

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14015957>

MAHALLIY POLIAKRILONITRIL ASOSIDA UGLEROD TOLA OLISH

Sultonov Oybek Komiljonovich,

Toshkent kimyo-texnologiya ilmiy tadqiqot instituti, doktorant

E-mail: oybek_oybek@mail.ru

(ORCID-/0009-0002-4456-5647)

Karimov Mas'ud Ubaydulla o'g'li,

Toshkent kimyo-texnologiya ilmiy tadqiqot instituti, t.f.d, professor

G-mail: masudkarimov27@gmail.com

(ORCID- 0000-0001-5063-0914)

Djalilov Abdulhat Turapovich

Toshkent kimyo-texnologiya ilmiy tadqiqot instituti,

O'zRFA akademigi, k.f.d., professor

E-mail: gup_tniixt@mail.ru

(ORCID- 0000-0002-1949-5790)

Ismoilov Feruz Sobirovich

Toshkent kimyo-texnologiya ilmiy tadqiqot institute, PhD

(ORCID -0009-0002-4166-7541)

UDK: 678,747,2

***Anotatsiya:** Uglerod tolalarini ishlab chiqarish uchun xom ashyo prekursor - poliakrilonitril bo'lib, undan poliakrilonitril tolalari tayyorlanadi. Ushbu maqolada poliakrilonitrilni (eritmada, suspenziyada, eritmada va emulsiyada). Poliakrilonitril sintezi radikal polimerizatsiya mexanizmi bo'yicha keltirilgan. Suvli dispersiyalarda polimerlanish, PAN tolalarini yigirish, poliakrilonitril (Pan) tola hosil qiluvchi polimerning kimyoviy xossalari tavsiflangan. Shuningdek, sopolimerizatsiya qilish va tolalarni yigiruv usullari, sopolimerizatsiya va qoliplash usullarining afzalliklari va kamchiliklari keltirilgan. PAN tolasidan uglerod tolalarini ishlab chiqarish texnologiyasi ham keltirilgan.*

***Kalit so'zi:** Poliakrilonitril(Pan), sopolimerizatsiya, organik erituvchi, PAN tolalarini yigirish, akrilonitril, insyator, nitron tolasini, pan tolasining karbonatlanish, uglerod tola.*

Аннотация: Сырьем для производства углеродных волокон является прекурсор – полиакрилонитрил, из которого изготавливаются полиакрилонитрильные волокна. В данной статье полиакрилонитрил (в растворе, суспензии, растворе и эмульсии). Синтез полиакрилонитрила представлен по механизму радикальной полимеризации. Описаны полимеризация в водных дисперсиях, формирование ПАН-волокон, химические свойства полиакрилонитрильного (Пан) волокнообразующего полимера. Также представлены преимущества и недостатки методов сополимеризации и формирования волокон, методов сополимеризации и формирования. Также рассмотрена технология производства углеродных волокон из ПАН-волокна.

Ключевые слова: Полиакрилонитрил (Пан), Сополимеризация, Органический растворитель, формирование ПАН-волокна, акрилонитрил, инициатор, нитроновое волокно, карбонизация ПАН-волокна, углеродное волокно.

LOCAL EXTRACTION OF CARBON FIBER BASED ON POLYACRYLONITRILE

Abstract: The raw material for the production of carbon fibers is a precursor-polyacrylonitrile, from which polyacrylonitrile fibers are made. This article discusses polyacrylonitrile (in solution, suspension, solution and emulsion). The synthesis of polyacrylonitrile is presented by the mechanism of radical polymerization. Polymerization in aqueous dispersions, formation of PAN fibers, and chemical properties of polyacrylonitrile (Pan) fiber-forming polymer are described. The advantages and disadvantages of copolymerization and fiber spinning methods, copolymerization and spinning methods are also presented. The technology of producing carbon fibers from PAN fiber is also considered.

Key words: Polyacrylonitrile (Pan), Copolymerization, Organic solvent, PAN fiber formation, Acrylonitrile, Initiator, Nitron fiber, PAN fiber carbonization, Carbon fiber.

Kirish. Hozirgi vaqtda kompozit materiallar hamma joyda qo'llaniladi. Xususan, uglerod tolasi bilan mustahkamlangan plastmassalar vertolyot dvigatellari uchun changdan himoya qiluvchi qurilmalar ishlab chiqarish uchun ishlatiladi; Uglerod nanozarrachalari bilan modifikatsiyalangan uglerod tolasi bilan mustahkamlangan plastmassalar chaqmoqlardan himoya qilish tizimlarini ishlab chiqishda qo'llaniladi, uglerod-uglerod materiallari aerokosmik samolyotlar, gaz turbinali dvigatellar va boshqa issiqlik yuklangan qismlarni yaratish uchun ishlatiladi. Ushbu materiallarni

tashkil etuvchi uglerod tolalarini yaratish uchun zarur bo'lgan xom ashyo poliakrilonitril. Aslida poliakrilonitril akrilonitrilni insyator ishtirokida polimerlab olinadi. Akrilonitril asosidagi tola hosil qiluvchi polimerning xossalari haqida. Hozirgi vaqtda poliakrilonitril tolalar va iplar PAN (poliakrilonitril) sanoatda ishlab chiqilgan uglerod zanjirli sintetik tolalarning eng keng tarqalgan turini ifodalaydi. Bu PAN tolasining o'ziga xos xususiyatlari bilan bog'liq, past issiqlik o'tkazuvchanligi, yumshoqlik, quyma, bu PAN tolalarini deyarli jun o'rnini bosuvchi moddalarga tenglashtiradi. Bundan tashqari, ma'lum sharoitlarda, bu polimer uglerod tolalari uchun xom ashyo sifatida ishlatiladigan mahalliy xom ashyo.



1-rasm Uglerod tola olish uchun ishlatiladigan xom ashyo (Pan tolalari, Pan junlari).

Poliakrilonitril tolasini. Hozirgi vaqtda poliakrilonitril tolalari (PAN tolalari) uglerod tolasini ishlab chiqarish uchun ishlatiladigan asosiy xom ashyo turi hisoblanadi. Ular asosan yuqori quvvatli, yuqori modulli uglerod tolalarini tayyorlash uchun ishlatiladi. Har xil turdagi uglerod zanjirli tolalari orasida akrilonitril polimerlaridan ishlab chiqarilgan tolalar eng ko'p qo'llaniladi. Ikkinchi komponentning 15% gacha bo'lgan sopolimerlar asosiy ko'rsatkichlari (eruvchanligi, issiqlikka chidamliligi) bo'yicha sof poliakrilonitrildan deyarli farq qilmaydi. Tolalar ishlab chiqarish uchun ishlatiladigan polimerlar va sopolimerlarning molekulyar og'irligi 40 000 dan 60 000 gacha. Uglerod tolasini ishlab chiqarish jarayonining texnologik parametrlari va uning xususiyatlari dastlabki PAN tolasining tuzilishi va xususiyatlari bilan belgilanadi. Uglerod tolasining xususiyatlariga PAN tolasining ifloslanishi ham katta ta'sir ko'rsatadi, aksariyat begona zarralar uning yuzasida joylashgan. Karbonizatsiya jarayonida begona qo'shimchalarning yonishi natijasida uglerod tolasini yuzasida yoriqlar paydo bo'lib, uning kuchini keskin pasaytiradi.

PAN tolalarini yigirish. Tegishli monomer yoki monomerlar aralashmasini eritmada polimerlash orqali yigiruv eritmasini olish usuli afzalliklari bilan bir qatorda jiddiy kamchiliklarga ham ega. Ushbu usul yordamida turli xil assortimentdagi tolalarni ishlab chiqarish imkoniyati keskin kamayadi. Avvalo, bu PAN tolalarini

ishlab chiqarishga taalluqlidir, chunki ma'lum sharoitlarda va ma'lum bir tashabbuskor ishtirokida eritma polimerizatsiyasi orqali yigiruv eritmasi ishlab chiqarilganda faqat bitta turdagi gomopolimer yoki sopolimer olinishi mumkin va shuning uchun, undan faqat bitta turdagi tola olish mumkin. Tayyor polimer yoki sopolimerni eritib yigiruv eritmasini ishlab chiqarishda har doim bitta polimer yoki sopolimerni boshqasi yoki ikki yoki uchta polimer aralashmasi bilan almashtirish orqali ishlab chiqarilgan tolaning tarkibini o'zgartirish mumkin. Hozirgi vaqtda PAN tolalarining katta qismi turli tarkibdagi sopolimerlar asosida ishlab chiqariladi. Sanoatda PAN tolalari yopishqoq, konsentrlangan polimer eritmalaridan (yigiruvchi suyuqlik deb ataladi) ishlab chiqariladi. Elyafnlarni eritib yigirish mumkin emas, chunki poliakrilonitril erish nuqtasiga (taxminan 300°C) qizdirilganda parchalanadi. PAN tolalarini qoliplashning ikki turi sanoatda qo'llaniladi - nam va quruq usullar.

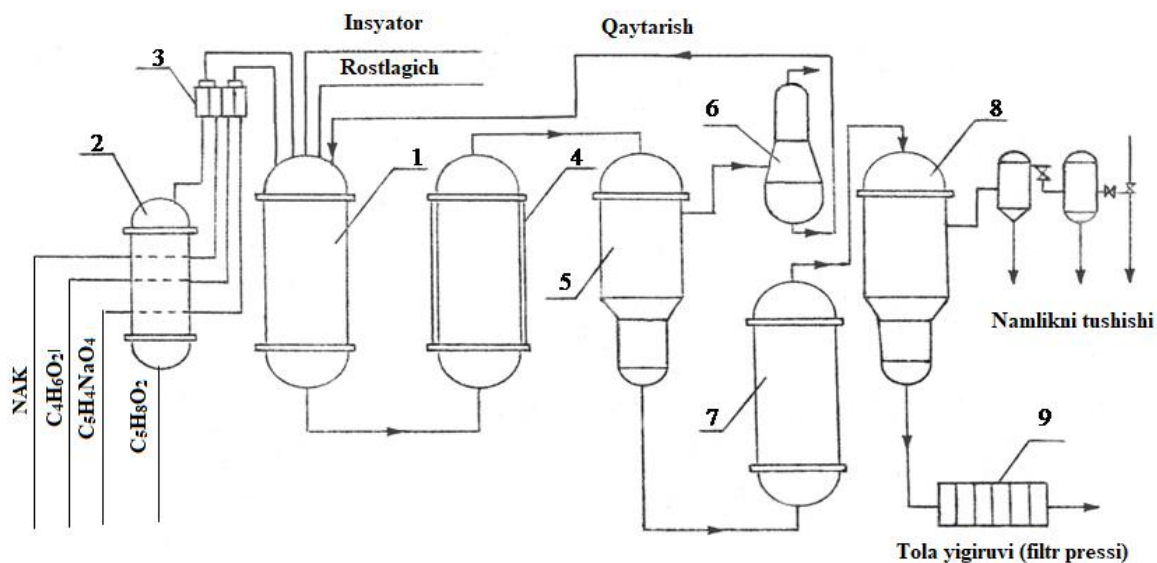
Ho'l usul yigiruv eritmasini spinner orqali polimer cho'ktiruvchisi bo'lgan koagulyatsion vannaga ekstruziya qilishni o'z ichiga oladi. Ko'pgina teshiklarni o'z ichiga olgan va ba'zan faqat alohida tolalar emas, balki ularning butun to'plamlarini ishlab chiqaradigan bir nechta qoliplarni birlashtirish iqtisodiy jihatdan foydalidir.

Quruq tola yigirishda yigiruv eritmasi ustunning yuqori qismidagi shpinnerdan siqib chiqariladi. Koagulyatsion bo'lmagan filamentlar oqayotganda, ular aylanadigan eritma erituvchining qaynash nuqtasidan yuqori qizdirilgan inert gaz bilan tasir qiladi. Shunday qilib, yigiruv eritmasi pastga qarab harakat qilganda, undan erituvchi chiqariladi va qattiqlashtirilgan tola hosil bo'ladi. Terminologiyada quruq eritma yigiruvini erituvchining mavjudligi sababli polimerning qotib qolish harorati (yoki kristallanish harorati) kamayadigan eritma yigiruvining alohida holati deb hisoblash mumkin.

Tadqiqot metodologiyasi. Erituvchi sifatida natriy tiosiyanatdan foydalangan holda PAN tolasi "nitron" ishlab chiqarishning texnologik jarayonini ko'rib chiqaylik. Nitron tolasini ishlab chiqarishda quyidagi asosiy bosqichlarni o'z ichiga olgan uzluksiz texnologik jarayon qo'llaniladi:

- monomer va erituvchini tayyorlash;
- reaksiya aralashmasini tayyorlash;
- yigiruv eritmasini olish uchun polimerizatsiya;
- reaksiyaga kirmagan monomerlarni olib tashlash uchun yigiruv eritmasini demonomerizatsiya qilish;
- polimerlanish reaksiyasiga kirmagan monomerlarning regeneratsiyasi va ularni reaksiya aralashmasini tayyorlash bosqichiga o'tkazish;
- yigiruv eritmasini yigirish uchun tayyorlash (turli partiyalarni aralashtirish va filtrlash).

Nitron tolasini ishlab chiqarishda yigiruv eritmasini olishning asosiy texnologik sxemasi 2-rasmda keltirilgan.



2-rasm. Nitron tolasini ishlab chiqarishda yigiruv eritmasini olishning asosiy texnologik sxemasi: 1 – reaktiv aralashtirgich, 2 – harorat ekvalayzer, 3 – dozlash moslamasi, 4 – reaktor, 5 – demonomerizator, 6 – separator-kondenser, 7 – melanj tanki, 8 – deaerator, 9 – filtr pressi.

Yuqoridagi diagrammaga muvofiq, boshlang‘ich monomerlar (AN, MA, ItNa) issiqlik almashtirgich-temperatura ekvalayzeridan (2-modda) o‘tadi, uning quvurlararo bo‘shlig‘idan erituvchi - 50-52% suvli eritma oqadi. natriy tiosiyanat yoki DMF. Shu tarzda tayyorlangan monomerlar va erituvchi hajmli dispenserlar (3-modda) tomonidan reaksiya aralashmasini tayyorlash apparati - aralashtirgich (1-modda) bilan ta‘minlanadi, bu erda polimerizatsiya jarayonining tashabbuskori - puflovchi vosita va molekulyar og‘irlik regulyatori - tiokarbamid dioksidi. (DOT) bir vaqtning o‘zida ta‘minlanadi. Qoida tariqasida, DOT va izopropil spirtining aralashmasi 2: 1 nisbatda DOTning parchalanish mahsuloti - natriy sulfat miqdorini kamaytirish uchun ishlatiladi. Mikser (1-modda) qayta ishlangan monomerlarni ham oladi.

Tayyorlangan reaksiya aralashmasi polimerizatsiya apparati - reaktorga o‘tkaziladi (4-band). Reaktor uch pichoqli aralashtirgichli silindrsimon idishdir. Reaksiya aralashmasi reaktorning pastki qismiga kiradi va uning butun hajmini to‘ldiradi, natijada yigiruv eritmasi reaktorning yuqori qismidan olinadi; Reaktordan (4-modda) polimerizatsiya reaksiyasiga kirmagan 30-50% monomerlarni o‘z ichiga olgan PAN yigiruv eritmasi monomerni distillash apparati - demonomerizatorga (5-band) o‘tadi, bu erda ipning yupqa qatlamidan olinadi. apparatlar va plitalarning devorlari bo‘ylab oqadigan eritma, vakuum sharoitida reaksiyaga kirmagan

monomerlar chiqariladi. Olib tashlangan monomerlar monomer ajratuvchi-kondenser (6-modda) orqali o'tadi va qayta ishlangan monomerlar shaklida texnologik siklga (1-modda) qaytariladi. Va bir nechta reaktorlardan demonomerizatsiyalangan yigiruv eritmasi melanj (o'rtacha) tankga (poz. 7) kiradi va undan keyin havo pufakchalari va azotni (porofor parchalanish mahsuloti) olib tashlash uchun apparatura - bir xil printsipl asosida ishlaydigan deaeratorga (8-poz) kiradi. demonomerizator sifatida [7]. Yigirishga tayyorlashni yakunlash uchun gazzizlangan PAN yigiruv eritmasi rom filtrli presslarda filtrlanadi va yigirish uchun yigirish va pardozlash tsexiga yuboriladi.

Natijalar va muhokama. PAN erigan ko'p miqdordagi moddalardan dimetilformamid (DMF), dimetilasetamid (DMAA), dimetil sulfoksid (DMSO) va etilen karbonat kabi organik erituvchilar amaliy qo'llaniladi.

PANning dimetilformamidda polimerizatsiyasi. DMF eng qulay va keng qo'llaniladiganlardan biri bo'lib, u yuqori eritish qobiliyatiga ega, ya'ni boshqa erituvchilarga nisbatan ekvivalentlangan eritmalarning minimal yopishqoqligi bilan tavsiflanadi.

(1-jadval).

Erituvchi	Erituvchining yopishqoqligi, hp, p	Nisbiy yopishqoqlik	Nisbiy yopishqoqlik $pp / P_0 \times 10^{-2}$	Yopishqoqligi 315 P bo'lgan Pan eritmasining konsentratsiyasi
Dimetilformamid	0,73	18	15	18.2
Dimetilsulfoksid	1.76	65	37	14.9
Etilenkarbonat	1.99	127	63	11.6

Shu munosabat bilan DMFA usuli bilan yigiruv eritmasida polimerning konsentratsiyasi:

Nam shakllantirish bilan	-20-25%
Quruq shakllantirish bilan	-30-32%

DMF ning poliakrilonitril tolalarini ishlab chiqarishda erituvchi sifatida afzalligi quruq yigirishning yanada samarali usulidan foydalanish imkoniyati va bu erituvchining regeneratsiyasining nisbatan qulayligidir.

PAN tolasidan uglerod tolalarini ishlab chiqarish texnologiyasi. PAN tolalarining afzalliklaridan biri yuqori uglerod rentabelligidir (polimerning og'irligi bo'yicha taxminan 40%). Polimerning strukturaviy xususiyatlari va uning oraliq o'tish

tuzilmalari tufayli yuqori quvvatli uglerod tolalarini nisbatan sodda tarzda olish mumkin. Ushbu usulning kamchiligi PAN tolasini qayta ishlash jarayonida gidrosiyon kislotasining ajralib chiqishi va uning gidratlangan tsellyuloza tolalariga nisbatan yuqori narxidir.

Chet elda PAN tolalaridan asosan ikki turdagi uglerod tolasini ishlab chiqariladi: yuqori quvvatli va yuqori modulli. Yuqori quvvatli, ishlab chiqarish jarayoni karbonizatsiya bosqichida tugaydi, quvvati 3,0 - 6,0 GPa va elastik moduli 200 - 300 GPa. Yuqori quvvatli tolasini tozalashda modul ortadi va mustahkamlik pasayadi. Olingan tola yuqori modulli deb ataladi, uning quvvati 2,5 - 3,0 GPa va elastik moduli 350 - 600 GPa. Uglerod tolasini materiallarini ishlab chiqarish jarayoni uch bosqichdan iborat: oksidlanish, karbonlashtirish va grafitlash usullari orqali olishimiz mumkin. Oraliq bosqichlarda olingan materiallarning xususiyatlari yakuniy mahsulotning fizik-mexanik xususiyatlariga katta taʼsir koʻrsatadi va shuning uchun bir-biri bilan chambarchas bogʻliq.

Pan piroliz reaksiyalarida bu jarayon ikki bosqichdan oʻtadi deb aytishimiz mumkin. Oksidlanish uglerod tolasini ishlab chiqarish jarayonining zarur va muhim bosqichidir. Oksidlanish PAN tolasining keyingi dehidrogenatsiyasini (Dehidrogenatsiya-vodorodni organik birikma molekulasidan ajratish reaksiyasi) va uglerod tolasining optimal uglerod tuzilishi va mexanik xususiyatlarining shakllanishini taʼminlaydigan prestrukturaning paydo boʻlishini osonlashtiradi.

Birinchi bosqich - asiklanmagan bogʻlanishlar bilan bogʻlangan kondensatsiyalangan geterosikllar ketma-ketligini hosil qilish-Pan pirolizining dastlabki bosqichida amalga oshiriladi, bu odatda kislorod ishtirokida amalga oshiriladi va shuning uchun oksidlanish deb ataladi. Oksidlanish uglerod tolasini ishlab chiqarish jarayonining zarur va muhim bosqichidir. Oldindan oksidlanish panning keyingi dehidrogenatsiyasini va uglerod tolasining optimal uglerod tuzilishi va mexanik xususiyatlarining shakllanishini taʼminlaydigan prestrukturaning paydo boʻlishini osonlashtiradi. Pan tolasining oksidlanish bosqichi uni 150-300°C gacha qizdirish bilan bogʻliq boʻlganligi sababli, bunday sharoitda tolaning choʻzilishi yoki qisqarishiga olib keladigan relaksatsiyon jarayonlari. Uglerod tolasini xususiyatlarini shakllantirishda muhim rol oʻynashi mumkin. Oksidlanish natijasida hosil boʻlgan polimerdagi polistiroli natijasida hosil boʻlgan tolalar issiqlikka chidamliligini oshirish va uglerod tolasiga aylantirish uchun yuqori haroratga ishlov berishimiz mumkin.

Ikkinchi bosqichda - Pan tolasining karbonatlanishi (300 -1000°C) qushimcha atomlar olib tashlanadi va asosiy tekisliklar hosil boʻladi. Yuqori haroratli ishlov berishning dastlabki bosqichida kislorodli moddalar chiqariladi. Keyinchalik, asosan 600 - 900 °C haroratda azot oʻz ichiga olgan birikmalar, asosan HCN va NH₃ shaklida chiqariladi. 700 °C dan yuqori haroratda HCN ning oz miqdorda chiqarilishi

boshlanadi, u 1000-1100°C haroratgacha davom etadi, garchi oz miqdordagi azot 1600 °C dan yuqori haroratlarda ham polimerda bo'lishi mumkin. 1000 °C haroratda grafitga o'xshash tuzilmalar hosil bo'ladi.

Biroq bu holda. Zonalari 4-5 tekislikdan iborat bo'lib, ularning qalinligi 12-15Å dan oshmaydi, harorat 1400 °C dan oshganda, zonalarining o'lchamlari yuqori tezlikda o'sadi va 2800 °C haroratda zonaning qalinligi 60 Å ga etadi. bu darajada uglerod tolalari turbostrat tuzilishining barcha xususiyatlari bilan ajralib turadi. Issiqlik bilan ishlov berish harorati oshishi bilan tolaning xususiyatlari o'zgaradi. Haroratning oshishi bilan tolaning zichligi va elastik modulining ortishi monoton tarzda sodir bo'lmaydi, bu 1900 °C harorat oralig'ida strukturaning shakllanishi tabiatining o'zgarishi bilan bog'liq. 1200-1800°C haroratgacha oldindan karbonlashtirilgan tolaning elastik moduli 70 soniya davomida 3000 °C haroratda qo'shimcha issiqlik bilan ishlov berish orqali sezilarli darajada oshirilishi mumkin. Bunday holda, elastik modul 200 dan 370 GPa gacha oshadi va tolaning mustahkamligi doimiy bo'lib qoladi. PAN tolasidan uglerod tolasini ishlab chiqarish uchun turli xil texnologik sxemalar mavjud, ammo ularning barchasi to'liga uning qisqarishini oldini olish uchun yuklarni majburiy qo'llashni o'z ichiga oladi.

Xulosa va takliflar. Xulosa qilib aytadigan bo'lsak, mahalliy poliakrilonitril (PAN) asosidagi uglerod tolalari qulay mexanik xususiyatlari, issiqlik barqarorligi va engil xususiyatlari tufayli muhim potentsialni namoyish etadi. Ko'pincha mahalliy resurslardan foydalanadigan ishlab chiqarish jarayonlari ushbu materiallarning barqarorligi va iqtisodiy samaradorligiga yordam beradi. PAN ishlab chiqarish uchun mahalliy materiallardan foydalanish global barqarorlik maqsadlariga mos ravishda transport xarajatlarini va atrof-muhitga ta'sirini kamaytirishi mumkin. Xulosa qilib aytganda, mahalliy poliakrilonitril asosidagi uglerod tolalari turli sohalarga sezilarli ta'sir ko'rsatish potentsialiga ega bo'lgan materialshunoslikda innovatsiyalar va barqarorlik uchun istiqbolli yo'lni taqdim etadi. Ushbu sohada keyingi izlanishlar va investitsiyalar ushbu materiallarning samaradorligini oshirishga va kengroq qabul qilinishiga olib kelishi mumkin.

Foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati.

1. Мелешко А. И., Половников С. П. Углерод, углеродные волокна, углеродные композиты. – М.: «САЙНС-ПРЕСС», 2007. – 192 с.: ил.
2. Zhelezina G.F., Solovyova N.A., Macrushin K.V., Rysin L.S. Polymer composite materials // aviation materials and technologies for the production of dust protection for a promising helicopter engine. 2018. No. 1 (50). Pp. 58-63. DOI: 10.18577 / 2071-9140-2018-0-1-58-63.
3. Харитонов А. А. Патент №2343235 Способ получения высокопрочного и высокомодульного углеродного волокна.. от 14.08.2007 г.
4. Елезина Г.Ф., Соловьева Н.А., Макрушин К.В., Рысин Л.С. Полимерные композитные материалы для производства пылезащитных средств перспективного вертолетного двигателя // авиационные материалы и технологии. 2018. Выпуск 1 (50). С. 58-63. DOI: 10.18577 / 2071-9140-2018-0-1-58-63.
5. Gunyaev G.M., Gofin M.Ya. Carbon-carbon composite materials / / aviation materials and technologies. 2013. № S1. Pp. 62-90.4.
6. Muminov B.S., Karimov M.U., Djalilov A.T., Turaev Kh.Kh., Umbarov I.A., Toshtemirov A. E., Uralov N. Production of melamine using the electrolysis method. International Scientific Research Forum in honor of 90th anniversary of Al-Farabi Kazakh National University 26-28 September, 2024. 29-34 p.
7. Ismoilov. F.S., Karimov M.U., Djalilov A.T., Ismailova X.Dj., // Влияние полученного на основе конденсационных продуктов меламина-сульфонат-формальдегида суперпластификатора на физико- механические свойства цементных композиции. // Универсум технические науки 4 (109), 2023г.
8. O.K.Sultonov, M.U.Karimov, A.T.Djalilov. Poliakrilonitrilni polimerlab tola olish. “Fizikaviy va kolloid kimyo fanlarining fundamental va amaliy muammolari hamda ularning innovatsion yechimlari” mavzusida xalqaro ilmiy-amaliy anjuman materiallari to‘plami. Namangan 2024. 1268-1269 b.
9. Ismailova H.J., Sultonov O.K. Process of obtaining high silicon kaolin from local raw materials and obtaining aluminum oxide from it. Multidisciplinary Scientific Journal. 2023 301-307 b.
10. T. Liu, L. Zhao, J. Zhu, B. Wang, C. Guo, D. Wang, et al., The composite electrode of LiFePO₄ cathode materials modified with exfoliated graphene from expanded graphite for high power Li-ion batteries, J. Mater. Chem. A 2 (8)(2014) 2822e2829.