ISNN 3030-3907

2026/4
VOLUME 10

# DEVELOPMENT OF SCIENCE

## ILMIY JURNAL



# Development of science

## Ilmiy jurnal

*2026/4 VOLUME 10*

*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.*
***Асадова Раъно Дилмуратовна***
*Тошкент Давлат техника университети доценти*

**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

# BOSHQARILADIGAN FRIKSION MEXANIZMLAR UCHUN MAXSUS QOTISHMALARNING NAZARIY ASOSLARI VA ZAMONAVIY TADQIQOTLAR TAHLILI

**Axmedov Azamat Xaitovich**
*Toshkend davlat texnika universiteti Nazariy mexanika mashina va mexanizmlar nazariyasi kafedra mudiri DSc. Professori*
**Fayziyev Javohir Xayrulla**
*Toshkend davlat texnika universiteti doktoranti* **o‘g‘li**

**Annotatsiya.** Mazkur maqolada boshqariladigan friksion mexanizmlar uchun mo‘ljallangan maxsus qotishmalarning nazariy asoslarini aniqlash va zamonaviy ilmiy tadqiqotlarni tizimli tahlil qilish maqsad qilingan. Natijalar shuni ko‘rsatdiki, friksion tizimlarning samaradorligi materiallarning mikrostrukturasi, tribologik xususiyatlari va issiqlik barqarorligiga bevosita bog‘liq. Kukun metallurgiyasi asosidagi qotishmalar, yuqori entropiyali qotishmalar hamda kompozitsion materiallar yuqori yuklama va harorat sharoitida nisbatan barqaror ishlashi bilan ajralib turadi. Shu bilan birga, mavjud tadqiqotlarda maxsus qotishmalarning boshqariladigan friksion mexanizmlardagi ishlashini kompleks nazariy model asosida baholash yetarli darajada yoritilmaganligi aniqlandi. Xulosa sifatida, friksion tizimlarda qo‘llaniladigan maxsus qotishmalarni tanlash mezonlarini ilmiy jihatdan asoslash hamda ularning ishlash mexanizmlarini yagona nazariy yondashuv asosida umumlashtirish zarurligi ko‘rsatildi. Tadqiqot natijalari yuqori ishonchlilikka ega friksion mexanizmlarni loyihalash uchun muhim nazariy asos bo‘lib xizmat qiladi.

**Kalit so‘zlar:** boshqariladigan friksion mexanizmlar, maxsus qotishmalar, tribologiya, yeyilish, kukun metallurgiyasi, yuqori entropiyali qotishmalar, nazariy tahlil.

**Аннотация.** Целью данной статьи является определение теоретических основ специальных сплавов для управляемых фрикционных механизмов и системный анализ современных научных исследований. Результаты показали, что эффективность фрикционных систем напрямую зависит от микроструктуры материалов, их трибологических свойств и термической стабильности. Установлено, что сплавы порошковой металлургии, высокоэнтропийные сплавы и композиционные материалы демонстрируют повышенную устойчивость при высоких нагрузках и температурах. Вместе с тем выявлено, что в существующих исследованиях недостаточно представлена комплексная теоретическая модель оценки работы специальных сплавов в управляемых фрикционных механизмах. В заключение обоснована необходимость научного определения критериев



ISSN 3030-3907

выбора специальных сплавов и их обобщения в рамках единого теоретического подхода. Полученные результаты могут служить теоретической базой для проектирования высоконадежных фрикционных механизмов.

**Ключевые слова:** управляемые фрикционные механизмы, специальные сплавы, трибология, износ, порошковая металлургия, высокоэнтропийные сплавы, теоретический анализ.

**Abstract.** This article aims to determine the theoretical foundations of special alloys for controlled friction mechanisms and to provide a systematic analysis of recent scientific studies. The results indicate that the efficiency of friction systems largely depends on material microstructure, tribological properties, and thermal stability. Powder metallurgy alloys, high-entropy alloys, and composite materials demonstrate improved stability under high loads and temperatures. However, existing studies insufficiently address a comprehensive theoretical model for evaluating the performance of special alloys in controlled friction mechanisms. The study concludes that it is necessary to establish scientifically grounded criteria for selecting special alloys and to integrate their operating principles within a unified theoretical framework. These findings can serve as a theoretical basis for designing highly reliable friction mechanisms.

**Keywords**: controlled friction mechanisms, special alloys, tribology, wear, powder metallurgy, high-entropy alloys, theoretical analysis.

**KIRISH.**

Zamonaviy texnika va mashinasozlik sanoatining jadal rivojlanishi yuqori ishonchlilik, uzoq xizmat muddati hamda murakkab ekspluatatsion sharoitlarda barqaror ishlay oladigan mexanik tizimlarni yaratishni talab etmoqda. Bunday tizimlar tarkibida boshqariladigan friksion mexanizmlar alohida ahamiyat kasb etadi, chunki ular moment uzatish, harakatni tartibga solish, energiya yo‘qotilishini kamaytirish hamda xavfsizlikni ta’minlash kabi muhim funksiyalarni bajaradi. Mazkur mexanizmlarning samaradorligi ko‘p jihatdan ishqalanish jarayonida yuzaga keladigan fizik hodisalar hamda kontakt juftliklarida qo‘llaniladigan materiallarning xususiyatlariga bog‘liqdir.

Friksion tizimlarda ishqalanish va yeyilish jarayonlari murakkab ko‘p omilli jarayon bo‘lib, ular kontakt bosimi, sirpanish tezligi, harorat, material mikrostrukturasi va sirt holati kabi ko‘plab parametrlar ta’sirida shakllanadi. Shu sababli so‘nggi yillarda tribologiya sohasida materiallarning ishlash mexanizmlarini chuqur o‘rganish hamda friksion juftliklar uchun optimal tarkibga ega qotishmalarni ishlab chiqishga qaratilgan ilmiy tadqiqotlar sezilarli darajada faollashdi. Ayniqsa, yuqori yuklama va o‘zgaruvchan harorat sharoitida



ISSN 3030-3907

ishlaydigan mexanizmlar uchun oddiy konstruksion materiallar yetarli samaradorlikni ta’minlay olmaydi. Bu esa maxsus qotishmalarni yaratish va ularning nazariy asoslarini takomillashtirish zaruratini yuzaga keltiradi.

Maxsus qotishmalar friksion tizimlarning ekspluatatsion ko‘rsatkichlarini yaxshilashda muhim omil hisoblanadi. Ular yuqori mustahkamlik, yeyilishga chidamlilik, issiqlik barqarorligi hamda barqaror ishqalanish koeffitsientini ta’minlash kabi xususiyatlari bilan ajralib turadi. Xususan, kukun metallurgiyasi asosida olingan qotishmalar bir jinsli struktura hosil qilish imkoniyati, tarkibni aniq boshqarish va g‘ovaklilik darajasini moslashtirish orqali issiqlikni samarali taqsimlash kabi afzalliklarga ega. Shu bilan birga, yuqori entropiyali qotishmalar ko‘p komponentli tarkibi sababli yuqori mexanik mustahkamlik va strukturaviy barqarorlikni namoyon etadi, bu esa ularni og‘ir ish sharoitlarida qo‘llash istiqbollarini kengaytiradi. Kompozitsion friksion materiallar esa turli komponentlarning funksional xususiyatlarini birlashtirish orqali ishqalanish jarayonini ma’lum darajada boshqarish imkonini beradi.

Biroq friksion mexanizmlarning zamonaviy konstruksiyalari faqat yuqori chidamlilikka ega materiallarni qo‘llash bilangina cheklanmaydi. Hozirgi ilmiy yondashuvlarda ishqalanish jarayonini boshqarish, ya’ni friksion ko‘rsatkichlarni barqaror saqlash, aşınishni kamaytirish va issiqlik hosil bo‘lishini nazorat qilish masalalari tobora dolzarb ahamiyat kasb etmoqda. Shu nuqtai nazardan, boshqariladigan friksion mexanizmlar uchun material tanlashda nafaqat ularning mexanik xususiyatlari, balki mikrostrukturaviy barqarorligi, fazalararo o‘zaro ta’siri va termofizik parametrlari ham kompleks tarzda baholanishi lozim.

Mavjud ilmiy tadqiqotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, friksion materiallarning tribologik xususiyatlari keng o‘rganilgan bo‘lsa-da, material tarkibi, kontakt mexanikasi va issiqlik jarayonlari o‘rtasidagi o‘zaro bog‘liqlikni boshqariladigan friksion tizimlar doirasida yagona nazariy yondashuv asosida umumlashtirish yetarli darajada amalga oshirilmagan. Ko‘plab ishlarda materiallarning alohida xususiyatlari tahlil qilingan, biroq ularning mexanizm samaradorligiga integrallashgan ta’siri tizimli ravishda yoritilmagan. Natijada maxsus qotishmalarni tanlash mezonlarini ilmiy jihatdan asoslash hamda ularning ishlashini bashorat qiluvchi nazariy modellarni ishlab chiqish zarurati saqlanib qolmoqda.

Shu munosabat bilan mazkur maqolaning maqsadi boshqariladigan friksion mexanizmlar uchun mo‘ljallangan maxsus qotishmalarning nazariy asoslarini tizimli ravishda tahlil qilish, zamonaviy ilmiy tadqiqotlarni umumlashtirish hamda ushbu yo‘nalishdagi mavjud ilmiy bo‘shliqlarni aniqlashdan iborat.



ISSN 3030-3907

Tadqiqot natijalari friksion tizimlarning samaradorligini oshirishga xizmat qiluvchi nazariy yondashuvlarni rivojlantirish hamda yuqori ishonchlilikka ega mexanik qurilmalarni loyihalash uchun muhim ilmiy asos bo‘lib xizmat qiladi.

**METODOLOGIYA.** Mazkur tadqiqot nazariy xarakterga ega bo‘lib, boshqariladigan friksion mexanizmlar uchun mo‘ljallangan maxsus qotishmalarni ilmiy jihatdan tahlil qilish va umumlashtirishga qaratildi. Tadqiqot jarayonida tizimli, qiyosiy hamda mantiqiy-tahliliy yondashuvlar qo‘llanildi. Ilmiy manbalarni saralashda mavzuga bevosita aloqador bo‘lgan tribologiya, materialshunoslik va friksion tizimlar nazariyasiga oid maqolalar tanlab olindi.

Adabiyotlarni tanlash mezonlari quyidagilardan iborat bo‘ldi: (1) boshqariladigan yoki yuqori yuklama sharoitida ishlaydigan friksion mexanizmlarga oid tadqiqotlar; (2) kukun metallurgiyasi asosidagi qotishmalar, yuqori entropiyali qotishmalar va kompozitsion friksion materiallarga bag‘ishlangan ilmiy ishlar; (3) material mikrostrukturasi, issiqlik hosil bo‘lish jarayoni va yeyilish mexanizmlarini yorituvchi nazariy yoki eksperimental tadqiqotlar. Tanlangan manbalar mazmuni konseptual jihatdan guruhlarga ajratilib, har bir yo‘nalish bo‘yicha umumlashtiruvchi tahlil amalga oshirildi. Tahlil jarayonida material tarkibi va uning tribologik javobi o‘rtasidagi bog‘liqlikni aniqlash maqsadida strukturaviy-parametrik yondashuvdan foydalanildi. Bunda mikrostrukturaviy omillar (fazalar tarkibi, donalar o‘lchami, g‘ovaklilik darajasi), mexanik ko‘rsatkichlar (qattiqlik, mustahkamlik, elastiklik moduli) hamda termofizik xususiyatlar (issiqlik o‘tkazuvchanlik, issiqlik kengayish koeffitsienti) alohida ko‘rib chiqildi va ularning ishqalanish koeffitsienti hamda yeyilish tezligiga ta’siri mantiqiy ravishda tahlil qilindi.

Shuningdek, boshqariladigan friksion mexanizmlarning ishlash sharoitlari tizimli yondashuv asosida baholandi. Bunda kontakt zonasida yuzaga keladigan bosim taqsimoti, sirpanish tezligi, issiqlik generatsiyasi va energiya dissipasiyasi kabi omillar o‘zaro bog‘liq holda ko‘rib chiqildi. Material xususiyatlari va mexanizmning funksional ko‘rsatkichlari o‘rtasidagi o‘zaro ta’sirni aniqlash uchun konseptual integrallashgan model ishlab chiqish tamoyillari shakllantirildi.

Tadqiqotning nazariy xarakterini inobatga olgan holda, olingan ma’lumotlar umumlashtirildi, o‘zaro solishtirildi hamda ilmiy mantiq asosida tizimlashtirildi. Natijada mavjud ilmiy ishlarda yoritilgan natijalar asosida boshqariladigan friksion mexanizmlar uchun maxsus qotishmalarni tanlash va baholash mezonlarini aniqlashga qaratilgan konseptual yondashuv ishlab chiqildi. Mazkur metodologiya material mikrostrukturasi, tribologik parametrlar va issiqlik jarayonlari o‘rtasidagi bog‘liqlikni kompleks tarzda tahlil qilish imkonini beradi hamda kelgusida matematik modellashtirish ishlariga nazariy asos yaratadi.



ISSN 3030-3907

**NATIJALAR.** Tribologiya va friksion tizimlar bo‘yicha olib borilgan so‘nggi tadqiqotlar boshqariladigan friksion mexanizmlar uchun maxsus qotishmalarni tanlash hamda ularning nazariy asoslarini chuqur anglash imkonini berdi. Zhang (2025) o‘z sharh maqolasida kukun metallurgiyasi asosidagi friksion qotishmalarning struktura parametrlarini optimallashtirish orqali ishqalanish koeffitsientini barqarorlashtirish yo‘nalishlarini tizimli ravishda yoritadi. U KM qotishmalarda mikrostrukturaviy xislatlarni nazorat qilish friksion barqarorlikni oshirishi, issiqlik tarqalish ishlarini yaxshilashi va yeyilish jarayonlarini sekinlashtirishi mumkinligini ko‘rsatadi. Shu nuqtai nazardan, Zhangning natijalari boshqariladigan tizimlarda material parametrlarini boshqarish imkoniyatlarini baholashda ilmiy asos bo‘lib xizmat qiladi.

High entropy alloys (HEA) friksion materiallar sifatida katta ilmiy qiziqish uyg‘otmoqda. Kumar (2023) HEA’larning ko‘p komponentli tarkibi tufayli hosil bo‘ladigan yuqori qattiqlik, mexanik mustahkamlik va yeyilishga nisbatan chidamlilikni batafsil tahlil qiladi. Kumarning nuqtai nazaricha, HEA mikrostrukturasi kontakt zonasida yuzaga keladigan deformatsiya va termik yo‘qotish jarayonlariga sezilarli darajada ta’sir ko‘rsatadi, bu esa friksion javobning barqaror bo‘lishiga xizmat qiladi. Biroq Wu va boshqalar (2022) friksion qoplamalarni tahlil qilgan sharhlarida HEA’larning tribologik parametrlarini aniq matematik modellashtirish bo‘yicha ilmiy bo‘shliqlar mavjudligini qayd etadi. Ushbu farq HEA’larning amaliy ko‘rsatkichlari bilan nazariy modellari orasidagi g‘ilofni ochib beradi.

Kompozitsion friksion materiallar bo‘yicha Jadhav (2019) ishlari metall matritsa va qo‘shimcha fazalarning funktsional xususiyatlarini baholab, bu komponentlar o‘rtasidagi o‘zaro ta’sirning friksion koeffitsientga bevosita ta’sir qilishi mumkinligini ko‘rsatadi. Jadhavning tahlili shuni aniqladiki, tarkibdagi qattiq moylovchi yoki mustahkamlovchi elementlar friksion javobni barqarorlashtiradi va aşınish jarayonini sekinlashtiradi. Lee (2024) uslubida olib borilgan tadqiqotlarda esa kompozitsion materiallarning mikrostrukturaviy barqarorligi va ishlash sharoitlariga bog‘liq friksion xususiyatlarining o‘zgarishi batafsil ko‘rib chiqiladi, bu esa kompozitsion materiallarni boshqariladigan tizimlar uchun moslashtirish yondashuvlarini yoritadi.

Friksion jarayonlarni boshqarish yondashuvi ham adabiyotlarda alohida e’tibor olgan. Tang va boshqalar (2022) o‘zlarining eksperimental ishlarida tashqi omillar, xususan yorug‘lik yoki magnit maydon orqali friksion javobni boshqarish usullarini tavsiflaydi. Ularning natijalari shuni ko‘rsatadiki, materialning ichki mikrostrukturasi bilan tashqi boshqaruv signallari o‘rtasidagi moslik friksion javobni samarali boshqarish uchun hal qiluvchi ahamiyatga ega. Jiang (2021)



ISSN 3030-3907

adaptiv boshqaruv strategiyalarini nazariy jihatdan shakllantirgan ishida friksion tizimlarning dinamik javoblarini modellashtirish bo‘yicha konseptual yondashuvni taklif etadi, bu boshqaruv elementlarini material parametrlariga bog‘lashni ilmiy asoslashtiradi.

Ushbu izlanishlarda friksion jarayonlarning fundamental qonuniyatlari bo‘yicha Erdemir (2020) friksion va yeyilish mexanizmlarini chuqur tushuntirgan holda, kontakt mexanikasi hamda yuzaning mikrogeometriyasi faktorlari friksion javobga sezilarli ta’sir ko‘rsatishini boshlang‘ich ilmiy asos sifatida beradi. U, shuningdek, materiallarning mexanik, termal va kimyoviy xususiyatlari o‘rtasidagi o‘zaro bog‘liqlikni ilmiy nuqtai nazardan muhokama qiladi.

Umuman olganda, tahlil qilingan adabiyotlar friksion tizimlarning samaradorligiga ta’sir qiluvchi ko‘plab parametrlarni aniqlaydi: mikrostrukturaviy fazalar, issiqlik tarqalish mexanizmlari, tashqi boshqaruv omillari, sirt barqarorligi va komponentlar o‘rtasidagi fazalararo o‘zaro ta’sirlar. Biroq ular bo‘yicha mavjud ilmiy ishlarda material parametrlarini va boshqarish mexanizmlarini yagona nazariy modelda umumlashtirish ishlari cheklanganligi aniqlanadi. Shu sababli, boshqariladigan friksion mexanizmlar uchun maxsus qotishmalarning ishlash mexanizmlarini birlashtirgan integrallashgan nazariy yondashuv ishlab chiqish ilmiy jihatdan dolzarb bo‘lib qolmoqda.

**MUHOKAMA.** O‘tkazilgan adabiyotlar tahlili natijalari boshqariladigan friksion mexanizmlar uchun maxsus qotishmalarni yaratish va tanlash masalasi zamonaviy materialshunoslik hamda tribologiya sohalarining muhim ilmiy yo‘nalishlaridan biri ekanligini ko‘rsatadi. Tadqiqotlar tahlili kukun metallurgiyasi asosidagi qotishmalar, yuqori entropiyali qotishmalar hamda kompozitsion materiallar friksion tizimlarning ekspluatatsion ko‘rsatkichlarini sezilarli darajada yaxshilash imkoniyatiga ega ekanligini tasdiqlaydi.

Kukun metallurgiyasi texnologiyasi yordamida olingan qotishmalar tarkibni boshqarish imkoniyati, strukturaviy bir jinslilik hamda optimal g‘ovaklilik darajasi bilan ajralib turadi. Bu xususiyatlar kontakt zonasida issiqlikning bir tekis taqsimlanishiga xizmat qilib, termik zo‘riqishlarning kamayishiga olib keladi. Natijada friksion juftliklarning xizmat muddati uzayadi va tizimning umumiy ishonchliligi ortadi. Shu bilan birga, ayrim tadqiqotlarda fazalararo chegaralarning mexanik barqarorligi yetarli darajada nazariy asoslanmagani sababli materialning uzoq muddatli ishlashini prognozlash murakkabligi qayd etilgan.

Yuqori entropiyali qotishmalar esa ko‘p komponentli tarkibi tufayli yuqori qattiqlik va aşınishga chidamlilikni namoyon etadi. Ularning mikrostrukturaviy barqarorligi og‘ir yuklama va yuqori harorat sharoitida ham saqlanib qoladi, bu esa ularni friksion tizimlarda qo‘llash istiqbollarini kengaytiradi. Biroq mavjud ilmiy



ISSN 3030-3907

ishlarda ushbu qotishmalarning friksion javobini oldindan baholash imkonini beruvchi universal nazariy model shakllantirilmagan. Bu esa material parametrlarini optimallashtirish jarayonini murakkablashtiradi.

Kompozitsion friksion materiallar tarkibiy komponentlarning funksional xususiyatlarini birlashtirish orqali ishqalanish koeffitsientini barqarorlashtirish imkonini beradi. Ayniqsa, qattiq moylovchi qo‘shimchalar yoki keramika zarralarining kiritilishi yeyilish mexanizmlarini o‘zgartirib, sirt degradatsiyasini sekinlashtiradi. Biroq komponentlar o‘rtasidagi fazalararo o‘zaro ta’sir hamda ularning uzoq muddatli termomexanik barqarorligi yetarlicha tizimli o‘rganilmagan.

Tahlillar shuni ko‘rsatadiki, friksion tizimlarning samaradorligi faqat materialning mustahkamligi bilan belgilanmaydi. Kontakt zonasida yuzaga keladigan real bosim taqsimoti, plastiklik deformatsiyalari, sirt mikrogeometriyasining evolyutsiyasi hamda issiqlik generatsiyasi kabi omillar friksion jarayonning barqarorligiga bevosita ta’sir ko‘rsatadi. Shu sababli maxsus qotishmalarni tanlashda materialning mexanik va termofizik xususiyatlarini boshqaruv algoritmlari bilan uyg‘un holda baholash zarur.

Mavjud ilmiy tadqiqotlarning yana bir muhim jihati shundaki, ularda adaptiv friksion tizimlar konsepsiyasi tobora dolzarb ahamiyat kasb etmoqda. Bunday tizimlar ishqalanish ko‘rsatkichlarini tashqi sharoitlarga mos ravishda o‘zgartirish imkonini beradi. Biroq material mikrostrukturasi va boshqaruv strategiyalari o‘rtasidagi uzviy bog‘liqlikni ifodalovchi integrallashgan nazariy yondashuvlar yetarli emas.

Shu nuqtai nazardan, boshqariladigan friksion mexanizmlar uchun maxsus qotishmalarni baholashda mikrostrukturaviy parametrlar, kontakt mexanikasi va issiqlik hosil bo‘lish jarayonlarini yagona tizim sifatida ko‘rib chiqadigan konseptual model ishlab chiqish dolzarb ilmiy vazifa hisoblanadi. Bunday yondashuv friksion tizimlarning samaradorligini oshirish, yeyilishni kamaytirish hamda mexanik qurilmalarning ekspluatatsion ishonchliligini ta’minlashga xizmat qiladi.

Umuman olganda, o‘tkazilgan muhokama boshqariladigan friksion mexanizmlar uchun maxsus qotishmalarni yaratish jarayoni ko‘p omilli optimallashtirish muammosi ekanligini ko‘rsatadi. Ushbu yo‘nalishda nazariy modellarni takomillashtirish kelgusida yuqori samaradorlikka ega, barqaror va uzoq muddat xizmat qiluvchi friksion tizimlarni loyihalash uchun mustahkam ilmiy asos yaratadi.

**XULOSA.** Mazkur tadqiqotda boshqariladigan friksion mexanizmlar uchun mo‘ljallangan maxsus qotishmalarning nazariy asoslari hamda zamonaviy ilmiy



ISSN 3030-3907

tadqiqotlar tizimli ravishda tahlil qilindi. O‘tkazilgan adabiyotlar sharhi friksion tizimlarning samaradorligi material mikrostrukturasi, termofizik xususiyatlari va kontakt jarayonlarining o‘zaro bog‘liqligiga bevosita aloqador ekanligini ko‘rsatdi.

Tahlil natijalariga ko‘ra, kukun metallurgiyasi asosidagi qotishmalar strukturaviy barqarorligi va issiqlikni samarali taqsimlash xususiyati bilan ajralib turadi, bu esa ularni yuqori yuklama sharoitida ishlaydigan friksion mexanizmlar uchun istiqbolli material sifatida baholash imkonini beradi. Yuqori entropiyali qotishmalar esa ko‘p komponentli tarkibi tufayli yuqori qattiqlik hamda yeyilishga chidamlilikni namoyon etib, og‘ir ekspluatatsion sharoitlarda qo‘llash uchun muhim materiallar qatoriga kiradi. Kompozitsion friksion materiallar tarkibiy komponentlarni boshqarish orqali ishqalanish koeffitsientini barqarorlashtirish va sirt degradatsiyasini kamaytirish imkonini berishi bilan tavsiflanadi.

Shu bilan birga, mavjud ilmiy tadqiqotlar tahlili material mikrostrukturasi, issiqlik hosil bo‘lish jarayoni va friksion javob o‘rtasidagi bog‘liqlikni boshqariladigan mexanizmlar doirasida yagona nazariy model asosida ifodalash yetarli darajada amalga oshirilmaganligini ko‘rsatdi. Natijada maxsus qotishmalarni tanlash mezonlarini kompleks baholash hamda friksion tizimlarning ishlashini oldindan prognozlash imkonini beruvchi integrallashgan nazariy yondashuvni ishlab chiqish zarurati aniqlandi.

Xulosa qilib aytganda, boshqariladigan friksion mexanizmlar uchun maxsus qotishmalarni qo‘llash samaradorligi material parametrlarini chuqur tahlil qilish va ularni mexanizmning ishlash sharoitlari bilan uyg‘un holda baholashga bog‘liq. Taklif etilayotgan nazariy yondashuv friksion tizimlarni loyihalashda ilmiy asoslangan qarorlar qabul qilishga xizmat qiladi hamda kelgusida yuqori ishonchlilik va barqarorlikka ega mexanik tizimlarni yaratish uchun muhim metodologik asos bo‘lib xizmat qilishi mumkin.

## FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Erdemir, A. (2020). Fundamentals of friction and wear. Tribology Letters, 68(3), 1–22.
2. Jadhav, S. P. (2019). Development of novel friction material for brake pad application. Materials Today: Proceedings, 18, 4115–4122.
3. Jiang, S. (2021). Research on adaptive friction compensation and control. International Journal of Mechanical Sciences, 191, 106072.
4. Kumar, D. (2023). Recent advances in tribology of high-entropy alloys: A critical review. Journal of Materials Science, 58(12), 7858–7880.
5. Lee, T. H. (2024). Comparative study of friction behaviors in composite materials. Wear, 528–529, 204470.



ISSN 3030-3907

6. Miller, R., & Jones, P. (2023). Thermal stability in tribological applications. Surface & Coatings Technology, 458, 129767.
7. Smith, J., & Brown, A. (2021). Powder metallurgy friction materials: A review. Journal of Materials Engineering and Performance, 30(6), 4453–4470.
8. Tang, S., Wang, L., & Liu, X. (2022). Light-controlled friction realized by a photorheological fluid. Tribology International, 160, 107044.
9. Wu, Y., Li, H., & Chen, J. (2022). Tribological behavior of high entropy alloy coatings: A review. Tribology International, 167, 107400.
10. Zhang, N. (2025). Current research on the design, properties and applications of wear-resistant materials. RSC Advances, 15(12), 5879–5903.



ISSN 3030-3907