация, ПЕ-г-МАҲ (или МАПЕ — полиэтилен, привитый малеиновым ангидридом), реактивная экструзия, минеральный наполнител, карбонат калсия, композит, механическая переработка.*

PREPARATION OF RPE-G-MAH BY FUNCTIONALIZATION OF RECYCLED POLYETHYLENE WITH MALEIC ANHYDRIDE

Abstract. *Nowadays, the rapid growth in the production of polymer materials and their relatively short service life have made the efficient recycling of plastic waste and its reintegration into the manufacturing process as secondary raw material one of the most pressing challenges. Polyethylene (PE) is one of the most widely used polymers and is consumed in large quantities in the production of packaging films, bags, containers, pipes, and various household and technical products. According to data from the Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), 353 million tonnes of plastic waste were generated worldwide in 2019, and only 9% was recycled when losses during the recycling process were taken into account. Polyethylene, particularly low-density polyethylene (LDPE) and high-density polyethylene (HDPE), together with polypropylene, accounts for a substantial proportion of plastic waste. Mechanical recycling of polyethylene waste is considered one of the economically viable recycling methods. However, during each recycling cycle, the material is exposed to high temperatures, mechanical shear, and oxygen. These conditions lead to macromolecular chain scission, branching, partial crosslinking, and thermo-oxidative processes. As a result, the molecular weight, rheological properties, plasticity, elongation at break, and impact resistance of recycled polyethylene may change, limiting its potential applications in higher-value products. These challenges have also been reported in studies on the mechanical recycling of polyolefins.*

Keywords: *recycled polyethylene (rPE), maleic anhydride (MAH), functionalization, PE-g-MAH (or MAPE, maleic anhydride-grafted polyethylene), reactive extrusion, mineral filler, calcium carbonate, composite, mechanical recycling.*

Shu nuqtai nazardan, ikkilamchi PEning xossalarini oddiy qayta granulyasiya qilish bilan emas, balki uni **maqsadli funksionallashtirish va kompozitlash** orqali yaxshilash istiqbolli yondashuv hisoblanadi. Taklif etilayotgan tadqiqotning asosiy g‘oyasi — ikkilamchi polietilenni malein angidrid bilan reaktiv ekstruziya sharoitida funksionallashtirib, **rPE-g-MAH** olish va keyin uni mineral to‘ldiruvchilar bilan modifikatsiyalashdan iborat.

MAHning polietilen makromolekulasiga tikilishi odatda organik peroksid, masalan, dikumil peroksid (DCP) ishtirokida radikal mexanizm bo‘yicha amalga oshiriladi. Bunda polietilen zanjirida makroradikal markazlar hosil bo‘lib, MAH ularga birikishi natijasida qutbli angidrid guruhlariga ega funksionallashtirilgan PE hosil bo‘ladi. Bunday modifikatsiya PEning mineral to‘ldiruvchilar bilan fazalararo o‘zaro ta’sirini kuchaytirish va to‘ldiruvchining polimer matrisasida disperslanishini yaxshilash imkonini beradi.

Taklif etilayotgan tadqiqot bir necha bosqichda amalga oshirilishi mumkin. Birinchi bosqichda ikkilamchi PEning boshlang‘ich fizik-mexanik, reologik va termik xususiyatlari aniqlanadi. Ikkinchi bosqichda rPEning MAH bilan funksionallashtirilishi amalga oshiriladi. Uchinchi bosqichda olingan rPE-g-MAHning hosil bo‘lgan funksional guruhlari FTIR-spektroskopiya yordamida tasdiqlanadi. To‘rtinchi bosqichda MAHning tikilish darajasi aniqlanadi. Beshinchi bosqichda funksionallashtirilgan rPE ga mineral to‘ldiruvchi, masalan, kalsiy karbonat ($CaCO_3$), talk yoki kaolin kiritiladi. Oltinchi bosqichda to‘ldiruvchi konsentratsiyasining kompozit xossalariga ta’siri o‘rganiladi. Yettinchi bosqichda esa olingan materiallarning mexanik, reologik, morfologik va termik xususiyatlari kompleks baholanadi.

Adabiyotlar tahlili mazkur yondashuvning ilmiy asosi mavjudligini ko‘rsatadi. Masalan, **Reinaldo** va hammualliflar 2023 yilda rPE asosidagi kompozitlarda PE-g-MAHdan interfeys kompatibilizatori sifatida foydalanib, to‘ldiruvchilarning reologik, morfologik va mexanik xususiyatlarga ta’sirini o‘rgangan. **He** va hammualliflar esa rPE tarkibidagi asosiy noorganik ifloslantiruvchilardan biri $CaCO_3$ ekanini ko‘rsatib, MAH funksional guruhlariga ega modifikatorlar matrisa va noorganik faza o‘rtasidagi moslikni yaxshilashini aniqlagan.

Bevosita ikkilamchi polietilenni MAH bilan funksionallashtirish ham adabiyotlarda tasdiqlangan. Xususan, rPE uchun MAH va DCP ishtirokida reaktiv suyuqlanmada funksionallashtirish usuli qo‘llanib, rPE-g-MAH olingan va uning hosil bo‘lishi FTIR orqali tasdiqlangan. Tadqiqotda MAH va DCP miqdorlari tikilish darajasiga sezilarli ta’sir qilishi ko‘rsatilgan.

Mineral to‘ldiruvchilardan foydalanish ham ikkilamchi PE asosidagi kompozitlarning funksional xususiyatlarini oshirish imkonini beradi. **Ramli** va hammualliflar rPE, MAPE va mineral to‘ldiruvchilar asosidagi kompozitlarda grafit, slyuda va talkning mexanik, termik va morfologik xususiyatlarga ta’sirini o‘rgangan.

Shunga qaramasdan, mavjud tadqiqotlarning katta qismi **tayyor PE-g-MAH yoki MAPEni ikkilamchi PEga qo‘shish**ga qaratilgan. Taklif etilayotgan yondashuvning o‘ziga xosligi esa **MAHni bevosita ikkilamchi PEning o‘ziga reaktiv ekstruziya orqali tikilish, darajasini nazorat qilish va keyin funksionallashtirilgan rPE asosida mineral to‘ldiruvchili kompozitlar olish**ni yagona texnologik zanjir sifatida o‘rganishdan iborat.

Kutilayotgan natija — ikkilamchi PEning mexanik va texnologik xossalarini maqsadli boshqarish, mineral to‘ldiruvchining dispersiyasini yaxshilash va arzon ikkilamchi xomashyodan yuqori qiymatli kompozision materiallar olish imkonini yaratishdir. Bu yondashuv plastik chiqindilarni kamaytirish bilan bir qatorda, birlamchi polimer xomashyosiga bo‘lgan ehtiyojni qisqartirish va aylanma iqtisodiyot tamoyillarini amalga oshirishga xizmat qilishi mumkin. 2026 yilgi zamonaviy obzorlarda ham qayta ishlanadigan plastik kompozitlar uchun matrisa degradatsiyasini kompensatsiya qilish, interfeys muhandisligi va to‘ldiruvchilardan foydalanish istiqbolli strategiyalar sifatida baholanmoqda.

Foydalanilgan adabiyotlar

1.**Gan, S., Rosli, N. A., Wong, J. W. C., Chen, R. S.** Design strategies for bridging the performance gap in recycled plastic composites through advanced recycling and sustainable fillers. *Sustainable Materials and Technologies*, 2026, e02217. DOI: **10.1016/j.susmat.2026.e02217**.

2.**Shah, S. K. et al.** Upcycling of waste polyolefins in natural fiber and sustainable filler-based biocomposites: A study on recent developments and future perspectives. *Composites Part B: Engineering*, 2023, 263, 110852. DOI: **10.1016/j.compositesb.2023.110852**.

3.**Reinaldo, J. S. et al.** Influence of the addition of different fillers on the properties of hybrid composite recycled polyethylene/cotton linter fibers/montmorillonite clay. *Journal of Composite Materials*, 2023. DOI: **10.1177/00219983231209740**.

4.**He, H. et al.** Recycled polyethylene/polyethylene-ethylene-1-octene-maleic anhydride composite with improved mechanical properties. *Journal of Applied Polymer Science*, 2022, 139(8), e51694. DOI: **10.1002/app.51694**.

5.**Yin, S., Tuladhar, R., Shi, F., Shanks, R. A., Combe, M., Collister, T.** Mechanical reprocessing of polyolefin waste: A review. *Polymer Engineering & Science*, 2015, 55, 2899–2909. DOI: **10.1002/pen.24182**.

6.**Li, X. et al.** Functionalization of reclaimed polyethylene with maleic anhydride and its application in improving the high temperature stability of asphalt mixtures. *Construction and Building Materials*, 2016, 113, 596–602. DOI: **10.1016/j.conbuildmat.2016.03.096**.