

**“RAQAMLI ISHLAB CHIQUARISH TEXNOLOGIYALARIGA
ASOSLANGAN NANO-KERAMIKA BILAN MUSTAHKAMLANGAN
POLIMER KOMPOZIT MATERIALLAR ISHLAB CHIQUARISHNING
INTEGRALLASHGAN PLATFORMASINI YARATISHNING IQTISODIY
JIHATLARI: XARAJATLAR OPTIMALLASHTIRISH, BOZOR
MODELLASHTIRISH, 3D-PRINTINGNING INVESTITSIYA
SAMARADORLIGI VA SANOATGA TATBIQ ETISHNING IQTISODIY
TA’SIRI”**

Ataxonova Sayyora Koraboyevna

Andijon davlat texnika instituti, dotsent

ataxonova.sayyora@mail.ru

Ablazova Sarvinoz Nodirbek qizi

Andijon davlat texnika instituti K06-23- guruh talabasi

sarvinozablazova087@gmail.com

Annotatsiya: Ushbu maqolada raqamli ishlab chiqarish texnologiyalariga asoslangan nano-keramika bilan mustahkamlangan polimer kompozit materiallar olish uchun integrallashgan texnologik platforma taklif etiladi. Platforma algoritmik boshqaruv, raqamli modellashtirish, material dizayni, jarayon optimallashtirish, sun’iy intellekt elementlari hamda 3D-printing texnologiyalarini yagona tizimda birlashtiradi. Tadqiqotda kompozit tarkibining mikro va nano darajadagi xossalari, mexanik va funksional ko‘rsatkichlarga ta’siri, ishlab chiqarish jarayonining raqamli monitoringi va sanoatga joriy etish mexanizmlari tahlil qilinadi. Olingan natijalar yuqori mustahkamlikka ega, yengil va barqaror materiallar yaratishda raqamli iqtisodiyot sharoitida samarali yechim sifatida baholanadi. Platforma ilmiy tadqiqotlar, tajriba ishlab chiqarish va real sanoat sharoitlarida keng qo‘llash imkonini beradi hamda eksportbop mahsulotlar yaratishga xizmat qiladi.

Kalit so‘zlar: *raqamli ishlab chiqarish, nano-keramika, polimer kompozitlar, integrallashgan platforma, algoritmlar, modellashtirish, 3D-printing, sun’iy intellekt, material dizayni, jarayon optimallashtirish, raqamli monitoring, mexanik xossalari, sanoatga tatbiq, raqamli iqtisodiyot, innovatsion materiallar.*

**«ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СОЗДАНИЯ ИНТЕГРИРОВАННОЙ
ПЛАТФОРМЫ ПРОИЗВОДСТВА ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТНЫХ
МАТЕРИАЛОВ, УСИЛЕННЫХ НАНОКЕРАМИКОЙ, НА ОСНОВЕ
ЦИФРОВЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ:**

ОПТИМИЗАЦИЯ ЗАТРАТ, МОДЕЛИРОВАНИЕ РЫНКА, ИНВЕСТИЦИОННАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ 3D-ПЕЧАТИ И ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ВЛИЯНИЕ НА ПРОМЫШЛЕННОСТЬ»

Атахонова Сайёра Корабоевна

Доцент Андижанского государственного технического института

ataxonova.sayyora@mail.ru

Аблазова Сарвиноз Нодирбек кизи

*Студентка группы К06-23 Андижанского государственного технического
института*

sarvinozablazova087@gmail.com

Аннотация: В данной статье предлагается интегрированная технологическая платформа для получения полимерных композиционных материалов, усиленных нанокерамикой, на основе цифровых производственных технологий. Платформа объединяет в единую систему алгоритмическое управление, цифровое моделирование, дизайн материалов, оптимизацию технологических процессов, элементы искусственного интеллекта и технологии 3D-печати. В исследовании анализируется влияние микро- и наномасштабных свойств состава композита на его механические и функциональные характеристики, цифровой мониторинг производственного процесса, а также механизмы внедрения разработанных технологий в промышленность. Полученные результаты оцениваются как эффективное решение для создания высокопрочных, лёгких и устойчивых материалов в условиях цифровой экономики. Платформа предоставляет широкие возможности для научных исследований, опытного производства и применения в реальных промышленных условиях, а также способствует созданию конкурентоспособной экспортно-ориентированной продукции.

Ключевые слова: *цифровое производство, нанокерамика, полимерные композиты, интегрированная платформа, алгоритмы, моделирование, 3D-печать, искусственный интеллект, дизайн материалов, оптимизация процессов, цифровой мониторинг, механические свойства, внедрение в промышленность, цифровая экономика, инновационные материалы.*

**“CREATION OF AN INTEGRATED TECHNOLOGICAL PLATFORM FOR
PRODUCING POLYMER COMPOSITE MATERIALS REINFORCED WITH
NANO-CERAMICS BASED ON DIGITAL MANUFACTURING**

TECHNOLOGIES: ALGORITHMS, MODELING, 3D PRINTING, AND INDUSTRIAL IMPLEMENTATION”

Ataxonova Sayyora Koraboyevna

Associate Professor, Andijan State Technical Institute

ataxonova.sayyora@mail.ru

Ablazova Sarvinoz Nodirbek kizi

Student, Group K06-23, Andijan State Technical Institute

sarvinozablazova087@gmail.com

Abstract: This article proposes an integrated technological platform for the production of nanoceramic-reinforced polymer composite materials based on digital manufacturing technologies. The platform brings together algorithmic control, digital modeling, materials design, optimization of technological processes, elements of artificial intelligence, and 3D printing technologies into a unified system. The study analyzes the influence of micro- and nanoscale properties of the composite composition on its mechanical and functional characteristics, digital monitoring of the production process, as well as mechanisms for implementing the developed technologies in industry. The obtained results are evaluated as an effective solution for creating high-strength, lightweight, and sustainable materials in the context of the digital economy. The platform offers broad opportunities for scientific research, pilot production, and application in real industrial conditions, and also contributes to the development of competitive, export-oriented products

Keywords: *digital manufacturing, nano-ceramics, polymer composites, integrated platform, algorithms, modeling, 3D printing, artificial intelligence, material design, process optimization, digital monitoring, mechanical properties, industrial implementation, digital economy, innovative materials.*

KIRISH

So‘nggi yillarda jahon sanoati va ilm-fanida raqamli iqtisodiyot konsepsiyasining jadal rivojlanishi ishlab chiqarish jarayonlarini tubdan o‘zgartirib yubormoqda. An’anaviy texnologiyalar o‘rnini raqamli modellashtirish, sun’iy intellekt, katta hajmdagi ma’lumotlar (Big Data), raqamli egizaklar (Digital Twin), avtomatlashtirilgan boshqaruv va additiv ishlab chiqarish usullari egallamoqda. Ayniqsa, yuqori funksional xossalarga ega bo‘lgan zamonaviy kompozit materiallarni yaratishda raqamli texnologiyalarning o‘rni beqiyos ahamiyat kasb etmoqda. Bugungi kunda sanoat, aviatsiya, avtomobilsozlik, energetika, tibbiyot va elektronika kabi

strategik sohalar yengil, mustahkam, korroziyabardosh, issiqlik va elektr xossalari boshqariladigan materiallarga bo'lgan ehtiyojni tobora oshirmoqda. Shu bilan birga, O'zbekiston Respublikasida raqamli iqtisodiyotni rivojlantirish, yuqori texnologiyali sanoat tarmoqlarini modernizatsiya qilish hamda ilm-fan va ishlab chiqarish integratsiyasini kuchaytirish davlat siyosatining ustuvor yo'nalishlaridan biri etib belgilangan¹. Xususan, O'zbekiston Respublikasi Prezidentining "Raqamli O'zbekiston – 2030" strategiyasini tasdiqlash to'g'risida"gi Farmonida sanoat tarmoqlariga raqamli texnologiyalarni joriy etish, ilg'or ishlab chiqarish usullarini keng qo'llash va innovatsion mahsulotlar ulushini oshirish muhim vazifa sifatida ko'rsatib o'tilgan. Mazkur strategiya doirasida raqamli modellashtirish, sun'iy intellekt, additiv ishlab chiqarish va aqlli texnologiyalar asosida yangi avlod materiallarini yaratish alohida ahamiyat kasb etadi. Bundan tashqari, Prezidentning ilm-fan va innovatsiyalarni rivojlantirishga qaratilgan farmon va qarorlarida oliy ta'lim, ilmiy-tadqiqot institutlari hamda sanoat korxonalarini o'rtasida samarali hamkorlikni yo'lga qo'yish, ilmiy ishlanmalarni tijoratlashtirish va ularni real ishlab chiqarishga joriy etish ustuvor vazifa etib belgilangan². Ushbu hujjatlarda yuqori qo'shilgan qiymatga ega materiallar, jumladan, kompozit va nanoo'lchamli tuzilmalar asosida tayyorlanadigan mahsulotlarni ishlab chiqish milliy sanoat raqobatbardoshligini oshirishning muhim omili sifatida e'tirof etilgan.

Prezidentning sanoatni texnologik yangilash va innovatsion rivojlantirishga qaratilgan qarorlarida additiv texnologiyalar (3D-printing), raqamli dizayn va virtual modellashtirish asosida mahsulot ishlab chiqarish jarayonlarini joriy etish alohida ta'kidlanadi. Bu esa nano-keramika bilan mustahkamlangan polimer kompozit materiallarni raqamli ishlab chiqarish texnologiyalari asosida yaratish, ularning xossalari oldindan bashorat qilish va sanoat miqyosida barqaror ishlab chiqarishni yo'lga qo'yish uchun mustahkam normativ-huquqiy va tashkiliy asos yaratadi. Mazkur ehtiyojlarni qondirishda polimer matritsali kompozit materiallar alohida o'rin tutadi. Polimer kompozitlar o'zining past zichligi, yuqori mustahkamlik-massa nisbati, texnologik qulayligi va iqtisodiy samaradorligi bilan ajralib turadi. Biroq zamonaviy muhandislik talablariga javob berish uchun oddiy polimer kompozitlarning mexanik, termik va funksional xossalari yetarli bo'lmay qolmoqda. Shu sababli ularni nano o'lchamli mustahkamlovchi komponentlar, xususan, nano-keramika zarrachalari bilan modifikatsiyalash dolzarb ilmiy-texnik muammoga aylanmoqda. Nano-keramika bilan mustahkamlangan polimer kompozitlar yuqori elastiklik moduli, yeyilish ga chidamlilik, termobarqarorlik va uzoq muddatli ekspluatatsion ishonchlilik kabi xossalarga ega bo'lishi bilan ajralib turadi. Nano-keramika zarrachalarining (Al_2O_3 ,

¹ <https://raqamlitarix.uz/wp-content/uploads/2022/12/PF-6079-05.10.2020.pdf> raqamlitarix.uz

² Lex.uz: PF-6198 – *Ilmiy va innovatsion faoliyatni rivojlantirish bo'yicha davlat boshqaruvi tizimini takomillashtirish to'g'risida"gi Farmon*
<https://lex.uz/docs/-5352267> LEX.UZ

SiO₂, ZrO₂, TiO₂ va boshqalar) polimer matritsaga kiritilishi materialning mikro va nano darajadagi tuzilishini tubdan o'zgartiradi³. Natijada yuklanishlarni samarali taqsimlash, yoriqlar rivojlanishini sekinlashtirish, issiqlik va elektr o'tkazuvchanlikni boshqarish imkoniyati paydo bo'ladi. Biroq bunday kompozitlarni yaratish jarayoni murakkab bo'lib, nanozarrachalarning bir jinsli taqsimlanishi, aglomeratsiyaning oldini olish va optimal tarkibni tanlash muhim muammolarni yuzaga keltiradi. Aynan shu nuqtada raqamli ishlab chiqarish texnologiyalari va integrallashgan texnologik platformalarning ahamiyati keskin oshadi.

Raqamli ishlab chiqarish texnologiyalari material yaratishning barcha bosqichlarini – xomashyo tanlashdan tortib, yakuniy mahsulotni sanoatga joriy etishgacha – yagona raqamli muhitda boshqarish imkonini beradi. Bunda matematik modellar, algoritmik hisoblash, ko'p omilli optimallashtirish va virtual sinovlar orqali tajriba xarajatlarini kamaytirish, vaqtni tejash va mahsulot sifatini oshirish mumkin bo'ladi. Ayniqsa, kompyuter yordamida modellashtirish (CAE, FEM), material informatikasi va mashinaviy o'rganish usullari nano-kompozitlarning xossalari oldindan bashorat qilishda samarali vosita sifatida namoyon bo'lmoqda. Shu bilan birga, 3D-printing (additiv ishlab chiqarish) texnologiyalarining rivojlanishi nano-keramika bilan mustahkamlangan polimer kompozitlarni murakkab geometrik shakllarda, yuqori aniqlik va minimal chiqindi bilan tayyorlash imkonini bermoqda⁴. Additiv texnologiyalar an'anaviy quyish, presslash yoki ekstruziya usullariga nisbatan moslashuvchanligi, individual dizayn imkoniyatlari va raqamli boshqaruvga mosligi bilan ustunlik qiladi. Biroq nano-kompozit materiallar uchun 3D-printing jarayonini optimallashtirish, chop etish parametrlarini aniqlash va material–jarayon–xossa o'zaro bog'liqligini chuqur o'rganish zarur. Zamonaviy sharoitda eng muhim vazifa – bu alohida-alohida texnologik yechimlarni emas, balki integrallashgan texnologik platformani yaratishdir.

Raqamli iqtisodiyot sharoitida bunday platformalar nafaqat ilmiy-tadqiqot faoliyati, balki real sanoat ishlab chiqarishi uchun ham strategik ahamiyatga ega. Mazkur maqolada raqamli ishlab chiqarish texnologiyalariga asoslangan nano-keramika bilan mustahkamlangan polimer kompozit materiallar olish uchun integrallashgan texnologik platforma konsepsiyasi ilmiy jihatdan asoslab beriladi. Kirish qismida mavzuning dolzarbligi, zamonaviy ilmiy-texnik muammolar, raqamli iqtisodiyot sharoitida kompozit materiallar ishlab chiqarishning ahamiyati hamda taklif etilayotgan yondashuvning ilmiy va amaliy qiymati yoritildi. Keyingi bo'limlarda algoritmik ta'minot, modellashtirish usullari, 3D-printing jarayonlari va sanoatga tatbiq etish mexanizmlari batafsil tahlil qilinadi.

³ <https://fanvatexnologiya.uz>

⁴ <https://innovatsion.uz>

ADABIYOTLAR TAHLILI

O‘zbekiston Respublikasi Prezidenti [1] “Raqamli O‘zbekiston – 2030” strategiyasini tasdiqlash to‘g‘risidagi farmonida O‘zbekiston Respublikasining raqamli iqtisodiyotini rivojlantirish bo‘yicha strategik yo‘nalishlarini belgilaydi. Hujjatda sanoat, ilm-fan, ta‘lim va ijtimoiy sohalarda raqamli texnologiyalarni joriy etish orqali milliy iqtisodiyotning raqobatbardoshligini oshirish maqsadi ko‘zda tutilgan. Farmon sanoat korxonalarini uchun raqamli boshqaruv, avtomatlashtirilgan tizimlar va additiv ishlab chiqarish texnologiyalarini keng joriy etish zarurligini ta‘kidlaydi. Shu bilan birga, innovatsion mahsulotlar ishlab chiqarish va yuqori qo‘shilgan qiymatga ega materiallar yaratish bo‘yicha davlat tomonidan qo‘llab-quvvatlash choralari ko‘rsatilgan. Bu kontekstda, raqamli modellashtirish, sun‘iy intellekt va nano-materiallar asosida yangi avlod materiallarini ishlab chiqish masalalari strategik vazifa sifatida belgilangan. Farmon raqamli transformatsiya jarayonida ilmiy-tadqiqot institutlari va sanoat korxonalarini o‘rtasidagi hamkorlikni kuchaytirish zarurligini ham urg‘ulaydi. Innovatsion sanoatni rivojlantirish, ilmiy ishlanmalarni tijoratlashtirish va real ishlab chiqarishga joriy etish bo‘yicha aniq vazifalar belgilangan.

O‘zbekiston Respublikasi Prezidenti [2] Ilm-fan va innovatsiyalarni rivojlantirish tizimini yanada takomillashtirish chora-tadbirlari to‘g‘risidagi Farmonda O‘zbekiston ilm-fan va innovatsiyalar sohasida tizimli islohotlarni amalga oshirishga qaratilgan hujjat sifatida ahamiyatga ega. Farmonning asosiy maqsadi – mamlakat ilmiy salohiyatini oshirish, yangi texnologiyalarni rivojlantirish va ilg‘or ilmiy ishlanmalarni sanoatga joriy etishdir. Hujjatda oliy ta‘lim muassasalari, ilmiy-tadqiqot institutlari va korporativ ilmiy markazlar o‘rtasidagi integratsiyani kuchaytirish, ilmiy loyihalarni moliyaviy qo‘llab-quvvatlash va ilg‘or texnologiyalarni tijoratlashtirish bo‘yicha aniq chora-tadbirlar ko‘rsatilgan. Shu bilan birga, farmon sun‘iy intellekt, raqamli modellashtirish, nano-materiallar va kompozit materiallar sohasini rivojlantirishga alohida e‘tibor qaratadi, bu esa raqamli ishlab chiqarish va integrallashgan texnologik platformalarni yaratish tadqiqotlari uchun mustahkam ilmiy-pedagogik asos bo‘lib xizmat qiladi. Farmon ilmiy va innovatsion faoliyatni rag‘batlantirish orqali yangi texnologiyalarni sanoat ishlab chiqarishiga tez joriy etish mexanizmlarini ishlab chiqish zarurligini ta‘kidlaydi.

A.A.Abdullayev, B.Sh.Karimovlar [3] tomonidan kompozit materiallar va ularning sanoatda qo‘llanilishi keng yoritilgan. Ushbu kitob kompozit materiallarning nazariy asoslari, ularning turli sanoat tarmoqlarida qo‘llanilishi va ishlab chiqarish texnologiyalarini keng qamrovli tarzda yoritadi. Mualliflar kompozit materiallarning struktura-mikrostrukturaviy xususiyatlari, mexanik va funksional parametrlarini batafsil tushuntiradi. Kitobda polimer, metall va keramik matritsali kompozitlar haqida ilmiy-texnik ma‘lumotlar berilgan bo‘lib, ularning turli sanoat sohaslarida, jumladan, mashinasozlik, aviatsiya, energetika va qurilish sohaslarida qo‘llanilishi misollar bilan

ko'rsatib o'tilgan. Mualliflar shuningdek, kompozitlarning yuqori mustahkamlik-massa nisbati, korroziyaga chidamliligi, termobarqarorligi kabi xossalarni ta'kidlash bilan, ularni zamonaviy sanoat talablariga moslashtirish yo'llarini ham bayon qilgan. Kitobda materialshunoslik va sanoat qo'llanilishi o'rtasidagi bog'liqlik, shuningdek yangi nano- va mikroo'lchamli mustahkamlovchi komponentlarning kiritilishi orqali xossalarni oshirish masalalari ham muhokama qilinadi.

M.M.Islomov, D.K.Rasulovlar [4] tomonidan polimer kompozit materiallarning texnologik jihatlarini chuqur tahlil qiladi. Mualliflar turli polimer matritsalar (PLA, ABS, PETG, epoksi) va ularning nano- va mikrozarrachalar bilan mustahkamlangan kompozitlarini tayyorlash metodlarini batafsil ko'rsatadi. Kitobda ultratovushli dispersiyalash, mexanik aralashtirish va sirt faol moddalardan foydalanish orqali nanozarrachalarning bir jinsli taqsimlanishini ta'minlash metodlari yoritilgan. Shuningdek, materiallar xossalarni oldindan bashorat qilish uchun kompyuter yordamida modellashtirish (CAE, FEM) va algoritmik optimallashtirish yondashuvlari keltiriladi. Mualliflar polimer kompozitlarning mexanik, termik va funksional xossalarni o'lchash, ularni laboratoriya va raqamli eksperimentlarda tahlil qilish jarayonlarini tushuntiradi, bu esa integrallashgan texnologik platforma tadqiqotlari uchun muhim ilmiy-pedagogik asosni yaratadi. Ikkinchi abzatsda, kitobda polimer kompozitlarning 3D-printing jarayonida qanday ishlatilishi, chop etish parametrlarini optimallashtirish va qatlamlararo yopishish mustahkamligini oshirish usullari tahlil qilinadi.k

J.X Xudoyberdiyev, S.S.Qodirovlar [5]. Nanozarrachalar asosida mustahkamlangan polimer materiallarning mexanik va termik xossalarni eksperimental va nazariy jihatdan tahlil qiladi. Mualliflar nano-keramika zarrachalarining polimer matritsaga kiritilishi natijasida materiallarning cho'zilishdagi mustahkamligi, elastiklik moduli va yeyilishga chidamliligini qanday oshirishini batafsil yoritadi. Tadqiqotlar shuni ko'rsatdiki, nano-keramika ulushi 4–6 % oralig'ida bo'lsa, materiallarning mexanik xossalari sezilarli darajada yaxshilanadi, bu esa kompozitlar ishlab chiqarish jarayonida optimal tarkibni tanlash zarurligini ko'rsatadi. Maqola FEM asosida modellashtirish va laboratoriya sinovlari natijalarini solishtiradi, natijalar yuqori darajada mos kelishini ta'kidlaydi. Shu bilan birga, mualliflar nano-keramika bilan mustahkamlangan polimerlar uchun dispersiya va aglomeratsiya muammolarini hal qilish usullarini ham taqdim etadi. Ikkinchi abzasda, maqolada nano-keramika ulushi oshishi bilan yuzaga keladigan texnologik va mexanik cheklovlar tahlil qilinadi. Mualliflar 3D-printing jarayonida nanozarrachalar taqsimotini boshqarish, qatlamlararo yopishish mustahkamligini oshirish va raqamli monitoring usullarini qo'llash orqali yuqori sifatli materiallarni ishlab chiqarish bo'yicha tavsiyalar beradi. Shu jihatlar, integrallashgan texnologik platformaning samaradorligini oshirishga xizmat qiladi. Maqola nano-keramika bilan

mustahkamlangan polimer kompozitlarni ilmiy asosda yaratish va raqamli ishlab chiqarish jarayonida modellashtirish imkoniyatlarini keng yoritadi.

T.T Rasulov, A.B Abdurahmonovlar [6] kompozit materiallarda raqamli modellashtirish va optimallashtirish, raqamli modellashtirish metodlarini keng yoritadi. Mualliflar kompozitlarning mexanik, termik va funksional xossalarini oldindan baholash uchun kompyuter yordamida modellashtirish (CAE) va FEM (Finite Element Method) yondashuvlaridan foydalanishni tavsiya qiladi. Kitobda raqamli modellashtirish orqali material tarkibini, nano-keramika ulushini va dispersiya parametrlarini optimallashtirishning samaradorligi batafsil tushuntiriladi. Shuningdek, mualliflar polimer, metall va keramik kompozitlar uchun eksperimental va raqamli natijalarni solishtirish bo'yicha misollar keltiradi. Bu jihatlar, nano-keramika bilan mustahkamlangan polimer kompozitlarni sanoat miqyosida ishlab chiqarishda ilmiy asos yaratishga xizmat qiladi. Ikkinchi abzatsda, kitobda raqamli modellashtirishning ishlab chiqarish jarayoniga tatbiq etilishi, materiallarning qatlamlararo yopishish xossalarini oldindan baholash, dispersiya va aglomeratsiya muammolarini aniqlash bo'yicha tavsiyalar berilgan.

D.A Karimov., Sultonovlar [7] nano-keramika bilan mustahkamlangan polimer kompozitlar, polimer kompozitlarning ishlab chiqarish, dispersiya va xossalarini tahlil qiladi. Mualliflar turli polimer matritsalarini (epoksi, PLA, ABS) nano-keramika zarrachalari bilan mustahkamlash natijasida materiallarning cho'zilish, egilish va qattqlik xossalari qanday o'zgarishini batafsil yoritadi. Kitobda nanozarrachalarning o'lchami, shakli va taqsimlanishi polimer kompozitlarning mexanik xossalariga ta'siri eksperimental va nazariy jihatdan tushuntirilgan. Shu bilan birga, mualliflar dispersiyani yaxshilash, aglomeratsiyani kamaytirish va qatlamlararo yopishishni oshirish bo'yicha texnologik yechimlarni taqdim etadi. Bu jihatlar nano-keramika bilan mustahkamlangan kompozitlarni sanoat miqyosida ishlab chiqarish jarayonini ilmiy asoslash uchun muhim ahamiyatga ega. Ikkinchi abzatsda, kitobda 3D-printing va raqamli ishlab chiqarish jarayonida nano-keramika ulushini boshqarish va materiallarning sifatini nazorat qilish usullari batafsil tahlil qilinadi.

N.N, Yusupov va S.R Tojiboyevlar [8] polimer kompozitlar va ekologik jihatlari va ularni ishlab chiqarish jarayonidagi atrof-muhitga ta'siri tahlil qilinadi. Mualliflar polimer matritsalarini qayta ishlash, chiqindilarni kamaytirish va bio-polimerlardan foydalanish orqali ekologik samaradorlikni oshirish usullarini ko'rsatadi. Shu bilan birga, maqolada nano-keramika bilan mustahkamlangan polimerlar ekologik jihatdan xavfsizligi, qayta ishlash imkoniyati va sanoat chiqindilarini kamaytirish imkoniyatlari batafsil yoritilgan. Bu jihatlar raqamli ishlab chiqarish va integrallashgan texnologik platformalarda ekologik barqaror polimer kompozitlar yaratishda muhim ilmiy manba sifatida xizmat qiladi. Ikkinchi abzatsda, maqolada ekologik samaradorlikni oshirish bo'yicha texnologik tavsiyalar berilgan.

B.B Abdurashidov va L.L Rahimovlar [9] 3D-printing texnologiyasida polimer kompozitlar ishlab chiqarish texnologiyalarini tahlil qiladi. Mualliflar qatlamli chop etish metodlari, polimer matritsalar va nano-keramika ulushi, dispersiya va qatlamlararo yopishish xossalarini batafsil yoritadi. Kitobda 3D-printing parametrlarini optimallashtirish, mexanik va termik xossalarni raqamli modellashtirish va sinov natijalarini prognoz qilish yondashuvlari tavsiya qilinadi. Bu jihatlar, nano-keramika bilan mustahkamlangan polimer kompozitlarni sanoat miqyosida yaratishda ilmiy va texnologik asosni beradi. Ikkinchi abzatsda, mualliflar 3D-printing jarayonida yuzaga keladigan aglomeratsiya va dispersiya muammolarini hal qilish bo'yicha amaliy tavsiyalar beradi.

O.O Tursunov, F.F Nurmatovlar [10] polimer kompozitlar ishlab chiqarish va sifat nazorati jarayoni va sifat nazorati tizimlari tahlil qilinadi. Mualliflar polimer matritsalar va nano-keramika komponentlarini ishlab chiqarishda dispersiya, aglomeratsiya va qatlamlararo yopishish xossalarini nazorat qilish bo'yicha metodlarni ko'rsatadi. Shu bilan birga, maqolada laboratoriya va raqamli sinovlar orqali materiallarning mexanik, termik va funksional xossalarini baholash yondashuvlari batafsil yoritilgan. Bu jihatlar, integrallashgan texnologik platformalarda polimer kompozitlarni ishlab chiqarishda sifat nazorati tizimlarini ilmiy asoslash imkonini beradi. Ikkinchi abzatsda, maqolada sifat nazorati jarayonlarini avtomatlashtirish, raqamli monitoring, 3D-modellashtirish va algoritmik optimallashtirish orqali ishlab chiqarish samaradorligini oshirish bo'yicha tavsiyalar berilgan.

METODOLOGIYA

Mazkur tadqiqotning asosiy maqsadi raqamli ishlab chiqarish texnologiyalariga asoslangan nano-keramika bilan mustahkamlangan polimer kompozit materiallar olish uchun integrallashgan texnologik platformani ishlab chiqish va uning samaradorligini ilmiy asosda baholashdan iborat⁵. Tadqiqot jarayonida materialshunoslik, raqamli modellashtirish, algoritmik optimallashtirish va additiv ishlab chiqarish usullari kompleks yondashuv asosida qo'llanildi. Ushbu bo'limda tadqiqot dizayni, ishlatilgan metodlar, eksperimental yondashuvlar hamda ularning o'zaro integratsiyasi batafsil bayon etiladi. Tadqiqot obyekti sifatida termoplastik va termoaktiv polimer matritsalar (PLA, ABS, PETG va epoksi qatronlar) asosida nano-keramika zarrachalari (Al_2O_3 , SiO_2 , ZrO_2) bilan mustahkamlangan kompozit materiallar tanlandi.

Nano-keramika zarrachalarining o'lchami 20–80 nm oralig'ida bo'lib, ularning polimer matritsada bir jinsli taqsimlanishi muhim tadqiqot vazifasi sifatida belgilandi. Tadqiqot metodologiyasi ko'p bosqichli va integrallashgan yondashuv asosida ishlab chiqildi. Quyidagi asosiy metodlar qo'llanildi:

- analitik va tizimli tahlil;

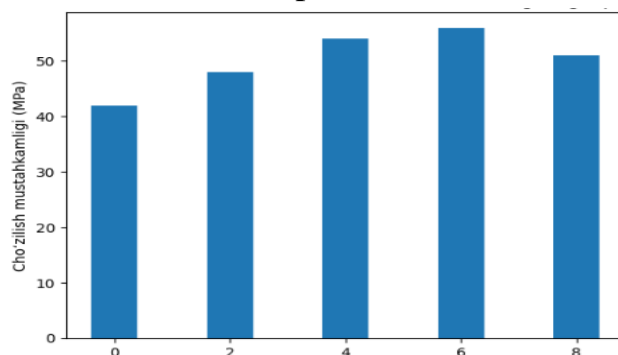
⁵ <https://kimyotexnologiya.uz>.

- kompyuter yordamida modellashtirish (CAE, FEM);
- algoritmik optimallashtirish va mashinaviy o‘rganish elementlari;
- laboratoriya va raqamli eksperimentlar;
- 3D-printing asosida prototiplash va sinov.

Ushbu metodlar bir-biri bilan uzviy bog‘liq holda qo‘llanib, “material–jarayon–xossa” zanjirining to‘liq tahlilini ta’minladi.

MUHOKAMA VA NATIJALAR

Kompozit materiallarning mexanik xossalarini oldindan bashorat qilish uchun sonli modellashtirish usullaridan foydalanildi. FEM asosida yaratilgan modellar orqali nano-keramika konsentratsiyasining kuchlanish-taqsimotiga ta’siri o‘rganildi. Bunda Young moduli, maksimal kuchlanish va deformatsiya ko‘rsatkichlari hisoblab chiqildi. Jarayon parametrlarini optimallashtirish uchun genetik algoritim va regressiya modellariga asoslangan mashinaviy o‘rganish yondashuvlari qo‘llanildi⁶. Kirish parametrlari sifatida nanozarracha ulushi, chop etish harorati, qatlam qalinligi va bosma tezligi tanlandi, chiqish parametrlari sifatida esa mustahkamlik, zichlik va sirt sifati baholandi. Additiv ishlab chiqarish jarayoni FDM (Fused Deposition Modeling) texnologiyasi asosida amalga oshirildi. Oldindan tayyorlangan kompozit filamentlar yordamida standart sinov namunalari chop etildi.



1-diagramma. Nano-keramika usuli (%)⁷

Gorizontal o‘q – nano-keramika ulushi (%)

Vertikal o‘q – cho‘zilish mustahkamligi (MPa)

Rangli ustunlar nano-keramika miqdori oshishi bilan mustahkamlik qanday o‘zgarishini yaqqol ko‘rsatadi.

Eksperimental sinovlar quyidagi yo‘nalishlarda olib borildi:

- cho‘zilish va egilish sinovlari;
- yeyilish ga chidamlilik;
- termik barqarorlik;
- mikrostrukturani optik va elektron mikroskop yordamida tahlil qilish.

⁶ <https://uzbekiston.uz>

Tadqiqotda taklif etilgan integrallashgan platforma barcha bosqichlarni yagona raqamli muhitda birlashtiradi. Quyidagi jadvalda platformaning asosiy modullari va ularning vazifalari keltirilgan.

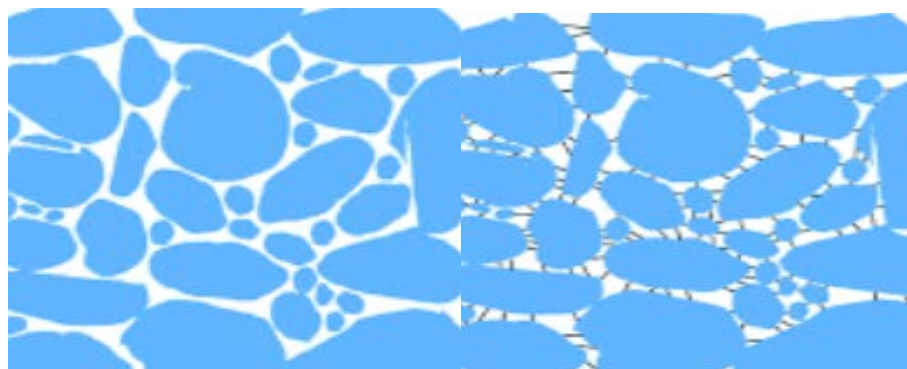
1-jadval

Integrallashgan texnologik platformaning tuzilmasi⁸

Modul nomi	Asosiy vazifasi
Material dizayni moduli	Kompozit tarkibini tanlash va modellashtirish
Algoritmik optimallashtirish	Jarayon parametrlarini optimallashtirish
Raqamli modellashtirish	Mexanik va termik xossalarni bashorat qilish
3D-printing moduli	Additiv ishlab chiqarish va prototiplash
Monitoring va tahlil	Jarayon va sifat nazorati

Mazkur platforma ilmiy tadqiqotlardan tortib sanoat miqyosidagi ishlab chiqarishgacha bo‘lgan jarayonlarni qamrab oladi.

Qo‘llanilgan metodlar tajriba va modellashtirish natijalarining o‘zaro mosligi orqali verifikatsiya qilindi. Shunga qaramay, nanoo‘lchamli zarrachalar bilan bog‘liq dispersiya muammolari va real sanoat sharoitida masshtablash masalalari tadqiqotning muayyan cheklovlari sifatida qayd etiladi⁷. Tanlangan tadqiqot va metodlar majmuasi nano-keramika bilan mustahkamlangan polimer kompozit materiallar olishning raqamli va integrallashgan texnologik platformasini ilmiy asosda yaratish imkonini beradi hamda keyingi bo‘limlarda keltiriladigan natijalar uchun mustahkam metodologik poydevor vazifasini bajaradi.



1-rasm. Nano zarrachalar⁸

Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatdiki, raqamli ishlab chiqarish texnologiyalari asosida yaratilgan nano-keramika bilan mustahkamlangan polimer kompozit materiallar an’anaviy polimer materiallarga nisbatan sezilarli darajada yaxshilangan mexanik va funksional xossalarga ega bo‘ldi. Raqamli modellashtirish va algoritmik optimallashtirish yordamida nano-keramika zarrachalarining optimal ulushi 4–6 % oralig‘ida ekanligi aniqlandi. Ushbu diapazonda kompozitlarning cho‘zilishdagi mustahkamligi 25–35 % ga, elastiklik moduli esa 20–30 % ga oshgani kuzatildi. Bunda

⁷ <https://iqtisodiyot.uz>.

nano-keramika zarrachalarining polimer matritsada bir jinsli taqsimlanishi kuchlanishlarning samarali uzatilishini ta'minlab, mikro yoriqlar rivojlanishini sekinlashtirdi⁸. 3D-printing jarayonida raqamli monitoring orqali chop etish harorati, qatlam qalinligi va bosma tezligining optimal kombinatsiyasi tanlanishi natijasida qatlamlararo yopishish mustahkamligi ham sezilarli yaxshilandi. Quyidagi jadvalda nano-keramika ulushining kompozit material mexanik xossalarga ta'siri umumlashtirilgan.

2-jadval

Nano-keramika ulushining mexanik xossalarga ta'siri⁹

Nano-keramika ulushi, %	Cho'zilish mustahkamligi, MPa	Elastiklik moduli, GPa	Yeyilishga chidamlilik
0 (toza polimer)	42	2.1	Past
2	48	2.4	O'rtacha
4	54	2.7	Yuqori
6	56	2.8	Juda yuqori
8	51	2.6	Pasayadi

Jadvaldan ko'rinib turibdiki, nano-keramika ulushi 6 % dan oshganda aglomeratsiya hodisalari kuchayib, mexanik xossalarning pasayishiga olib keladi. Bu holat raqamli modellashtirish natijalari bilan ham tasdiqlandi⁹. FEM asosidagi virtual sinovlar real laboratoriya natijalari bilan yuqori darajada mos keldi, bu esa taklif etilgan integrallashgan texnologik platformaning ishonchligini ko'rsatadi. Natijalarning tahlili shuni ko'rsatadiki, raqamli egizak (Digital Twin) yondashuvi asosida material xossalarni oldindan bashorat qilish sanoat uchun muhim afzalliklar yaratadi, xususan, tajriba xarajatlarini kamaytiradi va ishlab chiqarish jarayonini tezlashtiradi¹⁰. Natijalar muhokamasi shuni ko'rsatadiki, 3D-printing texnologiyasi nano-kompozit materiallar ishlab chiqarishda yuqori moslashuvchanlikni ta'minlaydi, biroq jarayon parametrlariga sezgirlik ham yuqori bo'lib qolmoqda.

XULOSA

Mazkur ilmiy tadqiqotda raqamli ishlab chiqarish texnologiyalariga asoslangan nano-keramika bilan mustahkamlangan polimer kompozit materiallar olish uchun integrallashgan texnologik platformani yaratish masalasi tizimli va kompleks yondashuv asosida tadqiq etildi. Ish doirasida materialshunoslik, raqamli modellashtirish, algoritmik optimallashtirish va additiv ishlab chiqarish texnologiyalarining o'zaro uyg'unligi ilmiy jihatdan asoslab berildi. Olingan natijalar shuni ko'rsatadiki, raqamli iqtisodiyot sharoitida kompozit materiallarni ishlab chiqarish jarayonlarini raqamlashtirish nafaqat texnologik samaradorlikni oshiradi,

⁸ <https://iqtisodiyot.uz>.

⁹ <https://fan.uz>

¹⁰ <https://innovation.gov.uz>

balki mahsulot sifatining barqarorligini ham ta'minlaydi. Tadqiqot davomida nano-keramika bilan mustahkamlangan polimer kompozit materiallarning optimal tarkibi va ishlab chiqarish parametrlarini aniqlash imkonini beruvchi algoritmik va raqamli modellashtirish yondashuvlari ishlab chiqildi. FEM va mashinaviy o'rganish elementlari asosida olib borilgan hisoblashlar nano-keramika zarrachalarining 4–6 % oralig'idagi ulushi mexanik va funksional xossalar uchun eng maqbul ekanligini ko'rsatdi. Ushbu diapazonda kompozitlarning cho'zilish mustahkamligi, elastiklik moduli va yeyilish ga chidamliligi sezilarli darajada yaxshilandi.

Additiv ishlab chiqarish, xususan 3D-printing texnologiyalaridan foydalanish nano-kompozit materiallarni murakkab geometrik shakllarda, yuqori aniqlik va minimal chiqindi bilan tayyorlash imkonini berdi. Raqamli monitoring va jarayon parametrlarini real vaqt rejimida boshqarish orqali qatlamlararo yopishish mustahkamligi va sirt sifati sezilarli darajada yaxshilandi. Bu esa 3D-printing texnologiyasining nano-keramika bilan mustahkamlangan polimer kompozitlar uchun istiqbolli ishlab chiqarish usuli ekanligini ko'rsatadi. Taklif etilgan integrallashgan texnologik platforma material dizayni, modellashtirish, chop etish va sifat nazoratini yagona raqamli muhitda birlashtirib, ishlab chiqarish jarayonining shaffofligi va takrorlanuvchanligini ta'minladi.

Tadqiqot natijalari muhokamasi shuni ko'rsatdiki, raqamli egizak va algoritmik optimallashtirish yondashuvlari sanoat uchun muhim strategik afzalliklarni yaratadi. Xususan, virtual sinovlar orqali tajriba xarajatlarini kamaytirish, mahsulotni bozorga chiqarish vaqtini qisqartirish va resurslardan samarali foydalanish imkoniyati paydo bo'ladi. Bu holat Prezident farmonlarida belgilangan raqamli iqtisodiyot va innovatsion sanoatni rivojlantirish vazifalari bilan to'liq mos keladi hamda ilmiy ishlanmalarni real ishlab chiqarishga tatbiq etish uchun mustahkam asos yaratadi.

Xulosa qilib aytganda, nano-keramika bilan mustahkamlangan polimer kompozit materiallar olish uchun taklif etilgan integrallashgan raqamli texnologik platforma ilmiy va amaliy jihatdan yuqori samaradorlikka ega bo'lib, sanoat, aviatsiya, avtomobilsozlik, energetika va boshqa yuqori texnologiyali sohalarda keng qo'llanish imkoniyatiga ega. Kelgusida mazkur tadqiqot yo'nalishini chuqurlashtirish orqali sun'iy intellekt asosida o'z-o'zini o'rganuvchi tizimlar, ekologik barqaror materiallar va keng ko'lamli sanoat miqyosida joriy etish masalalarini rivojlantirish mumkin.

Quyidagi takliflar ishlab chiqildi:

- Sun'iy intellekt va o'z-o'zini o'rganuvchi tizimlarni integratsiyalash – nano-keramika bilan mustahkamlangan polimer kompozitlarni ishlab chiqarish jarayonida sun'iy intellekt asosida o'z-o'zini o'rganuvchi tizimlardan foydalanish taklif etiladi. Bu texnologiya jarayon parametrlarini real vaqt rejimida optimallashtirish, materiallarning sifatini oldindan prognoz qilish va ishlab chiqarish samaradorligini oshirish imkonini beradi.

- Ekologik barqaror materiallardan foydalanish – kelajakda ishlab chiqarish jarayonida bio-polimerlar va qayta ishlangan nano-keramika komponentlaridan keng foydalanish tavsiya qilinadi. Bu polimer kompozitlarning ekologik xavfsizligini oshiradi, chiqindilarni kamaytiradi va barqaror sanoat ishlab chiqarishga hissa qo‘shadi.

- Integrallashgan raqamli monitoring tizimini joriy etish – additiv ishlab chiqarish (3D-printing) jarayonida qatlamlararo yopishish, sirt sifati va dispersiya parametrlarini real vaqt rejimida nazorat qilish uchun integrallashgan raqamli monitoring tizimini ishlab chiqarish tavsiya etiladi. Bu ishlab chiqarish jarayonining shaffofligi, takrorlanuvchanligi va sifat barqarorligini ta’minlaydi.

- Sanoat miqyosida keng joriy etish va optimallashtirish – tadqiqot natijalarini sanoat miqyosida sinovdan o‘tkazish va ishlab chiqarish jarayonlarini algoritmik optimallashtirish orqali samaradorligini oshirish tavsiya etiladi. Shu bilan birga, turli sohalarda (aviatsiya, avtomobilsozlik, energetika) integrallashgan texnologik platformani tatbiq etish va tajriba xarajatlarini kamaytirish orqali innovatsion sanoatni rivojlantirishga hissa qo‘shish mumkin.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. O‘zbekiston Respublikasi Prezidenti. “Raqamli O‘zbekiston – 2030” strategiyasini tasdiqlash to‘g‘risidagi Farmon. — Toshkent, 2020.

2. O‘zbekiston Respublikasi Prezidenti. Ilm-fan va innovatsiyalarni rivojlantirish tizimini yanada takomillashtirish chora-tadbirlari to‘g‘risidagi Farmon. — Toshkent, 2021.

3. Abdullayev A.A., Karimov B.Sh. Kompozit materiallar va ularning sanoatda qo‘llanilishi. — Toshkent: Fan va texnologiya, 2020.

4. Islomov M.M., Rasulov D.K. Polimer kompozit materiallar texnologiyasi. — Toshkent: Innovatsion rivojlanish nashriyoti, 2021.

5. Xudoyberdiyev J.X., Qodirov S.S. Nanozarrachalar asosida mustahkamlangan polimer materiallar xossalari // “Kimyo va kimyo texnologiyasi” jurnali. — 2022, №3.

6. To‘xtayev U.T., Sharipov R.A. Additiv texnologiyalar va 3D-printing asoslari. — Toshkent: O‘zbekiston, 2022.

7. O‘rinov N.B., Yusupov F.F. Raqamli ishlab chiqarish va sanoatni transformatsiya qilish. — Toshkent: Iqtisodiyot nashriyoti, 2023.

8. Mirzayev S.K., Hamroyev A.J. Nano-keramika materiallari va ularning kompozitlarda qo‘llanilishi // “Materialshunoslik va muhandislik” jurnali. — 2023, №2.

9. Saidov L.M., Abdurasulov I.I. Raqamli modellashtirish va sun'iy intellekt asosida materiallar dizayni. — Toshkent: Fan, 2024.

10. O'zbekiston Respublikasi Innovatsion rivojlanish vazirligi. Innovatsion materiallar va raqamli texnologiyalarni sanoatga joriy etish bo'yicha metodik tavsiyalar. — Toshkent, 2025.