

**TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI HUZURIDAGI ILMIY
DARAJALAR BERUVCHI DSc.03/30.12.2019. T.03.04 RAQAMLI ILMIY
KENGASH ASOSIDAGI BIR MARTALIK ILMIY KENGASH**

NAVOIY DAVLAT KONCHILIK VA TEXNOLOGIYALAR UNIVERSITETI

XAYITOV JAXONGIR XAZRATILLOYEVICH

**2550 MODEL KOORDINATA PARMALASH DASTGOHINI
MODERNIZATSIYALASH VA TADQIQ QILISH**

**05.02.05 – Mexanik va fizik-texnik ishlov berish, texnologiyalari va jarayonlari. Dastgohlar va
asbob uskunalar**

**TEXNIKA FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD)
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

Toshkent – 2025

**Texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi avtoreferati
mundarijasi**

**Оглавление автореферата диссертация
доктора философии (PhD) по техническим наукам**

**Contents of dissertation abstract of the doctor of philosophy (PhD) on
sciences**

Xayitov Jaxongir Xazratilloevich

2550 model koordinata parmalash dastgohini modernizatsiyalash va tadqiq qilish.... 3

Хайитов Жахонгир Хазратиллоевич

Модернизация и исследование координатно-сверильного станка модели 2550..... 21

Khayitov Jakhongir Khazratilloevich

Modernization and research of the 2550 model coordinate-drilling machine..... 41

E‘lon qilingan ishlar ro‘yxati

Список опубликованных работ

List of published works..... 45

**TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI HUZURIDAGI
ILMIY DARAJALAR BERUVCHI DSc.03/30.12.2019.T.03.04
RAQAMLI ILMIY KENGASH**

NAVOIY DAVLAT KONCHILIK VA TEXNOLOGIYALAR UNIVERSITETI

XAYITOV JAXONGIR XAZRATILLOYEVICH

**2550 MODEL KOORDINATA PARMALASH DASTGOHINI
MODERNIZATSIYALASH VA TADQIQ QILISH**

05.02.05 – Mexanik va fizik-texnik ishlov berish, texnologiyalari va jarayonlari. Dastgohlar va asbob uskunalar

**TEXNIKA FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD)
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

Toshkent – 2025

Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasining mavzusi O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2024.3.PhD/T4893 raqami bilan ro'yxatga olingan.

Dissertatsiya Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universitetida bajarilgan. Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy kengashning veb-sahifasida (www.nsumt.uz) va «ZiyoNet» Axborot ta'lim portalida (www.ziyo.net) joylashtirilgan.

| | |
|------------------------------|--|
| Ilmiy maslahatchilar: | Mardonov Baxtiyor Teshayevich texnika fanlari doktori, professor |
| Rasmiy opponentlar: | Xusanov Yunusali Yuldashaliyevich texnika fanlari doktori, professor Shaxobutdinov Rustam Erkinbayevich texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori, dotsent |
| Yetakchi tashkilot: | “MISiS” MTTU Olmaliq filiali |

Dissertatsiya himoyasi 2025 yil «11» oktyabr kuni soat 10-00 da Toshkent davlat texnika universiteti huzuridagi PhD.03/30.12.2019.T.03.04 raqamli Ilmiy kengash majlisida bo'lib o'tadi. (Manzil: 100095, Toshkent shahar, Universitet ko'chasi, 2-uy. Telefon/faks: (99871)227-10-32, e-mail: tadqiqotchi@tdtu.uz)

Dissertatsiya bilan Toshkent davlat texnika universitetining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (ro'yxatdan o'tgan №45). (Manzil: 100095, Toshkent shahar, Universitet ko'chasi, 2-uy. Telefon/faks: (99871)227-10-32.)

Dissertatsiyaning avtoreferati 2025 yil «27» sentyabr kuni tarqatilgan.
(Tarqatish reestri protokoli №191, «27» sentyabr 2025 yil sanasida).

K.A. Karimov

Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash raisi, texnika fanlari doktori, professor

N.D. Turaxodjayev

Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash ilmiy kotibi, texnika fanlari doktori, professor

A.A. Muhiddinov

Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash qoshidagi ilmiy seminar raisi, texnika fanlari doktori, professor

KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasining annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Jahon miqyosida mashinasozlikda teshiklarni yuqori aniqlikda parmalash va ishlov berishda koordinata parmalash dastgohlarining texnik darajasini oshirish, ularni zamonaviy boshqaruv tizimlari va raqamli texnologiyalar bilan jihozlash, ishlov berish aniqligini va ishlab chiqarish unumdorligini oshirish bo'yicha keng ko'lamli tadqiqotlar olib borilayotganligi, hamda koordinata parmalash dastgohini modernizatsiyalash orqali ularning ekspluatatsion imkoniyatlarini kengaytirish, ish jarayonida yuzaga keladigan vibratsiya va deformatsiyalarni kamaytirish zamonaviy texnologik ishlab chiqarish jarayonining muhim strategik yo'nalishlaridan biri hisoblanadi. Mazkur yo'nalishda AQSH, Yaponiya, Germaniya, Xitoy, Rossiya kabi ilg'or mamlakatlarda koordinata dastgohlarini takomillashtirish, ularni modulli konstruksiyaga o'tkazish, ishlov sifati va aniqligini oshirish bo'yicha kompleks ilmiy-tadqiqot ishlari amalga oshirilmoqda va yuqori aniqlikdagi parmalash operatsiyalarini raqamli boshqaruv orqali amalga oshirishga qaratilgan modernizatsiya ishlari katta amaliy ahamiyat kasb etmoqda.

Dunyoda metallga ishlov berish sohasida koordinata parmalash dastgohlarining konstruktiv va funksional imkoniyatlarini oshirish, raqamli boshqaruv tizimlari bilan jihozlash, avtomatlashtirish darajasini yuksaltirish hamda ishlov berish jarayonining aniqligi va barqarorligini ta'minlashga qaratilgan ilmiy tadqiqotlar olib borilmoqda. Ushbu yo'nalishda, jumladan 2550 model koordinata parmalash dastgohining servo-privodli tizimlar asosida modernizatsiyasi, konstruksiyasining qattiqligini oshirish, ishlov berish jarayonida yuzaga keladigan vibratsiya va siljishlarning oldini olish, shuningdek, ishlov berish aniqligini nazorat qilish imkoniyatlarini kengaytirish orqali dastgoh samaradorligini oshirish bo'yicha tadqiqotlar ustuvor hisoblanmoqda. Shu bilan birga, koordinata dastgohlarining zamonaviy ishlov berish rejimlari, konstruktiv elementlari va raqamli boshqaruv algoritmlarini asoslash muhim vazifalardan hisoblanmoqda.

Respublikamizda metallga ishlov berish texnologiyalarini modernizatsiyalash, ayniqsa, yuqori aniqlikdagi teshiklarni hosil qilishda foydalaniladigan koordinata dastgohlarining konstruksiyalarini takomillashtirish bo'yicha keng ko'lamli chora-tadbirlar amalga oshirilmoqda. "2022-2026-yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida"¹, jumladan, "Iqtisodiyotga innovatsiyalarni keng joriy qilish, sanoat korxonalari va ilm-fan muassasalarining kooperatsiya aloqalarini rivojlantirish"² vazifalari belgilab berilgan. Ushbu vazifalarni amalga oshirishda, xususan, mashinasozlik sanoatida ishlatiladigan koordinata parmalash dastgohlarining konstruksiyalarini takomillashtirish, ularni servo-privodlar bilan jihozlash, ishlov berish aniqligini oshirish, ish jarayonida resurs yo'qotishlarning miqdorini kamaytirish va parmalash sifatini barqarorlashtirish muhim hisoblanadi.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019-yil 24-avgustdagi PQ-4426-sonli "Ishlab chiqarishni mahalliyashtirish hamda ishlab chiqarish sohasida kooperatsiyani jadallashtirishning yangi tizimini joriy etishdagi mas'uliyatini yanada oshirish

¹ "2022-2026-yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida"gi O'zbekiston Respublikasi Prezidentining Farmoni

² <https://lex.uz/docs/-5841063>

to'g'risida"gi, 2019-yil 4-oktabrdagi PQ-4477-sonli "O'zbekiston Respublikasining 2019-2030 yillarga mo'ljallangan yashil iqtisodiyotga o'tish strategiyasini tasdiqlash to'g'risida"gi, hamda 2020-yil 15-martdagi PQ-6079-sonli "Raqamli O'zbekiston – 2030" qarorlari, shuningdek, ushbu faoliyatga doir boshqa normativ-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishda mazkur dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalarni rivojlantirishning ustuvor yo'nalishlariga muvofiqligi. Mazkur tadqiqot respublika fan va texnologiyalarni rivojlantirishning II. "Energetika, energiya va resurslarni tejash" ustuvor yo'nalishlari doirasida bajarilgan.

Muammoning qay darajada o'rganilganligi. Dunyo olimlari tomonidan mashinasozlik, ishlab chiqarishni avtomatlashtirish va dastgohsozlik sohalaridagi nazariy va amaliy muammolarni hal qilish yo'lida keng ko'lamli ilmiy tadqiqotlar olib borilmoqda. Jumladan, dastgoh tizimlarining statik va dinamik barqarorligini tahlil qilish, metall kesish jarayonlarini matematik modellashtirish, avtomatlashtirilgan ishlab chiqarish tizimlarining nazariy asoslarini yaratish, metallarga ishlov berish nazariyasi hamda ilg'or kesish asboblarini ishlab chiqish, ishlab chiqarish jarayonlarida tejamkorlik va samaradorlikni oshirish, raqamli boshqaruv tizimlari va servo-privodli uzatmalarni takomillashtirish, mexatronik tizimlarni avtomatlashtirish, adaptiv boshqaruv usullarini ishlab chiqish, ishlab chiqarish tizimlarining modulliligi va moslashuvchanligini oshirish, vibratsiyalarni aniqlash va ularni kamaytirish bo'yicha metodikalarni ishlab chiqish, ishlab chiqarish tizimlarining raqamli simulyatsiyasi, kesish jarayonining fizikasi, asbob geometriyasi va ishlov berish sathining sifatini tahlil qilish kabi yo'nalishlarda M.V. Lomonosov, A.V. Push, V.E. Push, Z.M. Levin, N.S. Koleev, D.N. Reshetov, N.S. Acherkan, N. Opitz, M. Weck, K. Teipel, M.M. Sadek, W.A. Knight, S.A. Tobias, W. Fishwick, M. Polacek, I. Tlusti kabi mashhur olimlarning ilmiy ishlari alohida o'rin egallaydi.

Shuningdek, avtomatlashtirilgan texnologik jarayonlarni loyihalash, dastgoh detallarining mustahkamlik hisoblarini takomillashtirish, koordinata dastgohlarining tebranish holatini tahlil qilish, sanoatdagi mexatronik tizimlarni ishlab chiqish, adaptiv ishlov berish tizimlari va servo-privodli uzatmalarni ishlab chiqarishga tatbiq etish yo'nalishlarida G.N. Molchanov, L.V. Peregudov, F.S. Sabirov, R.A. Abidov, B.X. G'afurov va boshqa O'zbekistonlik mutaxassislar tomonidan ham muhim ilmiy tadqiqotlar amalga oshirilmoqda.

Ushbu sezilarli ilmiy yutuqlarga qaramay, hozirgi zamonaviy mashinasozlikda ishlab chiqarilayotgan mahsulotlarning konstruksiyasi tobora murakkablashmoqda, turlari ko'paymoqda, ishlab chiqarish obyektlari tez-tez almashmoqda hamda yangi mahsulotlarni o'zlashtirishga ajratiladigan vaqt keskin qisqarmoqda. Natijada, ishlab chiqarishni tez moslashuvchan tizimlarga o'tkazish va ularni keng miqyosda amaliyotga joriy etish muammosi hanuz yetarli darajada o'rganilmagan. Mazkur ilmiy tadqiqot ishida yuqorida qayd etilgan holatlardan kelib chiqib, metallarga kesib ishlov berish jarayonida raqamli dasturli boshqariladigan dastgohlarni loyihalash, ularning konstruktiv elementlarini takomillashtirish hamda ishlab chiqarishga joriy etish bilan bog'liq masalalar atroflicha ko'rib chiqilib, ularning amaliy yechimlari taklif etilgan.

Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan oliy o‘quv yurtining ilmiy tadqiqot ishlari rejalari bilan bog‘liqligi. Mazkur dissertatsiya tadqiqoti Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universitetida amalga oshirilayotgan ilmiy-tadqiqot ishlar rejalari bilan bevosita bog‘liq holda bajarilgan. Ishlar 2020-2026 yillar davomida bajarilgan № 29/2023-TR–raqamli - “NMZ ishlab chiqarish birdashmasining avtomobillarni ta‘mirlash sexi sharoitida og‘ir yuk tashuvchi mashinadarning tirsakli va taqsimlash (pog‘onali) vallarini tiklash usulini ishlab chiqish” mavzusida bajarilgan xo‘jalik shartnomasi doirasida olib borilgan. Ushbu loyiha respublikada mashinasozlik sohasini rivojlantirish va texnologiyalarni takomillashtirishga qaratilgan tadqiqotlarni o‘z ichiga oladi.

Tadqiqotning maqsadi 2550 modeli koordinatali-parmalash dastgohini modernizatsiyalash va tadqiq qilishdan iborat.

Tadqiqot vazifalari:

modernizatsiya va loyihalash jarayonida koordinatali-parmalash dastgohlari bo‘yicha olib borilgan izlanishlar, ilmiy ishlar, patentlar, loyihalar va adabiyotlarni o‘rganish;

modernizatsiya talablarini shakllantirish, jumladan dastgoh texnologik imkoniyatlari oshirish, import o‘rnini bosuvchi mahalliy mahsulotlardan foydalanish ko‘rsatkichlarini oshirish va RDB tizimlari bilan integratsiya qilish imkonini yaratish;

modernizatsiyalashtirilgan birikmalarni loyihalash va yuritmalar, sharik-vintli uzatmalarga (SHVU) moslashtirish;

maxsus modellashtirish dasturi yordamida modernizatsiyalangan birikmalar (bikrlikka, egilishga, cho‘zilishga, ishqalanishga, tebranishga) ni tahlil qilish;

modernizatsiyalangan birikmalarni kuch yuklamasi ostida ishlash jarayonida bir-biriga o‘zaro ta‘sirini tahlil qilish;

RDB koordinatali-parmalash dastgohining modernizatsiya qilingan modelini ishlab chiqish.

modernizatsiya qilingan dastgohni texnik-iqtisodiy asoslash.

Tadqiqot obyekti sifatida 2550 koordinatali-parmalash dastgohi olingan.

Tadqiqot predmeti sifatida 2550 koordinatali-parmalash dastgohi konstruksiyasini va boshqarish tizimini modernizatsiya qilish jarayoni tashkil etadi.

Tadqiqot usullari. Tadqiqot jarayonida koordinata parmalash dastgohining ishlash maromlari va parametrlarini hisoblash usullari, tebranish nazariyasi, shuningdek, dastgohni modernizatsiya qilish uchun algoritmlar tuzish, matematik modellashtirish va tadqiqot natijalarini raqamli hisoblash usullari qo‘llanilgan. Modernizatsiya qilingan konstruktiv elementlarning 3D modellaridan foydalanilgan holda ANSYS va SolidWorks dasturiy muhitlarida ularning statik va dinamik yuklamalarga chidamliligi tahlil qilingan, sharik-vintli uzatmalar (SHVU) va servoyuritmalar harakatdagi aniqlik hamda barqarorlik nuqtai nazaridan chuqur o‘rganilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

koordinatali-parmalash dastgohining konstruksiyasi tashkil etuvchi qismlarning parma tezligining o‘zgarishida hosil bo‘ladigan urunma kuchlarning kattaligi asosida takomillashtirilgan;

raqamli dasturda boshqariladigan dastgohlarning xatolarini qoplash metodikasi zagotovkalarini o'rnatish davrida yuzaga kelishi mumkin bo'lgan xatolik parametrlarini hisobga olgan holda ishlab chiqilgan;

dastgohning korpus detallari va uzellarining matematik modeli detal materialining xossalari va kutilayotgan natijaning parametrlari tuzilgan tenglamalar asosida ishlab chiqilgan;

koordinatali-parmalash dastgohi qismlarining konstruksiyalarini modernizatsiyalash olinadigan detalga qo'yiladigan geometrik parametrlar qiymatlari yordamida olingan geometrik ko'rsatkichlar asosida ishlab chiqilgan;

modernizatsiya qilingan dastgoh birikmalarining harakatlanish vaqtidagi xatoliklarini RDB yordamida bartaraf etish uslubi harakat trayektoriyasining uzunligini matematik qayta ishlash asosida ishlab chiqilgan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

koordinatali-parmalash dastgohining o'qlar bo'yicha joylashtirish tezligini oshirish imkonini beruvchi konstruktiv yechim ishlab chiqilgan;

raqamli dasturli boshqariladigan (RDB) dastgohlarning xatolarini kompensatsiyalashga mo'ljallangan metodika ishlab chiqilgan;

dastgoh korpusi va asosiy uzellarning mustahkamlik hamda deformatsiyaviy xususiyatlarini raqamli muhitda baholash imkonini beruvchi matematik model ishlab chiqilgan;

koordinatali-parmalash dastgohining konstruksiyasini statik va dinamik yuklamalarga chidamlilik nuqtai nazaridan tahlil qilishga mo'ljallangan modellashtirish va hisoblash algoritmi tuzilgan.

Tadqiqot natijalarining ishonchligi. Tadqiqot natijalarining ishonchligi katta hajmdagi laboratoriya va sanoat tajribalari, detallarga aniq va samarali ishlov berishni ta'minlash, dastgoh jihozlarining resurs va energiya tejashini oshirish uchun RDB 2550 modeli koordinatali-parmalash dastgohini modernizatsiya qilish bo'yicha ishning asosiy g'oyasi qoniqarli yaqinlashishi va miqdoriy tasdiqlanishi bilan isbotlangan.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati.

Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati koordinatali-parmalash dastgohining texnologik va texnikaviy parametrlarini inobatga olgan holda, loyihalash jarayonining algoritmlarini va matematik modellarini ishlab chiqish asosida teshiklarga ishlov beruvchi dastgoh konstruksiyasini takomillashtirish bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati 2550 koordinatali-parmalash dastgohining shpindel birikmasini takomillashtirilganligi, tebranish paytida holatni boshqarishning aniqligini, tezkor javob berishni va murakkab operatsiyalar uchun bir nechta o'qlarni muvofiqlashtirishning aniqligini ta'minlaydigan RDB koordinatali-parmalash dastgohining boshqaruv tizimi modernizatsiya qilingani bilan tavsiflanadi.

Tadqiqot natijalarini joriy qilish. 2550 modeli koordinatali-parmalash dastgohini modernizatsiya qilish uchun texnik qarorlarni ishlab chiqish bo'yicha olib borilgan tadqiqotlar asosida:

koordinatali-parmalash dastgohining konstruksiyasi takomillashtirildi va natijalar Navoiy mashinasozlik zavodi ishlab chiqarish birlashmasida joriy etildi ("Navoiy kon-metallurgiya kombinati" AJning 2024-yil 19-noyabrdagi 23/01-01-

01/715-son ma'lumotnomasi). Natijada, o'qlarni joylashtirish tezligini 25% ga oshirish imkonini beradi;

raqamli dasturli boshqariladigan dastgohlarning xatolarini qoplash metodikasi ishlab chiqildi va natijalar Navoiy mashinasozlik zavodi ishlab chiqarish birlashmasida joriy etildi ("Navoiy kon-metallurgiya kombinati" AJning 2024-yil 19-noyabrdagi 23/01-01-01/715-son ma'lumotnomasi). Natijada, zagotovkani o'rnatish va chiqarib olish vaqti qisqaradi;

dastgohning korpus detallari va uzellarining matematik modeli ishlab chiqildi va natijalar Navoiy mashinasozlik zavodi ishlab chiqarish birlashmasida joriy etildi ("Navoiy kon-metallurgiya kombinati" AJning 2024-yil 19-noyabrdagi 23/01-01-01/715-son ma'lumotnomasi). Natijada, mustahkamlik va aniqlikni tahlil qilish ta'minlanadi, bu ish unumdorligini oshishiga olib keladi.

Tadqiqot natijalarini sinovdan o'tkazish. Ushbu tadqiqot natijalari 4 ta respublika va 2 ta xalqaro ilmiy-amaliy anjumanlarda muhokama qilindi.

Tadqiqot natijalarini nashr etish. Dissertatsiya mavzusi bo'yicha jami 11 ta ilmiy maqola, O'zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasi tomonidan dissertatsiyalarning asosiy ilmiy natijalarini chop etish uchun tavsiya etilgan ilmiy nashrlarda 5 ta maqola, shu jumladan, 4 tasi respublika va 1 tasi xorijiy jurnallarda chop etilgan.

Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiyaning tuzilishi, kirish, to'rt bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati va ilovalardan iborat. Dissertatsiya hajmi 101 bet.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Dissertatsiyaning kirish qismida tanlangan mavzuning dolzarbligi va zarurati asoslangan bo'lib, olib borilgan tadqiqotning asosiy maqsadi va masalalari ifodalangan, tadqiqotning ob'ekt va predmeti tavsiflangan, Respublikaning fan va texnologiyalari rivojlanishning ustuvor yo'nalishlariga mosligi ko'rsatilgan, tadqiqotning ilmiy yangiligi va amaliy natijalari bayon qilingan.

Dissertatsiyaning "**Tadqiqotlar masalasi holati va vazifalari**" deb nomlangan birinchi bobida, metall kesuvchi dastgohlar uzellarining aniqligini oshirish bo'yicha o'tkazilgan tadqiqotlar tahlili amalga oshirilgan. RDB dastgoh turli xil konfiguratsiyalarda bo'lishi mumkin, lekin odatda ikkitadan oltitagacha alohida o'qlardan iborat. Metall kesish dastgohlarini modernizatsiya qilish maqsadida 2550 modeli koordinatali-parmalash RDB dastgohida tadqiqot ishi olib borildi. Dastgohlarni modernizatsiya qilish joriy ishlab chiqarish ehtiyojlarini ta'minlash uchun ularning ishlab chiqarish samaradorligini, unumdorligini va aniqligini oshirishni anglatadi. Bunda tebranishlarni kamaytirish uchun dastgohlarni tana qismlarini mustahkamlash, yuqori dempferli materiallardan foydalanish, avtomatik muvozanatlash xususiyatiga ega yuqori burovchi momentli yuqori tezlikli shpindellarni o'rnatish, aniq va silliq harakatlanish uchun yuritish vintlarini sharik-vintli yoki chiziqli dvigatellar bilan almashtirish ishlari tahlil qilindi.

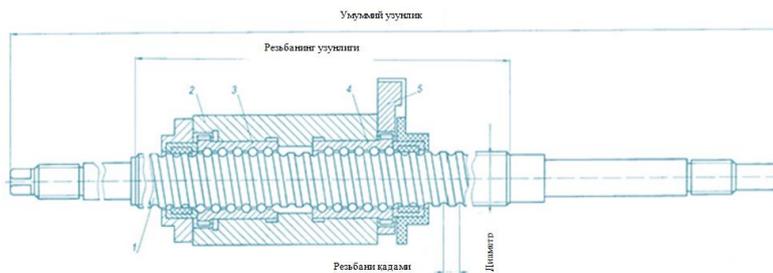
Dastgohlarni boshqarishning zamonaviy tizimini birinchisi RDB bo'lib, uning asosiy roli o'qlar joylashuvi buyruqlarining ketma-ketligini yaratishdir, ikkinchisi esa

tayanch qiymatlar, yaratilgan RDB ni kuzatish uchun o‘qlar dvigatellarini harakatga keltiradigan servoyuritmalardir. Servoyuritma va sharik-vintli uzatma (SHVU) elektr signallarni mexanik harakatga aylantirish orqali dastgoh o‘qlarining aniq va ravon harakatini ta’minlash uchun yaqindan ishlaydi. Servoyuritma elektr dvigatelining aylanma harakatini hosil qiladi, u SHVU vintiga uzatilib, uni gayka va shunga mos ravishda, stol yoki asbobning ilgariylanma harakatiga aylantiradi.

Ilmiy va texnik nashrlar tahlili shuni ko‘rsatdiki, 2550 modeli koordinatali-parmalash dastgohlari ko‘pincha mashinasozlik, metallurgiya va katta o‘lchamli konstruksiyalarni ishlab chiqarishda qo‘llaniladi, bu erda yuqori ishlov berish aniqligi va katta xomashyolarga ishlov berish talab qilinadi. Tadqiqotlarga ko‘ra, bunday dastgohlarning funkcionalligini belgilaydigan asosiy parametrlar parmalashning maksimal diametrini, parmalash kallagining harakatlanish radiusini, shpindelning quvvatini va aylanish tezligini rostdash diapazonini o‘z ichiga oladi. Koordinatali-parmalash dastgohlarini modernizatsiya qilishga zamonaviy yondashuvlar raqamli dasturiy boshqaruvni (RDB) o‘rnatishni o‘z ichiga oladi, bu ularning funksional imkoniyatlarini sezilarli darajada kengaytiradi va unumdorlikni oshiradi.

Dissertatsiyaning **“Modernizatsiya qilingan koordinatali-parmalash dastgohi joylashuv aniqligi va tezligi uchun tadqiqot o‘tkazish metodikasi”** deb nomlangan ikkinchi bobi modernizatsiyalangan koordinat-parmalash dastgohidagi pozitsiyalash aniqligi va tezligiga ta’sir etuvchi omillarni o‘rganishga bag‘ishlangan. Shuningdek, mexanik uzellarning pozitsiyalash aniqligini oshirish uchun algoritm ishlab chiqish, modernizatsiyalangan dastgohning kuch va mustahkamlik xarakteristikalarini tahlil qilish, mexanik uzellarning harakat modelini yaratish va kontakt deformatsiyalarini tahlil qilish masalalari yoritilgan.

Tadqiqot davomida yuqori aniqlikdagi uzatma mexanizmlarining asosiy uzeli hisoblangan sharikli-vintli uzatmalar (1-rasm) hisoblab chiqildi. Ularning aniqligi bir qator geometrik, pozitsion va dinamik omillar bilan belgilanadi.

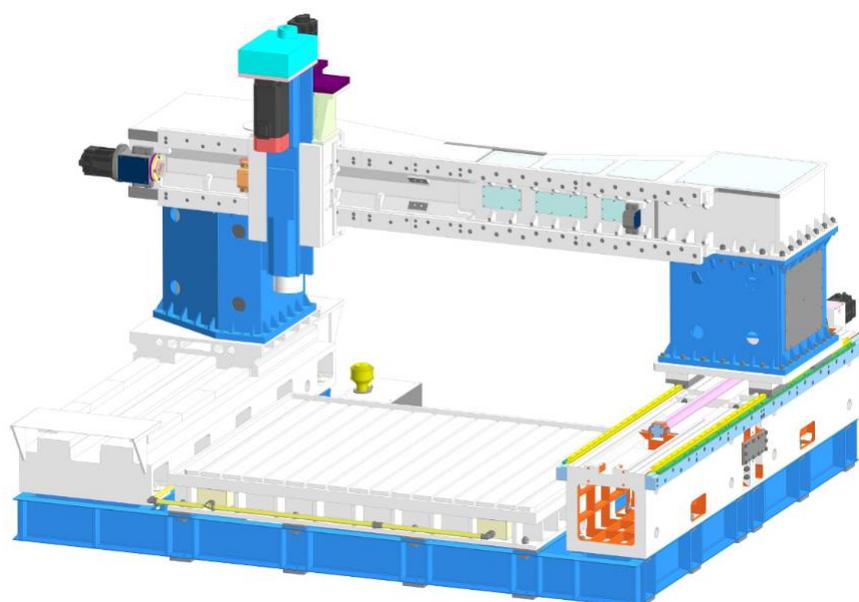


1-rasm. Sharikli-vintli juft eskizi

1 – vint; 2 – korpus; 3, 4 – gaykalar; 5 – sozlovchi halqa.

Harakatlanish tizimining (SHVU) qismi bo‘yicha bikirligini baholash va yuqori yuklanishlarda barqarorlikni tasdiqlash uchun konstruksiyaning asosiy elementlari mustahkamlik xususiyatlarini tahlil qilish lozim. Bu jarayonda, ayniqsa, eng ko‘p yuk tushadigan bog‘lovchi element - ko‘ndalang ustun uchun egiluvchanlik hisob-kitoblari amalga oshirilishi talab etiladi.

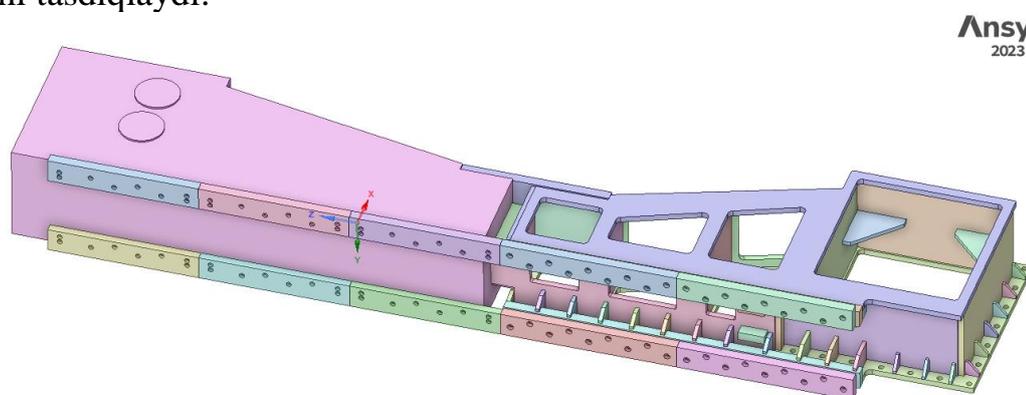
Mexanik uzellarning yuklamalarini loyihalash va tahlil qilish uchun, ANSYS muhandislik vazifalarni hisoblash dasturiy ta’minotiga keyingi import qilish uchun stanina uzeling CAD modeli qurilgan (2-rasm).



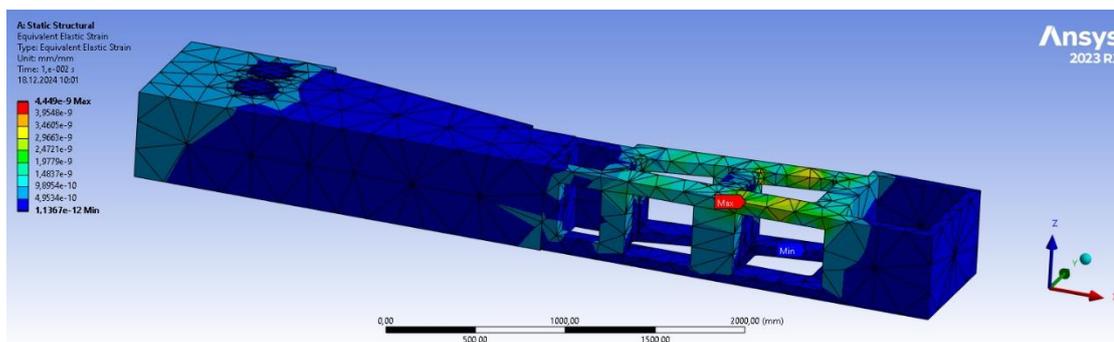
2-rasm. Modernizatsiya qilingan koordinatali-parmalash dastgohi

Sharik-vintli uzatmaning joylashuv aniqligining pasayishi radial va o'q yuklamalarning ta'siri ostida deformatsiyalar natijasida yuzaga keladigan siljishlar tufayli yuzaga keladi. Uzatma ishining aniqligiga komponentlarning o'lchamlaridagi ishlab chiqarish og'ishlariga bog'liq bo'lgan yuklama taqsimotining xususiyatlari sezilarli darajada ta'sir ko'rsatadi. Ushbu ilmiy-tadqiqot ishida asosiy e'tibor Gers kontakt nazariyasiga asoslangan Sharik-vintli uzatmaning deformatsiya siljishlarini o'rganishga qaratilgan. Statik va dinamik sharoitlarda yuklama taqsimotini tavsiflovchi modellari taklif qilindi, bu esa aniqlikni yo'qotish jarayonini batafsil o'rganish imkonini berdi. Bundan tashqari, har bir sharikga taqsimlangan yuklama va natijada yuzaga keladigan siljishlar o'rtasida bog'liqliklar o'rnatildi. Tadqiqot natijalari ekspluatatsiya jarayonida Sharik-vintli uzatma aniqligini saqlashni baholash va taxlil qilish uchun nazariy asos bo'lib xizmat qilishi mumkin.

3-rasmda Ansys Mechanical (2023 R1 versiyasi) dasturiy majmuasining interfeysi ko'rsatilgan bo'lib, unda ko'ndalang ustun uchun statik hisob-kitob (Static Structural Analysis) tanlangan. Natijada, hisob-kitoblar qat'iylik zaxirasi mavjudligini tasdiqlaydi.



3-rasm. ANSYS SpaceClaim muhitda ko'ndalang to'sin detalining CAD modeli



4-rasm. Egilish va qattqlikni hisoblash uchun ANSYS muhitda ko‘ndalang to‘sin detalining soddalashtirilgan modeli natijasi

Sharikli-vintli uzatma (SHVU) uchun matematik modelni ishlab chiqishda, uzatma bir vaqtning o‘zida radial va mehvar yuklanishlarga duchor bo‘lgan holda, kontakt zonasida shariklar nomuvofiq deformatsiyalanishi kuzatilgan. Bu jarayonda vint va gayka o‘rtasida X, -o‘q bo‘yicha yuzaga keladigan siljish qiymati hisoblab chiqildi, δ_a belgilanadi.

$$F_a = \sum_{i=1}^z P_{si} \sin \beta_i \cos \lambda$$

Mazkur tenglamada λ sharikli-vintli uzatmaning aylanma qirralari-ning nominal egiluv burchagi, z - bu yuklanishni taqsimlashda ishtirok etayotgan shariklar soni.

i - Sharining burchakka tegish nuqtasi θ_i , P_i - bu i - raqamli sharik va harakatlanuvchi yo‘lak o‘rtasida qo‘llanilgan kuchni anglatadi. Qo‘shni shar markazining pozitsion burchagi $\varphi = 2\pi N/z$, bu erda N sharning ketma-ketlikdagi o‘rnini anglatadi. z - bu yuklanishni taqsimlashda ishtirok etayotgan shariklarning umumiy soni.

$$\psi_1 = \phi + (i - 1)\varphi$$

Fazoviy burchaklarning bir qadam ichidagi taqsimotini hisobga olgan holda, i - raqamli sharikning deformatsiyasi natijasida yuzaga keladigan radial siljish quyidagicha ifodalanishi mumkin:

$$\delta_{ri} = \delta_r \cos \psi_1$$

Radial yuklanishning muvozanat tamoyilidan kelib chiqqan holda, shariklarga taqsimlangan umumiy yuklanish bilan tashqi radial yuklanish o‘rtasidagi bog‘liqlik quyidagi tenglama orqali bayon etiladi:

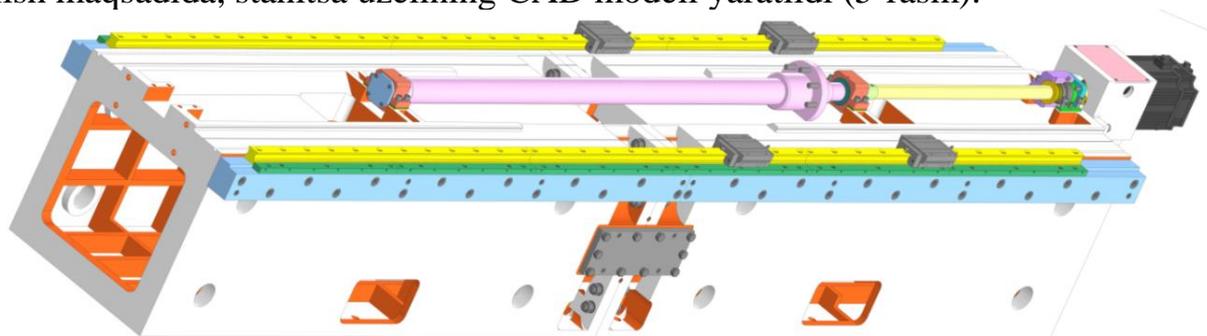
$$F_r = \sum_{i=1}^z P_{si} \cos \beta_i \cos \psi_1$$

Sharik-vintli uzatmalar kabi mexanik uzellarda kontakt deformatsiyalari va yuklama taqsimotini tavsiflovchi matematik modellar ishlab chiqilgan. Ushbu modellar ideal sharoitlarni ham, o‘lchov xatoliklarini ham hisobga oladi, dinamik va statik sharoitlarda uzellarning aniqligi va chidamliligini taxlil qilish imkonini beradi.

Dissertatsiyaning «**Modernizatsiya qilingan dastgohning statik va dinamik tavsiflarini tadqiq qilish**» deb nomlangan uchinchi bobi yuklanish ostida mexanik uzellarning harakatini bashorat qilish, modernizatsiyalangan koordinat-burg‘ilash

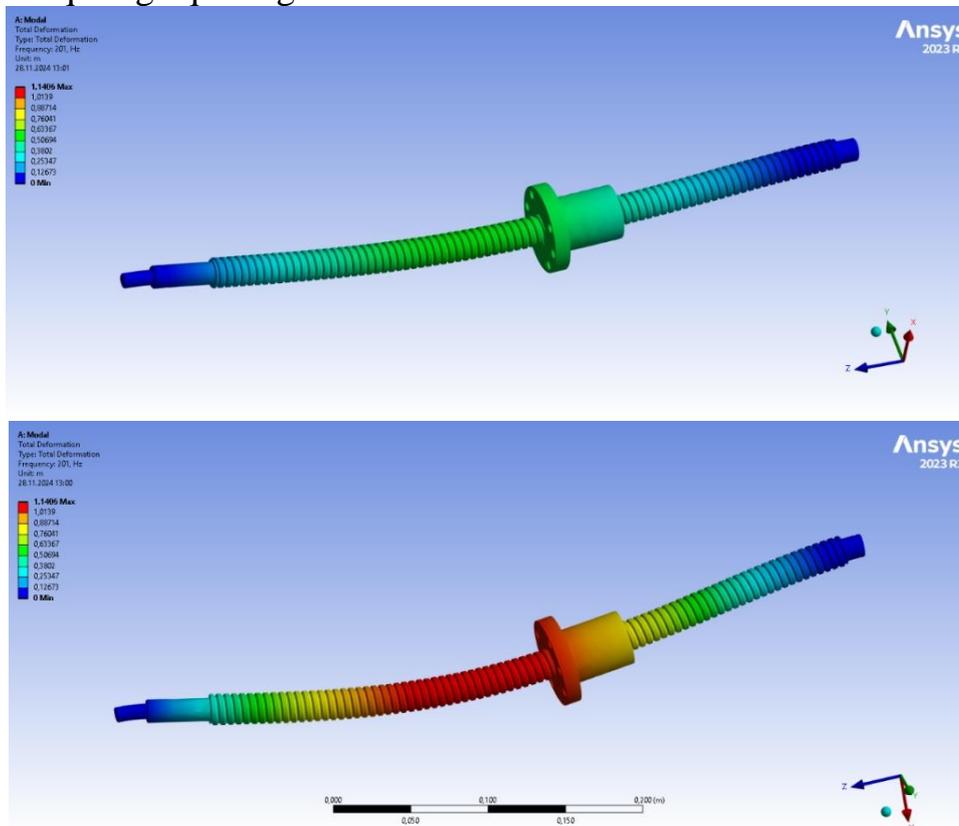
dastgohining ishchi maydonidagi statik xarakteristikalarini o'rganish, dastgohning mexanik uzellarining dinamik xususiyatlari va modernizatsiyalangan dastgoh vintining vibratsiya javoblarini tahlil qilishga bag'ishlangan. Tadqiqot natijalari shundan dalolat berdiki, RDBga ega modernizatsiyalangan koordinat-burg'ilash dastgohining sharikli-vintli uzatmasi uchun garmonik javob tahlilidan foydalanish hal qiluvchi ahamiyatga ega.

Mexanik uzellarga yuklanishlarni loyihalash va bashorat qilish uchun, keyinchalik ANSYS muhitida muhandislik vazifalarini hisoblash dasturiga import qilish maqsadida, stanitsa uzeling CAD modeli yaratildi (5-rasm).



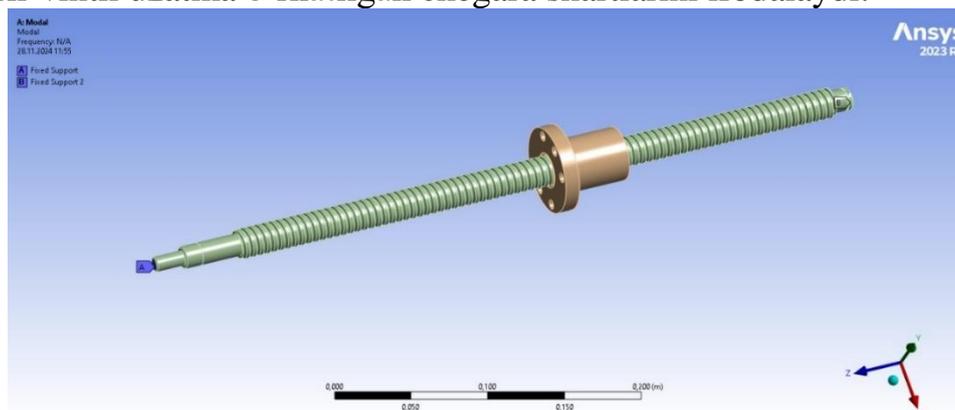
5-rasm. Modernizatsiya qilingan koordinatali-parmalash dastgohi stanina uzeling modeli

6-rasmdan ko'rinib turibdiki, SolidWorks muhitida modellangan va ANSYS 2023 R1 ga import qilingan sharikli-vintli uzatma modal tahlil uchun o'rganildi. Bu tahlil sharikli-vintli uzatma yig'ilmasiga tegishli tabiiy chastotalar va tebranish shakllarini aniqlashga qaratilgan.



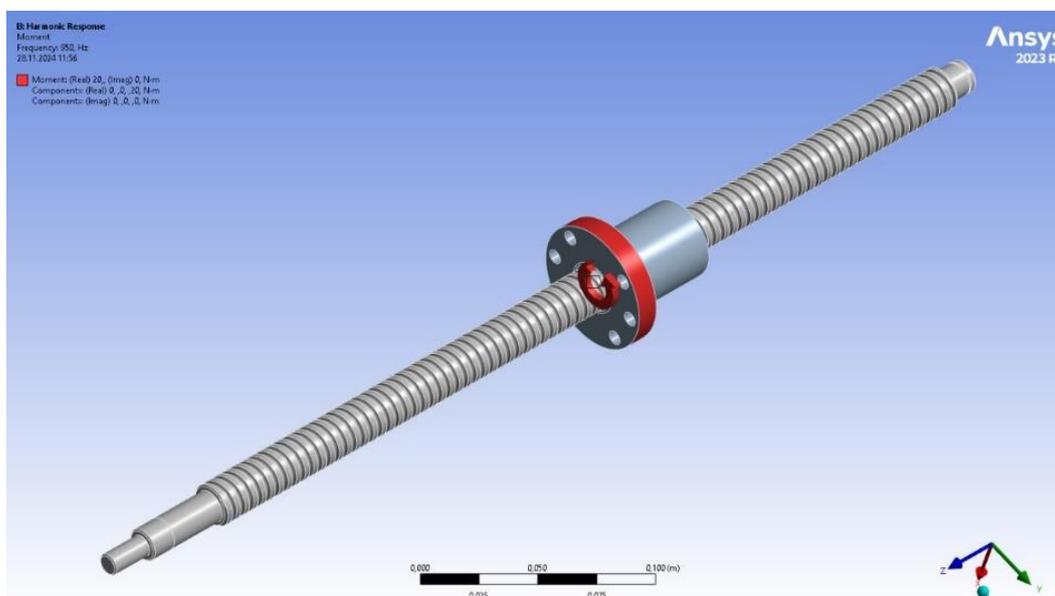
6-rasm. Modernizatsiya qilingan koordinatali-parmalash dastgohining SHVUni modal o'rganish natijasida olingan dastlabki ikkita tebranish modalari

7-rasmdagi A va B tayanchlar haqiqiy foydalanish cheklovlarini ifodalash uchun sharli-vintli uzatma oʻrnatilgan chegara shartlarini ifodalaydi.



7-rasm. Modal tadqiqot uchun chegara shartlari

Shuningdek tadqiqotning real boʻlishi va sharli-vintli uzatmaning ish sharoitlariga maksimal darajada yaqinlashi uchun aylanish momenti oʻrnatildi (8-rasm).



8-rasm. Modali oʻrganish bilan bogʻliq garmonik javobdagi aylanish momenti

Ushbu modal tahlilni oʻrganish uchun sharli-vintli uzatma uchun chastotalar diapazoni tayanch, uzunlik va diametr shartlariga bogʻliq past xususiy chastotalardan kelib chiqib 60 Hz dan 600 Hz gacha tanlangan.

Kerakli maʼlumotlarni toʻplash uchun, hech qanday kritik rejim oʻtkazib yuborilmasligiga ishonch hosil qilish uchun tadqiqot 0 Hz dan 1,5-2 marta kattaroq xususiy chastotani tahlil qilishdan boshlandi. Birinchi ikkita rejim oʻrganildi, chunki koʻp hollarda javobda pastki rejimlar ustunlik qiladi. Koordinatali-parmalash dastgohi yuqori tezlik dinamikasiga boʻysunmaganligi sababli, yuqoriroq rejimlar foydalanishda muammolarni keltirib chiqarishi ehtimoli kamroq.

Sharikli-vintli uzatma juftligining modal tahlili: tabiiy chastotalar va tebranish shakllari

| Tartib | Xususiy chastota (Hz) | Tebranishlar shaklining tasviri |
|--------|-----------------------|---|
| 1 | 175.50 | Y o‘qi bo‘ylab birinchi tartib egilishi |
| 2 | 180.30 | X o‘qi bo‘ylab birinchi tartib egilishi |
| 3 | 320.10 | Y o‘qi bo‘ylab ikkinchi tartib egilishi |
| 4 | 325.70 | X o‘qi bo‘ylab ikkinchi tartib egilishi |
| 5 | 450.60 | Birinchi tartib urishlari |

Egilish va tebranish vizualizatsiyasiga ko‘ra, dastlabki ikkita modal rejim past chastotali modalarning odatiy xatti-harakatlarini ko‘rsatdi, bu erda vintning Y o‘qi bo‘ylab birinchi tartibli egilish 175,50 Hz xususiy chastotada bo‘lgan va maksimal deformatsiya vintning markaziy qismida kuzatiladi.

X o‘qi bo‘ylab birinchi tartibli egilish 180,30 Hz xususiy chastotada avvalgi rejimga o‘xshaydi, lekin siljish unga perpendikulyar tekislikda sodir bo‘ladi.

Vintning Y o‘qi bo‘ylab ikkinchi darajali egilish 320,10 Hz xususiy chastotada, bu tebranish darajasida vint ikki maksimal yoki ekstremal nuqta bilan murakkabroq egiladi. X o‘qi bo‘ylab ikkinchi darajali egilish 325,70 Hz ni tashkil qildi.

Birinchi buralish rejimi uchun chastota 450,60 Hz ni tashkil qiladi. Bunday holda, tizim ham aylanishni, ham bo‘ylama kengayish / siqishni namoyon qiladi, bu rezonans hodisalari uchun sharoit yaratadi.

Yuqorida ko‘rsatilgan tahlildan ko‘rinib turibdiki, chiqish ma’lumotlari ish paytida oldini olish kerak bo‘lgan kritik chastotalarni aniqlashga yordam beradi, tizim rezonans va ortiqcha yuklanishga duch kelmasligini ta’minlaydi.

Metall kesish dastgohlarini loyihalash va ishlatishda dastgoh sifatini, unumdorligini va mehnat samaradorligini oshirish uchun konstruksiyaning mustahkamligi, qattiqligi va barqarorligiga qo‘yiladigan talablarni hisobga olish kerak, bu ko‘rsatkichlarning barchasi tebranish masalalariga ta’sir qiladi.

Tekshiruv davomida dastgohlarni baholashning ma’lum bo‘lgan statik va dinamik usullardan usullaridan eng ilg‘ori va anig‘i tebranish usuli bo‘lib, u minimal moddiy xarajatlar bilan texnik holatni har tomonlama baholashga imkon berishi, shuningdek, metall kesish dastgohlarining tebranish komponentlarining me’yor ko‘rsatkichlari mavjud emasligi aniqlandi.

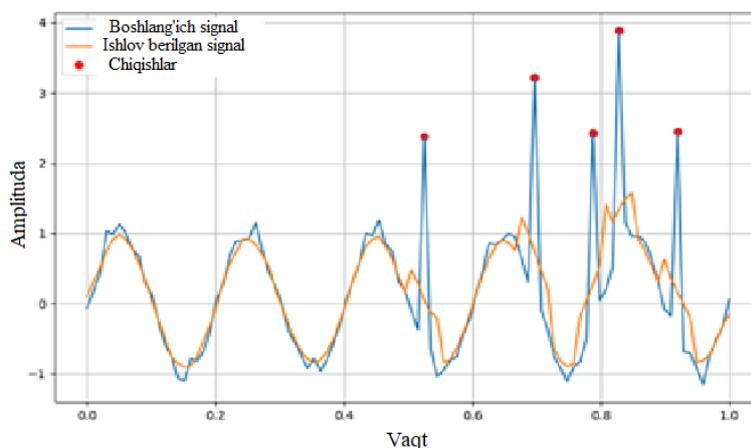
Dissertatsiyaning «**RDB li metall kesuvchi dastgohning ishlash aniqligini eksperimental tadqiq qilish va modernizatsiya qilingan dastgohni texnik-iqtisodiy asoslash**» deb nomlangan to‘rtinchi bobi ishlab chiqilgan pozitsiyalash bo‘yicha ma’lumotlarni avtomatik qayta ishlash algoritmini joriy etishga, tezlik va holat konturlarining dinamik xususiyatlarini o‘rganishga hamda modernizatsiyalangan stanokning texnik-iqtisodiy asoslanishiga bag‘ishlangan. Texnologik jarayonga algoritmi joriy etish, ishlab chiqilgan algoritmlar va matematik modellar asosida o‘tkazilgan eksperiment natijasida quyidagi natijalar olindi:

1) Signalni qayta ishlash uchun oyna o'lchami va filtr turi kabi oldindan belgilangan parametrlar bilan aniqlangan filtrlash usuli tanlangan va qo'llanilgan. Bu shovqinni yumshatish va signalni keyingi qayta ishlashga tayyorlash imkonini berdi.

2) Signaldagi shovqin filtrlangan signalning standart og'ishi asosida baholandi. Bu shovqinning xususiyatlarini aniqlash va uning umumiy signalga ta'sirini aniqlash imkonini berdi.

3) Shovqin darajasini baholashdan so'ng, belgilangan bo'sag'a darajasidan oshib ketgan chiqishlar qayta ishlandi. Bu jarayon signaldan anomaliyalarni olib tashlash va uning sifatini yaxshilash imkonini berdi.

4) Olingan ma'lumotlar va ishlov berish natijalari 9-rasmda tasvirlangan. Bu bizga chiqishlarni qayta ishlash algoritmining samaradorligini va signal sifatini yaxshilash qobiliyatini aniq ko'rsatishga imkon berdi, bu esa dastgohning mexanik uzellarini aniq joylashtirishga olib keladi.



9-rasm. Dastlabki signalda chiqqan ma'lumotlarga ishlov berish natijasi

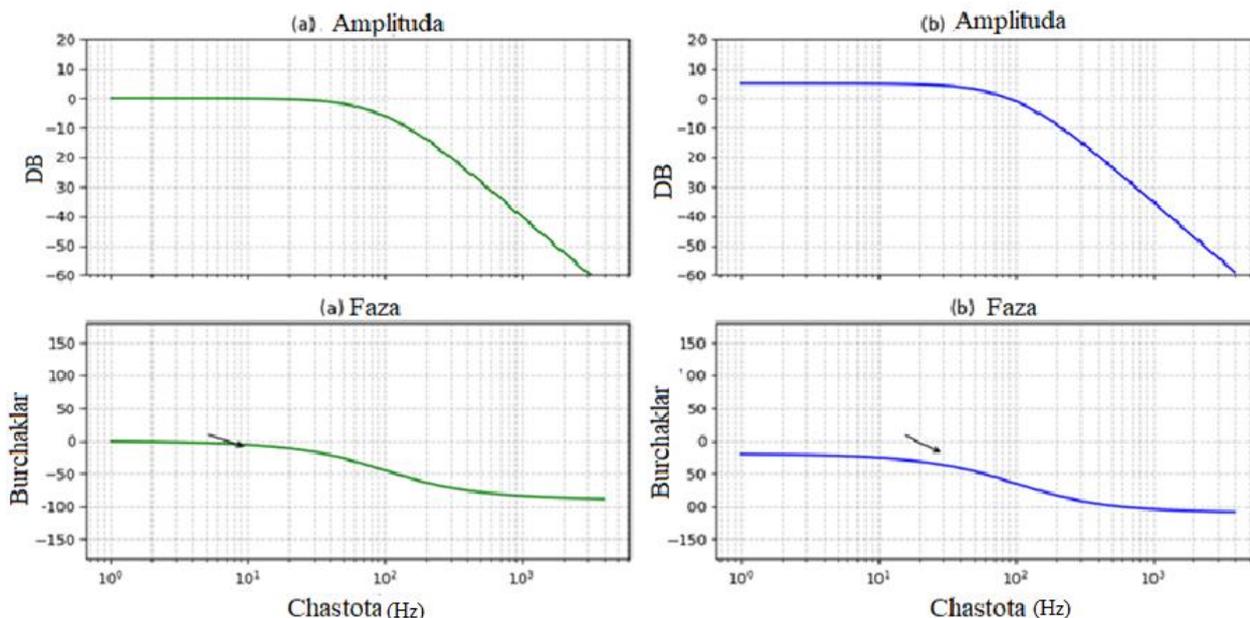
Shunday qilib, ushbu ketma-ket bosqichlarni amalga oshirish nafaqat algoritmining ishlashini baholashga, balki dastgohning mexanik uzellarining joylashuv aniqligini yaxshilash uchun sanoat datchik tizimidan ma'lumotlarni qayta ishlashda uning samaradorligi to'g'risida vizual tushuncha olishga imkon berdi.

Rational DMIS dasturiy ta'minotli ARGON nazorat-o'lchash markazi yordamida o'tkazilgan tajribalarda X o'qi bo'yicha haqiqiy kuzatuv xatolari o'lchandi, bu modal tahlil va garmonik javobning bashoratlari haqiqiy natijalarga qanchalik mos kelishini tekshirish imkonini berdi. Ushbu ma'lumotlar dastgoh tizimini optimallashtirish, uning harakatlarining aniqligini oshirish va tebranishlardan kelib chiqadigan xatolarni minimallashtirish uchun muhim ahamiyatga egadir. Ushbu tajribada X o'qining kuzatuv xatosini o'lchash kerak va bu maqsadda o'lchash asboblari X o'qiga o'rnatiladi.

Ma'lumot yig'ish X o'qi harakatlana boshlagan zahoti boshlanadi. 10-rasmdan ko'rinib turibdiki, 1-1000 Hz chastotalar diapazonida modernizatsiyalangan koordinatali-parmalash dastgohi va modeli uchun tezlik konturining amplitudali javobi 0 ga teng, ya'ni bu diapazonda dastgoh amplitudada sezilarli o'zgarishlarga uchramasligini va hech qanday keskin o'zgarishlarsiz barqaror bo'lib qolishini anglatadi. Faza javobi strelka bilan ko'rsatilganidek, asta-sekin 0 dan 100 Hz atrofida

salbiy qiymatgacha o'zgaradi. Bu nazariy modelning tezlik konturining tuzilishi va parametr sozlamalari dastgohning haqiqiy tizimiga mos kelishini ko'rsatadi.

10-rasmda ko'rsatilgan ma'lumotlar shuni ko'rsatadiki, chastota ortishi bilan harakat uchun belgilangan signal va bu buyruqlarga dastgohning javobi o'rtasida biroz kechikish mavjud. Ushbu faza siljishi modelning aniqligini baholash va keyingi tuzatish uchun muhimdir.

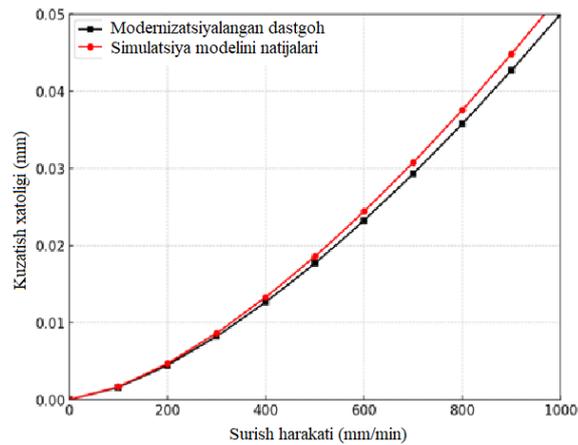


10-rasm. Tezlik konturlari Bode diagrammalarini taqqoslash.

(a) Modernizatsiya qilingan koordinatali-parmalash dastgohidagi tezlik konturi Bode diagrammasi. (b) Model uchun tezlik konturi Bode diagrammasi

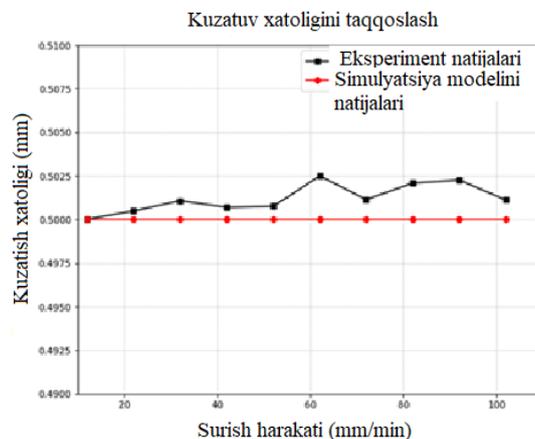
Shunday qilib, kuzatuv xatolari 0,05 mm doirasida saqlanadi, bu normal aniqlik sinfidagi (N) dastgoh talablariga mos keladi va modernizatsiyalangan koordinatali-parmalash dastgohining yuqori ish aniqligini tasdiqlaydi.

11-rasmda ko'rsatilgan natijalardan ko'rinib turibdiki, haqiqiy kuzatuv xatosi tendensiyasi va X o'qining simulyatsiya qilingan kuzatuv xatosi deyarli bir xil bo'lib, eksperimental natijalar va modelning simulyatsiya natijalari uzatma tezligining oshishi bilan ortib borishini ko'rsatadi. Muhimi, simulyatsiya qilingan tizimning kuzatuv xatosi o'lchangan haqiqiy natijalar bilan deyarli bir xil. Yangilangan dastgohni ifodalovchi qora chiziq xatoning silliq o'sishini ko'rsatadigan eksperimental ma'lumotlardir, modelning simulyatsiya natijalari bo'lgan qizil chiziq esa ideal nazariy xatti-harakatni namoyish etadi. Yuqori tezlikdagi eksperiment va model o'rtasidagi kichik tafovutlar modelda hisobga olinmagan ishqalanish, tebranish va yuritmaning dinamik effektlari kabi real omillarga bog'liq. Shunday qilib, kuzatuv xatolari 0,05 mm atrofida qoladi, bu normal aniqlik sinfi (N) dastgohining talablariga javob beradi va modernizatsiya qilingan koordinatali-parmalash dastgohining yuqori aniqligini ko'rsatadi.



11-rasm. X o‘q uchun kuzatuv xatosining yuklash tezligidan bog‘liqlik grafiklari

Ma’lumotlardan ko‘rinib turibdiki (12-rasm) jadvalning grafik tomonidagi qiymatlar belgilangan qiymat va boshqaruv tizimi erishgan haqiqiy holat yoki tezlik o‘rtasidagi farqni ko‘rsatadigan kuzatuv xatosini (mm) ifodalaydi. Jadvalingizda kuzatuv xatosi 0,5000 - 0,5025 mm orasida o‘zgarib turadi. 0,5000 mm (qizil chiziq) bazaviy qiymati model simulyatsiyasida olingan ideal etalon (namuna) hisoblanadi. Eksperimental ma’lumotlarda yuqoriga qarab kichik og‘ishlar (0,5025 mm gacha) haqiqiy omillardan kelib chiqadi: yuritmaning dinamik ta’siri, mexanikada lyuft yoki boshqaruv konturi rostlagichidagi kichik beqarorliklar. Ushbu og‘ishlar minimal bo‘lib $\pm 0,0025$ mm dan oshmaydi, bu normal aniqlik sinfining (N) talablariga javob beradi, bu erda ruxsat etilgan og‘ishlar $\pm 0,005$ mm atrofida bo‘ladi va shu bilan dastgoh boshqaruv tizimining yuqori sifatiga ega ekanligini isbotlaydi.

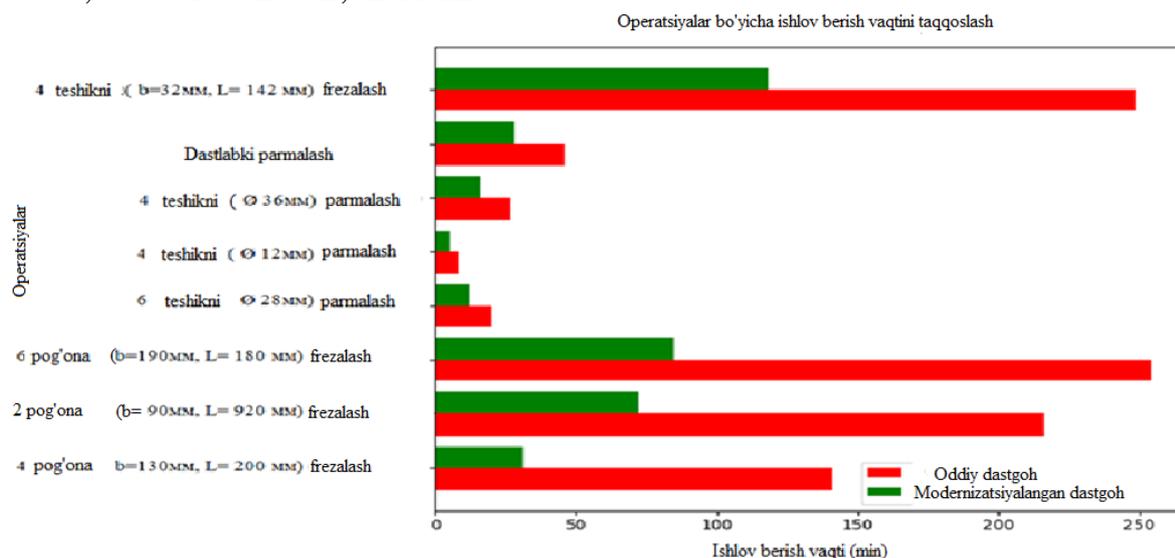


12-rasm. X o‘qi uchun tezlik konturining ortishi koeffitsientining kuzatuv xatosiga bog‘liqligi egri chiziq lari

Modernizatsiya qilingan dastgohni texnik-iqtisodiy asoslash

4720x4100x345 o‘lchamli "Rama" detaliga ishlov berish uchun sarflangan umumiy vaqtni solishtirish. Ishlov berish jarayoni va elektr energiyasini iste’mol qilish xarajatlarining iqtisodiy hisob-kitoblari natijasida «Rama» turidagi detalni tayyorlash bo‘yicha quyidagi ma’lumotlar olindi:

Bir dona maxsulot ishlab chiqarishdagi tejamkorlik quyidagicha: $2162219,2 - 589468,780 = 1\ 572\ 732,42$ so‘m



13-rasm. Har bir operatsiyaga sarflangan vaqtning taqqoslashi

Hisob-kitoblarga ko‘ra, modernizatsiyadan so‘ng «Rama» detalini to‘liq ishlov berish uchun mashinaning ish vaqti 7,35 soatni tashkil etadi. Barcha tuzatuv koeffitsientlarini hisobga olgan holda, ushbu qiymat dastgohning belgilangan aniqlik va samaradorlik talablariga to‘liq mos kelishini tasdiqlaydi.

Mavjud texnologik uskuna detaliga to‘liq ishlov berish uchun 23 soat vaqt sarflaydi, modernizatsiyalangan dastgoh esa, yuqorida qayd etilganidek, 7,5 soat vaqt sarflaydi.

XULOSA

Zagotovkalariga mexanik ishlov berish jarayonida uzellarining holatlash aniqligini ta‘minlash asosida ish samaradorligini oshirish maqsadida takomillashtirilgan koordinataviy-parmalash dastgohini tadqiqot qilish natijasida quyidagi xulosalar olindi:

1. Metall kesish dastgohlarining hozirgi holati ularning aniqligi va samaradorligi mezonini asosida tahlil qilinib, 2550 modeli koordinatali-parmalash dastgohi misolida asosiy muammolar ishchi organlarining holatlash aniqligi va tezkorlikning etarli emasligi bilan bog‘liqligi aniqlandi. Dastgohlarning aniqligi va samaradorligini oshirish masalasi Uzbekistonda mashinasozlik sanoatini rivojlantirishning ustuvor yo‘nalishlari va “O‘zbekiston-2030” davlat strategiyasiga mos keladi.

2. Shariko-vintli uzatmani past tebranishlar rejimida harakatlanishida ishlash xatoliklarini aniqlash uchun tanlangan 60 Hz dan 600 Hz gacha diapazonidagi chastotalar bilan modal tahlil o‘tkazildi. Xususiy tebranish chastotasidan 0 dan 1,2-2 baravar past tebranishlarda shariko-vintli uzatmada yuqori o‘zgarishlar aniqlandi, ular shariko-vintli uzatmani tayanch sharoitlari, uzunligi va diametridan bog‘liqligi aniqlandi.

3. Dinamik yuklar ostida garmonik reaksiyalarning ta'siri bo'yicha tadqiqotlar o'tkazildi, natijalar 175 Hz, 320 Hz va 450 Hz qizil chastota zonalarida amplituda siljishini, egilish va birinchi tartibli tepishni vujudga kelishini ko'rsatdi, bu esa muqarrar ravishda mexanik shikastlanishga olib kelishi aniqlandi. Bu chastotalar zonasidan tashqarida amplituda siljishi barqaror holatda bo'lishi ko'rsatildi va belgilangan chastota zonalarida optimal kesish rejimini tanlash bo'yicha tavsiyalar ishlab chiqildi.

4. 175 Hz va 320 Hz chastotalarda keskin fazali siljishlar sodir bo'lib, bu erda vintning aylanishi va gaykaning chiziqli harakati o'rtasidagi burchak fazasi mos kelmaydi. Bunday keskin o'tishlar rezonans hodisasi bilan asoslanadi. Ushbu chastotali reaksiya nuqtalarida tizim energiyani yutadi va beqaror harakatlar namoyon qiladi. Rezonans chastotalaridan tashqarida esa faza burchagini barqarorlashishi aniqlandi.

5. Takomillashtirilgan koordinataviy-parmalash dastgohinig aniqligi eksperimental baholandi. Xolatlash xatoligini surish tezligidan bog'liqligi tekshirildi, past tezlikdagi xatolik 0 mm dan tezlikni maksimal surishgacha (1000 mm/min) ortishida 0,045 mm gacha ko'tarildi. Bu ishqalanish, tebranish va yuritmaning dinamik effekti bilan izohlanadi. Bundan tashqari xatolikning mexanik lyuft va rostlagichning beqarorlik omillari ta'siri natijasida 0,0025 mm gacha bo'lgan kichik chetga chiqishlar qayd etildi. Ammo bu chetga chiqishlar minimal ($\pm 0,0025$ mm) bo'lib, dastgohlarning normal aniqlik sinfi uchun belgilangan $\pm 0,005$ mm ruxsat etilgan diapazondan chetga chiqmaydi. Takomillashtirilgan dastgoh N aniqlik sinfiga tuliq mos kelishi ko'rsatildi.

6. Takomillashtirilgan dastgoh "Rama" detalga to'liq ishlov berishda mavjud dastgoxlarda 23 soatga teng bo'lgan ishlov berish vaqtini 7,5 soatgacha qisqartirish imkonini berdi. Takomillashtirilgan dastgoh texnologik ishlarni bajarishda mavjud dastgoxlarga qaraganda 30% yuqori samaradorlikka ega bo'ldi.

7. Dastgohni SHVU ning dinamikasini matematik modeli ishlab chiqildi, nazariy taxlillar SHVU ning harakat aniqligiga uning o'lchamlaridagi tayerlash xatoliklaridan bog'liq yuklama taqsimotining xususiyatlari sezilarli darajada ta'sir qilishi aniqlandi.

8. Hisoblash usuli asosida dastgohning samarali ishlashini ta'minlaydigan kesish rejimining optimal parametrlari aniqlandi. SHVU barqaror ishlash chegarasini belgilovchi yuklamalar aniqlandi.

9. Takomillashtirilgan dastgohda "Rama" detalga ishlov berishda energiya sarfi mavjud dastgohlarninkiga qaraganda 22 kVt dan 18 kVt gacha kamayganini ko'rsatdi. Bu esa bitta detalni ishlab chiqarish tannarxini 1 572 732 so'mga arzonlashishiga olib keldi.

**РАЗОВЫЙ НАУЧНЫЙ СОВЕТ НА ОСНОВЕ НАУЧНОГО СОВЕТА
DSc.03/30.12.2019. Т.03.04 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ
ПРИ ТАШКЕНТСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ ТЕХНИЧЕСКОМ
УНИВЕРСИТЕТЕ**

**НАВОИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

ХАЙИТОВ ЖАХОНГИР ХАЗРАТУЛЛОЕВИЧ

**МОДЕРНИЗАЦИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ КООРДИНАТНО-
СВЕРЛИЛЬНОГО СТАНКА МОДЕЛИ 2550**

**05.02.05 – Технологии и процессы механической и физико-технической
обработки. Станки и инструменты**

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИЯ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD) ПО
ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан за № В2024.3.PhD/Т4892.

Диссертация выполнена в Навоийском государственном горно-технологическом университете.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета (www.nsumt.uz) и на информационно-образовательном портале «ZiyoNet» (www.ziynet.uz).

Научный руководитель:

Мардонов Бахтиёр Тешаевич
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Хусанов Юнусали Юлдашалиевич
доктор технических наук, профессор

Шахобутдинов Рустам Эркинбоевич
доктор философии (PhD) по техническим наукам, доцент

Ведущая организация:

Алмалыкский филиал НИТУ «МИСИС»

Защита диссертации состоится «11» октября 2025 года в 10-00 часов на заседании Научного совета DSc.03/30.12.2019.T.03.04 при Ташкентском государственном техническом университете. (Адрес: 100095, г.Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел./ факс(99871)227-10-32, e-mail: tadqiqotchi@tdtu.uz)

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного технического университета (зарегистрирована за №45). (Адрес: 100095, г.Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел./ факс(99871)227-10-32.)

Автореферат диссертации разослан «27» сентября 2025 года

(реестр протокола рассылки №191 от «27» сентября 2025 года).

К.А.Каримов

Председатель специализированного совета
по присуждению ученых степеней, д.т.н., профессор

Н.Д.Тураходжаев

Ученый секретар специализированного совета
по присуждению ученых степеней, д.т.н., профессор

А.А.Мухиддинов

Председатель научного семинара при научном совете
по присуждению ученых степеней, д.т.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация докторской диссертации (PhD))

Актуальность и важность темы диссертации. В мировом машиностроении проводятся широкомасштабные исследования по повышению технического уровня координатно-сверлильных станков при сверлении и обработке отверстий с высокой точностью, оснащению их современными системами управления и цифровыми технологиями, повышению точности обработки и производительности производства, а также расширению их эксплуатационных возможностей за счет модернизации координатно-сверлильных станков, снижению вибраций и деформаций, возникающих в процессе работы, является одним из важных стратегических направлений современного технологического производственного процесса. В этом направлении в таких передовых странах, как США, Япония, Германия, Китай, Россия проводятся комплексные научно-исследовательские работы по совершенствованию координатных станков, переводу их в модульную конструкцию, повышению качества и точности обработки, а также большое практическое значение имеют работы по модернизации, направленные на осуществление высокоточных сверлильных операций с помощью цифрового управления.

В мире в области металлообработки проводятся научные исследования, направленные на повышение конструктивных и функциональных возможностей координатно-сверлильных станков, оснащение цифровыми системами управления, повышение уровня автоматизации, а также обеспечение точности и стабильности процесса обработки. В этом направлении, в частности, приоритетными считаются исследования по повышению эффективности станка за счет модернизации координатно-сверлильного станка модели 2550 на основе сервоприводных систем, повышения жесткости конструкции, предотвращения вибраций и смещений, возникающих в процессе обработки, а также расширения возможностей контроля точности обработки. В то же время обоснование современных режимов обработки, конструктивных элементов и алгоритмов цифрового управления координатными станками является одной из важных задач.

В Республике проводятся широкомасштабные мероприятия по модернизации технологий обработки металлов, особенно по совершенствованию конструкций координатных станков, используемых для создания высокоточных отверстий. “О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы,”³ в том числе “Широкое внедрение инноваций в экономику, развитие кооперационных связей промышленных предприятий и научных учреждений.”⁴ При выполнении этих задач, в частности, важно усовершенствовать конструкции координатно-сверлильных станков, используемых в машиностроительной промышленности, оснастить их сервоприводами, повысить точность обработки,

³ Указ Президента Республики Узбекистан “О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022 — 2026 годы”

⁴ <https://lex.uz/docs/-5841063>

снизить потери ресурсов в процессе работы и стабилизировать качество сверления.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных в Постановлениях Президента Республики Узбекистан № ПП-4426 от 24 августа 2019 года “О дальнейшем повышении ответственности за внедрение новой системы локализации производства и ускорения кооперации в производственной сфере,” № ПП-4477 от 4 октября 2019 года “Об утверждении Стратегии по переходу Республики Узбекистан на зеленую экономику на 2019-2030 годы,” № ПП-6079 от 15 марта 2020 года “Цифровой Узбекистан - 2030,” а также в других нормативно-правовых документах, принятых в данной сфере.

Соответствие научных исследований приоритетным направлениям развития науки и техники в республике. Данная исследовательская работа является II. “Энергетика, энергосбережение и энергосбережение” реализовано в рамках приоритетного направления развития науки и техники в республике.

Степень изученности проблемы. Масштабные научные исследования проводятся учеными мира для решения теоретических и практических задач в области машиностроения, автоматизации производства и машиностроения. В частности, по таким направлениям, как анализ статической и динамической устойчивости станочных систем, математическое моделирование процессов резания металлов, создание теоретических основ автоматизированных производственных систем, теория металлообработки и разработка перспективных режущих инструментов, повышение эффективности и результативности производственных процессов, совершенствование цифровых систем управления и следящих трансмиссий, автоматизация мехатронных систем, разработка методов адаптивного управления, повышение модульности и гибкости производственных систем, разработка методов обнаружения и снижения вибраций, цифровое моделирование производственных систем, физика процесса резания, анализ геометрии инструмента и качества обработанной поверхности, М.В. Ломоносов, А.В. Пуш, В.Е. Пуш, З.М. Левин, Н.С. Колеев, Д.Н. Решетов, Н.С. Особое место занимают научные труды таких известных ученых, как Ачеркан, Н. Опиц, М. Век, К. Тейпель, М. М. Садек, В. А. Найт, С. А. Тобиас, В. Фишвик, М. Полачек, И. Тлусты.

Также ведутся важные научные исследования Г.Н.Молчановым, Л.В.Перегудовым, Ф.С.Сабиловым, Р.А.Абидовым, Б.Х.Гафуровым и другими узбекскими специалистами в области проектирования автоматизированных технологических процессов, совершенствования прочностных расчетов деталей станков, анализа вибрационного состояния координатных станков, разработки мехатронных систем в промышленности, внедрения адаптивных систем обработки и следящих трансмиссий в производство.

Несмотря на эти значительные научные достижения, конструкции изделий, изготавливаемых в современном машиностроении, становятся все более сложными, увеличиваются их типы, часто меняются производственные мощности, резко сокращается время, отводимое на освоение новых изделий. В результате этого проблема перевода производства на быстроадаптируемые

системы и их широкомасштабного внедрения еще недостаточно изучена. В данной научно-исследовательской работе, исходя из вышеперечисленных обстоятельств, подробно рассмотрены вопросы, связанные с проектированием станков с числовым программным управлением в процессе резания металлов, совершенствованием их конструктивных элементов и внедрением в производство, а также предложены их практические решения.

Связь диссертационного исследования с планами научных исследований высшего учебного заведения, в котором выполнена диссертация. Данное диссертационное исследование выполнено в непосредственной связи с планами научно-исследовательских работ, проводимых в Навоийском государственном горно-технологическом университете. Работа выполнена в рамках хозяйственного договора № 29/2023-ТР - «Разработка способа восстановления коленчатых и распределительных валов большегрузных автомобилей в условиях авторемонтного цеха производственного объединения «НМЗ»», исполняемого в период 2020-2026 гг. Данный проект включает в себя исследования, направленные на развитие машиностроительной отрасли и совершенствование технологий в республике.

Целью исследования является модернизация и исследование координатно-сверлильного станка модели 2550.

Задачи исследований:

изучение исследований, научных работ, патентов, проектов и литературы по координатно-сверлильным станкам при модернизации и проектировании;

формирование требований к модернизации, в том числе по повышению технологических возможностей станка, расширению использования отечественной импортозамещающей продукции и созданию возможности интеграции с системами RDB;

проектирование модернизированных узлов и адаптация к приводам, шарико-винтовым передачам (ШВУ);

анализ модернизированных узлов (на кручение, изгиб, растяжение, трение, вибрацию) с использованием специальной программы моделирования;

анализ взаимодействия модернизированных узлов между собой в процессе работы под нагрузкой;

разработка модернизированной модели координатно-сверлильного станка RDB.

технико-экономическое обоснование модернизированного станка.

Объектом исследования является сверлильный станок координатно-координатной модели 2550.

Предметом исследования является модернизация конструкции и системы управления координатно-сверлильного станка 2550.

Методы исследования.

В процессе исследования использовались методы расчета рабочих параметров и параметров координатно-сверлильного станка, теория колебаний, а также методы разработки алгоритмов модернизации станка, математическое моделирование и численный расчет результатов исследования. С использованием 3D-моделей модернизированных элементов конструкции

проведен анализ их устойчивости к статическим и динамическим нагрузкам в программных средах ANSYS и SolidWorks, а также проведено углубленное исследование шарико-винтовых передач (ШВП) и сервоприводов с точки зрения точности и устойчивости движения.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

усовершенствована конструкция координатно-сверлильного станка на основе величины касательных сил, возникающих при изменении скорости сверления составляющих частей;

разработана методика компенсации погрешностей станков с цифровым программным управлением с учетом возможных параметров погрешностей, возникающих при установке заготовок;

разработана математическая модель корпусных деталей и узлов станка на основе составленных уравнений свойств материала детали и параметров ожидаемого результата;

модернизация конструкций деталей координатно-сверлильного станка разработана на основе геометрических параметров, полученных с использованием значений геометрических параметров, накладываемых на снимаемую деталь;

разработан метод устранения ошибок при движении соединений модернизированного станка с помощью ЧПУ на основе математической обработки длины траектории движения.

Практические результаты исследования, следующие:

Разработано конструктивное решение, позволяющее увеличить скорость позиционирования координатно-сверлильного станка по осям;

Разработана методика компенсации погрешностей в станках с числовым программным управлением (ЧПУ);

Разработана математическая модель, позволяющая в цифровой среде оценивать прочностные и деформационные свойства корпуса и основных узлов станка;

Разработан алгоритм моделирования и расчета для анализа конструкции координатно-сверлильного станка на устойчивость к статическим и динамическим нагрузкам.

Достоверность результатов исследования. Достоверность результатов исследований доказана масштабным лабораторным и промышленным экспериментом, удовлетворительной сходимостью и количественным подтверждением основной идеи работы по модернизации модели координатно-сверлильного станка РДБ 2550 для обеспечения точной и производительной обработки деталей, повышения ресурса и энергоэффективности станков.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследований объясняется совершенствованием конструкции станка для обработки отверстий на основе разработки алгоритмов и математических моделей процесса проектирования с учетом технологических и технических параметров координатно-сверлильного станка.

Практическая значимость результатов исследований характеризуется усовершенствованием шпиндельного узла координатно-сверлильного станка 2550, модернизацией системы управления координатно-сверлильного станка RDB, обеспечивающей повышенную точность управления положением при колебании, быстрое действие и точность согласования нескольких осей для сложных операций.

Внедрение результатов исследований. На основании проведенных исследований по разработке технических решений по модернизации координатно-сверлильного станка модели 2550:

Усовершенствована конструкция координатно-сверлильного станка и результаты внедрены на ПО “Навоийский машиностроительный завод” (справка №23/01-01-01/715 АО “Навоийский горно-металлургический комбинат” от 19 ноября 2024 г.). В результате чего скорость позиционирования осей увеличена на 25%;

Разработана методика компенсации погрешностей станков с числовым программным управлением и результаты внедрены на ПО “Навоийский машиностроительный завод” (справка №23/01-01-01/715 АО “Навоийский горно-металлургический комбинат” от 19 ноября 2024 г.). В результате чего сокращено время установки и снятия заготовки;

Разработана математическая модель корпусных деталей и узлов станков и результаты внедрены на производственном объединении “Навоийский машиностроительный завод” (справка №23/01-01-01/715 АО “Навоийский горно-металлургический комбинат” от 19 ноября 2024 г.). В результате обеспечивается расчет прочности и точности, что приводит к повышению производительности.

Апробация результатов исследований. Результаты данного исследования обсуждались на 4 республиканских и 2 международной научно-практических конференциях.

Публикация результатов исследований. Всего по теме диссертации опубликовано 11 научных статей, 5 статей в научных изданиях, рекомендованных ВАК Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертаций, в том числе 4 опубликовано в республиканских и 1 в зарубежных журналах.

Структура и объем диссертации. Структура диссертации состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Объем диссертации составляет 101 страницу.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во вводной части диссертации обосновывается актуальность и необходимость выбранной темы, излагаются основные цели и проблемы проводимого исследования, описывается объект и предмет исследования, указывается его соответствие приоритетным направлениям развития науки и техники республики, описывается научная новизна и практические результаты исследования.

В первой главе диссертации под названием **«Состояние и задачи исследования проблемы»** анализируются исследования, проводимые с целью повышения точности узлов металлорежущих станков. Станок с ЧПУ может иметь различные конфигурации, но обычно состоит из двух-шести отдельных осей. С целью модернизации металлорежущих станков проведены исследования на координатно-сверлильном станке модели 2550 РКБ. Модернизация цехов означает повышение эффективности производства, производительности и точности для удовлетворения текущих производственных потребностей. В этой связи были проанализированы усиление корпусных деталей станков для снижения вибраций, использование высокодемпфирующих материалов, установка высокоскоростных шпинделей с высоким крутящим моментом и автоматической балансировкой, а также замена ходовых винтов на шарико-винтовые передачи или линейные двигатели для точного и плавного перемещения.

Первый — это ЧПУ, основная роль которого заключается в генерации последовательности команд позиционирования осей, а второй — это сервоприводы, которые управляют двигателями осей в соответствии с опорными значениями, сгенерированными ЧПУ. Сервоприводы и шарико-винтовые приводы (ШВП) работают в тесном взаимодействии, обеспечивая точное и плавное перемещение осей станка путем преобразования электрических сигналов в механическое движение. Сервопривод создает вращательное движение электродвигателя, которое передается на ходовой винт, преобразуя его в гайку и, соответственно, в поступательное движение стола или инструмента.

Анализ научно-технических публикаций показал, что координатно-сверлильные станки модели 2550 часто применяются в машиностроении, металлургии, производстве крупногабаритных конструкций, где требуется высокая точность обработки и переработка крупногабаритного сырья. Согласно исследованиям, основными параметрами, определяющими функциональность таких станков, являются максимальный диаметр сверления, радиус перемещения сверлильной головки, мощность шпинделя и диапазон регулировки скорости вращения. Современные подходы к модернизации координатно-сверлильных станков включают установку числового программного управления (ЧПУ), что существенно расширяет их функциональные возможности и увеличивает производительность.

Вторая глава диссертации под названием **«Методика исследования точности позиционирования и быстродействия модернизированного координатно-сверлильного станка»** посвящена исследованию факторов, влияющих на точность позиционирования и быстродействие модернизированного координатно-сверлильного станка. Также рассматриваются разработка алгоритма повышения точности позиционирования механических узлов, анализ прочностных и ресурсных характеристик модернизированного станка, создание модели движения механических узлов, анализ контактных деформаций.

В ходе исследования были рассчитаны шарико-винтовые передачи (рисунок 1), которые считаются основным узлом высокоточных передаточных механизмов. Их точность определяется рядом геометрических, позиционных и динамических факторов.

Для оценки жесткости двигательной установки (ШВУ) и подтверждения устойчивости при высоких нагрузках необходимо провести анализ прочностных характеристик основных элементов конструкции. При этом особенно важно выполнить расчеты на гибкость соединительного элемента, несущего наибольшую нагрузку – поперечной колонны.

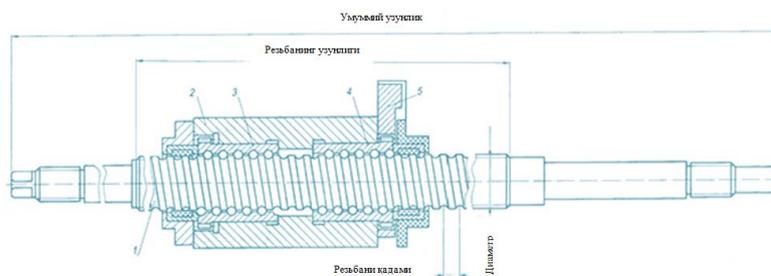


Рис.1. Эскиз шарико-винтовой пары

1 – винт; 2 – корпус; 3, 4 – гайки; 5 – регулировочное кольцо.

Для проектирования и анализа нагрузок на механические узлы была создана САПР-модель узла станины для последующего импорта в расчетную программу инженерных задач ANSYS (рисунок 2).

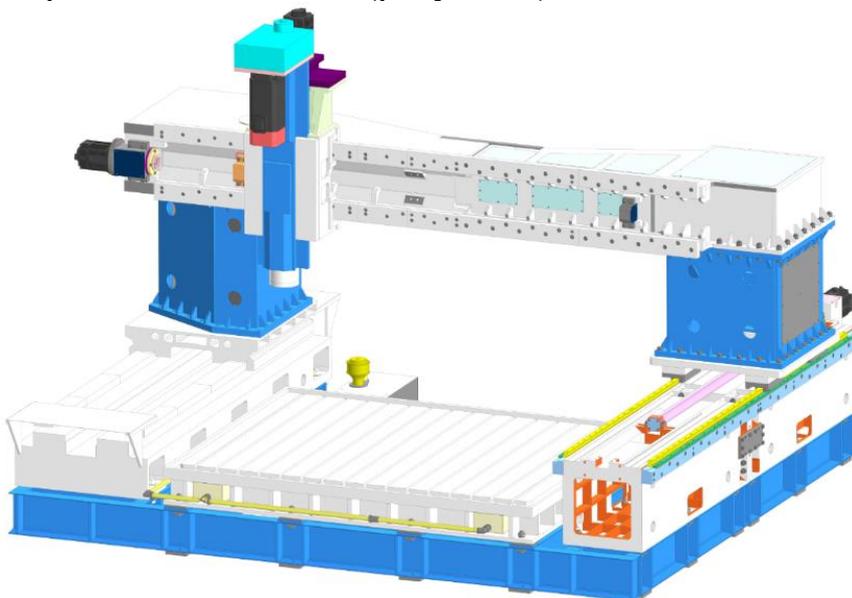


Рис.2. Модернизированный координатно-сверлильный станок

Снижение точности позиционирования шарико-винтовой передачи обусловлено смещениями, возникающими в результате деформаций под действием радиальных и осевых нагрузок. На точность работы трансмиссии существенное влияние оказывают особенности распределения нагрузки, что обусловлено производственными отклонениями размеров деталей. Основное

внимание в данной исследовательской работе уделено изучению деформационных перемещений шарико-винтовой передачи на основе контактной теории Жерса. Предложены модели, описывающие распределение нагрузки в статических и динамических условиях, что позволило детально изучить процесс потери точности. Кроме того, были установлены зависимости между нагрузкой, распределенной на каждый шар, и возникающими смещениями. Результаты исследования могут служить теоретической основой для оценки и анализа точности шарико-винтовых передач в процессе эксплуатации.

На рисунке 3 представлен интерфейс программного комплекса Ansys Mechanical (версия 2023 R1), в котором выбран статический расчет (Static Structural Analysis) для поперечной колонны. В результате расчеты подтверждают наличие резерва устойчивости.

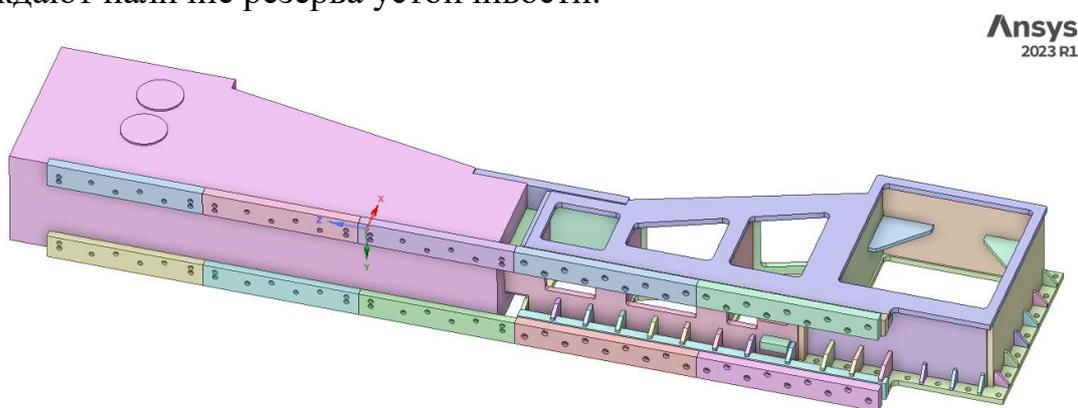


Рис.3. CAD-модель детали поперечной балки в среде ANSYS SpaceClaim

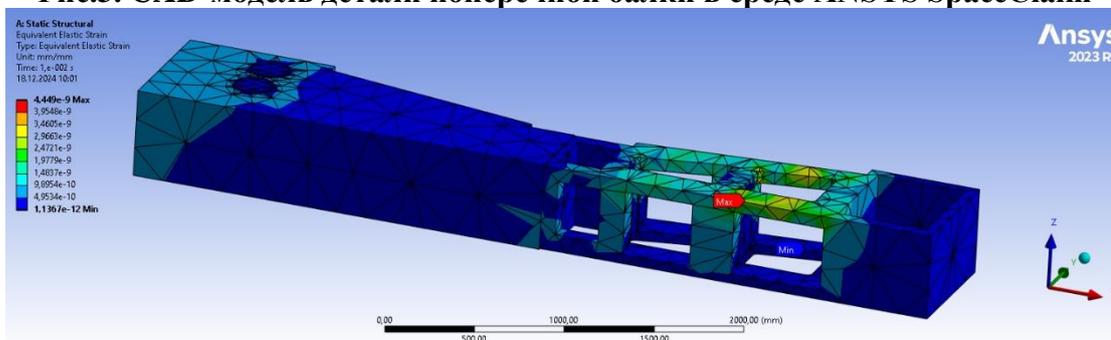


Рис.4. Результат упрощенной модели детали поперечной балки в среде ANSYS для расчета изгиба и жесткости

При разработке математической модели шарико-винтовой передачи (ШВП) было отмечено, что передача подвергается одновременному воздействию радиальных и осевых нагрузок, что приводит к неравномерной деформации шариков в зоне контакта. При этом была рассчитана и определена величина смещения между винтом и гайкой по оси X.

$$F_a = \sum_{i=1}^z P_{si} \sin \beta_i \cos \lambda$$

В этом уравнении номинальный угол наклона кромок качения шарико-винтовой передачи равен числу шариков, участвующих в распределении нагрузки.

Точка контакта шарика с углом — это представляет собой силу, приложенную между цифровым шариком и движущейся дорожкой. Позиционный угол центра соседней сферы в данном случае представляет собой положение сферы в последовательности. — это общее количество узлов, участвующих в распределении нагрузки.

$$\psi_1 = \phi + (i - 1)\varphi$$

Учитывая распределение пространственных углов внутри шага, радиальное смещение, возникающее в результате деформации шара с номером, можно выразить как:

$$\delta_{ri} = \delta_r \cos\psi_1$$

Исходя из принципа равновесия радиальных нагрузок, соотношение между общей нагрузкой, распределенной на шарик, и внешней радиальной нагрузкой выражается следующим уравнением:

$$F_r = \sum_{i=1}^z P_{si} \cos\beta_i \cos\psi_1$$

Разработаны математические модели, описывающие контактные деформации и распределение нагрузки в механических узлах, таких как шарико-винтовые передачи. Эти модели учитывают как идеальные условия, так и погрешности измерений, что позволяет проводить анализ точности и долговечности узлов в динамических и статических условиях.

Третья глава диссертации под названием **«Исследование статических и динамических характеристик модернизированной машины»** посвящена прогнозированию движения механических узлов под нагрузкой, исследованию статических характеристик рабочей зоны модернизированного координатно-сверлильного станка, анализу динамических характеристик механических узлов станка, анализу вибрационных реакций винта модернизированной машины. Результаты исследования показали, что применение анализа гармонических характеристик шарико-винтовой передачи модернизированного координатно-сверлильного станка с ЧПУ имеет принципиальное значение.

Для проектирования и прогнозирования нагрузок на механические узлы была создана САПР-модель узла станции (рисунок 5) для последующего импорта в среду ANSYS для расчета инженерных задач.

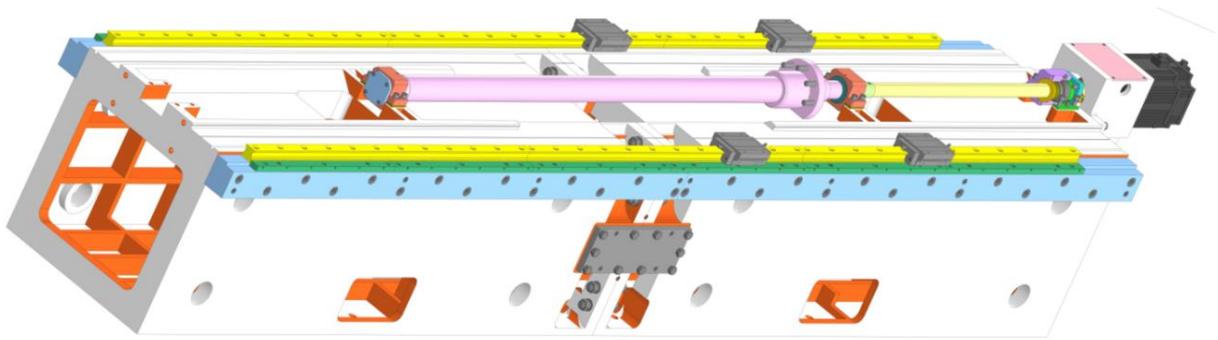


Рис.5. Модель станины модернизированного координатно-сверлильного станка в сборе

Как видно из рисунка 6, для модального анализа была исследована шарико-винтовая передача, смоделированная в SolidWorks и импортированная в ANSYS 2023 R1. Целью данного анализа является определение собственных частот и моделей вибрации, связанных с шарико-винтовым приводом.

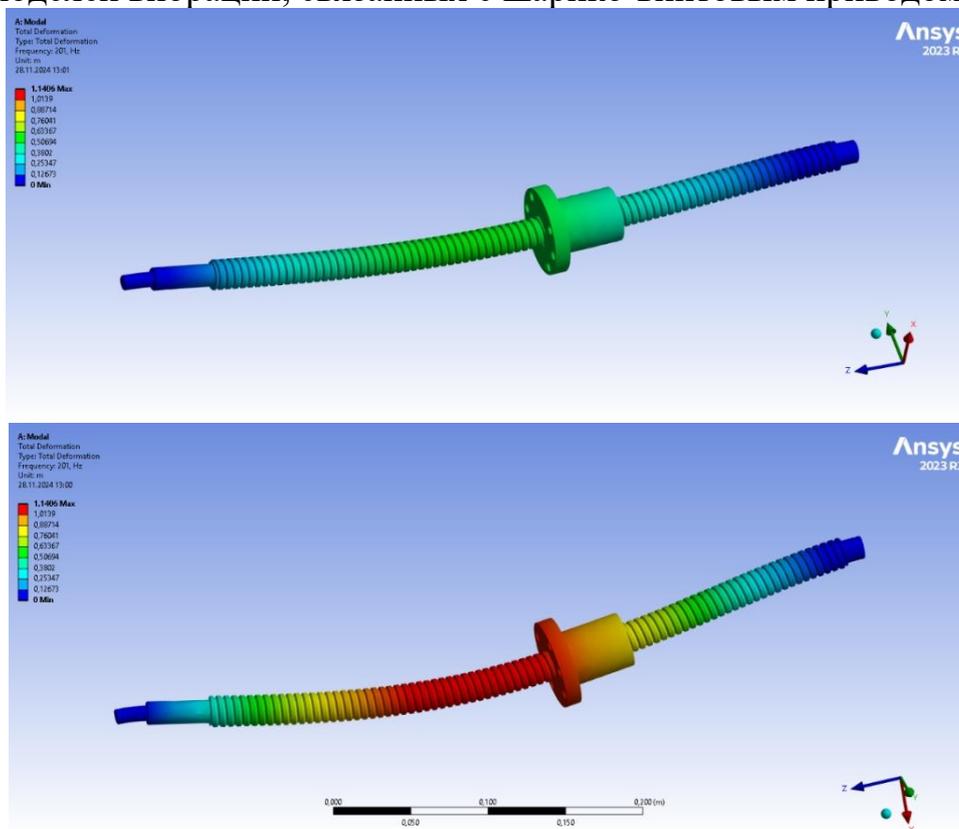


Рис.6. Первые две моды колебаний, полученные в результате модального исследования ШВУ модернизированного координатно-сверлильного станка

Опоры А и В на рисунке 7 представляют граничные условия, при которых устанавливается шарико-винтовой привод, чтобы отразить фактические эксплуатационные ограничения.

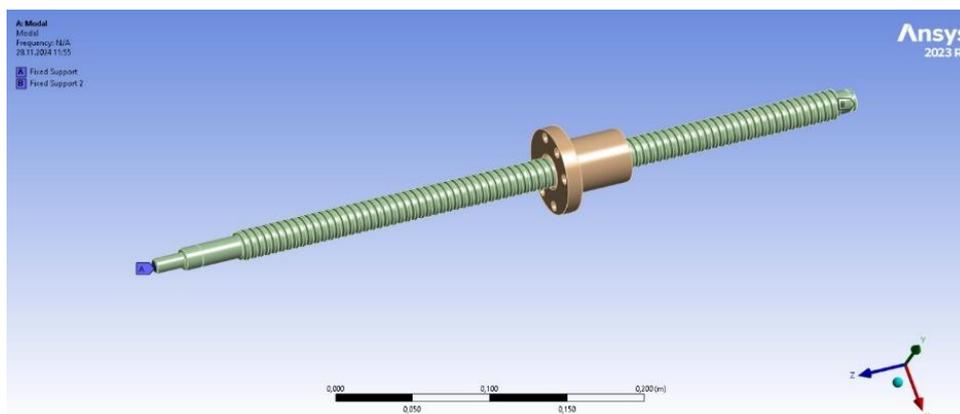


Рис.7. Граничные условия для модального исследования

Также, чтобы сделать исследование реалистичным и максимально приближенным к условиям эксплуатации шарико-винтовой передачи, был задан крутящий момент (рисунок 8).

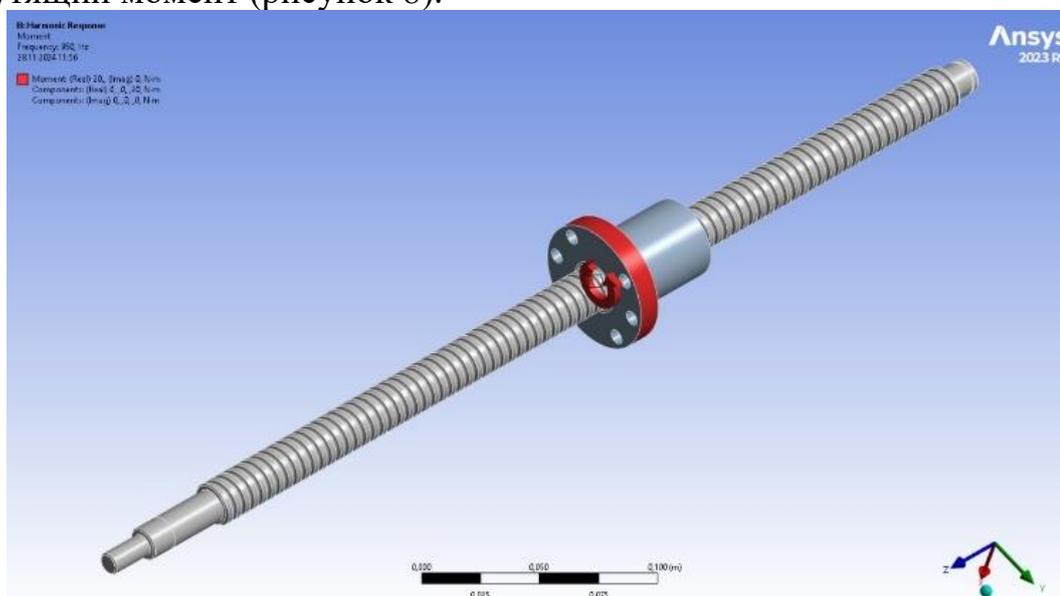


Рис.8. Вращательный момент в гармоническом отклике, связанный с модальным обучением

Для данного модального анализа диапазон частот для шарико-винтовой передачи был выбран от 60 Гц до 600 Гц на основе низких собственных частот, связанных с условиями подшипника, длины и диаметра.

Для сбора необходимых данных исследование началось с анализа определенной частоты в 1,5–2 раза больше 0 Гц, чтобы убедиться, что не пропущены никакие критические моды. Были изучены первые две моды, поскольку в большинстве случаев в отклике доминируют более низкие моды. Поскольку координатно-сверлильный станок не подвержен высокоскоростной динамике, более высокие режимы с меньшей вероятностью вызовут проблемы в процессе эксплуатации.

Таблица 1

Модальный анализ шарико-винтовой пары: собственные частоты и формы колебаний

| Порядок | Собственная частота (Гц) | Описание формы колебаний |
|---------|--------------------------|--------------------------------|
| 1 | 175.50 | Изгиб первого порядка по оси Y |
| 2 | 180.30 | Изгиб первого порядка по оси X |
| 3 | 320.10 | Изгиб второго порядка по оси Y |
| 4 | 325.70 | Изгиб второго порядка по оси X |
| 5 | 450.60 | Биения первого порядка |

Согласно визуализации изгиба и вибрации, первые две модальные моды показали типичное поведение низкочастотных мод, где изгиб первого порядка вдоль оси Y винта происходил на собственной частоте 175,50 Гц, а максимальная деформация наблюдалась в центральной части винта.

Изгиб первого порядка вдоль оси x аналогичен предыдущему режиму на собственной частоте 180,30 Гц, но смещение происходит в плоскости, перпендикулярной ему.

Вторичное отклонение винта по оси Y происходит на собственной частоте 320,10 Гц, при этом уровне вибрации винт изгибается более сложно с двумя максимальными или крайними точками. Вторичный наклон по оси x составил 325,70 Гц.

Частота первой крутильной моды составляет 450,60 Гц. В этом случае в системе наблюдается как вращение, так и продольное расширение/сжатие, что создает условия для резонансных явлений.

Как видно из вышеприведенного анализа, выходные данные помогают определить критические частоты, которых следует избегать во время работы, гарантируя, что система не будет испытывать резонанс и перегрузку.

При проектировании и эксплуатации металлорежущих станков необходимо учитывать требования к прочности, жесткости и устойчивости конструкции для повышения качества, производительности и эффективности труда на станке, что в совокупности влияет на проблему вибрации.

В ходе исследования установлено, что вибрационный метод является наиболее совершенным и точным из известных статических и динамических методов оценки металлорежущих станков, позволяющим комплексно оценить техническое состояние с минимальными материальными затратами, а также что нормативных показателей вибрационных узлов металлорежущих станков не существует.

Четвертая глава диссертации под названием «**Экспериментальное исследование точности работы металлорежущего станка с чпу ли и технико-экономическое замещение модернизированного станка**» посвящена реализации разработанного алгоритма автоматической обработки данных позиционирования, исследованию динамических характеристик контуров скорости и положения, технико-экономическому обоснованию модернизированного станка. В результате внедрения алгоритма в технологический процесс, проведения экспериментов на основе разработанных алгоритмов и математических моделей получены следующие результаты:

1) Для обработки сигнала выбирается и применяется метод фильтрации, определяемый predeterminedными параметрами, такими как размер окна и тип фильтра. Это позволило снизить уровень шума и подготовить сигнал для дальнейшей обработки.

2) Шум в сигнале оценивался на основе стандартного отклонения отфильтрованного сигнала. Это позволило выявить характеристики шума и определить его влияние на общий сигнал.

3) После оценки уровня шума были обработаны выходные данные, превышающие заданный пороговый уровень. Этот процесс позволил нам устранить аномалии в сигнале и улучшить его качество.

4) Полученные данные и результаты обработки представлены на рисунке 9. Это позволило наглядно продемонстрировать эффективность алгоритма обработки выходных данных и его способность улучшать качество сигнала, что приводит к точному позиционированию механических компонентов машины.

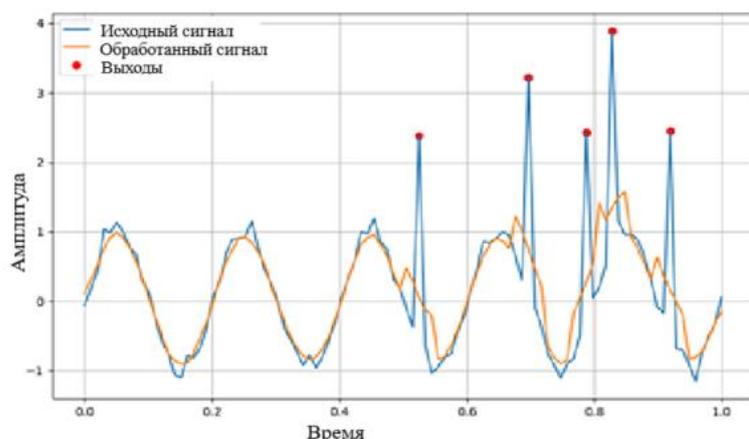


Рис.9. Результат обработки данных исходного сигнала

Таким образом, реализация этих последовательных шагов позволила нам не только оценить производительность алгоритма, но и получить наглядное представление о его эффективности при обработке данных с промышленной сенсорной системы для повышения точности позиционирования механических компонентов машины.

В экспериментах, проведенных с использованием центра управления и измерений ARGON с программным обеспечением Rational DMIS, были измерены фактические ошибки отслеживания по оси X, что позволило проверить, насколько хорошо прогнозы модального анализа и гармонического отклика соответствуют фактическим результатам. Эта информация важна для оптимизации работы системы станка, повышения точности его движений и минимизации ошибок, вызванных вибрациями. В этом эксперименте необходимо измерить погрешность отслеживания оси X, для чего на оси X устанавливаются измерительные приборы.

Сбор данных начинается, как только ось X начинает двигаться. Как видно из рисунка 10, амплитудная характеристика контура скорости для модернизированного координатно-сверлильного станка и модели в диапазоне частот 1-1000 Гц равна 0, что означает, что в этом диапазоне станок не

претерпевает существенных изменений амплитуды и остается стабильным без резких перепадов. Фазовая характеристика постепенно изменяется от 0 до отрицательного значения около 100 Гц, как показано стрелкой. Это показывает, что структура контура скорости и настройки параметров теоретической модели соответствуют реальной системе машины.

Данные, представленные на рисунке 10, показывают, что с увеличением частоты возникает небольшая задержка между сигналом, установленным для движения, и реакцией машины на эти команды. Этот фазовый сдвиг важен для оценки точности модели и последующей коррекции.

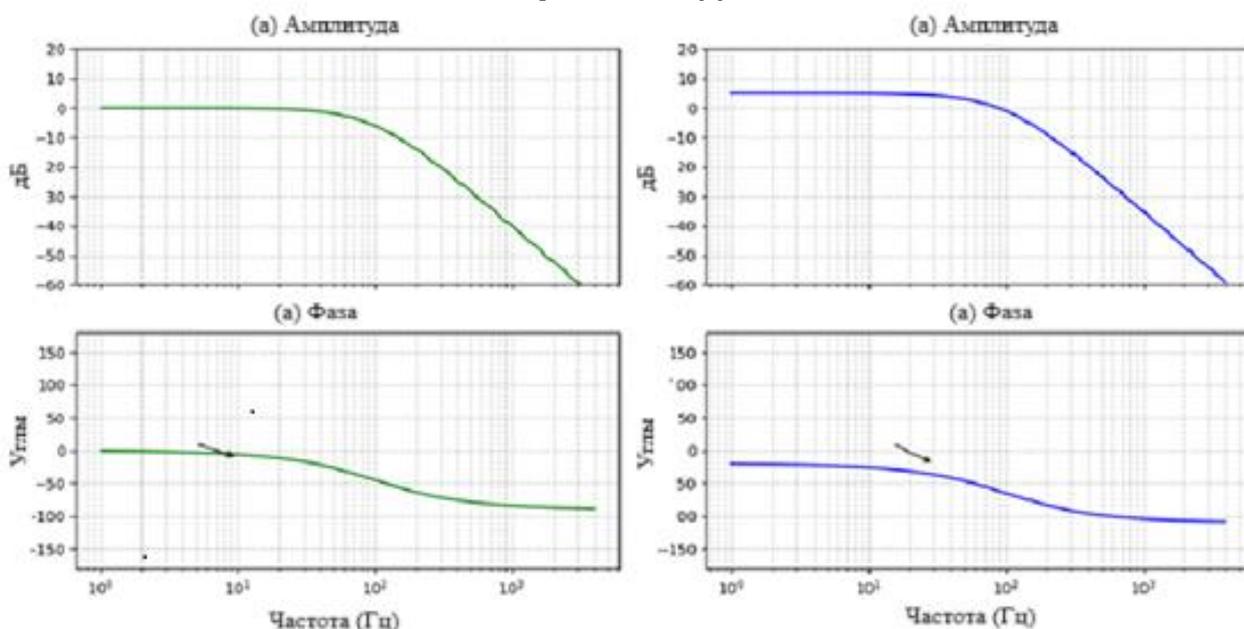


Рис.10. Сравнение диаграмм Бode изолиний скорости.

(а) Бode-диаграмма контура скорости на модернизированном координатно-сверлильном станке. (б) Диаграмма Бode контура скорости для модели

Таким образом, погрешность слежения удерживается в пределах 0,05 мм, что соответствует требованиям, предъявляемым к станку нормального класса точности (Н), и подтверждает высокую точность работы модернизированного координатно-расточного станка. Черная линия, представляющая обновленный станок — это экспериментальные данные, показывающие плавный рост погрешности, в то время как красная линия, представляющая результаты моделирования модели, демонстрирует идеальное теоретическое поведение. Небольшие различия между высокоскоростным экспериментом и моделью обусловлены реальными факторами, такими как трение, вибрация и динамические эффекты движения, которые не учитываются в модели. Таким образом, погрешность слежения сохраняется на уровне 0,05 мм, что соответствует требованиям станка нормального класса точности (Н) и свидетельствует о высокой точности модернизированного координатно-сверлильного станка.

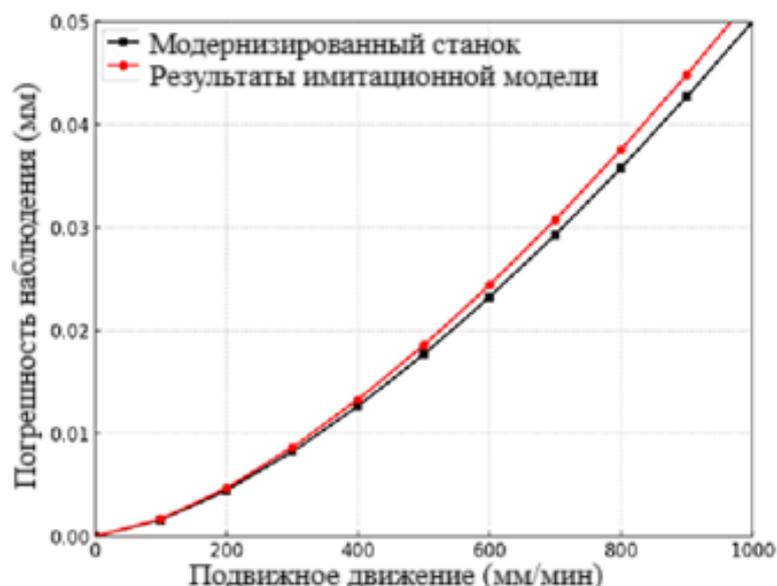


Рис.11. Графики зависимости ошибки отслеживания от скорости загрузки для оси x

Из результатов, показанных на рисунке 11, видно, что тенденция фактической ошибки отслеживания и моделируемой ошибки отслеживания по оси X практически одинакова, что указывает на то, что экспериментальные результаты и результаты моделирования модели увеличиваются с увеличением скорости передачи. Важно отметить, что ошибка отслеживания моделируемой системы практически идентична фактическим измеренным результатам.

Как видно из данных (рисунок 12), значения на графической стороне таблицы представляют собой погрешность отслеживания (мм), которая указывает на разницу между заданным значением и фактическим положением или скоростью, достигнутыми системой управления. Погрешность отслеживания на вашей диаграмме колеблется в пределах 0,5000–0,5025 мм. Базовое значение 0,5000 мм (красная линия) является идеальным эталоном (образцом), полученным при моделировании. Небольшие отклонения экспериментальных данных вверх (до 0,5025 мм) обусловлены реальными факторами: динамическими эффектами привода, люфтами в механике или небольшими нестабильностями в регуляторе контура регулирования. Данные отклонения минимальны и не превышают $\pm 0,0025$ мм, что соответствует требованиям нормального класса точности (Н), где допустимые отклонения составляют около $\pm 0,005$ мм, что свидетельствует о высоком качестве системы управления станка.

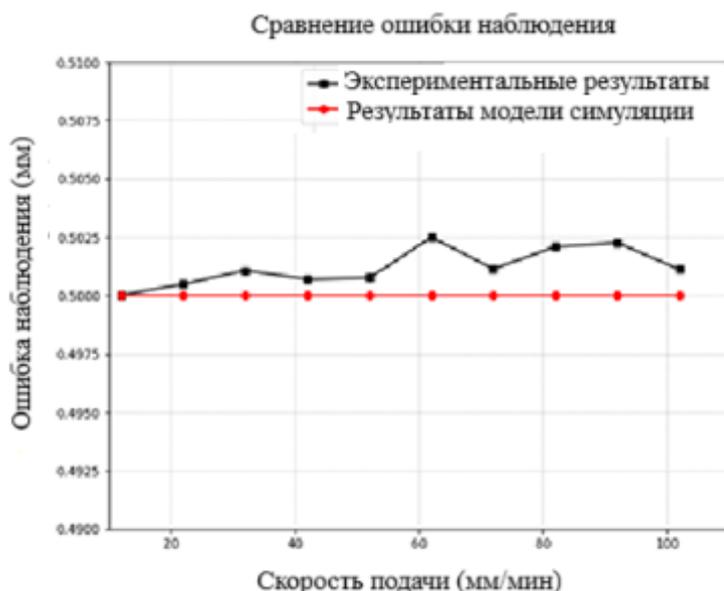


Рис.12. Кривые зависимости коэффициента увеличения контура скорости от ошибки слежения по оси x

Технико-экономическое обоснование модернизированной машины.

Сравнение общего времени, затраченного на обработку детали «Рама» размерами 4720x4100x345. В результате экономических расчетов процесса обработки и затрат на электроэнергию получены следующие данные для изготовления детали типа «Рама»:

Экономия при производстве одного изделия составит: $2162219,2 - 589468,780 = 1\,572\,732,42$ сум.

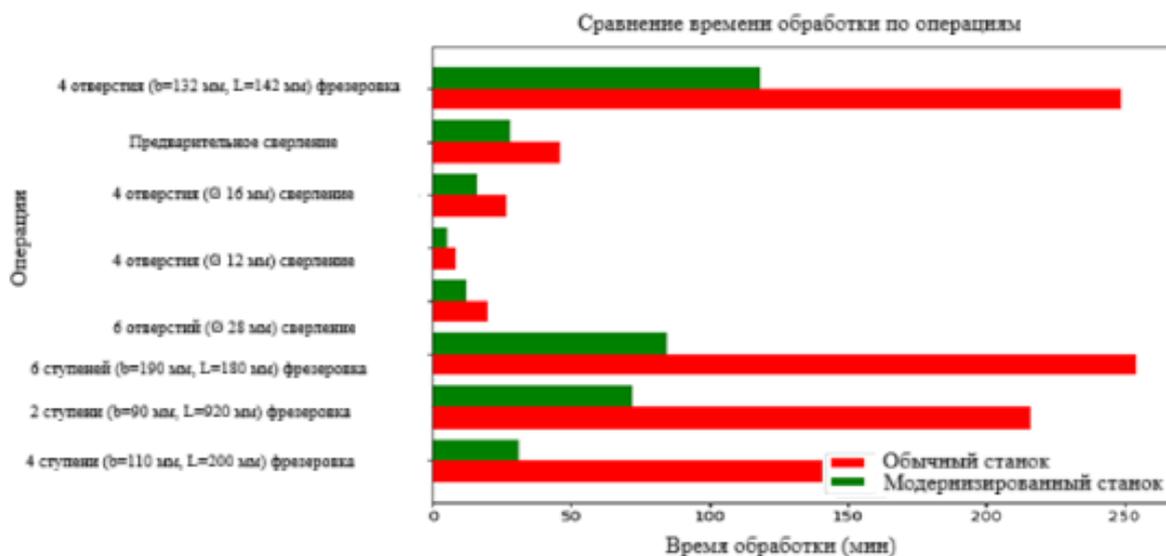


Рис.13. Сравнение времени, затраченного на каждую операцию

По расчетам, после модернизации время работы станка на полную обработку детали «Рама» составит 7,35 часа. С учетом всех поправочных коэффициентов данное значение подтверждает, что станок полностью соответствует заданным требованиям по точности и эффективности.

На существующем технологическом оборудовании полная обработка детали занимает 23 часа, а на модернизированном станке, как уже упоминалось выше, — 7,5 часов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследований усовершенствованного координатно-сверлильного станка с целью повышения производительности труда за счет обеспечения точности позиционирования узлов при механической обработке заготовок сделаны следующие выводы:

1. Проведен анализ современного состояния металлорежущих станков по критериям точности и эффективности, и на примере координатно-сверлильного станка модели 2550 установлено, что основные проблемы связаны с точностью позиционирования рабочих органов и недостаточным быстродействием. Вопрос повышения точности и производительности труда в цехах соответствует приоритетным направлениям развития машиностроительной отрасли Узбекистана и государственной стратегии «Узбекистан-2030».

2. Для выявления погрешностей работы в маловибрационном режиме шарико-винтовой передачи был проведен модальный анализ с частотами в выбранном диапазоне от 60 Гц до 600 Гц. Высокие колебания в шарико-винтовой передаче были обнаружены при вибрациях ниже 0 и до 1,2-2 собственных частот колебаний, которые, как было установлено, зависят от условий опоры, длины и диаметра шарико-винтовой передачи.

3. Были проведены исследования эффектов гармонических реакций при динамических нагрузках, и результаты показали, что амплитудные сдвиги, изгибы и толчки первого порядка происходили в красных частотных зонах 175 Гц, 320 Гц и 450 Гц, что неизбежно приводило к механическим повреждениям. Показано, что амплитудный сдвиг устойчив за пределами этого диапазона частот, и разработаны рекомендации по выбору оптимального режима клипширования в указанных диапазонах частот.

4. Резкие фазовые сдвиги происходят на частотах 175 Гц и 320 Гц, где угловая фаза между вращением винта и линейным движением гайки не совпадает. Такие резкие переходы основаны на явлении резонанса. В этих точках частотной характеристики система поглощает энергию и демонстрирует нестабильное поведение. Было обнаружено, что фазовый угол стабилизируется вне резонансных частот.

5. Экспериментально оценена точность усовершенствованного координатно-сверлильного станка. Исследована зависимость погрешности позиционирования от скорости подачи, погрешность на малой скорости увеличивалась до 0,045 мм при увеличении скорости подачи от 0 мм до максимальной скорости подачи (1000 мм/мин). Это объясняется динамическим эффектом трения, вибрации и движения. Кроме того, зафиксированы небольшие отклонения до 0,0025 мм в результате влияния факторов механического люфта и нестабильности стабилизатора. Однако эти отклонения минимальны ($\pm 0,0025$ мм) и не выходят за пределы допустимого диапазона \pm

0,005 мм, установленного для станков нормального класса точности. Показано, что усовершенствованный станок полностью соответствует классу точности Н.

6. Усовершенствованный станок «Рама» позволил сократить время обработки готовой детали с 23 часов на существующих станках до 7,5 часов. Усовершенствованный станок достигла на 30% большей эффективности при выполнении технологических работ по сравнению с существующими станками.

7. Разработана математическая модель динамики ШВУ цеха, теоретические расчеты показали, что на точность перемещения ШВУ существенное влияние оказывают особенности распределения нагрузки, обусловленные погрешностями изготовления ее размеров.

8. На основе расчетного метода определены оптимальные параметры режима резания, обеспечивающие эффективную работу станка. При определении нагрузок, определяющих пределы устойчивой работы ШВУ.

9. Усовершенствованный станок «Рама» показал, что потребление энергии при обработке деталей снизилось с 22 кВт до 18 кВт по сравнению с существующими станками. Это привело к снижению себестоимости изготовления одной детали на 1 572 732 сума.

**ONE-TIME SCIENTIFIC COUNCIL BASED ON THE SCIENTIFIC
COUNCIL DSc.03/30.12.2019. T.03.04 ON AWARDING ACADEMIC
DEGREES AT TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY**

NAVOI STATE UNIVERSITY OF MINING AND TECHNOLOGIES

KHAYITOV JAKHONGIR KHAZRATILLOYEVICH

**MODERNIZATION AND RESEARCH OF THE 2550 MODEL
COORDINATE-DRILLING MACHINE**

**05.02.05 – technologies and processes of mechanical and physico-technical processing.
Machines and tools.**

**ABSTRACT OF DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD)
ON TECHNICAL SCIENCES**

Tashkent – 2025

The topic of the dissertation for the degree of Doctor of Philosophy (PhD) in Technical Sciences has been registered with the Higher Attestation Commission under the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under registration number B2024.3.PhD/T4893.

The dissertation was completed at the Navoi State University of Mining and Technology.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the scientific council website www.ferpi.uz and on Information-educational portal «ZiyoNet» (www.ziyo.net).

Scientific supervisor: **Mardonov Bakhtiyor Teshaeovich**
doctor of technical sciences, professor

Official opponents: **Khusanov Yunusali Yuldashaliyevich**
doctor of technical sciences, professor

Shaxobutdinov Rustam Erkinbayevich
doctor of philosophy in technics, dotsent

Leading organization: **"MISiS" NRTU Olmalik branch**

The defense will take place «11» oktober 2025y at 10-00 at the meeting of scientific council DSc.03/30.12.2019.T.03.04 at Tashkent State Technical University located at 2, University street, Tashkent, 100095. Tel/fax No (99871) 227-10-32, E-mail:tadqiqotchi@tdtu.uz.

The dissertation can be reviewed at the Information and Resource Center of Tashkent State University (registration number 45). (Address: 100095, st. University 2, Tashkent Tel/Fax: (99871) 246-46-00).

Abstract of dissertation sent out on «27» september 2025y.
(mailing report №191 on «27» september 2025y).

K.A. Karimov
Chairman of scientific council for
awarding degree,
doctor of technical sciences, professor

N.D. Turakhodjayev
Scientific secretary of scientific council
for awarding degree, doctor of technical sciences, professor

A.A. Mukhiddinov
Chairman of scientific council seminar at the
Scientific Council for the awarding academic degrees,
doctor of technical sciences, professor

INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

The purpose of the research is the modernization and research of the 2550 model coordinate-drilling machine.

The tasks of the research:

study of research, scientific papers, patents, projects and literature on jig drilling machines during modernization and design;

formation of requirements for modernization, including increasing the technological capabilities of the machine, expanding the use of domestic import-substituting products and creating the possibility of integration with RDB systems;

design of modernized units and adaptation to drives, ball screw drives (BSG);

analysis of modernized units (torsion, bending, tension, friction, vibration) using a special modeling program;

analysis of the interaction of modernized units with each other during operation under load;

development of a modernized model of the RDB jig drilling machine.

feasibility study of the modernized machine.

The object of the research is a 2550 model coordinate-coordinate drilling machine.

The scientific novelty of the research is as follows:

the design of the coordinate-drilling machine has been improved based on the magnitude of tangential forces arising from changes in the drilling speed of its constituent parts;

a method for compensating for errors of machines with digital program control, taking into account possible parameters of errors arising during workpiece installation, has been developed;

a mathematical model of the machine's body parts and assemblies was developed based on the compiled equations of the material properties of the part and the parameters of the expected result;

modernization of coordinate-drilling machine parts designs was developed based on geometric parameters obtained using the values of geometric parameters applied to the removed part;

a method for eliminating errors during the movement of the modernized machine's connections using CNC has been developed based on mathematical processing of the movement trajectory length.

Implementation of research results. Based on the conducted research on the development of technical solutions for the modernization of the 2550 model coordinate drilling machine:

The design of the coordinate drilling machine was improved and the results were implemented at the Production Association “Navoi Machine-Building Plant” (certificate №. 23/01-01-01/715 of Navoi Mining and Metallurgical Plant JSC dated November 19, 2024). As a result, the axis positioning speed was increased by 25%;

A methodology for compensating for errors in CNC machines was developed and the results were implemented at the Production Association “Navoi Machine-Building Plant” (certificate №. 23/01-01-01/715 of Navoi Mining and Metallurgical

Plant JSC dated November 19, 2024). As a result, the time for installing and removing the workpiece was reduced;

A mathematical model of machine tool body parts and units has been developed and the results have been implemented at the Production Association “Navoi Machine-Building Plant” (certificate №. 23/01-01-01/715 of Navoi Mining and Metallurgical Plant JSC dated November 19, 2024). As a result, strength and accuracy are calculated, which leads to increased productivity.

Structure and scope of the thesis. The dissertation is structured as follows: introduction, 4 chapters, conclusion, list of references, and appendices. The total length of the dissertation is 101 pages.

E'LON QILINGAN ISHLAR RO'YXATI
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS
I bo'lim (I chast; part I)

1. Xayitov J.X., Karimov K.A., Egamberdiyev I.P., Yaxshiyev Sh.N., Xamidov B.X. Разработка технологии и методики для контроля технического состояния металлорежущего оборудования. *Muhandislik sohasidagi ilg'or texnologiyalar Journal of Advances in Engineering Technology* Vol.2 (5), 2024.
2. Xaitov J.X., Abdullayev K.S., Mardonov B.T., Yaxshiyev Sh.N., Ochilov U.Yu., Saibov M.F. Численно-аналитическое исследование силовых и прочностных характеристик модернизированного координатно-сверлильного станка с ЧПУ с целью повышения динамической устойчивости. *Горный вестник Узбекистана*. (05.00.00. №7)
3. Xayitov J.X., Abdullayev K.S., Mardonov B.T., Yaxshiyev Sh.N., Ochilov U.Yu., Saibov M.F. Применение методов фильтрации и обработки данных для повышения точности позиционирования механических узлов модернизированного координатно-сверлильного станка с ЧПУ. *Горный вестник Узбекистана*. (05.00.00. №7)
4. Abdullayev K.S., Xayitov J.X., Mardonov B.T., Yaxshiyev Sh.N., Ochilov U.Yu., Saibov M.F. Исследование точности и жесткости металлорежущих станков с ЧПУ. *Горный вестник Узбекистана*. (05.00.00. №7)
5. Абдуллаев К.С., Хайитов Ж.Х., Яхшиев Ш.Н., Очилов У.Ю. Finite element analysis of structural dynamics in heavy-duty lathe machines: implications for load capacity, precision, and machining performance. [Http://khorezmscience.uz](http://khorezmscience.uz) Urgench 06.2024 (2). (05.00.00. №26)

II bo'lim (II chast; part II)

6. Xayitov J.X., Abdullayev K.S., Yaxshiyev Sh.N. Разработка методологии улучшения показателей вибрационных характеристик токарных станков. *Зарафшон вохасини комплекс инновацион ривожлантириш ютуклари, муаммолари ва истиқболлари IV-халқаро илмий-амалий анжумани Volume II April 18-19 2024-Navoi, Uzbekistan.*
7. Xayitov J.X., Abdullayev K.S., Yaxshiyev Sh.N. Разработка методологии улучшения динамических характеристик токарно-винторезного станка. *Зарафшон вохасини комплекс инновацион ривожлантириш ютуклари, муаммолари ва истиқболлари IV-халқаро илмий-амалий анжумани Volume II April 18-19 2024-Navoi, Uzbekistan.*
8. Karimov K.A., Egamberdiyev I.P., Yaxshiyev Sh.N., Xayitov J.X., Xamidov B.X. Анализ износа режущего инструмента в современных производственных процессах.
9. Xayitov J.X., Raxmonov U.J., Ochilov R.X., Eshmurodov N.S. Усовершенствование конструкции футеровки шаровой мельницы. *Машинасозликда фан, таълим, ва ишлаб чиқаришнинг интеграцияси:*

тенденциялар, муаммолар ва ечимлар мавзусидаги Халқаро миқёсдаги илмий-техник конференция таклифнома ва дастури Тошкент-2023.

10. К.С. Абдуллаев, Ж.Х. Хайитов, Б.Т. Мардонов, Б.Т. Ташболатов. Теоретический анализ и расчёт контактных напряжений в зубчатых передачах металлорежущих станков. III Всероссийская (национальная) научная конференция с международным участием «Российская наука, инновации, образование» (РОСНИО-III-2024). 30-31 мая 2024. Красноярск, Россия.

11. Ж.Х. Хайитов, К.С. Абдуллаев, Б.Т. Мардонов, Б.Т. Ташболатов. Диагностика и анализ износа металлорежущего инструмента в современных технологических операциях. III Всероссийская научная конференция с международным участием «Достижения науки и технологий, культурные инициативы и устойчивое развитие -ДНиТ-III-2024». 11, 2024. 01-02 марта 2024. Красноярск, Россия.

Avtoreferat «O‘zbekiston konchilik xabarnomasi» jurnali tahririyatida tahrirdan o‘tkazilgan, o‘zbek, rus va ingliz tillaridagi matnlar o‘zaro muvofiqlashtirildi.



Bosishga ruxsat etildi: 22.09.2025 yil
Bichimi 60x84 ¹/₁₆, “Times New Roman”
garniturada raqamli bosma usulida bosildi.
Shartli bosma tabog‘i: 2,75. Adadi 50. Buyurtma № 51.
Tel (93) 955-25-25.

Guvohnoma № 212895
“TEXNO PRINT NAVOI” MCHJ bosmaxonasida chop etildi.
Bosmaxona manzili: Navoiy sh. Guliston - 3 massivi

