

“UZBEKISTAN GTL” MCHJ TEXNOLOGIK CHIQINDILARINI MODIFIKATSIYA QILISH ORQALI KOMPLEKS XOSSALARGA EGA BO‘LGAN POLIMER KOMPOZITSION MATERIALLAR OLISH VA QO‘LLASH

Ismatov Baxtiyor Axmad o‘g‘li

Qarshi davlat texnika universiteti tadqiqotchisi

Lutfullayev Sa’dulla Shukurovich

texnika fanlari nomzodi, professor

Qarshi davlat texnika universiteti

Qarshi sh., O‘zbekiston

ANNOTATSIYA

Ushbu maqolada «Uzbekistan GTL» MChJda Fischer–Tropsch texnologiyasi asosida sintetik suyuq uglevodorodlar ishlab chiqarish jarayonida hosil bo‘ladigan texnologik ikkilamchi materiallardan polimer kompozitsion materiallar olishda foydalanish imkoniyatlari ilmiy adabiyotlar tahlili asosida o‘rganildi. Tadqiqotning maqsadi yangi eksperimental natijalar olish, mavjud ilmiy ishlanmalarni tizimlashtirish, texnologik chiqindilarning fizik-kimyoviy tabiatini baholash va istiqbolli qayta foydalanish yo‘nalishlarini aniqlashdan iborat. Tahlil ikkilamchi materiallarni shartli ravishda ikki guruhga – “mineral tabiatli fraksiya” va “uglevodorodli fraksiya (FT-wax)” ga - ajratish maqsadga muvofiqligini ko‘rsatdi. Mineral fraksiya tarkibidagi SiO_2 , Al_2O_3 , CaO kabi oksidlar uni PP, PE va PVC uchun potensial to‘ldirgich sifatida ko‘rish imkonini beradi, biroq yakuniy natija zarracha o‘lchami, sirt energiyasi hamda silan, stearat kabi moddalar bilan modifikatsiyaga bog‘liq. Hindiston, Janubiy Afrika, Italiya, Turkiya, Koreya Respublikasi, Yaponiya va boshqa mamlakatlar tadqiqotlari tahlili asosida «Uzbekistan GTL» uchun texnologik chiqindilarni yagona massa sifatida emas, balki fizik-kimyoviy tabiatiga ko‘ra fraksiyalab, har bir fraksiya uchun mos texnologiyani tanlash zarur ekanligi taklif etildi.

Kalit so‘zlar: Uzbekistan GTL, Fischer–Tropsch, texnologik chiqindilar, FT-wax, perlit, mineral to‘ldirgich, polimer kompozit, PVC, PP, PE, sirt modifikatsiyasi, silan, kalsiy stearat, interfeys adgeziyasi, qayta ishlash.

АННОТАЦИЯ

В данной статье на основе анализа научной литературы рассмотрены возможности использования технологических вторичных материалов, образующихся при производстве синтетических жидких углеводородов по технологии Фишера–Тропша на ООО «Uzbekistan GTL», для получения полимерных композиционных материалов. Целью работы является получение новых экспериментальных данных, систематизация имеющихся научных разработок, оценка физико-химической природы технологических отходов и определение перспективных направлений их повторного использования. Анализ показал целесообразность условного разделения вторичных материалов на две группы — «фракцию минеральной природы» и «углеводородную фракцию (FT-wax)». Наличие в минеральной фракции оксидов SiO_2 , Al_2O_3 , CaO позволяет рассматривать её как потенциальный наполнитель для PP, PE и PVC, однако конечный результат зависит от размера частиц, поверхностной энергии, а также модификации силанами, стеаратами. На основе анализа исследований учёных Индии, ЮАР, Италии, Турции, Республики Корея, Японии и других стран для «Uzbekistan GTL» предлагается не перерабатывать отходы как единую массу, а фракционировать их по физико-химической природе с выбором соответствующей технологии для каждой фракции.

Ключевые слова: *Uzbekistan GTL, Фишер–Тропш, технологические отходы, FT-wax, перлит, минеральный наполнитель, полимерный композит, ПВХ, ПП, ПЭ, модификация поверхности, силан, стеарат кальция, адгезия на границе раздела, переработка.*

ABSTRACT

This article examines, on the basis of a scientific literature review, the possibilities of using technological secondary materials generated during the production of synthetic liquid hydrocarbons via Fischer–Tropsch technology at Uzbekistan GTL LLC for the manufacture of polymer composite materials. The aim of the study is not to obtain new experimental data, but to systematize existing scientific findings, assess the physicochemical nature of the technological waste, and identify promising directions for its reuse. The analysis showed that it is reasonable to conditionally divide the secondary materials into two groups - a "mineral-natured fraction" and a "hydrocarbon fraction (FT-wax)". The presence of oxides such as SiO_2 , Al_2O_3 and CaO in the mineral fraction allows it to be regarded as a potential filler for PP, PE and PVC, although the final outcome depends on particle size, surface energy, and modification with silanes, stearates or titanates. Based on

research from India, South Africa, Italy, Turkey, the Republic of Korea, Japan and other countries, it is proposed that, for Uzbekistan GTL, the technological waste should not be processed as a single mass but fractionated according to its physicochemical nature, with a suitable technology selected for each fraction.

Keywords: Uzbekistan GTL, Fischer–Tropsch, technological waste, FT-wax, perlite, mineral filler, polymer composite, PVC, PP, PE, surface modification, silane, calcium stearate, interfacial adhesion, recycling.

KIRISH

Sanoat ishlab chiqarishining rivojlanishi natijasida hosil bo'ladigan ikkilamchi materiallarni qayta ishlash va ularga qo'shimcha qiymat berish zamonaviy materialshunoslikning muhim yo'nalishlaridan biridir. Ayniqsa, mineral tarkibli sanoat chiqindilarini polimer kompozitsion materiallarda to'ldirgich sifatida qo'llash bir vaqtning o'zida ikki masalani - chiqindilarni utilizatsiya qilish va yangi funksional materiallar olish masalasini - hal qilish imkonini beradi.

Girge va hammualliflar sanoat chiqindilari bilan to'ldirilgan polimer kompozitlar bo'yicha sharhida fly ash, red mud, blast-furnace slag va Linz–Donawitz slag kabi materiallarning polimer matritsalarida qo'llanilishini tahlil qilgan. Mualliflar to'ldirgichning zarracha o'lchami, zarracha taqsimoti, solishtirma sirt maydoni va polimer bilan interfeys o'zaro ta'siri kompozit xossalarini belgilovchi muhim omillar ekanini ko'rsatgan [1].

Taurino, Bondioli va Messori tomonidan amalga oshirilgan keng qamrovli sharhda esa turli xil chiqindilarni polimer matritsalarida qayta ishlatishning ekologik va texnologik jihatlari tahlil qilingan. Mualliflar ko'plab chiqindi to'ldirgichlarda polimer bilan adgeziyani yaxshilash uchun sirtga oldindan ishlov berish talab qilinishini ta'kidlagan [2].

2025-yilda Muthukutti va hammualliflar tomonidan chop etilgan sharhda ham metall bo'lmagan sanoat chiqindilarini polimer kompozitlarda qo'llashning istiqbollari ko'rib chiqilib, chiqindilarni polimer matritsasiga kiritish aylana iqtisodiyoti va barqaror materiallar ishlab chiqarish uchun istiqbolli yo'nalish sifatida baholangan [3].

Mazkur ilmiy yo'nalish «Uzbekistan GTL» MChJ uchun ham dolzarbdir. Korxonada Fischer–Tropsch texnologiyasi asosida tabiiy gazdan sintetik suyuq uglevodorodlar ishlab chiqariladi. Bunday texnologik tizimlarda katalizator, adsorbent, filtr materiallari, mineral yordamchi materiallar va uglevodorodli yuqori molekulyar fraksiyalar bilan bog'liq ikkilamchi materiallar hosil bo'lishi mumkin.

Shu sababli ushbu maqolada asosiy e'tibor "polimer chiqindisini shunchaki yo'q qilish" emas, balki uning fizik-kimyoviy tabiatini aniqlash, mos polimer matritsasini tanlash, zarur bo'lsa sirtini modifikatsiyalash va funksional kompozit olish zanjiriga qaratiladi.

MATERIALLAR VA USLUBLAR

Mazkur ish eksperimental tadqiqot emas, balki ilmiy adabiyotlar asosidagi tahliliy tadqiqot sifatida olib borildi. Adabiyotlar tahlilida ilmiy maqolalarning eksperimental natijalari va xulosalari asos qilib olindi. Shu sababli maqolada UzGTLning konkret chiqindisi uchun laboratoriya tahlilisiz aniq kimyoviy tarkib yoki optimal retseptura qat'iy qiymat sifatida berilmaydi.

Tahlilning asosiy yo'nalishlari quyidagilardan iborat: sanoat chiqindilarining polimer kompozitlarda qo'llanilishi; mineral to'ldirgichlarning fizik-kimyoviy xususiyatlari; polimer-to'ldirgich interfeysi; sirt modifikatsiyasi; perlitning polimer kompozitlarda qo'llanilishi; Fischer-Tropsch waxning polietilen bilan o'zaro ta'siri; UzGTL sharoitida istiqbolli texnologik yo'nalishni tanlash.

Maqoladagi eng muhim metodologik yondashuv - barcha chiqindilarni "polimer chiqindisi" deb atamaslikdir. Texnologik ikkilamchi materiallarni shartli ravishda ikki guruhga ajratish mumkin: "mineral tabiatli fraksiya" va "uglevodorodli fraksiya".

Mineral tabiatli fraksiyaga mineral adsorbentlar, perlit asosidagi materiallar, filtr materiallarining mineral qoldiqlari yoki tarkibida silikat va metall oksidlari bo'lgan boshqa qattiq materiallar kirishi mumkin. Bunday materiallarda SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO kabi oksidlarning mavjudligi ehtimoli materialning kelib chiqishiga bog'liq.



1-rasm. "Uzbekistan GTL" MChJ dagi mineral tabiatli fraksiya namunasining tashqi ko'rinishi.

Uglevodorodli fraksiyaga Fischer-Tropsch wax va yuqori molekulali parafinli uglevodorodlar kirishi mumkin. Bu fraksiya mineral to'ldirgich sifatida emas, balki organik qo'shimcha sifatida baholanishi kerak.

Mineral materialning polimer kompozit uchun yaroqliligi faqat uning umumiy kimyoviy tarkibi bilan belgilanmasligi ilmiy manbalarni o'rganish mobaynida aniqlandi. Asosiy parametrlar sifatida quyidagilar qabul qilindi: kimyoviy tarkib; zarracha o'lchami; zarracha shakli; zarracha o'lchamlarining taqsimoti; solishtirma sirt maydoni; g'ovaklik; namlik; sirt energiyasi; sirtning gidrofil yoki gidrofob xususiyati; termik barqarorlik; kristall yoki amorf holat; polimer bilan adgeziya.

Shuning uchun UzGTL chiqindisini kompozit uchun xomashyo sifatida baholashdan oldin quyidagi uslublarni qo'llash maqsadga muvofiq deb belgilandi: XRF - elementar/oksid tarkibini; XRD - mineral fazalarni; FTIR - funksional guruhlarni; SEM - zarracha morfologiyasini; TGA/DSC - termik xususiyatlarni aniqlash uchun.

Olingan kompozit materiallar uchun tavsiya etilgan baholash uslublari qatoriga SEM (morfologik tuzilish va polimer – to'ldirgich o'zaro ta'siri), tensile/flexural/impact strength sinovlari (mexanik xossalar), TGA/DSC (termik barqarorlik) hamda suv shimuvchanligini aniqlash usullari kiritildi. Shu tarzda tanlangan uslublar keyingi bosqichlarda materiallarning polimer kompozitlar tarkibida qo'llanilish imkoniyatini baholash uchun asos bo'lib xizmat qiladi.

NATIJALAR VA MUHOKAMA

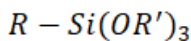
Girge va hammualliflar aynan zarracha o'lchami, o'lcham taqsimoti, solishtirma sirt maydoni va filler–polimer interfeysi sanoat chiqindilari bilan to'ldirilgan kompozitlarning xususiyatlarini belgilashini ko'rsatgan [1]. Bu xulosa UzGTL uchun muhim, chunki bir xil kimyoviy tarkibga ega bo'lgan ikkita mineral material zarracha o'lchami va sirt holati tufayli polimer bilan butunlay boshqa natija berishi mumkin.

Mineral to'ldirgich va polimer matritsasi o'rtasidagi o'zaro ta'sir kompozitning yakuniy xususiyatlarini belgilovchi asosiy omillardan biridir. Masalan, polipropilen (PP) nisbatan gidrofob polimer bo'lsa, ko'plab mineral oksidlar va silikatlarning yuzasi qutbli bo'ladi. Natijada "Polimer" – "Filler" interfeysida adgeziya yetarli bo'lmasa, yuklanish polimer matritsasi bilan mineral zarrachaga samarali uzatilmaydi. Buning oqibatida "yomon dispersiya" → "aglomeratsiya" → "mikrobo'shliqlar" → "kuchlanish konsentratsiyasi" → "xossalarning yomonlashuvi" kuzatilishi mumkin.

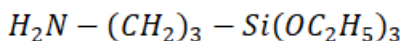
Taurino va hammualliflar chiqindi asosidagi to'ldirgichlarda sirtga oldindan ishlov berish ko'p hollarda polimer bilan adgeziyani yaxshilash uchun zarur ekanini ko'rsatgan [2]. Mineral to'ldirgichlarni modifikatsiyalashning asosiy maqsadi polimer va to'ldirgich o'rtasidagi interfeysni yaxshilashdir. Adabiyotlarda quyidagi usullar keng uchraydi: mexanik maydalash; quritish; termik aktivatsiya; stearin kislotasi bilan ishlov berish; kalsiy stearat yoki boshqa stearatlar; titanate coupling

agent; silan coupling agent; aminofunksional silanlar; malein angidrid bilan funkcionallashtirilgan polimerlar.

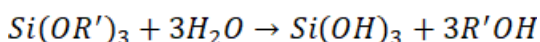
Silan birikmalarining umumiy ko‘rinishi:



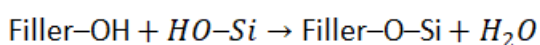
Masalan, APTES:



Suv ishtirokida silan gidrolizlanishi mumkin:



Keyinchalik mineral sirtidagi gidroksil guruhlari bilan kondensatsiya jarayoni sodir bo‘lishi mumkin:



Shunday qilib, mineral sirtning kimyoviy xususiyati o‘zgartiriladi.

Lee va hammualliflar silan bilan modifikatsiyalangan nanosilika/PP kompozitlarini tadqiq qilib, APTES bilan ishlov berilgan nanosilika eng yaxshi dispersiyalardan birini ko‘rsatganini va mexanik xususiyatlar yaxshilanganini aniqlagan [4].

Koreyalik Lee, Kim, Ryu, Baeck va Shim jamoasi esa silica/PP kompozitlarida epoksi, amino va metakriloksi funksional silanlarni solishtirgan. Ularning tadqiqotida quruq usulda amino-funksional silan bilan ishlov berilgan tizim eng yuqori mexanik va termik ko‘rsatkichlarni bergan [5].

2026-yilda Mochizuki, Shitamatsu, Nakaya va Ohshita tomonidan bajarilgan yangi tadqiqotda esa PP/silica kompozitlarida APTES va HMDS modifikatsiyalarining interfeys xususiyatlariga ta'siri o‘rganilgan. Mualliflar sirt funksional guruhlari polimer-to‘ldirgich o‘zaro ta'siri va mexanik xususiyatlarga sezilarli ta'sir qilishini ko‘rsatgan [6].

Mineral to‘ldirgichlarni steirik kislota yoki stearatlar bilan modifikatsiyalash ham keng qo‘llaniladi. Price va Ansari kalsiy karbonat sirtini steirik kislota bilan modifikatsiyalab, sirtning qutbliligini kamaytirish mumkinligini ko‘rsatgan. Ularning ishida filler sirt energiyasi bilan PP kompozitining mexanik xususiyatlari o‘rtasida bog‘liqlik aniqlangan [7].

Mareri va hammualliflar PP/kaolin tizimida sirt ishlovining ta'sirini o‘rganib, modifikatsiya zarrachalarning dispersiyasini yaxshilashi va zarba mustahkamligiga ijobiy ta'sir qilishi mumkinligini ko‘rsatgan [8].

Ersoy va Köse esa $CaCO_3$ /PP tizimida reaktiv va noreaktiv sirt ishlovlarini taqqoslab, sirt modifikatsiyasi fillerning gidrofobligini oshirishi va interfeys xususiyatlarini yaxshilashi mumkinligini aniqlagan [9].

Sanoat chiqindilaridan olingan mineral to'ldirgichlarning PP va PE bilan qo'llanilishi bo'yicha katta tajriba mavjud. Akinci, Akbulut va Yilmaz red mudni isotaktik PP uchun to'ldirgich sifatida o'rgangan. Tadqiqotda red mud miqdori ortishi bilan qattqlik oshgan, biroq tensile va flexural strength ayrim tarkiblarda pasaygan [10]. Zhang va hammualliflar red mud/PP kompozitlarining mexanik va termik xususiyatlarini o'rgangan [11].

Bu natijalar muhim bir ilmiy xulosani ko'rsatadi: mineral chiqindini polimerga qo'shishning o'zi kompozitning barcha mexanik xususiyatlarini avtomatik ravishda yaxshilamaydi. To'ldirgich miqdori ortishi bilan qattqlik yoki modul oshishi mumkin, lekin zarba mustahkamligi yoki cho'zilish kamayishi ehtimoli ham mavjud.

Fly ash sanoat chiqindilarining polimer kompozitlarda eng ko'p o'rganilgan turlaridan biridir. 2024-yilda PE/fly ash tizimini o'rgangan tadqiqotchilar fly ash qo'shilgan polietilen asosidagi materiallarda mexanik xususiyatlar va kristallik o'zgarishini ko'rsatgan [12]. Caban va Gnatowski HDPE/fly ash kompozitlarini 5, 10 va 15 wt.% fly ash bilan o'rganib, fly ashning polimer strukturasiga va termik xususiyatlariga ta'sirini ko'rsatgan [13]. Ge va hammualliflar esa waste PP/fly ash/waste stone powder kompozitlarini tayyorlab, sanoat chiqindilarini birgalikda qayta ishlatish imkoniyatini ko'rsatgan [14]. 2023-yilda PP/fly ash kompozitlarini o'rgangan tadqiqotda fly ash qo'shilishi ayrim mexanik ko'rsatkichlarni yaxshilaganini qayd etilgan [15].

Mineral to'ldirgichni faqat uning o'zini modifikatsiyalash shart emas. Ba'zan polimerning o'zi compatibilizer sifatida funksionallashtiriladi, masalan, malein anhidrid bilan funksionallashtirilgan polipropilen (PP-g-MA). Fly ash/PP tizimini o'rgangan tadqiqotchilar PPga malein anhidrid funksional guruhlarini kiritish orqali interfeys xususiyatlarini boshqarishni o'rgangan [16]. Bu yondashuv kelajakda UzGTL mineral fraksiyasi uchun ham ko'rib chiqilishi mumkin. Biroq birinchi bosqichda qaysi modifikator eng samarali ekanini laboratoriya tajribasisiz qat'iy belgilash to'g'ri emas.

Perlit - asosan aluminosilikat tabiatli mineral material bo'lib, g'ovak strukturasiga va past zichligi sababli issiqlik izolyatsiyasi hamda kompozit materiallar uchun qiziqarli to'ldirgich hisoblanadi. 2024-yilda Çavdaroğlu, Olgun va Altuncu expanded perlit/EPDM kompozitlarini o'rgangan. Ular 15 phr expanded perlit qo'shilganda qattqlik va crosslink density oshganini, shuningdek issiqlik o'tkazuvchanligi kamayganini ko'rsatgan [17]. 2025-yilda Yeşilyurt PP kompozitlarida oddiy perlit, expanded perlit, silanlangan expanded perlit va talcni taqqoslagan [18].

Bu tadqiqot UzGTL uchun ayniqsa qiziq, chunki agar korxonada perlitga oid texnologik qoldiq mavjud bo'lsa, uning polimer matritsasida mineral to'ldirgich

sifatida ishlatilishi ilmiy jihatdan asoslanishi mumkin. Biroq bu yerda muhim farq mavjud: tijorat perlitining xossalari UzGTL texnologik perlit qoldig'ining xossalariga teng bo'la olmaydi. Shuning uchun aynan UzGTL materialining tarkibi va sirt xususiyatlari alohida aniqlanishi kerak.

Mineral to'ldirgichning zarracha o'lchami kamaygani sari uning solishtirma sirt maydoni oshadi. Nazariy jihatdan:

$$A_s \sim \frac{1}{d},$$

bu yerda: A_s — solishtirma sirt maydoni; d — xarakterli zarracha diametri.

Demak, zarracha o'lchamining kamayishi polimer bilan kontakt yuzasini oshirishi mumkin. Biroq zarracha juda mayda bo'lsa, Van-der-Vaals kuchlari va sirt energiyasi sababli aglomeratsiya ham kuchayishi mumkin. Shuning uchun ham "kichik zarracha har doim yaxshi kompozit" deb aytish noto'g'ri bo'ladi. Optimal natija zarracha o'lchami, dispersiya, sirt modifikatsiyasi va polimer turining birgalikdagi ta'siriga bog'liq. Švehlová va Polouček PP/talc kompozitlarida filler miqdori va zarracha o'lchamining mexanik xossalarga ta'sirini ko'rsatgan [19]. Racca va hammualliflar PP/talc kompozitlarida masterbatch orqali kiritilgan va kichikroq zarrachali fillerning dispersiyasi yaxshiroq bo'lishini ko'rsatgan [20].

Maqoladagi ikkinchi asosiy yo'nalish - Fischer–Tropsch wax hisoblanadi. Bu materialni mineral to'ldirgich bilan bir xil mexanizm orqali baholash ilmiy jihatdan noto'g'ri. FT-wax yuqori molekulali parafinli uglevodorodlar fraksiyasi bo'lib, uning asosiy ahamiyati polietilen kabi polimerlar bilan fizik aralashma hosil qilish va ularning qayta ishlanish xususiyatlariga ta'sir qilish bilan bog'liq.

Mhlabeni, Ngobese, Ramjee va Focke Janubiy Afrikaning University of Pretoria jamoasi bilan LLDPE va FT-wax aralashmalarini o'rgangan [21]. Ular DSC va reologik tadqiqotlar orqali FT-wax va LLDPE eritilgan holatda yuqori darajada moslashishini ko'rsatgan. Ularning xulosasiga ko'ra, eritilgan holatda tizim amalda miscible, qattiq holatda esa ikki fazali va qisman kompatibil morfologiyaga ega bo'ladi [21].

Mhlabeni va hammualliflar FT-wax/LLDPE aralashmalarining zero-shear viscosity xususiyatlarini o'rgangan. Ular Friedman–Porter aralashtirish tenglamasidan foydalangan:

$$\eta = (w_p \eta_p^{1/\alpha} + w_w \eta_w^{1/\alpha})^\alpha$$

bu yerda: η - aralashmaning qovushqoqligi; w_p - polimer massaviy ulushi; w_w - wax massaviy ulushi; η_p - polimer qovushqoqligi; η_w - wax qovushqoqligi; α - empirik aralashtirish parametri.

Tadqiqotda $\alpha = 3,4$ qiymati zero-shear viscosity ma'lumotlarini tavsiflashda qo'llangan [21]. Bu formula UzGTL uchun hozircha hisob-kitob qilish vositasi sifatida emas, balki FT-waxning PE bilan fizik aralashish mexanizmini tushuntiruvchi ilmiy asos sifatida ahamiyatlidir.

Mhlabeni, Ramjee, López, Díaz-Díaz, Artiaga va Focke tomonidan keyingi tadqiqotda FT-wax/high-flow LLDPE tizimi chuqurroq o'rganilgan [22]. Tadqiqotda 170 °C da reologik xususiyatlar ham o'rganilgan. FT-wax miqdori oshishi bilan: LLDPE kristallanishi kechikishi; umumiy kristallik kamayishi; PE-rich fazadagi kristallitlar o'lchami kamayishi kuzatilgan. Mualliflar FT-wax va LLDPE eritilgan holatda samarali aralashishini, qattiq holatda esa qisman kompatibil bo'lishini xulosa qilgan [22].

Bu natija «Uzbekistan GTL» uchun alohida ahamiyatga ega: agar FT-wax texnologik ikkilamchi material sifatida olinadigan bo'lsa, uni mineral filler emas, PE/LLDPE tizimi uchun funksional processing aid sifatida o'rganish ilmiy jihatdan mantiqiyroq.

Yuqorida tahlil qilingan tadqiqotlarning qisqacha qiyosiy ko'rinishi quyidagi jadvalda keltirilgan:

1-jadval

Olimlar	Davlat	Tadqiqot obyekti	Asosiy xulosa
A. Girge, V. Goel, G. Gupta va boshq. [1]	Hindiston va xalqaro jamoa	Sanoat chiqindilari / polimer kompozitlar	Chiqindilar mineral filler sifatida qo'llanishi; zarracha o'lchami, sirt va interfeys muhim
R. Taurino, F. Bondioli, M. Messori [2]	Italiya	Turli chiqindi / polimer kompozitlar	Sirtga oldindan ishlov berish ko'p hollarda adgeziyani yaxshilaydi
G.P. Muthukutti va boshq. [3]	Tailand/Hindiston va xalqaro jamoa	Metall bo'lmagan sanoat chiqindilari	Industrial waste filler kompozitlar aylana iqtisodiyoti uchun istiqbolli
O.H. Lin, H.M. Akil, Z.A.M. Ishak [4]	Malayziya	Silanlangan nanosilika / PP	APTES dispersiya va mexanik xossalarga ijobiy ta'sir ko'rsatgan
M. Lee, Y. Kim, H. Ryu va boshq. [5]	Janubiy Koreya	Silika / PP	Amino-silan bilan ishlov berish yaxshi mexanik va termik natija bergan
Y. Mochizuki, K. Shitamatsu, T. Nakaya, J. Ohshita [6]	Yaponiya	Modifikatsiyalangan silika / PP	Sirt funksional guruhlari interfeys va kristallanishga kuchli ta'sir qiladi

Olimlar	Davlat	Tadqiqot obyekti	Asosiy xulosa
G.J. Price, D.M. Ansari [7]	Buyuk Britaniya	Modifikatsiyalangan CaCO_3 / PP	Stearik kislota sirt energiyasini o'zgartirib, mexanik xossalarga ta'sir qiladi
P. Mareri va boshq. [8]	Fransiya	Kaolin / PP	Sirt ishlovi dispersiya va zarba xossalarini yaxshilashi mumkin
O. Ersoy, H. Köse [9]	Turkiya	CaCO_3 / PP	Reaktiv va noreaktiv sirt modifikatsiyasi interfeysni o'zgartiradi
A. Akinci, H. Akbulut, F. Yilmaz [10]	Turkiya	Red mud / PP	Filler ortishi qattqlikni oshirgan, ayrim mexanik ko'rsatkichlar pasaygan
Y. Zhang va boshq. [11]	Xitoy	Red mud / PP	—
S. Satapathy, A. Nag, G.B. Nando [12]	Hindiston	Fly ash / waste PE	Fly ash miqdori va modifikatsiya kompozit xossalariga ta'sir qiladi
R. Caban, A. Gnatowski [13]	Polsha	Fly ash / HDPE	Fly ash PEning struktura va termik xususiyatlarini o'zgartiradi
J.C. Ge va boshq. [14]	Janubiy Koreya	Waste PP / fly ash/stone powder	Bir nechta chiqindini bir kompozitda qayta ishlatish mumkin
PP/fly ash tadqiqotchilari [15]	Yevropa	PP / fly ash	Fly ash ayrim mexanik xususiyatlarni yaxshilashi mumkin
M. Ferreira va boshq. [16]	Xalqaro	Fly ash / PP / MAPP	Malein anhidrid funksionallashtirilgan PP interfeysni boshqarish vositasi
C. Çavdaroğlu, U. Olgun, E. Altuncu [17]	Turkiya	Expanded perlite / EPDM	Perlit qattqlik, termik barqarorlik va izolyatsiyani yaxshilagan
A. Yeşilyurt [18]	Turkiya	Perlite / expanded perlite / silanized perlite/PP	Perlit PP kompozitlari uchun istiqbolli mineral filler

Olimlar	Davlat	Tadqiqot obyekti	Asosiy xulosa
E. Švehlová, E. Polouček [19]	Chexiya	Talc / PP	Filler miqdori va zarracha o'ldhami mexanik xossalarga kuchli ta'sir qiladi
T. Mhlabeni, C. Ngobese, S. Ramjee, W. Focke [21]	Janubiy Afrika	FT-wax / LLDPE	FT-wax eritmada LLDPE bilan mos; processing aid sifatida istiqbolli
T. Mhlabeni va boshq. [22]	Janubiy Afrika/Ispaniya	FT-wax / high-flow LLDPE	Wax kristallanish va reologik xususiyatlarni o'zgartiradi

Adabiyotlar tahliliga ko'ra, «Uzbekistan GTL» sharoitida eng maqbul yondashuv - barcha texnologik ikkilamchi materiallarni bitta kompozitga birlashtirish emas, balki ularni fraksiyalab qayta foydalanishdir. Agar chiqindi tarkibi silikat/aluminosilikat mineral komponentlarga boy bo'lsa, quyidagi sxema istiqbolli hisoblanadi:

Chiqindi → quritish → maydalash → fraksiyalash → sirt modifikatsiyasi → PP/PVC/PE

Bu yo'nalishda birinchi navbatda PP va PVCni o'rganish maqsadga muvofiq, chunki mavjud adabiyotlarda PP/silica, PP/fly ash, PP/red mud, PP/perlite va PVC/mineral filler tizimlari bo'yicha yetarlicha ilmiy tajriba mavjud.

FT-wax uchun quyidagi yo'nalish tavsiya etiladi:

FT-wax → tozalash → fraksiyalash → LLDPE/PE bilan melt-blending

Bu taklif Mhlabeni va hammualliflarning FT-wax/LLDPE bo'yicha ishlari bilan bevosita asoslanadi [21, 22]. Bu yerda UzGTL uchun juda qiziq texnologik jihat mavjud: UzGTLning o'zi Fischer–Tropsch texnologiyasidan foydalanadi, demak korxonada hosil bo'ladigan FT-waxning o'ziga xos xususiyatlarini boshqa polimer waxlaridan farqli ravishda o'rganish mumkin. Pretoria universiteti tadqiqotchilari esa FT-waxni aynan LLDPE bilan aralashtirib, uning qovushqoqligi, erish xususiyati, kristallanishi, morfologiyasi va processing aid sifatidagi imkoniyatini o'rgangan [21, 22].

Tadqiqotda foydalaniladigan materiallarni tavsiflash uchun, avvalo, mineral chiqindi, FT-wax va ular asosida olinadigan kompozit materiallarning asosiy fizik-kimyoviy va mexanik xususiyatlarini aniqlash zarur. Mineral chiqindi uchun uning elementar va mineral tarkibi XRF hamda XRD usullari yordamida aniqlanishi, funksional guruhlar FTIR tahlili orqali o'rganilishi, zarrachalar morfologiyasi SEM yordamida baholanishi lozim. Shuningdek, zarracha o'ldhami, namlik miqdori,

solishtirma sirt maydoni va termik barqarorligi TGA usuli orqali aniqlanishi muhim hisoblanadi.

FT-wax uchun erish va kristallanish haroratlari, molekulyar massa taqsimoti, viskozligi hamda kimyoviy tuzilishi FTIR usuli yordamida aniqlanishi mumkin. Bundan tashqari, uning termik va fazaviy xususiyatlarini baholash uchun TGA/DSC tahlillaridan foydalanish maqsadga muvofiq. Olingan kompozit materiallar uchun esa SEM yordamida morfologik tuzilish va polimer-to'ldirgich o'zaro ta'siri o'rganiladi. Materialning cho'zilishdagi mustahkamligi (tensile strength), egilishdagi mustahkamligi (flexural strength) va zarbiy mustahkamligi (impact strength) aniqlanadi. Shuningdek, kompozitlarning termik barqarorligi TGA/DSC tahlillari hamda ekspluatatsion xususiyatlaridan biri bo'lgan suv shimuvchanligi orqali baholanadi.

Mazkur maqola keyingi ilmiy ishlar uchun uchta asosiy yo'nalishni shakllantiradi: 1) UzGTL mineral chiqindisini XRF, XRD, FTIR, SEM va TGA usullari yordamida tavsiflash; 2) mineral chiqindi asosida "UzGTL mineral filler" + PP yoki "UzGTL mineral filler" + PVC kompozitlarini olish va o'rganish; 3) "UzGTL FT-wax" + LLDPE tizimida reologiya, DSC, TGA va mexanik xususiyatlarni o'rganish. Shunday qilib, keyingi maqolalar mos ravishda adabiyotlar tahlili va ilmiy asos, UzGTL chiqindisining fizik-kimyoviy tavsifi, mineral filler/polimer kompoziti hamda FT-wax/LLDPE tizimiga bag'ishlanishi mumkin.

Texnologik ikkilamchi materiallarni qayta ishlashning korxona uchun bir nechta potensial afzalliklari mavjud. Birinchidan, chiqindini utilizatsiya qilish bilan bog'liq xarajatlarni kamaytirish imkoniyati paydo bo'ladi. Ikkinchidan, chiqindi tarkibidagi foydali mineral yoki uglevodorod komponentlardan ikkilamchi xomashyo sifatida foydalanish mumkin. Uchinchidan, mahalliy polimer sanoati uchun yangi to'ldirgich yoki funksional qo'shimcha manbai shakllanishi mumkin. To'rtinchidan, chiqindini qayta ishlash korxonaning aylana iqtisodiyoti tamoyillariga mosligini oshiradi. Beshinchidan, agar mahalliy xomashyo asosida talab qilinadigan xususiyatlarga ega kompozit material ishlab chiqilsa, import qilinadigan ayrim mineral filler yoki processing aidlarning o'rnini bosish imkoniyati paydo bo'lishi mumkin. Shu bilan birga, iqtisodiy foyda faqat chiqindini kompozitga qo'shish bilan avtomatik ravishda yuzaga kelmaydi - quritish, maydalash, fraksiyalash, modifikatsiya, transport va nazorat xarajatlari ham hisobga olinishi kerak.

Ilmiy adabiyotlar shuni ko'rsatadiki, sanoat chiqindilarini polimer kompozitlarda qo'llash bo'yicha katta tajriba mavjud bo'lsa-da, har bir chiqindining individual xususiyatlari alohida baholanishi kerak. Masalan, red mud/PP tizimida filler miqdorining oshishi qattiqlikni oshirgan bo'lsa-da, ayrim mexanik

ko'rsatkichlarni pasaytirgan [10]. Fly ash/PE tizimlarida esa filler miqdori va zarracha xususiyatlari polimerning kristallik va mexanik xususiyatlariga ta'sir qilgan [12, 13]. Silica/PP tizimlarida sirt modifikatsiyasi interfeysni yaxshilashi ko'rsatilgan [4–6]. Perlit asosidagi kompozitlarda esa termik va mexanik xususiyatlarning yaxshilanishi kuzatilgan [17, 18]. FT-wax/LLDPE tizimlarida esa vaziyat butunlay boshqacha: wax qattiq mineral filler emas, balki polimerning reologik va kristallanish xususiyatlarini o'zgartiruvchi organik qo'shimcha sifatida ishlaydi [21, 22].

Demak, «UzGTL chiqindisini polimerga qo'shish» degan umumiy yondashuv o'rniga quyidagi ketma-ketlikni qo'llash ilmiy jihatdan to'g'riroqdir: "Qaysi chiqindi? → qanday kimyoviy tabiatga ega? → qaysi polimer bilan mos? → sirtiga ishlov kerakmi? → qanday funksional vazifani bajaradi?"

XULOSA

Ilmiy adabiyotlar tahlili «Uzbekistan GTL» MChJ dagi mavjud texnologik chiqindilarni polimer kompozitsion materiallarda qayta foydalanish uchun yetarli ilmiy asos mavjudligini ko'rsatadi. Biroq barcha texnologik chiqindilarni yagona "polimer chiqindisi" sifatida ko'rish to'g'ri emas - ularning mineral va uglevodorodli komponentlarini fizik-kimyoviy tabiatiga ko'ra alohida baholash zarur.

Mineral fraksiyalar tarkibidagi silikat va metall oksidlari ularni PP, PE va PVC kabi polimerlar uchun potensial to'ldirgich sifatida ko'rib chiqish imkonini beradi. Bunda zarracha o'lchami, sirt maydoni, namlik, mineral tarkib, sirt energiyasi va polimer bilan adgeziya asosiy parametrlar hisoblanadi. Ilmiy tadqiqotlar mineral fillerlarning sirtini silanlar, stearatlar yoki boshqa modifikatorlar yordamida o'zgartirish polimer–filler interfeysini yaxshilashi mumkinligini ko'rsatadi [4-9]. Perlit asosidagi tadqiqotlar esa bunday aluminosilikat materiallardan polimer kompozitlarda foydalanish mumkinligini ko'rsatmoqda [17, 18].

Fischer–Tropsch wax uchun esa boshqa yondashuv talab etiladi. Mhlabeni, Ramjee, Focke va hammualliflarning Janubiy Afrika va Ispaniyadagi tadqiqotlari FT-waxning LLDPE bilan eritilgan holatda yuqori moslashuvini va qattiq holatda qisman kompatibil xususiyatini ko'rsatgan [21, 22].

Shu asosda «Uzbekistan GTL» uchun eng maqbul boshlang'ich ilmiy-texnologik yo'nalish sifatida texnologik ikkilamchi materiallarni avval fraksiyalash, mineral fraksiyani polimer kompozitlar uchun to'ldirgich sifatida, FT-waxni esa PE/LLDPE tizimlarida funksional processing aid sifatida alohida o'rganish taklif etiladi. Mazkur yondashuv yangi texnologik jarayonni birdaniga yaratishni emas, balki mavjud materiallarning fizik-kimyoviy tabiatini aniqlashdan boshlanadi. Shu

sababli u «Uzbekistan GTL» sharoitida bosqichma-bosqich amalga oshirilishi mumkin bo'lgan ilmiy yo'nalish sifatida qaraladi.

ADABIYOTLAR

- [1] Girge A., Goel V., Gupta G., Fuloria D., Pati P.R., Sharma A., Mishra V.K. Industrial waste filled polymer composites – A review. *Materials Today: Proceedings*, 47, 2021, 2852–2863. DOI: 10.1016/j.matpr.2021.03.617.
- [2] Taurino R., Bondioli F., Messori M. Use of different kinds of waste in the construction of new polymer composites: review. *Materials Today Sustainability*, 21, 2023, 100298. DOI: 10.1016/j.mtsust.2022.100298.
- [3] Muthukutti G.P., Singh M.K., Palaniappan S.K., Vijayananth K., Rangappa S.M., Siengchin S. Value-added polymer composites using non-metallic industrial waste: A concise review. *Chemical Engineering Journal*, 512, 2025, 162344. DOI: 10.1016/j.cej.2025.162344.
- [4] Lin O.H., Akil H.M., Mohd Ishak Z.A. Surface-activated nanosilica treated with silane coupling agents/polypropylene composites: Mechanical, morphological, and thermal studies. *Polymer Composites*, 32, 2011, 1568–1583. DOI: 10.1002/pc.21190.
- [5] Lee M., Kim Y., Ryu H., Baek S.H., Shim S.E. Effects of Silane Coupling Agent on the Mechanical and Thermal Properties of Silica/Polypropylene Composites. *Polymer(Korea)*, 41(4), 2017, 599–609. DOI: 10.7317/pk.2017.41.4.599.
- [6] Mochizuki Y., Shitamatsu K., Nakaya T., et al. Effects of surface coupling agents on the mechanical properties of polypropylene/silica composites. *Polymer Journal*, 58, 2026, 729–734. DOI: 10.1038/s41428-026-01159-4.
- [7] Price G.J., Ansari D.M. Surface modification of calcium carbonates studied by inverse gas chromatography and the effect on mechanical properties of filled polypropylene. *Polymer International*, 53(4), 2004, 430–438. DOI: 10.1002/pi.1392.
- [8] Mareri P., Bastide S., Binda N., Crespy A. Mechanical behaviour of polypropylene composites containing fine mineral filler: Effect of filler surface treatment. *Composites Science and Technology*, 58(5), 1998, 747–752. DOI: 10.1016/S0266-3538(97)00156-5.
- [9] Ersoy O., Köse H. Comparison of the effect of reactive and nonreactive treatments on the dispersion characteristics of a calcium carbonate (calcite) filler in a polypropylene matrix composite. *Polymer Composites*, 41, 2020, 3483–3490. DOI: 10.1002/pc.25634.

[10] Akinci A., Akbulut H., Yilmaz F. Mechanical Properties of Cost-Effective Polypropylene Composites Filled with Red-Mud Particles. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 27, 2008. DOI: 10.1177/096739110801600705.

[11] Zhang Y., Zhang A., Zhen Z., et al. Red mud/polypropylene composite with mechanical and thermal properties. *Journal of Composite Materials*, 45, 2011, 2811–2816. DOI: 10.1177/0021998311401937.

[12] Satapathy S., Nag A., Nando G.B. Effect of electron beam irradiation on the mechanical, thermal, and dynamic mechanical properties of flyash and nanostructured fly ash waste polyethylene hybrid composites. *Polymer Composites*, 33, 2012, 109–119. DOI: 10.1002/pc.22140.

[13] Caban R., Gnatowski A. Analysis of the Impact of Waste Fly Ash on Changes in the Structure and Thermal Properties of the Produced Recycled Materials Based on Polyethylene. *Materials*, 17, 2024, 3453. DOI: 10.3390/ma17143453.

[14] Ge J.C., Lee E.S., Kim D.J., Kang J.H., Im I.T., Choi N.J. Preparation of Waste PP/Fly Ash/Waste Stone Powder Composites and Evaluation of Their Mechanical Properties. *Materials*, 16, 2023, 3687. DOI: 10.3390/ma16103687.

[15] Influence of fly ash on thermo-mechanical and mechanical behavior of injection molded polypropylene matrix composites. *Chemosphere*, 343, 2023, 140225. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2023.140225.

[16] Structure–fracture properties relationship for Polypropylene reinforced with fly ash with and without maleic anhydride functionalized isotactic Polypropylene as coupling agent. *Materials & Design*, 55, 2014, 85–92. DOI: 10.1016/j.matdes.2013.09.055.

[17] Çavdaroğlu C., Olgun U., Altuncu E. Use of expanded perlite as green filler for the preparation of EPDM-perlite rubber composites with improved thermal stability and insulation properties. *Polymer Composites*, 45, 2024, 12754–12772. DOI: 10.1002/pc.28665.

[18] Yeşilyurt A. Evaluation of Properties of Polypropylene Matrix Composites Reinforced With Perlite, Expanded Perlite, Silanized Expanded Perlite, and Talc Fillers. *Journal of Applied Polymer Science*, 142, 2025, e57695. DOI: 10.1002/app.57695.

[19] Švehlová V., Polouček E. Mechanical properties of talc-filled polypropylene. Influence of filler content, filler particle size and quality of dispersion. *Die Angewandte Makromolekulare Chemie*, 1994. DOI: 10.1002/apmc.1994.052140109.

[20] Racca A., et al. Composites Based on Polypropylene and Talc: Processing Procedure and Prediction Behavior by Using Mathematical Models. *Advances in Condensed Matter Physics*, 2018. DOI: 10.1155/2018/6037804.

[21] Mhlabeni T., Ngobese C., Ramjee S., Focke W. Rheological characterization of linear low-density polyethylene–Fischer–Tropsch wax blends. *Journal of Vinyl and Additive Technology*, 29(4), 2023/2024, 698–708. DOI: 10.1002/vnl.21984.

[22] Mhlabeni T., Ramjee S., López J., Díaz-Díaz A.-M., Artiaga R., Focke W. Thermal and Rheological Properties of Fischer–Tropsch Wax/High-Flow LLDPE Blends. *Macromolecular Materials and Engineering*, 309(8), 2024, 2300125. DOI: 10.1002/mame.202300125.

[23] Eteläaho P., Haveri S., Järvelä P. Comparison of the morphology and mechanical properties of unmodified and surface-modified nanosized calcium carbonate in a polypropylene matrix. *Polymer Composites*, 32, 2011, 464–471. DOI: 10.1002/pc.21065.

[24] Toughening of polypropylene with calcium carbonate particles. *Polymer*, 44(1), 2003, 261–275. DOI: 10.1016/S0032-3861(02)00769-3.

[25] Upadhyaya P., Nema A.K., Sharma C., Kumar V., Agrawal D.D., Kumar M., et al. Physicomechanical study of random polypropylene filled with treated and untreated nano-calcium carbonate: Effect of different coupling agents and compatibilizer. *Journal of Elastomers and Plastics*, 2013. DOI: 10.1177/0892705711433349.

[26] Effect of nanosized and surface-modified precipitated calcium carbonate on properties of CaCO₃/polypropylene nanocomposites. *Materials Science and Engineering: A*, 501, 2009, 87–93. DOI: 10.1016/j.msea.2008.09.060.

[27] Cabrera F.C. Eco-friendly polymer composites: A review of suitable methods for waste management. *Polymer Composites*, 2021. DOI: 10.1002/pc.26033.

[28] Nimmagadda V.K., Sarcar M.M.M., Koona R. Investigation of Dielectric Properties of Industrial Waste Reinforced Particulate Polymer Composites. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2014, 319741. DOI: 10.1155/2014/319741.