



Plastoelastik kompozitsion materiallar ishlab chiqarishda suyuq va suyuqlangan ingredientlar tasnifi

Xalilov Shoxrux Erkin o'g'li

Navoiy davlat universiteti "Fizika va astronomiya" kafedrası dotsenti, f.-m.f.f.d. (PhD)

e-mail: shokhrux.khalilov.phd@mail.ru

Shodiyev Sherzod Maxmudjon o'g'li

Muhammad Al-xorazmiy nomidagi ixtisoslashtirilgan maktabi

Navoiy filiali fizika fani o'qituvchisi.

e-mail: sherzodshodiyev3878@gmail.com

Qurbonova Surayyo Rahmat qizi

Navoiy davlat universiteti "Fizika va astronomiya" kafedrası magistiranti.

e-mail: squrbonova.r@gmail.com

ANNOTATSIYA

Ushbu maqolada plastoelastik kompozitsion materiallar ishlab chiqarishda suyuq yoki suyuqlangan holatda ishtirok etuvchi ingredientlar funksional jihatdan tasniflanadi. Tahlil PP (polipropilen), EPDM (etilenpropilen-dien monomer kauchuk) va DEHP (di-2-etilgeksil ftalat) misolida olib borildi. PP va EPDM asosidagi termoplastik vulkanizatlar va ularga kiritiladigan past molekulyar mobil qo'shimchalar uchun ilmiy asoslangan tasnif mezonlarini ishlab chiqish, ularning texnologik vazifasi, faza lokalizatsiyasi, morfologiya shakllanishiga ta'siri hamda migratsiya xavfi o'rtasidagi bog'liqlikni ko'rsatishdir. Natijalarga ko'ra, PP jarayonda uzluksiz termoplastik matritsa hosil qiluvchi suyuqlangan ingredient, EPDM esa selektiv ravishda vulkanizatsiyalanadigan elastomerik-dispers komponent sifatida namoyon bo'ladi. DEHP esa past molekulyar mobil plastifikator bo'lib, yopishqoqlikni kamaytiradi va yumshatish effektini beradi, biroq migratsiya va eksudatsiya xavfini kuchaytiradi. Muhokama qismida ingredientlarni kimyoviy tabiatiga ko'ra emas, balki ularning mobil holati, interfeysga selektiv moyilligi va yakuniy tuzilma-xossa munosabatiga ko'ra baholash samaraliroq ekani asoslandi.

Kalit so'zlar:

PP, EPDM, DEHP, plastifikator, termoplastik vulkanizat, plastoelastik kompozit, faza inversiyasi, morfologiya, migratsiya, dinamik vulkanizatsiya.

Классификация жидких и сжиженных компонентов при производстве пластоупругих композитных материалов

АННОТАЦИЯ

В статье представлена функциональная классификация ингредиентов, участвующих в производстве пласт эластических композиционных материалов в жидком или расплавленном состоянии. Анализ проведён на примере полипропилена (PP), этиленпропилен-диенового каучука (EPDM) и ди(2-этилгексил)фталата (DEHP). Цель исследования — разработать научно обоснованные критерии классификации компонентов термопластичных вулканизатов на основе PP и EPDM, включая вводимые в их состав низкомолекулярные подвижные добавки, а также установить взаимосвязь между их технологическими функциями, локализацией в

Ключевые слова:

PP, EPDM, DEHP, пластификатор, термопластичный вулканизат, пластоэластический композит, инверсия фаз, морфология, миграция, динамическая вулканизация.



фазах, впливом на формування морфології і ризиком міграції. Згідно з результатами аналізу, РР виступає в якості компонента, який в розплавленому стані формує неперервну термопластичну матрицю, тоді як EPDM утворює дисперсну еластомерну фазу, піддавану селективній вулканізації. DEHP представляє собою низкомолекулярний подвижний пластифікатор, знижуючий вязкість і забезпечуючий зм'ягчаючий ефект, однак підвищуючий ризик міграції і екссудатії. В ході обговорення обґрунтована цілесобразність оцінки інгредієнтів не тільки по їх хімічній природі, але і по подвижності, вибірковому сродству к межфазній границі і впливу на взаємозв'язок структури і властивостей кінцевого матеріала.

Classification of liquid and liquefied ingredients in the production of plastoelastic composite materials

ABSTRACT

This article presents a functional classification of ingredients involved in the production of plastoelastomeric composites in the liquid or molten state. The analysis focuses on polypropylene (PP), ethylene-propylene-diene rubber (EPDM), and di(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP). The study aims to establish scientifically grounded criteria for classifying the components of PP/EPDM-based thermoplastic vulcanizates, including low-molecular-weight mobile additives, and to elucidate the relationships among their processing functions, phase localization, effects on morphology development, and migration risk. The analysis indicates that molten PP forms a continuous thermoplastic matrix, whereas EPDM constitutes a dispersed elastomeric phase that undergoes selective vulcanization. DEHP acts as a low-molecular-weight mobile plasticizer, reducing viscosity and imparting a softening effect while increasing the risk of migration and exudation. The discussion highlights the value of evaluating ingredients not only by their chemical nature but also by their mobility, preferential affinity for the interface, and influence on the structure-property relationships of the final material.

Keywords:

PP, EPDM, DEHP, plasticizer, thermoplastic vulcanizate, plastoelastomeric composite, phase inversion, morphology, migration, dynamic vulcanization.

KIRISH

So'nggi yillarda mashinasozlikda elastomer detallar (muhrlagichlar, amortizatorlar, antivibratsion tayanchlar, muftalar, qistirmalar, himoya qoplamalari va boshqalar) uchun material tanlash masalasi faqat statik mustahkamlik bilan emas, termik-kimyoviy muhitlarda barqarorlik bilan baholanadigan kompleks mezonlar tizimiga tayangan holda hal qilinmoqda. Shu nuqtai nazardan, plastoelastik kompozitsion materiallar, ayniqsa, termoplastik vulkanizatlar (TPV) guruhiga mansub PP va EPDM tizimlari qayta ishlanishi, nisbatan past tannarxi va rezina-elastiklikni termoplastik qayta ishlanuvchanlik bilan birlashtira olishi sababli alohida ilmiy-amaliy ahamiyatga ega [4–6]. Dinamik vulkanizatsiya sharoitida elastomer fazaning selektiv tarmoqlanishi va intensiv aralashtirish natijasida mayda zarrachali morfologiya shakllanadi; aynan shu tuzilma materialning qattiqligi, elastikligi, zarbaga chidamliligi va uzoq muddatli barqarorligini belgilaydi [4, 6].

PP va EPDM tizimlari bo'yicha adabiyotlar shuni ko'rsatadiki, kompozitsiya tarkibida faqat polimerlarning o'zi emas, balki ularga qo'shiladigan past molekulyar suyuq ingredientlar ham hal qiluvchi rol o'ynaydi. Bunday ingredientlar qayta ishlash vaqtida qovushqoqlikni pasaytirishi, interfeys energiyasini o'zgartirishi, faza selektivligini boshqarishi, yumshatish effektini berishi yoki



aksincha, uzoq muddatda migratsiya, eksudatsiya va xossalarning pasayishiga olib kelishi mumkin [1–3, 10]. Shu bois plastoelastik kompozitlarni loyihalashda “suyuq qo‘shimcha” tushunchasini oddiy texnologik yordamchi sifatida emas, balki morfologiya hosil bo‘lishining faol ishtirokchisi sifatida ko‘rish zarur. Muammo shundaki, ko‘plab texnologik tavsiflarda ingredientlar faqat kimyoviy sinfi yoki formuladagi ulushi bo‘yicha tasvirlanadi, biroq ularning jarayon vaqtida qaysi fazada joylashishi, qaysi komponentni kuchliroq plastifikatsiya qilishi va yakuniy tuzilma-xossaga qanday ta’sir etishi bir xil mantiqiy tasnif asosida berilmaydi. Mazkur maqolaning maqsadi – PP, EPDM va DEHP misolida plastoelastik kompozitsion materiallar ishlab chiqarishida suyuq yoki suyuqlangan holatda qatnashuvchi ingredientlarning funksional tasnifini taklif etish hamda ularning texnologik vazifasi va strukturaviy oqibatlarini tizimlashtirishdan iborat.

ADABIYOTLAR SHARHI

Mazkur bo‘limda tahlilga jalb etilgan manbalar uchta yirik yo‘nalish bo‘yicha guruhlandi: (a) dinamik vulkanizatsiya va termoplastik vulkanizatlarida morfologiyaning shakllanish mexanizmlari; (b) suyuq hamda past molekulyar ingredientlarning fazalararo taqsimlanishi va plastifikatsiya samarasi; (c) mobil komponentlarning migratsiyasi, eksudatsiyasi va ekspluatatsion barqarorlikka ta’siri. Har bir yo‘nalish oxirida mazkur tadqiqotning tasnif mantiqiga bevosita aloqador bo‘lgan xulosa ajratib ko‘rsatiladi.

Dinamik vulkanizatsiya va TPV morfologiyasining shakllanishi.

TPV konsepsiyasining ilmiy asosi elastomer fazani termoplastik matritsa bilan birga aralashtirish jarayonining o‘zida tarmoqlash g‘oyasiga borib taqaladi. Coran va Patel EPDM hamda PP tizimida qotirish darajasi oshgan sari elastomer fazaning maydalanishi kuchayishini, cho‘zilishdagi mustahkamlik va qoldiq deformatsiya ko‘rsatkichlari esa sezilarli yaxshilanishini ko‘rsatgan edi [14]. Shu ish bilan “aralashma” tushunchasidan “jarayon davomida boshqariladigan mikrostruktura” tushunchasiga o‘tish boshlandi va keyingi tadqiqotlar aynan shu mantiqni rivojlantirdi.

PP va EPDM TPV tizimlarida morfologiya shakllanishi bo‘yicha klassik ishlar shuni ko‘rsatadiki, dinamik vulkanizatsiya davomida dastlabki ko-kontinuum yoki elastomer-ustun tuzilma vaqt o‘tishi bilan faza inversiyasiga uchrab, tarmoqlangan EPDM zarrachalari PP matritsasiga mayin taqsimlangan holatga o‘tadi [4, 6]. Antunes va hammualliflar dinamik vulkanizatsiya vaqtida morfologik rivojlanishning qotish darajasi bilan uzviy bog‘liqligini ko‘rsatgan; ya’ni, selektiv tarmoqlanish nafaqat EPDM fazani mustahkamlaydi, balki uning deformatsiyalanish va maydalanish mexanizmini ham o‘zgartiradi [6]. Ellul va hammualliflar esa tarmoqlanish zichligi bilan faza morfologiyasi o‘rtasidagi bog‘liqlikni aniq ko‘rsatib, TPV xossalarni prognozlashda ushbu parametrlarning markaziy rolini tasdiqlagan [4].

Litvinov proton NMR relaksatsiyasi usulida EPDM va PP asosidagi TPV larda faza tarkibi, molekulyar harakatchanlik hamda kauchuk fazadagi tarmoq tuzilishini o‘rganib, tarmoqning bir jinsli emasligini va material tarkibida harakatchanligi turlicha bo‘lgan sohalar mavjudligini aniqlagan [5]. Bu natija tasnif uchun printsiplial ahamiyatga ega: tarmoqlangan elastomer faza ichida ham past molekulyar modda uchun “bo‘sh hajm” bir tekis taqsimlanmagan. Demak, plastifikatorning joylashuvini faqat “PP fazada yoki EPDM fazada” degan ikkilik bilan tavsiflash yetarli emas; uchinchi imkoniyat - fazalararo chegara hamda tarmoqlanishi kam bo‘lgan mahalliy sohalar -alohida hisobga olinishi kerak.

Reologiya, qotiruvchi tizim va zarracha o‘lchami.

PP va EPDM aralashmalarining dinamik viskoelastikasi va morfologiyasi kompozitsiya nisbati hamda qotiruvchi tizimga bog‘liq ravishda o‘zgaradi. Prut va hammualliflar PP va EPDM nisbatining ham, dinamik vulkanizatsiyaning ham morfologiya va viskoelastik javobga sezilarli ta’sir qilishini ko‘rsatgan [7]. Nikolini va hammualliflar qotiruvchi agent turi morfologiya evolyutsiyasini boshqarishini, demak, ayni kimyoviy formula uchun ham turlicha mikrostruktura hosil bo‘lishi mumkinligini ko‘rsatgan [8]. Bu esa suyuq ingredientlarni tasniflashda “qaysi polimer bilan birga ishlatilmoqda?” degan savol bilan birga “qaysi qotiruvchi rejimda ishlatilmoqda?” degan savol ham muhimligini bildiradi.



Goharpey va hammualliflar dinamik vulkanizatsiyalangan EPDM va PP tizimlarida reologik xatti-harakat bilan morfologiya o'rtasida bevosita bog'liqlik borligini, past chastotalardagi kompleks qovushqoqlik hamda saqlanish modulining ortishi elastomer zarrachalarining o'lchami va tarmoqlanish darajasi bilan izohlanishini ko'rsatgan [15]. Amaliy jihatdan bu reologik o'lchovlarni morfologiyaning bilvosita indikator sifatida ishlatish imkonini beradi va suyuq ingredient kiritilganda ro'y beradigan strukturaviy o'zgarishlarni nisbatan sodda usulda kuzatish yo'lini ochadi.

Aralashmaning maydalanish bosqichida qovushqoqlik nisbati markaziy parametr hisoblanadi: dispers fazaning qovushqoqligi matritsanikiga yaqinlashgan sari zarrachalar samaraliroq maydalanadi va taqsimot torayadi. Suyuq plastifikator qaysi fazada ko'proq jamlansa, o'sha fazaning qovushqoqligi pasayadi, natijada qovushqoqlik nisbati siljiydi. Shu ma'noda plastifikator kiritish faqat yumshatish emas, balki aralashish dinamikasini boshqarish vositasi hamdir [3, 7]. Adabiyotlarda reologik va morfologik ma'lumotlar ko'pincha alohida-alohida muhokama qilinadi; mazkur maqolada ular tasnifning yagona reologik mezon sifatida birlashtiriladi.

Zamonaviy ishlarda interfeysni kuchaytiruvchi reaktiv komponentlar qo'llanilganda PP va EPDM tizimlarida zarracha o'lchamini sezilarli kamaytirish va qattqlik bilan zarbaga chidamlilik o'rtasida muvozanatga erishish mumkinligi ko'rsatilgan. Xu va hammualliflar in-situ hosil bo'ladigan i-ZDMA orqali kuchli interfeys shakllantirib, EPDM zarrachalari o'rtacha o'lchamini 260–280 nm gacha kamaytirgan va shu bilan bir vaqtda mustahkamlik hamda zarbaga chidamlilikni yaxshilagan [9]. Bu natija past molekulyar ingredientlar va interfeys-faol qo'shimchalar birgalikda ishlaganda suyuq va suyuqlangan komponentlarni "oddiy yumshatuvchi" emas, balki morfologiya muhandisligi vositasi sifatida ko'rish zarurligini tasdiqlaydi.

Suyuq va past molekulyar ingredientlarning fazalararo taqsimlanishi.

Suyuqlangan ingredientlarning faza lokalizatsiyasi masalasida paraffinik moylar va boshqa mobil qo'shimchalarning taqsimlanishi bo'yicha tadqiqotlar muhim metodologik asos beradi. Sengers va hammualliflar olefinli TPE aralashmalarida qayta ishlash moyi ikkala fazada ham mavjud bo'lishi mumkinligini, biroq kompozitsiya va faza tabiatiga qarab uning elastomer fazaga moyilligi o'zgarishini ko'rsatgan [3]. Ushbu xulosa PP/EPDM tizimlariga DEHP singari past molekulyar plastifikatorlarni tahlil qilishda ham prinsipial ahamiyatga ega: mobil modda qaysi fazada ko'proq jamlansa, o'sha fazaning Tg, qovushqoqligi va deformatsiya xatti-harakati kuchliroq o'zgaradi.

Plastifikatsiya mexanizmini umumlashtiruvchi ishlarda bo'sh hajm nazariyasi, moylash nazariyasi va gel nazariyasi keltiriladi: past molekulyar modda polimer zanjirlari orasiga kirib, ular o'rtasidagi ikkilamchi o'zaro ta'sirni susaytiradi, segmental harakatchanlikni oshiradi va shishasimon o'tish haroratini pasaytiradi [2]. Ftalat efirlari uchun samaradorlik alkil zanjirining uzunligi va qutblilik bilan bog'liq bo'lib, zanjir uzayishi bilan polimer bilan moslik pasayadi, ammo ayni vaqtda uchuvchanlik hamda chiqib ketish tezligi ham kamayadi [2]. Shu bois "samarali plastifikator" va "barqaror plastifikator" tushunchalari ko'pincha bir-biriga qarama-qarshi turadi va tanlov muqarrar ravishda murosaviy bo'ladi.

Song va hammualliflar EPDM ning Mooney qovushqoqligi turlicha bo'lganda PP va EPDM TPV larning kristallanishi, tuzilishi va mexanik xossalari ham o'zgarishini ko'rsatgan [11]. Uzunroq EPDM zanjirlari PP bilan yaxshiroq fizik chirmashish hosil qilib, fazalararo o'zaro ta'sirni kuchaytiradi va TPV ning cho'zilishdagi xatti-harakatini yaxshilaydi [11]. Demak, suyuq ingredient tanlanayotganda faqat plastifikatorning o'zi emas, elastomerning molekulyar tavsifi ham hisobga olinishi kerak. Chunki bir xil plastifikator turli Mooney ko'rsatkichiga ega EPDM lar bilan turlicha selektivlik va tarqalish ko'rsatishi mumkin.

Migratsiya, eksudatsiya va ekspluatatsion barqarorlik.

Hahladakis va hammualliflar polimerlarga kiritiladigan qo'shimchalarning ishlatish, utilitatsiya va qayta ishlash bosqichlaridagi chiqishi hamda atrof-muhitdagi taqdirini umumlashtirib, ftalat tipidagi plastifikatorlar polimer zanjiriga kimyoviy bog'lanmagani sababli



matritsadan nisbatan oson ajralib chiqishini ta'kidlaydi [1]. Bu xulosa tasnif tuzishda migratsiya barqarorligini alohida, mustaqil o'lchov sifatida ajratishni talab qiladi: ingredientning texnologik foydasi qanchalik yuqori bo'lmasin, u ekspluatatsiya davridagi yo'qotish bilan birga baholanishi kerak.

Migratsiyaning miqdoriy tomoni harorat va matritsa tuzilishiga sezilarli bog'liq. Izotaktik PP asosidagi kompozitlarda DEHP ning chiqib ketishi harorat ortishi bilan kuchayishi, polimerning molekulyar massasi va kristallik darajasi ortganda esa sekinlashishi ko'rsatilgan [10]. Ya'ni matritsaning kristall karkasi mobil moddaga nisbatan to'siq vazifasini bajaradi, biroq bu to'siq mutlaq emas: amorf sohalar va fazalararo chegara mobil fraksiya uchun ochiq yo'l bo'lib qolaveradi.

DEHP (DOP) ning modeli aynan shu nuqtada foydalidir. Bocqué va hammualliflar plastifikatorlar polimerlarning moslashuvchanligi va qayta ishlanishini oshirishini, ammo ularning samarasi molekulyar tuzilish va polimer bilan o'zaro ta'sir xususiyatiga bog'liqligini ko'rsatgan [2]. Prasanna va hammualliflar esa izotaktik PP asosidagi kompozitlarda DEHP migratsiyasi polimerning molekulyar massasi va kristallik darajasiga bog'liqligini ko'rsatib, yuqori kristallikdagi PP matrikslar DEHP ni kuchliroq ushlab turishi va uning chiqib ketishini sekinlashtirishini aniqlagan [10]. Shu sababli DEHP ni PP va EPDM tizimlarida baholashda ikki tomonlama yondashuv zarur: texnologik nuqtai nazardan u oqimchanlik va yumshoqlikni yaxshilaydi, ekspluatatsion nuqtai nazardan esa erkin mobil fraksiya ko'paygan sari migratsiya riski ortadi [1, 10].

Zamonaviy texnologik yo'nalishlar.

Qayta ishlangan EPDM ishtirok etuvchi tizimlarda tasnif yanada muhimlashadi. Dong va hammualliflar ultratovush yordamidagi ekstruziya va dinamik revulkanizatsiya orqali PP va EPDM aralashmalarida turli ishlab chiqarish yo'llari morfologiya va xossalarga sezilarli ta'sir ko'rsatishini bildirgan [12]. Bu natijalar suyuq ingredientlar tasnifi faqat "komponent tavsifi" emas, balki butun texnologik marshrut bilan bog'liq boshqaruv vositasi ekanini ko'rsatadi. So'nggi yillardagi sharhlarda EPDM asosidagi nanokompozitlarda to'ldiruvchi turi, uning dispersiyasi va interfeys bilan o'zaro ta'siri materialning mexanik, termik hamda to'siq xossalarni belgilashi ta'kidlanadi [13]. Bir formulada qattiq nanoto'ldiruvchi va suyuq plastifikator uchrashganda ular qarama-qarshi yo'nalishda ishlaydi: birinchisi zanjir harakatchanligini cheklaydi va diffuziya yo'lini uzaytiradi, ikkinchisi esa harakatchanlikni oshiradi. Shu sababli ularning nisbati tasnifda "raqobatlashuvchi juftlik" sifatida qaralishi mantiqiy.

Adabiyotlardagi bo'shliq va mazkur ishning o'рни.

Ko'rib chiqilgan manbalar quyidagi umumiy manzarani beradi. Morfologiya va faza inversiyasi mexanizmlari yetarli darajada o'rganilgan [4–6, 14]; reologiya, kompozitsiya nisbati va qotiruvchi tizimning ta'siri tizimli tavsiflangan [7, 8, 15]; interfeysni modifikatsiyalash orqali zarracha o'lchamini kamaytirish imkoniyati tajribada tasdiqlangan [9]; moy va plastifikatorlarning fazalararo taqsimoti hamda migratsiyasi bo'yicha ishonchli ma'lumotlar mavjud [1–3, 10]. Shunga qaramay, ushbu ishlarning aksariyati alohida masalalarni - yo morfologiyani, yo reologiyani, yo migratsiyani - mustaqil ravishda yoritadi.

Suyuq va suyuqlangan ingredientlarni yagona funksional mantiq asosida, ya'ni ularning jarayondagi mobil holati, faza selektivligi va jarayondan keyingi mobillik taqdiri bo'yicha birlashtirib tasniflovchi tizim taklif etilmagan. Mazkur maqolaning ilmiy bo'shlig'i aynan shu nuqtada: quyida keltirilgan tasnif ana shu uch o'lchovni bitta mezonlar to'plamiga jamlashga qaratilgan.

Tahlilga jalb etilgan asosiy manbalar, ularning obyekti va mazkur tasnif uchun ahamiyatli xulosalari 1-jadvalda umumlashtirilgan.



1-jadval

Tahlilga jalb etilgan asosiy manbalar va ulardan olingan xulosalar

Manba	Tadqiqot obyekti va usuli	Tasnif uchun ahamiyatli xulosa
[14]	EPDM va PP tizimida dinamik vulkanizatsiya	Qotirish darajasi ortishi bilan elastomer faza maydalanadi va mexanik ko'rsatkichlar yaxshilanadi
[4]	TPV da tarmoqlanish zichligi va faza morfologiyasi	Tarmoqlanish zichligi xossalarni bashorat qilishda markaziy parametrlar
[5]	Proton NMR relaksatsiyasi, faza tarkibi va harakatchanlik	Kauchuk fazadagi tarmoq bir jinsli emas; harakatchanlik taqsimoti hisobga olinishi kerak
[6]	Dinamik vulkanizatsiya davomidagi morfologik rivojlanish	Faza inversiyasi qotirish darajasi bilan uzviy bog'liq
[7, 8, 15]	Kompozitsiya nisbati, qotiruvchi agent va reologiya	Bir xil formula turli qotirish rejimida turlicha mikrostruktura beradi
[9]	In-situ interfeys modifikatsiyasi (MAA va ZnO)	Interfeys-faol komponent zarracha o'lchamini 260–280 nm gacha kamaytiradi
[3]	Olefinli TPE aralashmalarida moy taqsimoti	Moy ikkala fazada uchraydi, nisbati kompozitsiyaga bog'liq
[2]	Plastifikatorlar tuzilishi va plastifikatsiya samarasi	Samaradorlik molekulyar tuzilish va polimer bilan moslikka bog'liq
[10]	Izotaktik PP kompozitlaridan DEHP migratsiyasi	Migratsiya harorat, molekulyar massa va kristallikka bog'liq
[1]	Qo'shimchalarning chiqishi, tarqalishi va taqdiri	Bog'lanmagan qo'shimchalar hayot sikli davomida chiqib ketaveradi
[11]	Turli Mooney qovushqoqligiga ega EPDM lar	Elastomerning molekulyar tavsifi TPV tuzilishi va xossalarni o'zgartiradi
[12]	Ultratovush yordamidagi ekstruziya, qayta ishlangan EPDM	Texnologik marshrut morfologiyani qayta tashkil qiladi
[13]	EPDM asosidagi nanokompozitlar sharhi	To'ldiruvchi va interfeys o'zaro ta'siri xossalarni majmuasini belgilaydi

MATERIALLAR VA METODLAR

Tanlash mezonlari quyidagicha belgilandi: (1) PP yoki EPDM tizimlari yoki ularga yaqin olefinli TPE va TPV tizimlarining morfologiyasi va reologiyasini yoritishi; (2) suyuq yoki past molekulyar ingredientlarning faza lokalizatsiyasi, plastifikatsiya effekti yoki migratsiyasiga oid dalil berishi; (3) yetakchi nashriyotlarda chop etilgan va DOI identifikatoriga ega bo'lishi; (4) muammoni mexanistik nuqtai nazardan tushuntirishi.

Tanlangan adabiyotlar orasida klassik morfologik ishlar [4–6], PP va EPDM tizimining dinamik viskoelastikasi va qotiruvchi agentlar ta'sirini o'rgangan maqolalar [7, 8], interfeysni kuchaytirish va zarracha o'lchamini kamaytirishga oid zamonaviy tadqiqot [9], DEHP ning PP matritsadagi migratsiyasini tahlil qilgan ish [10], EPDM molekulyar tavsiflarining TPV xossalari ta'sirini ko'rsatgan maqola [11], qayta ishlangan EPDM asosidagi ishlab chiqarish sxemalarini yoritgan tadqiqot [12] hamda EPDM va plastifikatorlar bo'yicha umumlashtiruvchi sharhlar [1–3, 13] asosiy manba sifatida qabul qilindi.

Metodologik jihatdan maqolada qiyosiy-funksional tahlil, strukturaviy-sababiy sintez va texnologik interpretatsiya usullaridan foydalanildi. Ingredientlar besh mezon bo'yicha baholandi: kimyoviy tabiat, qayta ishlash jarayonidagi mobil holati, fazalararo selektiv lokalizatsiyasi, morfologiya shakllanishiga ta'siri va ekspluatatsiya jarayonidagi migratsiya yoki xossa barqarorligi.



Shunga ko'ra, PP, EPDM va DEHP bir formuladagi oddiy komponentlar emas, balki turli funksional sinflarga mansub ingredientlar sifatida talqin qilindi.

Jami 15 ta manba tanlandi va ular yuqorida keltirilgan uchta yo'nalish bo'yicha guruhlandi. Har bir manbadan tasnif uchun zarur bo'lgan uchta ma'lumot ajratib olindi: ingredientning jarayondagi holati, uning faza bo'yicha taqsimoti va bu taqsimotning yakuniy xossaga ta'siri. Manbalar o'rtasidagi kelishmovchiliklar bo'lgan hollarda xulosa eng yuqori metodologik aniqlikka ega ish foydasiga qabul qilindi.

NATIJALAR

Adabiyotlar sintezi PP, EPDM va DEHP tizimida ingredientlarni kamida uchta asosiy funksional sinfga ajratish imkonini berdi: (1) uzluksiz termoplastik matritsa hosil qiluvchi suyuqlangan ingredient; (2) selektiv ravishda vulkanizatsiyalanadigan elastomerik-dispers ingredient; (3) past molekulyar mobil plastifikator-modifikator. Bu yondashuv ingredientning kimyoviy nomidan ko'ra, uning jarayondagi "vazifaviy holati"ni aniqlashga xizmat qiladi.

Tasnifning birinchi darajasi ingredientni kimyoviy sinfi bo'yicha emas, balki qayta ishlash zonasidagi mobil holati bo'yicha ajratishdan iborat. Ikkinchi daraja mobil holatning jarayon tugagandan keyingi taqdirini - u saqlanadimi yoki yo'qoladimi — aniqlaydi. Uchinchi daraja esa ingredientning ustun faza lokalizatsiyasini va shu fazadagi xossalarga ta'sirini belgilaydi. Quyida ushbu uch darajali mantiq asosida ajratilgan sinflar ketma-ket bayon qilinadi.

I sinf. Matritsa hosil qiluvchi suyuqlangan ingredient (PP). Birinchi sinfga qayta ishlash haroratida to'liq suyuqlanadigan va uzluksiz faza hosil qila oladigan yuqori molekulyar termoplastiklar kiradi. PP ushbu sinfnings tipik vakili: uning erish harorati va oqimchanlik ko'rsatkichi aralashtirish rejimini belgilaydi, sovutish bosqichidagi kristallanish esa modul, shakl saqlash qobiliyati va issiqlikka chidamlilikni ta'minlaydi [4, 6]. Muhim jihat shundaki, PP ning suyuqlangan holati vaqtinchalik: jarayon tugagach u qattiq karkasga aylanadi va mobillikni yo'qotadi.

Shu sababli PP ni oddiy "suyuq ingredient" emas, balki "vaqtinchalik suyuqlanadigan strukturaviy ingredient" deb belgilash aniqroq. Bu farq tasnif uchun hal qiluvchi ahamiyatga ega, chunki mobillikning qaytar yoki qaytmas ekani migratsiya xavfini bevosita belgilaydi: birinchi sinf ingredient uchun migratsiya masalasi umuman qo'yilmaydi, uning o'rniga kristallik darajasi va mo'rtlik chegarasi asosiy cheklov bo'lib qoladi.

II sinf. Selektiv vulkanizatsiyalanuvchi elastomerik-dispers ingredient (EPDM). Ikkinchi sinf qayta ishlash haroratida to'liq suyuqlanmaydi, balki yumshab yuqori elastik-viskoz holatga o'tadi va shu holatda maydalanadi. EPDM bu sinfnings vakili bo'lib, uning dien bo'g'inlari qotirish reaksiyasi uchun faol markazlar beradi. Dinamik vulkanizatsiya davomida EPDM ning qovushqoqligi keskin ortadi, u uzluksiz bo'lishdan to'xtab dispers fazaga aylanadi va faza inversiyasi ro'y beradi [4, 6].

Demak, ikkinchi sinf ingredientning mobil holati jarayon davomida qaytmas ravishda kamayadi — bu uni ham birinchi, ham uchinchi sinfdan ajratib turadigan belgidir. Song va hammualliflarning ma'lumotlariga ko'ra, Mooney qovushqoqligi turlicha bo'lgan EPDM lar bir xil formulada turlicha zarracha o'lchami va fazalararo chirmashish darajasini beradi [11]. Shunga ko'ra ushbu sinf vakilini tavsiflashda kamida uchta parametr talab qilinadi: dastlabki qovushqoqlik, dien tarkibi (qotirish faolligi) va etilen bilan propilen nisbati (kristallanish moyilligi).

III sinf. Past molekulyar mobil plastifikator (DEHP). Uchinchi sinfga xona haroratida ham suyuq bo'lgan, molekulyar massasi past va polimer zanjiriga kimyoviy bog'lanmaydigan komponentlar kiradi. DEHP shu sinfnings model vakili sifatida qaraldi. Ushbu sinfnings hal qiluvchi belgisi shundaki, komponent jarayon tugagandan keyin ham mobil holatda qolaveradi: uning harakatchanligi texnologik bosqich bilan cheklanmaydi, balki butun xizmat muddatiga cho'ziladi.

Faza lokalizatsiyasi nuqtai nazaridan uchinchi sinf ingredient ikkala fazada ham uchraydi, biroq nisbati kompozitsiya va faza tabiatiga qarab o'zgaradi [3]. PP kristallanganda plastifikator kristall sohalaridan siqib chiqariladi va amorf sohalarida hamda fazalararo chegarada to'planadi; lokal konsentratsiyaning shu tariqa ortishi eksudatsiya boshlanishi uchun sharoit yaratadi [2, 10].



Shu bois ushbu sinf uchun asosiy tavsif parametri sifatida konsentratsiya emas, balki fazalar o'rtasidagi taqsimlanish va matritsada ushlanib qolish darajasi taklif etiladi.

IV guruh. Interfeys-faol reaktiv komponentlar. Tahlil qilingan manbalar yuqoridagi uchta asosiy sinf bilan cheklanmaydigan yana ikkita yordamchi funksional guruhni ajratishga imkon berdi. Ulardan birinchisi — jarayon davomida suyuq yoki eriydigan holatda kiritiladigan, ammo fazalararo chegarada kimyoviy hamda kuchli fizik bog'lanish hosil qiluvchi interfeys-faol komponentlar. Xu va hammualliflarning ishida MAA va ortiqcha ZnO dan in-situ hosil bo'ladigan i-ZDMA aynan shu vazifani bajargan va EPDM zarrachalarining o'rtacha o'lchamini 260–280 nm gacha kamaytirgan hamda qattqlik bilan zarbaga chidamlilik o'rtasida muvozanat bergan [9].

Ushbu guruhning uchinchi sinfdan printsiptial farqi shundaki, uning vakillari jarayon oxirida mobillikni yo'qotadi va tizimdan chiqib keta olmaydi. Ya'ni ular qayta ishlash bosqichida plastifikatorga o'xshash rol o'ynasa-da, ekspluatatsiya bosqichida butunlay boshqa xatti-harakat namoyon qiladi. Tasnifda bu holat “mobillikning bog'lanishi” mezon sifatida qayd etildi.

V guruh. Qotiruvchi tizim komponentlari. Ikkinchi yordamchi guruhga qotiruvchi tizim komponentlari — fenol-formaldegid tipidagi smolalar, peroksidlar, oltingugurt tizimi hamda faollashtiruvchilar kiradi. Ular formulada kichik ulushni egallasa-da, aralashtirish haroratida eriydi yoki suyuqlanadi va EPDM fazaga selektiv ravishda o'tadi. Nikolini va hammualliflar qotiruvchi agent turining o'zi morfologiya evolyutsiyasini boshqarishini, ya'ni ayni kimyoviy formula uchun ham turlicha mikrostruktura hosil bo'lishi mumkinligini ko'rsatgan [8].

Bu guruhning o'ziga xos jihati shundaki, komponentlarning bir qismi reaksiyada sarflanadi va mobillikni yo'qotadi, qolgan qismi esa past molekulyar qoldiq sifatida tizimda saqlanib, uchinchi sinfga xos xatti-harakat namoyon qilishi mumkin. Shu sababli qotiruvchi tizimni faqat “reaksion qo'shimcha” deb qarash yetarli emas: uning qoldiq ulushi migratsiya balansiga qo'shiladi.

Yuqorida ajratilgan uchta asosiy sinfnin tayanch vakillari — PP, EPDM va DEHP — beshta mezon bo'yicha qiyoslandi. Natijalar 2-jadvalda keltirilgan.

2-jadval. PP, EPDM va DEHP ning funksional tasnifi

Tasnif parametri	PP	EPDM	DEHP (DOP)
Kimyoviy sinf	Yarim kristalli termoplastik polyolefin	Dienli elastomer	Ftalat efir turidagi past molekulyar plastifikator
Jarayondagi mobil holat	Qizdirilganda suyuqlangan uzluksiz faza	Yumshagan/elastik-viskoz reaktiv dispers faza	Xona haroratida ham suyuq, jarayonda erkin mobil qo'shimcha
Asosiy texnologik vazifa	Matritsa hosil qilish, oqimchanlik va qayta ishlanuvchanlikni ta'minlash	Elastiklik, energiya so'rish va selektiv tarmoqlanish	Qovushqoqlikni pasaytirish, yumshatish va fazalararo harakatchanlikni oshirish
Yakuniy morfologiyadagi roli	Ko'pincha uzluksiz faza	Ko'pincha mayda tarmoqlangan zarrachalar fazasi	Ko'proq elastomer/interfeys tomon moyil mobil komponent
Afzalliklari	Qattqlik, shakl saqlash, termoplastik qayta ishlanish	Zarbaga chidamlilik, qayishqoqlik, muhrlovchi xossalari	Ishlov berishni yengillashtiradi, qattqlikni pasaytiradi
Cheklovlari	Ortiqcha kristallik mo'rtlikni oshirishi mumkin	Qotirish rejimi noto'g'ri bo'lsa koalesensiya kuchayadi	Migratsiya, eksudatsiya va sanitariya cheklovlari xavfi mavjud



Beshala funksional guruhning mobil holati, jarayondan keyingi taqdiri, ustun lokalizatsiyasi va migratsiya riski bo'yicha umumlashtirilgan matritsasi 3-jadvalda berilgan. Ushbu matritsa tasnifning yakuniy ishchi shakli hisoblanadi.

3-jadval

Funksional guruhlarning mobillik, lokalizatsiya va migratsiya riski bo'yicha matritsasi

Funksional guruh	Mobil holatning jarayondan keyingi taqdiri	Ustun lokalizatsiya	Migratsiya a riski
I. Matritsa hosil qiluvchi suyuqlangan ingredient (PP)	Kristallanadi, mobillik qaytmas yo'qoladi	Uzluksiz faza	Amalda yo'q
II. Selektiv vulkanizatsiyalanuvchi elastomer-dispers ingredient (EPDM)	Tarmoqlanadi, mobillik keskin va qaytmas kamayadi	Dispers faza	Juda past
III. Past molekulyar mobil plastifikator (DEHP)	Mobil holatda qolaveradi	Amorf sohalar, elastomer faza va interfeys	Yuqori
IV. Interfeys-faol reaktiv komponent (i-ZDMA tipidagi)	Bog'lanadi, mobillik yo'qoladi	Fazalararo chegara	Past
V. Qotiruvchi tizim va uning qoldiqlari	Qisman sarflanadi, qisman past molekulyar qoldiq sifatida qoladi	Elastomer fazasi	O'rtacha, qoldiq ulushiga bog'liq

3-jadvaldagi matritsadan kelib chiqib, suyuq yoki suyuqlangan ingredientni baholashning ketma-ket tartibi shakllantirildi: (1) komponent qayta ishlash tugagandan keyin ham mobil qoladimi; (2) agar mobil qolsa, u qaysi fazada to'planadi; (3) to'plangan fazada qaysi xossani — shishasimon o'tish haroratini, kristallik darajasini yoki modulni — o'zgartiradi; (4) bu o'zgarish maqsadli xossaga foydalimi yoki ziyonlimi; (5) mobil fraksiyani kamaytirish yoki uni interfeysga bog'lash imkoniyati bormi. Ushbu besh savolga javob ingredientning yuqoridagi beshta guruhdan qaysi biriga tegishli ekanini va formulada qanday ulushda ishlatilishi mumkinligini aniqlaydi.

Tanlangan mezonlar bo'yicha olingan yana bir natija shundaki, bir xil ingredient turli texnologik marshrutda turli guruhga tushishi mumkin. Masalan, qotiruvchi tizim komponenti to'liq sarflansa IV guruhga yaqinlashadi, qoldiq ulushi katta bo'lsa III guruhga siljiydi. Shuning uchun tasnif statik ro'yxat emas, balki texnologik rejimga bog'liq dinamik joylashuv sifatida talqin qilinishi kerak.

MUHOKAMA

Taklif etilgan tasnif PP va EPDM tizimlarida ingredientlarni faqat "asosiy polimer" va "qo'shimcha" tarzida ajratish yetarli emasligini ko'rsatadi. Amalda PP va EPDM ikkalasi ham qayta ishlash zonasida suyuqlangan yoki yuqori mobillikka ega holatda ishtirok etadi, biroq yakuniy morfologiyada ularning roli tubdan farq qiladi: PP uzluksiz matritsa va qayta ishlanuvchan karkasni beradi, EPDM esa selektiv ravishda tarmoqlangan energiya so'ruvchi fazaga aylanadi. Past molekulyar suyuq ingredient esa ushbu ikki faza o'rtasidagi dinamik muvozanatni o'zgartiruvchi uchinchi faol omil sifatida ishlaydi [3–6]. Taklif etilgan tasnifning mexanistik asosi mobillikning vaqt bo'yicha evolyutsiyasidan iborat. Aralashtirish zonasida uchala asosiy komponent ham u yoki bu darajada harakatchan bo'ladi, biroq jarayon tugagach ularning yo'llari ajraladi: PP kristallanib qotadi, EPDM tarmoqlanib mustahkamlanadi, DEHP esa mobil holatda qolaveradi. Aynan shu ajralish nuqtasi tasnifning asosiy chegarasini beradi va nima uchun kimyoviy sinf bo'yicha ajratish yetarli emasligini tushuntiradi: kimyoviy jihatdan juda yaqin ikki modda mobillik taqdiri bo'yicha butunlay boshqa guruhga tushishi mumkin [2, 5].



Shundan kelib chiqib, plastifikator yoki ishlov berish moyini tanlashda uchta prinsip muhim: birinchisi, faza-selektivlik; ikkinchisi, migratsiya barqarorligi; uchinchisi, dinamik vulkanizatsiya reaksiyasiga xalaqit bermaslik. Agar suyuq qo'shimcha asosan EPDM yoki interfeysda lokalizatsiyalansa, material yumshoqroq va so'ndirish qobiliyati yuqoriroq bo'ladi, biroq PP matritsasining kristalligi va mustahkamligi nisbatan saqlanadi. Aksincha, qo'shimcha PP fazasini sezilarli plastifikatsiya qilsa, qayta ishlash osonlashgan bo'lsa ham, issiqlik barqarorligi va modul pasayishi ehtimoli kuchayadi [2, 3, 10].

Alohida e'tibor talab qiladigan masala - plastifikator bilan qotiruvchi tizim o'rtasidagi raqobat. Ikkala komponent ham EPDM fazasiga selektiv o'tadi, ya'ni bir xil hajmda joylashish uchun bellashadi. Plastifikator ulushi ortganda elastomer fazadagi qotiruvchi agentning lokal konsentratsiyasi suyultiriladi va tarmoqlanish zichligi pasayishi mumkin; tarmoqlanish zichligining pasayishi esa zarracha maydalanishini va yakuniy mexanik ko'rsatkichlarni yomonlashtiradi [4, 8]. Bu bog'liqlik keltirilgan manbalarda bevosita o'lchanmagan, ammo tarmoqlanish zichligi bilan morfologiya orasidagi tasdiqlangan aloqadan mantiqiy ravishda kelib chiqadi va tajribada tekshirilishi lozim bo'lgan ishchi gipoteza sifatida taklif etiladi. Shunga ko'ra, formulani loyihalashda plastifikator miqdorini qotirish rejimidan ajratib belgilash uslubiy xato hisoblanadi. To'g'riroq yondashuv - plastifikator ulushi va qotiruvchi tizim dozasi birgalikda optimallashtirish, ya'ni ularni bitta bog'langan parametrlar juftligi sifatida qarashdir.

DEHP yoki DOP ushbu nuqtai nazardan ilmiy jihatdan qulay "model plastifikator" hisoblanadi: u past molekulyar, harakatchan va migratsiyaga moyil bo'lgani uchun matritsa-kristallik, faza selektivligi va ekspluatatsion barqarorlik o'rtasidagi qarama-qarshilikni ravshan ko'rsatib beradi [1, 2, 10]. Biroq strukturaviy plastoelastik materiallar uchun u har doim ham optimal sanoat yechim emas. Adabiyotlar tahliliga ko'ra, uzoq xizmat muddati, sanitariya talablari yoki past migratsiya talab etilgan mahsulotlarda yuqori molekulyar, kam uchuvchan yoki reaktiv tipdagi plastifikatorlar, shuningdek paraffinik moylarning nazoratli variantlari ko'proq maqsadga muvofiq bo'lishi mumkin; bu xulosa maqolalarda keltirilgan migratsiya va faza lokalizatsiyasi ma'lumotlaridan chiqarilgan ilmiy inferensiyadir [1–3, 10]. Kristallik darajasi bilan migratsiya o'rtasidagi bog'liqlik tasnifga miqdoriy tayanch beradi. Yuqori kristallikdagi PP matritsa DEHP ni kuchliroq ushlab turadi va uning chiqib ketishini sekinlashtiradi [10]. Biroq bu yechimning teskari tomoni ham bor: kristallik ortishi bilan material mo'rtlashadi va zarbaga chidamlilik pasayadi. Demak, migratsiyani faqat kristallikni oshirish hisobiga cheklash strategiyasi elastiklikni qurbon qiladi, bu esa plastoelastik materialning asosiy maqsadiga ziddir. Shu qarama-qarshilikdan chiqish yo'li mobil fraksiyaning o'zini kamaytirishda ko'rinadi. Amalda bu uchta yo'nalishda hal qilinadi: yuqori molekulyar yoki reaktiv tipdagi plastifikatorlarga o'tish, mobil moddani interfeysga bog'lovchi komponentlardan foydalanish [9] hamda paraffinik moylarning nazorat qilinadigan variantlarini qo'llash [2, 3]. Uchala yo'l ham yuqorida ajratilgan IV guruhning roli ortishini anglatadi. Natijalar, shuningdek, ingredient tasnifini ishlab chiqarish strategiyasi bilan bevosita bog'lash kerakligini ko'rsatadi. Masalan, qayta ishlangan EPDM ishlatiladigan tizimlarda devulkanizatsiya yoki dinamik revulkanizatsiya bosqichlari qo'shimcha ravishda morfologiyani qayta tashkil qiladi [12]. Demak, suyuq ingredientlar tasnifi faqat kimyoviy nomlar ro'yxati bo'lib qolmasligi, balki "qaysi bosqichda – qaysi fazada – qaysi vazifani bajaradi?" degan savollarga javob beruvchi texnologik modelga aylanishi lozim.

Tadqiqotning cheklovlarini ochiq qayd etish zarur. Birinchidan, mazkur ish adabiyotlar tahliliga asoslangan nazariy-uslubiy tadqiqot bo'lib, unda mualliflarning o'z tajriba natijalari keltirilmagan; taklif etilgan tasnif tajribaviy tekshiruvga muhtoj model hisoblanadi. Ikkinchidan, tahlil PP, EPDM va DEHP uchligi bilan cheklangan, shu bois xulosalarni boshqa polimer juftliklariga ko'chirishda ehtiyotkorlik talab qilinadi. Uchinchidan, jadvallarda keltirilgan migratsiya riski baholari sifat xarakteriga ega va miqdoriy koeffitsiyentlar bilan almashtirilishi kerak.

Shundan kelib chiqib, kelgusi tadqiqotlarning ustuvor yo'nalishlari quyidagicha ko'rinadi: plastifikatorning fazalar o'rtasidagi taqsimlanish koeffitsiyentini eksperimental aniqlash;



plastifikator ulushi bilan tarmoqlanish zichligi o'rtasidagi raqobatni o'lchash; migratsiya tezligini turli harorat va kontakt muhitida baholash hamda ftalat bo'lmagan muqobillar uchun shu mezonlarni qiyoslash. Ushbu ma'lumotlar to'planganda taklif etilgan sifat tasnifi miqdoriy loyihalash vositasiga aylanishi mumkin.

Muhokama natijalari asosida suyuq ingredientlarni tanlashning amaliy mezonlari 4-jadvalda umumlashtirildi.

4-jadval

Suyuq ingredientlarni tanlashning texnologik mezonlari

Mezon	Baholash mazmuni	Amaliy tavsiya
Faza selektivligi	Qo'shimcha PP, EPDM yoki interfeysdan qaysi biriga ko'proq moyilligi	Maqsad elastiklik bo'lsa, EPDM va interfeys tomon selektivlik afzal
Reologik ta'sir	Aralashma qovushqoqligi, aralashish samarasi va maydalanish darajasi	Qovushqoqlikni pasaytirish zarur, ammo ortiqcha plastifikatsiyadan saqlanish kerak
Dinamik vulkanizatsiya moslik	Qotish reaksiyasi tezligi va tarmoqlanish zichligiga ta'sir	Qotiruvchi tizimni susaytiruvchi ingredientlardan ehtiyot bo'lish lozim
Migratsiya barqarorligi	Eksudatsiya, diffuziya va uzoq muddatli chiqib ketish xavfi	Uzoq xizmat uchun kam migratsiyalanuvchi yoki yuqori molekulyar variantlar ma'qul
Kristallik va mexanika	PP kristalligi, modul va issiqlik barqarorligiga ta'sir	PP ning tayanch funksiyasi saqlanadigan darajada formulatsiya tanlanadi

XULOSA

1. PP yoki EPDM asosidagi plastoelastik kompozitsion materiallarda suyuq va suyuqlangan ingredientlarni tasniflashning eng maqbul yo'li ularni kimyoviy nomiga ko'ra emas, balki texnologik vazifasi, mobil holati va fazaviy lokalizatsiyasiga ko'ra ajratishdir.

2. PP uzluksiz termoplastik matritsa hosil qiluvchi suyuqlangan ingredient sifatida, EPDM esa selektiv ravishda vulkanizatsiyalanadigan elastomerik-dispers komponent sifatida namoyon bo'ladi. Dinamik vulkanizatsiya va faza inversiyasi yakuniy mikrostrukturani belgilovchi asosiy mexanizmlardir [4–8].

3. DEHP (DOP) past molekulyar mobil plastifikator sifatida qovushqoqlikni pasaytiradi va yumshatish effektini beradi, biroq migratsiya, eksudatsiya va uzoq muddatli xossa yo'qotish xavfini oshiradi. Yuqori kristallikdagi PP matritsa ushbu xavfni qisman cheklashi mumkin [2, 10].

4. PP va EPDM tizimlari uchun eng samarali loyihalash strategiyasi – suyuq ingredientni EPDM va interfeys tomonga selektiv yo'naltirish, shu bilan birga PP fazasining kristalligi va tayanch mexanikasini saqlab qolishdir. Bu morfologiya, elastiklik va qayta ishlanuvchanlik o'rtasida muvozanat beradi [3, 6, 9, 11].

5. DEHP mazkur maqolada sanoat uchun universal tavsiya etiladigan ingredient sifatida emas, balki mobil plastifikatorlar sinfini mexanistik jihatdan tahlil qilish uchun tanlangan model modda sifatida qo'llandi. Shu jihatdan, u PP va EPDM tizimlarida suyuq ingredientlarni tanlash bo'yicha ilmiy mezonlarni aniqlashtirishga xizmat qiladi.

6. Uchta asosiy sinfdan tashqari ikkita yordamchi funksional guruh - interfeys-faol reaktiv komponentlar va qotiruvchi tizim komponentlari -ajratildi. Ularni farqlovchi asosiy belgi jarayon tugagandan keyin mobillikning saqlanishi yoki yo'qolishidir [8, 9].

7. Taklif etilgan tasnif adabiyotlar tahliliga asoslangan nazariy model bo'lib, uning miqdoriy mezonlari - taqsimlanish koeffitsiyenti, migratsiya tezligi va zarracha o'lchami - eksperimental tasdiqlashni talab qiladi. Kelgusi ishlar shu ko'rsatkichlarni o'lchash va tasnifni ftalat bo'lmagan plastifikatorlarga kengaytirishga qaratilishi maqsadga muvofiq.



ADABIYOTLAR

1. Hahladakis, J.N.; Velis, C.A.; Weber, R.; Iacovidou, E.; Purnell, P. An overview of chemical additives present in plastics: Migration, release, fate and environmental impact during their use, disposal and recycling. *Journal of Hazardous Materials*, 2018, 344, 179–199. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.10.014>.
2. Bocqué, M.; Voirin, C.; Lapinte, V.; Caillol, S.; Robin, J.-J. Petro-based and bio-based plasticizers: Chemical structures to plasticizing properties. *Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry*, 2016, 54(1), 11–33. <https://doi.org/10.1002/pola.27917>.
3. Sengers, W.G.F.; Wübbenhorst, M.; Picken, S.J.; Gotsis, A.D. Distribution of oil in olefinic thermoplastic elastomer blends. *Polymer*, 2005, 46(17), 6391–6401. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2005.04.094>.
4. Ellul, M.D.; Tsou, A.H.; Hu, W.G. Crosslink densities and phase morphologies in thermoplastic vulcanizates. *Polymer*, 2004, 45(10), 3351–3358. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2004.03.029>.
5. Litvinov, V.M. EPDM/PP Thermoplastic Vulcanizates As Studied by Proton NMR Relaxation: Phase Composition, Molecular Mobility, Network Structure in the Rubbery Phase, and Network Heterogeneity. *Macromolecules*, 2006, 39(25), 8727–8741. <https://doi.org/10.1021/ma061911h>.
6. Antunes, C.F.; Machado, A.V.; van Duin, M. Morphology development and phase inversion during dynamic vulcanisation of EPDM/PP blends. *European Polymer Journal*, 2011, 47(7), 1447–1459. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2011.04.005>.
7. Prut, E.V.; Erina, N.A.; Karger-Kocsis, J.; Medintseva, T.I. Effects of blend composition and dynamic vulcanization on the morphology and dynamic viscoelastic properties of PP/EPDM blends. *Journal of Applied Polymer Science*, 2008, 109(2), 1212–1220. <https://doi.org/10.1002/app.28158>.
8. Nicolini, A.; Rocha, T.L.A.C.; Jacobi, M.M. Dynamically vulcanized PP/EPDM blends: Influence of curing agents on the morphology evolution. *Journal of Applied Polymer Science*, 2008, 109(5), 3093–3100. <https://doi.org/10.1002/app.28322>.
9. Xu, C.; Zheng, Z.; Wu, W.; Wang, Z.; Fu, L. Dynamically vulcanized PP/EPDM blends with balanced stiffness and toughness via in-situ compatibilization of MAA and excess ZnO nanoparticles: Preparation, structure and properties. *Composites Part B: Engineering*, 2019, 160, 147–157. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.10.014>.
10. Prasannan, A.; Jhu, J.-J.; Wu, C.-J.; Lin, S.-Y.; Tsai, H.-C. Evaluation of the temperature and molecular weight dependent migration of di(2-ethylhexyl) phthalate from isotactic polypropylene composites. *Reactive and Functional Polymers*, 2017, 113, 70–76. <https://doi.org/10.1016/j.reactfunctpolym.2017.02.007>.
11. Song, L.-F.; Bai, N.; Shi, Y.; Wang, Y.-X.; Song, L.-X.; Liu, L.-Z. Effects of Ethylene-Propylene-Diene Monomers (EPDMs) with Different Moony Viscosity on Crystallization Behavior, Structure, and Mechanical Properties of Thermoplastic Vulcanizates (TPVs). *Polymers*, 2023, 15(3), 642. <https://doi.org/10.3390/polym15030642>.
12. Dong, H.; Zhong, J.; Isayev, A.I. Manufacturing Polypropylene (PP)/Waste EPDM Thermoplastic Elastomers Using Ultrasonically Aided Twin-Screw Extrusion. *Polymers*, 2021, 13(2), 259. <https://doi.org/10.3390/polym13020259>.
13. Costa, N.L.; Hiranobe, C.T.; Cardim, H.P.; Dognani, G.; Sanchez, J.C.; Carvalho, J.A.J.; Torres, G.B.; Paim, L.L.; Pinto, L.F.; Cardim, G.P.; et al. A Review of EPDM (Ethylene Propylene Diene Monomer) Rubber-Based Nanocomposites: Properties and Progress. *Polymers*, 2024, 16(12), 1720. <https://doi.org/10.3390/polym16121720>.
14. Coran, A.Y.; Patel, R. Rubber-Thermoplastic Compositions. Part I. EPDM-Polypropylene Thermoplastic Vulcanizates. *Rubber Chemistry and Technology*, 1980, 53(1), 141–150. <https://doi.org/10.5254/1.3535023>.
15. Goharpey, F.; Nazockdast, H.; Katbab, A.A. Relationship between the rheology and morphology of dynamically vulcanized thermoplastic elastomers based on EPDM/PP. *Polymer Engineering & Science*, 2005, 45(1), 84–94. <https://doi.org/10.1002/pen.20232>.