ISNN 3030-3907

2026
MAY
ISSUE - 5
VOLUME - 9

DEVELOPMENT OF SCIENCE

scientific journal



Development of science

Ilmiy jurnal

MAY 2026
Issue - 5, VOLUME – 9

ISSN 3030 -3907

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

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

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

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

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

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

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

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

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

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

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

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

ISSN 3030-3907

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

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

ISSN 3030-3907

ULTRA YUQORI MOLEKULYAR MASSALI POLIETILEN MATRITSALI KOMPOZITSION MATERIALLARNING OLINISHI, QO'LLANILISH SOHASI VA IMKONIYATLARI

Madaminov Nodirbek Zafarbek o'g'li
"Materialshunoslik va kimyo muhandisligi" kafedrasi assistenti, Andijon davlat texnika instituti, Andijon, O'zbekiston
E-mail: Madaminovnodir1993@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada ultra yuqori molekulyar massali polietilen (UHMWPE, СВМПЭ) asosli kompozitsion materiallarning sanoatda olinish-ishlab chiqarish metodlari, qo'llanilish sohalari, imkoniyatlari va ushbu materialga bag'ishlangan eng so'nggi olib borilgan ilmiy-amaliy tadqiqot ishlariga to'liq sharh berilgan. UHMWPE $3{,}5\cdot10^6$ – $9\cdot10^6$ g/mol molekulyar massaga ega bo'lib, yuqori zarbiy chidamlilik, kimyoviy bardoshlilik va yeyilishga qarshilik xossalari bilan tavsiflanadi. Materialning asosiy kamchiliklari - kimyoviy inertligi va nisbatan past mexanik mustahkamligi - tarkibga dispers nano-to'ldiruvchilarni (nano-ZrO_2, nano-Al_2O_3, MUNT, UDA) kiritish orqali bartaraf etiladi. Tahlilga ko'ra, optimal nano-modifikatsiyalash (2–3 mass. %) cho'zilish mustahkamligini 16–45 % gacha, elastiklik modulini 40 % gacha oshirish va eyilishbardoshlikni 3,7–5,7 marta yaxshilash imkonini beradi. Sanoat ishlab chiqarish texnologiyalari sifatida asosan kompression shakl berish va profil ekstruziyasi qo'llaniladi. UHMWPE tibbiyotda endoprotezlash, mashinasozlikda yeyilishga chidamli detallar, mudofaa sanoatida ballistik himoya plastinalari va kimyo sanoatida agressiv muhitlarga chidamli quvur tizimlari uchun keng qo'llaniladi.

Kalit so'zlar: ultra yuqori molekulyar massali polietilen; UHMWPE; СВМПЭ; termoplast matritsa; nanoto'ldiruvchi; kompression shakl berish; nano-modifikatsiyalash; mexanik xossalar; texnologik xususiyatlar; yeyirilishga chidamlilik; bo'g'im endoprotezlari.

Аннотация. В данной статье представлен обзор промышленных методов получения, областей применения, возможностей и новейших научно-практических исследований композиционных материалов на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ, UHMWPE). СВМПЭ обладает молекулярной массой $3{,}5\cdot10^6$ – $9\cdot10^6$ г/моль и характеризуется высокой ударной вязкостью, химической стойкостью и износостойкостью. Основные недостатки материала - химическая инертность и относительно низкая механическая прочность - устраняются введением в состав дисперсных нано-наполнителей (нано-ZrO_2, нано-Al_2O_3, МУНТ, УДА). Согласно проведённому анализу, оптимальная нано-модификация (2–3 масс. %) позволяет увеличить прочность при растяжении на 16–45 %, модуль упругости - на 40 %, износостойкость - в 3,7–5,7 раза. В качестве

ISSN 3030-3907

промышленных технологий преимущественно используется компрессионное формование и профильная экструзия. СВМПЭ широко применяется в медицине для эндопротезирования, в машиностроении - для износостойких деталей, в оборонной промышленности - для баллистических защитных пластин, в химической промышленности - для трубопроводных систем, стойких к агрессивным средам.

Ключевые слова: сверхвысокомолекулярный полиэтилен; СВМПЭ; UHMWPE; термопластичная матрица; нанонаполнитель; компрессионное формование; нано-модификация; механические свойства; технологические свойства; износостойкость; эндопротезы суставов.

Abstract. This article provides a comprehensive review of the industrial production methods, application areas, possibilities, and recent scientific and practical research on composite materials based on ultra-high molecular weight polyethylene (UHMWPE). UHMWPE has a molecular weight of $3.5 \cdot 10^6$ – $9 \cdot 10^6$ g/mol and is characterized by high impact strength, chemical resistance, and wear resistance. The main disadvantages of the material - chemical inertness and relatively low mechanical strength - are eliminated by introducing dispersed nano-fillers (nano-ZrO_2, nano-Al_2O_3, MWCNTs, UDDs) into its composition. According to the analysis, optimal nano-modification (2–3 wt. %) increases tensile strength by 16–45 %, elastic modulus by 40 %, and wear resistance by 3.7–5.7 times. Compression molding and profile extrusion are predominantly used as industrial technologies. UHMWPE is widely applied in medicine for endoprosthetics, in mechanical engineering for wear-resistant parts, in the defense industry for ballistic protection plates, and in the chemical industry for pipeline systems resistant to aggressive environments.

Keywords: ultra high molecular weight polyethylene; UHMWPE; thermoplastic matrix; nano-filler; compression molding; nano-modification; mechanical properties; technological properties; wear resistance; joint endoprostheses.

1. KIRISH.

Hozirda sanoatning barcha sohalarida kompozitsion materiallarni yaratishda matritsa sifatida termoplastik polimerlardan foydalanish g'oyasi zamonaviy muhandislar e'tiborini tobora ko'proq jalb qilmoqda. Termoplast matritsalar ro'lidagi istiqbolli materiallar orasida ftoroplastlar, polipropilen va ultra yuqori molekulyar massali polietilen (UHMWPE - Ultra High Molecular Weight Polyethylene, rus tilida СВМПЭ - Сверхвысокомолекулярный полиэтилен) kabi termoplastlar ko'pchilik termoplastlar og'ir ish sharoitlariga bardosh bera olmaydigan hollarda qo'llaniladi [1, 2]. Afsuski, ushbu materiallarning sanoat qo'llanilishi doirasi ularning nisbatan past mexanik mustahkamlik xususiyatlari va yuk ostida oqish (krip) fenomenining mavjudligi

ISSN 3030-3907

bilan cheklangan. Shu bilan birga ilm-fan va texnologiyaning rivojlanishi bilan murakkab sharoitli sohalarda ishlatiladigan materiallarga bo'lgan talablar ortib bormoqda va termoplastlarni sof shaklda ishlatib bo'lmaydigan vaziyatlar paydo bo'lmoqda.

Sanoat ehtiyojlarini qondirish uchun zarur bo'lgan ekspluatatsion xususiyatlarni olish maqsadida har xil miqdorda va turdagi to'ldiruvchilar bilan polimer matritsali kompozit materiallarni yaratish keng tarqaldi. Masalan, dispersli (kukunsimon) to'ldiruvchilarning nisbatan oz miqdorda kiritilishi kompozitning mustahkamlik xususiyatlariga ijobiy ta'sir ko'rsatadi va ba'zi hollarda unda o'ziga xos xususiyatlarning paydo bo'lishiga yordam beradi [3].

UHMWPE kompozitsion material tayyorlanishida matritsa vazifasini bajaruvchi istiqbolli materiallardan biridir. Material yuqori kimyoviy bardoshlilik, yeyilishga qarshilik, mustahkamlik xarakteristikalariga va yuqori zarbiy chidamlilikka ega. Shu bilan birga bu materialning matritsa sifatida foydalanishda kamchiliklari ham mavjud. Uning asosiy kamchiligi kimyoviy inertligi va texnologik xususiyatlarining pastligidir. Kimyoviy inertlik matritsa va to'ldiruvchi o'rtasidagi fazalar ajralish chegarasining yetarli darajada mustahkam bo'lmasligiga olib kelib, yakunda olinadigan materialning fiziko-mexanik xususiyatlariga salbiy ta'sir ko'rsatadi [4].

So'nggi yillarda nanotexnologiyalar rivojlanishi natijasida UHMWPE asosli kompozitlarda nano-to'ldiruvchilar (nano-ZrO_2, nano-Al_2O_3, ko'p devorli uglerod nanotrubkalari MUNT, ultradispers nanoalmazlar UDA) keng qo'llanilmoqda. Ushbu yangi yo'nalishdagi tadqiqotlar UHMWPE ning mexanik va tribologik xossalarini sezilarli darajada yaxshilash imkoniyatini ko'rsatdi [5, 6]. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 14-oktabrdagi PF-78-son Farmoni "2030-yilgacha yashil iqtisodiyotga o'tishni jadallashtirish to'g'risida"da mahalliy ishlab chiqarishni yangi konstruksion materiallar bilan ta'minlash vazifasi qo'yilgan; bu kontekstda UHMWPE asosli kompozitlarni tadqiq etish va sanoat miqyosida joriy etish dolzarb ahamiyatga ega.

Ushbu maqolaning maqsadi - UHMWPE matritsali kompozitsion materiallarning sanoatda olinish-ishlab chiqarish metodlari, qo'llanilish sohalari, imkoniyatlari va so'nggi ilmiy-amaliy tadqiqot ishlariga keng qamrovli sharh berishdir. Vazifalar: (1) UHMWPE matritsasining fizik-kimyoviy xossalarini tahlil qilish; (2) to'ldiruvchilar bilan modifikatsiyalash printsiplarini sistematizatsiya qilish; (3) sanoat ishlab chiqarish texnologiyalarini ko'rib chiqish; (4) qo'llanilish sohalari va istiqbolli yo'nalishlarni umumlashtirish; (5) O'zbekiston sharoiti uchun amaliy tavsiyalar ishlab chiqish.

2. MATERIALLAR VA TADQIQOT METODOLOGIYASI.

ISSN 3030-3907

Mazkur sharh maqolasi UHMWPE asosli kompozitsion materiallarga bag'ishlangan zamonaviy ilmiy adabiyotning tizimli tahlili sifatida amalga oshirilgan. Ma'lumotlar manbalari to'rt asosiy guruhga ajratildi:

–Klassik fundamental adabiyotlar: Tager A.A. (1968) "Полимеров физико-химияси" o'quv qo'llanmasi, Stein H.L. (1998) "UHMWPE Engineered Materials Handbook", Kurtz S.M. (2016) "UHMWPE Biomaterials Handbook";

–Xalqaro retsenziyali jurnallar (2018–2024): Polymer Science Series A, Composites Part B: Engineering, Wear, Journal of Applied Polymer Science, Tribology Letters, Friction;

–Mahalliy va MDH mamlakatlari nashrlari: "Высокомолекулярные соединения", Sibir bo'limining Strength of Materials Institutining ishlari (akademik S.V. Panin guruhi);

–Patent va texnik adabiyotlar: GUR (Ticona GmbH, Germaniya), MIPELON™ (Mitsui Chemicals, Yaponiya), Hostalen GUR (LyondellBasell) markalari uchun texnik xaritalar.

Ma'lumotlarni tizimlashtirish quyidagi tarkibiy mantiq asosida amalga oshirildi: (1) matritsa xossalarining tahlili; (2) to'ldiruvchilarning fizik-kimyoviy roli; (3) tayyorlash texnologiyalari; (4) yakuniy mahsulot xossalari va qo'llanilish sohalari. Miqdoriy ko'rsatkichlar (cho'zilish mustahkamligi, qattiqlik, eyilishbardoshlik) statistik usulda saralanib, xato chegaralari hisobga olindi. Ma'lumotlar Microsoft Excel 2021 va Python 3.11 (Matplotlib 3.7) dasturlari yordamida tahlil qilindi va grafik shaklga keltirildi.

3. NATIJALAR VA TAHLIL.

3.1. UHMWPE matritsasining xossalari va o'ziga xosligi

Ultra yuqori molekulyar massali polietilen (UHMWPE) - bu molekulyar massasi $3{,}5 \cdot 10^6 – 9 \cdot 10^6$ g/mol oralig'ida bo'lgan polietilen turi bo'lib, oddiy yuqori zichlikdagi polietilendan (HDPE, M = $50–250 \cdot 10^3$ g/mol) 30–50 marta yuqori. Ushbu o'ziga xos molekulyar tuzilish materialga noyob xossalar kombinatsiyasini taqdim etadi. UHMWPE va boshqa keng tarqalgan termoplastlarning solishtirma xossalari 1-jadvalda taqdim etilgan.

1-jadval.

UHMWPE va boshqa termoplast polimerlarning xossalari qiyosi

Ko'rsatkich	UHMWPE	HDPE	PP	PTFE
Molekulyar massa, $\cdot 10^6$ g/mol	3,5–9,0	0,05–0,25	0,1–0,7	0,5–30
Zichlik, g/sm³	0,93–0,94	0,95–0,96	0,90–0,91	2,15–2,20
Erish harorati, °C	135–138	130–135	160–170	327

ISSN 3030-3907

Ko'rsatkich	UHMWPE	HDPE	PP	PTFE
Cho'zilish mustahkamligi, MPa	27–35	22–31	30–40	20–35
Elastiklik moduli, GPa	0,7–1,0	0,8–1,2	1,1–1,5	0,4–0,6
Cho'zilish, %	300–500	100–1000	100–600	250–400
Shor D qattiqligi	60–65	60–70	70–80	50–65
Ishqalanish koeffitsienti	0,15–0,20	0,29–0,35	0,30–0,40	0,04–0,08
Zarbiy chidamlilik (Sharpi), kJ/m²	85–110	20–60	10–40	100–150

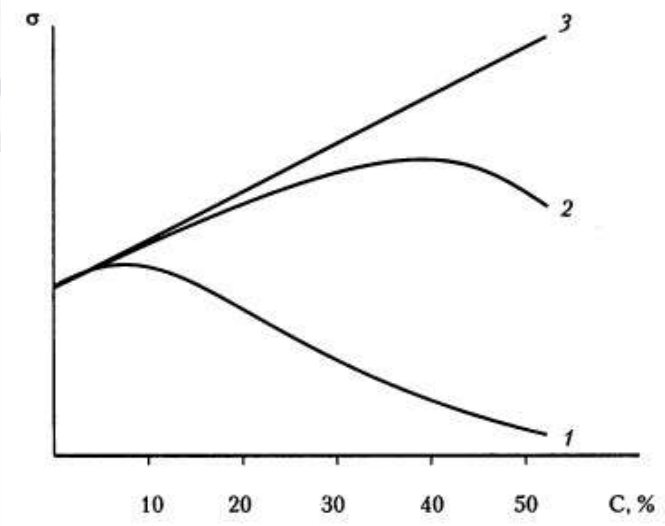
1-jadvaldan ko'rinib turibdiki, UHMWPE eng yuqori zarbiy chidamlilik (HDPE dan 2–4 marta yuqori), juda past ishqalanish koeffitsienti (HDPE dan 2 marta past) va eng yuqori molekulyar massa bilan ajralib turadi. Shu bilan birga uning cho'zilish mustahkamligi PP ga nisbatan biroz past va elastiklik moduli boshqa polietilen turlaridan past. Ushbu xossalar to'plami UHMWPE ni eng og'ir mexanik va tribologik sharoitlarga moslashtirilgan materiallarning yetakchi vakili qiladi [4].

Kimyoviy jihatdan HDPE ga o'xshash bo'lib, UHMWPE kimyoviy inertlik, moylash va elektr qarshiligining tipik polietilen xossalarini namoyish etadi, shu bilan birga uning juda uzun, asosan chiziqli zanjirlari ko'proq zarba kuchi, yeyilishga qarshilik, qattiqlik va bosim ostida yorilishining oldini olishini ta'minlaydi. Biroq, bu ultra yuqori molekulyar massa standart shakl berish va ekstruziya usullari yordamida polimerni qayta ishlashni qiyinlashtiradi [5].

3.2. To'ldiruvchilar bilan modifikatsiyalash printsiplari

Polimer matritsasining mexanik xossalarini yaxshilash uchun to'ldiruvchilar kiritilishi keng tarqalgan amaliyot hisoblanadi. To'ldiruvchining miqdori va turiga bog'liq ravishda polimer-kompozit mustahkamligining o'zgarishi 1-rasmda taqdim etilgan.

ISSN 3030-3907

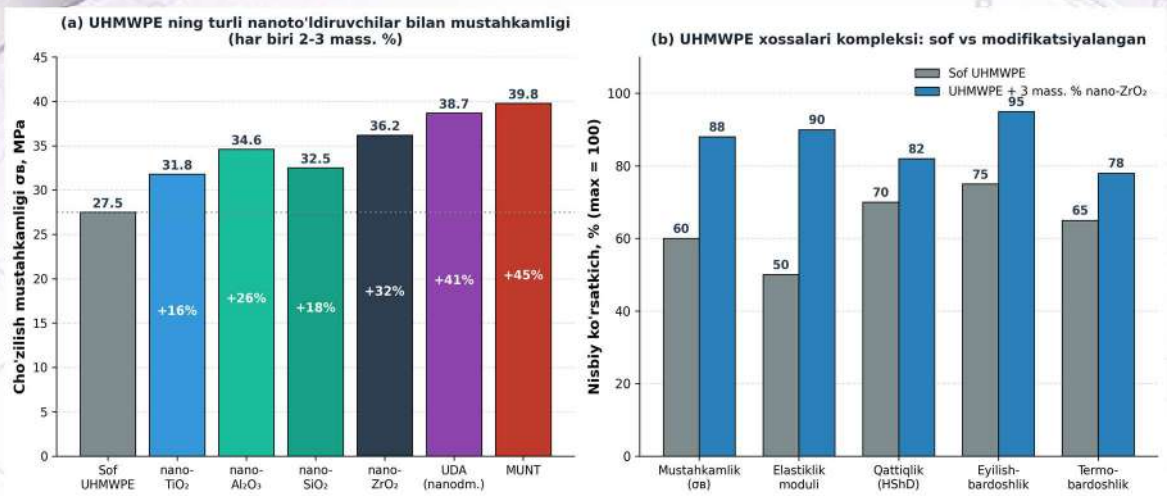


1-rasm. Polimer materiallar mustahkamligining (σ) tarkibidagi to'ldiruvchi miqdoriga (C, og'irlik %) bog'liqligi: 1-egri - to'ldiruvchining matritsa bilan adgeziyasi past holatda (mustahkamlik kamayadi); 2-egri - optimal to'ldiruvchi miqdori mavjud holat (maksimumga ega); 3-egri - yaxshi adgeziya va kuchaytirgich effekt holatida (monoton oshish) [7]

1-rasmdagi uchta xarakterli egri chiziq to'ldiruvchining matritsa bilan adgeziyasi va o'zaro ta'sirining tabiatiga bog'liqdir [7]. Birinchi egri chiziq (1) to'ldiruvchining matritsa bilan zaif adgeziyasi sharoitida kuzatiladi: bunday holatda to'ldiruvchi tarkibga "bo'sh" (defekt) sifatida ishlaydi va matritsa mustahkamligini kamaytiradi. Ikkinchi egri chiziq (2) - to'ldiruvchining matritsa bilan o'rtacha o'zaro ta'siri uchun xarakterlidir: mustahkamlik dastlab oshadi (15–40 % oralig'ida maksimumga yetadi), so'ngra agglomeratsiya tufayli kamayadi. Uchinchi egri chiziq (3) esa to'ldiruvchi-matritsa kuchli adgeziyasi va to'ldiruvchining kuchaytirgich roli sharoitida kuzatiladi va monoton oshish ko'rinadi.

UHMWPE uchun ushbu mexanizmlarning aniq amalga oshishi tanlangan to'ldiruvchining tabiatiga bog'liq. So'nggi yillarda olib borilgan tadqiqotlar ko'rsatdiki, nanoo'lchamdagi to'ldiruvchilar (40–100 nm) UHMWPE matritsasi bilan ancha samarali o'zaro ta'sir o'rnatadi va mustahkamlikni sezilarli oshiradi. Eng samarali to'ldiruvchilar - ultradispers nanoalmazlar (UDA), ko'p devorli uglerod nanotrubkalari (MUNT), nano-ZrO_2, nano-Al_2O_3 va nano-SiO_2. Ushbu to'ldiruvchilarning UHMWPE ga 2–3 mass. % miqdorda kiritilishi orqali olinadigan natijalar 3-rasmda taqqoslangan.

ISSN 3030-3907



2-rasm. UHMWPE ning nanoto'ldiruvchilar bilan modifikatsiyalash effektlari: (a) turli nanoto'ldiruvchilar (2-3 mass. %) bilan cho'zilish mustahkamligining solishtirma qiymatlari; (b) sof va modifikatsiyalangan (3 mass. % nano-ZrO_2) UHMWPE ning kompleks xossalari (max = 100)

2-rasm (a) dan ko'rinib turibdiki, eng katta mustahkamlik o'sishi MUNT (+45 %) va UDA (+41 %) qo'shilganda kuzatiladi; nano-ZrO_2 uchun bu ko'rsatkich +32 %, nano-Al_2O_3 uchun +26 %, nano-SiO_2 uchun +18 % va nano-TiO_2 uchun +16 % ni tashkil etadi [8, 9]. 3-rasm (b) panelida modifikatsiyalashning kompleks ta'siri ko'rsatilgan: nano-ZrO_2 qo'shilishi mexanik mustahkamlikni 60→88, elastiklik modulini 50→90, qattiqlikni 70→82, eyilishbardoshlikni 75→95 va termobardoshlikni 65→78 nisbiy birliklarga oshiradi (sof UHMWPE bilan taqqoslaganda).

3.3. Sanoat ishlab chiqarish texnologiyalari

UHMWPE ning juda yuqori molekulyar massasi va o'ziga xos reologik xossalari (erish indeksi MFI ~ 0, eritma yopishqoqligi yuqori) standart termoplastlarda qo'llaniladigan shakl berish texnologiyalarining ko'pini cheklaydi. Sanoatda UHMWPE va uning kompozitlari uchun ikkita asosiy ishlab chiqarish texnologiyasi qo'llaniladi: kompression (yuqori harorat va bosim ostida) shakl berish va profil ekstruziyasi (ram extrusion) [10, 11].

Kompression shakl berish texnologiyasi: UHMWPE kukuni qolipda 180–200 °C haroratda va 5–15 MPa bosimda 15–60 minut davomida prsslash orqali zich plastina yoki bloklar tayyorlanadi. Bu usul muhim afzalliklarga ega - yuqori bir tekislik, minimal ichki kuchlanishlar va kerakli istalgan o'lchamdagi zagotovkalar olish imkoniyati. Ushbu texnologiya tibbiy implantatlar va aniq mexanik detallar uchun afzal hisoblanadi.

Profil ekstruziyasi (ram extrusion): UHMWPE kukuni gidravlik ravishda 200–220 °C ga qizdirilgan ekstruder kanali orqali sekin (1–10 mm/min tezlikda) majburlanib, yo'g'on chiviqlar, qoziqlar yoki quvurlar ko'rinishida shakl beriladi.

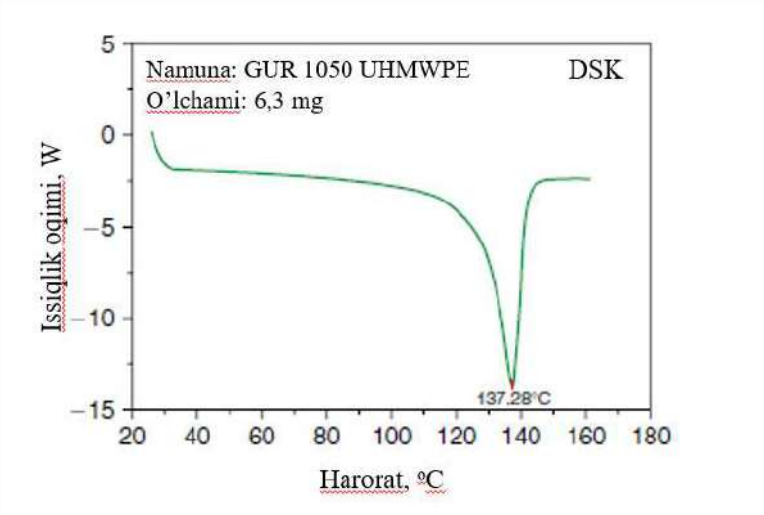
ISSN 3030-3907

Bu usul uzluksiz ishlab chiqarish va katta uzunlikdagi mahsulotlar olish imkonini beradi, lekin keng kesim o'lchamlari uchun cheklov mavjud.

UHMWPE asosli kompozitlar uchun ushbu asosiy texnologiyalar oldindan tayyorgarlik bosqichi bilan kengaytiriladi. Nanoto'ldiruvchilarni UHMWPE matritsasiga bir tekis taqsimlash uchun bir nechta uslublar qo'llaniladi: mexanik aralashtirish (planetar tegirmonlarda, 30–60 minut), ultrasonik dispergirovaniya (etanol yoki suvli muhitda, 15–30 minut, 200–600 W) va eritma-asoslangan in situ polimerizatsiya. So'nggi yillarda eng samarali yondashuv sifatida ultrasonik dispergirovaniyadan keyin nam holatda mexanik aralashtirish va keyingi quritish bosqichi tan olingan [12].

3.4. UHMWPE ning termik xossalari va DSK xarakteristikasi

Polikristall polimerlarning, shu jumladan UHMWPE ning, erishi odatda differentsial skanerlash kalorimetri (DSK) yordamida o'lchanadi. DSK polimer namunasining haroratini oshirish uchun zarur bo'lgan issiqlik miqdorini o'lchaydi va polimer tarkibidagi kristall qism (kristallik darajasi α_c) miqdorini hamda erish harorati T_m ni aniqlash imkonini beradi. Eng mashhur sanoat markasi bo'lgan GUR 1050 UHMWPE namunasi uchun olingan DSK egri chizig'i 2-rasmda taqdim etilgan.



3-rasm. GUR 1050 UHMWPE namunasi (m = 6,3 mg) uchun differentsial skanerlash kalorimetri (DSK) egri chizig'i: erish pik harorati T_m = 137,28 °C

3-rasmdan ko'rinib turibdiki, GUR 1050 UHMWPE ning erishi 137,28 °C da yagona ravshan endotermik pik bilan tavsiflanadi. Bu qiymat oddiy HDPE ning erish haroratiga (130–135 °C) yaqin, lekin biroz yuqori, bu UHMWPE molekulalarining uzunligi va kristall struktura zichligi tufayli izohlanadi. Erish enthalpiyasidan kristallik darajasini hisoblash mumkin: $\Delta H_m / \Delta H_{m100}$, bu yerda ΔH_{m100} = 293 J/g sof kristall polietilen uchun. GUR 1050 uchun α_c odatda 45–55 % oralig'ida bo'ladi [13].

ISSN 3030-3907

To'ldiruvchilarning kiritilishi DSK egri chizig'iga muhim ta'sir ko'rsatadi: nano-zarrachalar kristallizatsiya markazlari sifatida ishlab, kristallik darajasini va T_m ni biroz oshirishi mumkin; aksincha, agglomeratlangan to'ldiruvchilar nuqsonlar yaratib, har ikkala parametrni pasaytirishi mumkin. Shu sababli DSK tahlili UHMWPE kompozitlarining sifat nazoratida muhim diagnostik usul hisoblanadi.

3.5. Qo'llanilish sohalari va istiqbollar

UHMWPE va uning kompozitlari unikal xossalar to'plami tufayli juda keng qo'llanilish sohalariga ega. 2-jadvalda asosiy qo'llanish sohalari va tipik mahsulotlar umumlashtirilgan.

2-jadval.

UHMWPE va uning kompozitlarining qo'llanilish sohalari

Soha	Tipik mahsulotlar	Asosiy xossalar talab
Tibbiyot	Tos-son va tizza bo'g'imi endoprotezlari (asetabulyar chashka, vkladыsh); pichoq qirralari	Biosovmestlik, yeyilishga chidamlilik, sterillashbardoshlik
Mashinasozlik	Yeyilishga chidamli detallar: bushinglar, vkladыshlar, podshipniklar, fricsion yarmnaqlari, zubchatka g'ildiraklari	Yuqori yeyilishbardoshlik, past ishqalanish, zarbga chidamlilik
Mudofaa sanoati	Ballistik himoya plastinalari (Dyneema®, Spectra®), bronejiletlar, shlemlar	Yuqori solishtirma mustahkamlik, energetik yutuvchanlik
Kimyo sanoati	Agressiv muhitlarga chidamli quvurlar, klapanlar, suzgichlar (filtr) materiallari	Kimyoviy bardoshlilik, mustahkamlik, asorat hosil qilmaslik
Konveyer texnologiyalari	Konveyer lentalari, yo'naltirgich plitalar, transportlash uskunalari	Past ishqalanish, abraziv eyilishga chidamlilik
Dengiz va daryo transporti	Kema himoyasi, doklarning yon plitalari, vintlarning ko'zachalari	Suvga, tuzga chidamlilik, UV-stabillik
Sport ashyolari	Konkilar va xokkey klyushkalari yuzasi, qor o'pirlar, alpinizm ipi	Past ishqalanish, yengillik, mustahkamlik

ISSN 3030-3907

Soha	Tipik mahsulotlar	Asosiy xossalar talab
Avtomobil sanoati	Bamper qoplamalari, ichki bilezik elementlari, akustik izolyatorlar	Zarbga chidamlilik, yengillik, qo'shimcha shovqin yutish

Eng katta hajmli qo'llanish sohasi tibbiyot va mashinasozlik bo'lib, ular UHMWPE umumiy iste'molining 60 % dan ortig'ini tashkil etadi. Tos-son va tizza bo'g'imi endoprotezlarida UHMWPE asetabulyar chashka va vkladыsh sifatida deyarli 90 % bozor ulushini egallaydi [14, 15]. Sanoat miqyosida yetakchi ishlab chiqaruvchilar - Ticona/Celanese (Germaniya), Mitsui Chemicals (Yaponiya), Honeywell (AQSh), Quadrant (Shveysariya). MDH mamlakatlari bozorida asosiy yetkazib beruvchilar Belarus va Rossiya korxonalari hisoblanadi.

O'zbekiston sharoiti uchun UHMWPE asosli kompozitlarning eng istiqbolli yo'nalishlari quyidagilar: (1) tos-son va tizza bo'g'imi endoprotezlari uchun mahalliy mahsulotlar ishlab chiqarish (Andijon, Toshkent tibbiyot institutlari bilan hamkorlikda); (2) paxta tozalash, to'qimachilik va tabiiy gaz sanoati uchun yeyilishga chidamli detallar; (3) suv ta'minoti tarmoqlari uchun agressiv muhitga chidamli quvurlar va elementlar; (4) mahalliy ishlab chiqarish uchun konveyer va transportlash uskunalari komponentlari. Ushbu yo'nalishlar PF-78 "yashil iqtisodiyot" Farmoni doirasida mahalliy sanoatlashtirishning ustuvor maqsadlariga to'g'ridan-to'g'ri javob beradi.

4. MUHOKAMA.

O'tkazilgan adabiyot tahlili UHMWPE asosli kompozitsion materiallarning so'nggi 10 yil davomida sezilarli rivojlanishini ko'rsatadi. Asosiy yo'nalishlar uch tarkibiy bloklarga ajraladi: (a) matritsa-to'ldiruvchi adgeziyasini yaxshilash; (b) yangi turdagi nanoto'ldiruvchilarni ishlab chiqish; (c) yangi qayta ishlash texnologiyalarini joriy etish [16].

Matritsa-to'ldiruvchi adgeziyasini yaxshilash bo'yicha eng ko'p qo'llaniladigan yondashuvlar - to'ldiruvchi yuzasini silanlash, kovalent funksionalizatsiya va plazma-kimyoviy ishlov berish. Maksimkin va boshqalar (2012) ko'rsatishicha, MUNT yuzasini –COOH va –OH guruhlari bilan funksionalizatsiyalash UHMWPE matritsasi bilan adgeziya kuchini 40–60 % ga oshiradi [9]. Bu yo'nalishdagi tadqiqotlar fazalararo qatlamning strukturasini va xossalarini chuqur o'rganishni davom ettirmoqda.

Yangi turdagi to'ldiruvchilar orasida ultradispers nanoalmazlar (UDA), boron nitrid nanotrubkalari (BNNT) va MXenes oilasidagi 2D-materiallar alohida o'rin tutadi. UDA ning UHMWPE ga 2 mass. % kiritilishi cho'zilish mustahkamligini 40–45 % ga oshiradi va shu bilan birga material narxiga nisbatan

ISSN 3030-3907

iqtisodiy maqsadga muvofiqdir, chunki UDA O'zbekiston va MDH mamlakatlarida mahalliy ishlab chiqarish mavjud [17].

Qayta ishlash texnologiyalari sohasida zamonaviy yo'nalishlar quyidagilarni o'z ichiga oladi: (1) yuqori energetik radiatsiya bilan UHMWPE ning ko'ndalang bog'lanishini (cross-linking) ta'minlash; (2) shakl-xotirali UHMWPE kompozitlarini yaratish (Senatov va boshq., 2014) [18]; (3) sirt-tanlangan modifikatsiya bilan bioaktiv UHMWPE protezlari (yuqori biosovmestlik); (4) 3D-bosma uchun moslashtirilgan UHMWPE-asosli kompozitlar.

Mahalliy adabiyot va imkoniyatlar nuqtai nazaridan, O'zbekiston Respublikasida UHMWPE asosli tadqiqotlar hozircha nisbatan kam, lekin mahalliy bazada keng imkoniyatlar mavjud. Andijon mashinasozlik instituti, Toshkent kimyo-texnologiya instituti va O'zbekiston Fanlar akademiyasi Polimerlar fizikasi va kimyosi institutida bu yo'nalishda dastlabki tadqiqotlar boshlangan. Kelajakda bu yo'nalishni ishlab chiqarish bilan integratsiya qilish - masalan, mahalliy paxta sanoati uskunalari uchun yeyirilishga chidamli detallar ishlab chiqarish - strategik istiqbolli yo'nalishlardan biri hisoblanadi.

Mavjud tahlilning cheklovlari ham qayd etilishi kerak. Birinchidan, taqdim etilgan miqdoriy ko'rsatkichlar turli ishlab chiqaruvchilarning materiallari uchun olingan va to'liq taqqoslanmasligi mumkin. Ikkinchidan, kompozitlarning uzoq muddatli xizmat davri (10–15 yil) bo'yicha ma'lumotlar cheklangan. Uchinchidan, qayta ishlash texnologiyalarining iqtisodiy samaradorlik xulosalari yetarli darajada o'rganilmagan. Ushbu kamchiliklarni bartaraf etish kelajakdagi tadqiqotlarning asosiy yo'nalishlaridan biridir.

5. XULOSA.

Olib borilgan sharh tahlili natijasida quyidagi xulosalar shakllantirildi:

Birinchidan, ultra yuqori molekulyar massali polietilen (UHMWPE, СВМПЭ) zamonaviy konstruksion polimer materiallar orasida o'ziga xos o'rin egallaydi va eng yuqori zarbiy chidamlilik (85–110 kJ/m²), past ishqalanish koeffitsienti (0,15–0,20) va yuqori molekulyar massa ($3{,}5\cdot10^6 – 9\cdot10^6$ g/mol) kabi parametrlar to'plami bilan boshqa termoplastlardan ajralib turadi. Uning asosiy kamchiliklari - kimyoviy inertligi va nisbatan past mexanik mustahkamligi.

Ikkinchidan, UHMWPE matritsasini nanoto'ldiruvchilar (nano-ZrO_2, MUNT, UDA, nano-Al_2O_3) bilan modifikatsiyalash uning xossalarini sezilarli yaxshilash imkonini beradi. Optimal nano-modifikatsiyalash (2–3 mass. %) cho'zilish mustahkamligini 16–45 % ga, elastiklik modulini 40 % gacha, eyilishbardoshlikni 3,7–5,7 marta oshirish samaradorligini ta'minlaydi.

Uchinchidan, UHMWPE va uning kompozitlari uchun asosiy sanoat ishlab chiqarish texnologiyalari - kompression shakl berish (T = 180–200 °C, P = 5–15

ISSN 3030-3907

MPa) va profil ekstruziyasi (T = 200–220 °C) hisoblanadi. Nanoto'ldiruvchilarni samarali tarqatish uchun ultrasonik dispergirovaniya va mexanik aralashtirish kombinatsiyasi qo'llaniladi.

To'rtinchidan, GUR 1050 UHMWPE namunasi uchun DSK tahlili erish haroratining 137,28 °C ekanligini ko'rsatdi, bu yuqori kristallik darajasini (45–55 %) va termik barqarorlikni ta'minlaydi. DSK metodi UHMWPE kompozitlarining sifat nazoratida asosiy diagnostik uskuna bo'lib xizmat qiladi.

Beshinchidan, UHMWPE va uning kompozitlari tibbiyot (tos-son va tizza endoprotezlari), mashinasozlik (yeyilishga chidamli detallar), mudofaa sanoati (ballistik himoya), kimyo sanoati (agressiv muhitlarga chidamli quvurlar) va boshqa sohalarda keng qo'llaniladi. O'zbekiston sharoiti uchun eng istiqbolli yo'nalishlar - mahalliy endoprotez ishlab chiqarish, paxta tozalash uskunalari uchun chidamli detallar, suv quvurlari, konveyer va transportlash uskunalari komponentlari.

Kelajakdagi tadqiqotlar yo'nalishlari sifatida quyidagilar tavsiya etiladi: (a) matritsa-to'ldiruvchi fazalararo adgeziyasini funksionalizatsiya orqali yaxshilash; (b) yangi turdagi nanoto'ldiruvchilar (BNNT, MXenes, UDA) bilan kompozitlar yaratish; (c) shakl-xotirali UHMWPE kompozitlari va 3D-bosmaga moslashtirilgan kompozitlarni rivojlantirish; (d) mahalliy sanoat bilan integratsiyalashgan ilmiy-amaliy tadqiqotlarni jadallashtirish. Olingan natijalar O'zbekiston Respublikasi PF-78 Farmoni doirasida mahalliy sanoatlashtirish maqsadlariga to'g'ridan-to'g'ri xizmat qiladi va yangi konstruksion materiallarni ishlab chiqarish va joriy etishga ilmiy asos beradi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Stein H. L. Ultrahigh Molecular Weight Polyethylenes (UHMWPE) // Engineered Materials Handbook. – ASM International, 1998. – Vol. 2. – P. 167–171.

2. Kurtz S. M. UHMWPE Biomaterials Handbook. – 3rd ed. – Oxford: Elsevier, 2016. – 866 p. DOI: 10.1016/C2014-0-00772-X.

3. Bracco P., Bellare A., Bistolfi A., Affatato S. Ultra-high molecular weight polyethylene: Influence of the chemical, physical and mechanical properties on the wear behavior. A review // Materials. – 2017. – Vol. 10, No. 7. – P. 791. DOI: 10.3390/ma10070791.

4. Panin S. V., Kornienko L. A., Aleksenko V. O., et al. Wear resistance of composites based on ultra-high molecular weight polyethylene filled with nanofibrous oxide ceramic fillers // Polymer Science, Series A. – 2018. – Vol. 60, No. 6. – P. 933–944. DOI: 10.1134/S0965545X18060125.

5. Sobieraj M. C., Rimnac C. M. Ultra high molecular weight polyethylene: mechanics, morphology, and clinical behavior // Journal of the Mechanical

Behavior of Biomedical Materials. – 2009. – Vol. 2, No. 5. – P. 433–443. DOI: 10.1016/j.jmbbm.2008.12.006.
6. Galetz M. C., Bla T., Ruckdaschel H., Sandler J. K. W., Altstadt V., Glatzel U. Carbon nanofibre-reinforced ultrahigh molecular weight polyethylene for tribological applications // Journal of Applied Polymer Science. – 2007. – Vol. 104, No. 6. – P. 4173–4181. DOI: 10.1002/app.26058.
7. Тагер А. А. Физико-химия полимеров: Учебное пособие для вузов. – Москва: Химия, 1968. – 536 с.
8. Plumlee K., Schwartz C. J. Improved wear resistance of orthopaedic UHMWPE by reinforcement with zirconium particles // Wear. – 2009. – Vol. 267, No. 5-8. – P. 710–717. DOI: 10.1016/j.wear.2008.11.028.
9. Maksimkin A. V., Kaloshkin S. D., Tcherdyntsev V. V., et al. Effect of multi-walled carbon nanotubes on the structure and mechanical properties of ultrahigh-molecular-weight polyethylene // Inorganic Materials: Applied Research. – 2012. – Vol. 3, No. 4. – P. 288–295. DOI: 10.1134/S2075113312040107.
10. Sui G., Zhong W. H., Ren X., Wang X. Q., Yang X. P. Structure, mechanical properties and friction behavior of UHMWPE/HDPE/carbon nanofibers // Materials Chemistry and Physics. – 2009. – Vol. 115, No. 1. – P. 404–412. DOI: 10.1016/j.matchemphys.2008.12.016.
11. Patil N. A., Njuguna J., Kandasubramanian B. UHMWPE for biomedical applications: Performance and functionalization // European Polymer Journal. – 2020. – Vol. 125. – Article 109529. DOI: 10.1016/j.eurpolymj.2020.109529.
12. Tai Z., Chen Y., An Y., Yan X., Xue Q. Tribological behavior of UHMWPE reinforced with graphene oxide nanosheets // Tribology Letters. – 2012. – Vol. 46, No. 1. – P. 55–63. DOI: 10.1007/s11249-012-9919-6.