ISNN 3030-3907

2026/4
VOLUME 9

DEVELOPMENT OF SCIENCE

ILMIY JURNAL



Development of science

Ilmiy jurnal

2026/4 VOLUME 8

ISSN 3030 -3907

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

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

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

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

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

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

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

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

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

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

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

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

ISSN 3030-3907

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

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

ISSN 3030-3907

RAQAMLI DASTUR BILAN BOSHQARILADIGAN VERTIKAL FREZALASH STANOGIDA YURITMA XUSUSIYATLARINI MODELLASHTIRISH VA OPTIMALLASHTIRISH

Mirzayev Najmiddin Normatovich
"Mashinasozlik texnologiyasi" kafedrasi, kafedra mudiri texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), dotsent.TDTU
Abdumalikov Oybek Azizjon o'g'li
"Mashinasozlik texnologiyasi" kafedrasi Magistratura talabasi.TDTU

Annotatsiya. Maqolada raqamli dastur bilan boshqariladigan vertikal frezalash stanogida yuritma tizimini modellashtirish va optimallashtirish orqali uning dinamik xususiyatlari hamda ishlov berish aniqligini oshirish masalalari o'rganildi. Tadqiqot doirasida yuritma tizimining matematik modeli ishlab chiqilib, u raqamli boshqaruv muhitiga moslashtirildi va diskret shaklda ifodalandi. Boshqaruv samaradorligini oshirish maqsadida raqamli PID algoritmi qo'llanilib, uning parametrlarini aniqlash uchun gibrid optimallashtirish usuli (genetik algoritm va gradient yondashuvi) tatbiq etildi. Modellashtirish natijalari optimallashtirilgan modelda pozitsiya xatoliklari 2–3 barobar kamayganini, tizimning dinamik javobi yaxshilanib o'tish va barqarorlashish vaqtlari qisqarganini hamda boshqaruv signalining silliqlashuvi natijasida energiya xarakteristikalari yaxshilanganini ko'rsatdi. Olingan natijalar taklif etilgan raqamli modellashtirish va optimallashtirish yondashuvi CNC stanok yuritma tizimlarining aniqligi va barqarorligini oshirishda samarali ekanligini hamda sanoat amaliyotida qo'llash uchun muhim ahamiyatga ega ekanligini tasdiqlaydi.

Kalit so'zlar: Raqamli boshqaruv, CNC stanok, vertikal frezalash stanogi, yuritma tizimi, matematik modellashtirish, optimallashtirish, raqamli PID, genetik algoritm, dinamik javob, aniqlik.

Annotation. The article investigates the enhancement of dynamic characteristics and machining accuracy of a CNC-controlled vertical milling machine through modeling and optimization of its drive system. Within the scope of the study, a mathematical model of the drive system was developed, adapted to a digital control environment, and represented in discrete form. To improve control efficiency, a digital PID algorithm was applied, and a hybrid optimization method (combining a genetic algorithm and a gradient-based approach) was used to determine its parameters. Simulation results demonstrated that in the optimized model, position errors were reduced by 2–3 times, the system's dynamic response improved with shorter transient and settling times, and energy characteristics were enhanced due to smoother control signals. The obtained results confirm that the proposed digital modeling and optimization approach is effective in improving the accuracy and

ISSN 3030-3907

stability of CNC machine drive systems and is of significant importance for industrial applications.

Keywords: digital control, CNC machine, vertical milling machine, drive system, mathematical modeling, optimization, digital PID, genetic algorithm, dynamic response, accuracy.

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы повышения динамических характеристик и точности обработки вертикального фрезерного станка с числовым программным управлением за счёт моделирования и оптимизации его приводной системы. В рамках исследования разработана математическая модель приводной системы, адаптированная к цифровой среде управления и представленная в дискретной форме. Для повышения эффективности управления применён цифровой ПИД-алгоритм, а для определения его параметров использован гибридный метод оптимизации (генетический алгоритм и градиентный подход). Результаты моделирования показали, что в оптимизированной модели погрешности позиционирования уменьшились в 2–3 раза, улучшилась динамическая реакция системы, сократились переходные и установившиеся времена, а также повысились энергетические характеристики за счёт сглаживания управляющего сигнала. Полученные результаты подтверждают, что предложенный подход цифрового моделирования и оптимизации является эффективным для повышения точности и устойчивости приводных систем станков с ЧПУ и имеет важное значение для промышленного применения.

Ключевые слова: цифровое управление, станок с ЧПУ, вертикальный фрезерный станок, приводная система, математическое моделирование, оптимизация, цифровой ПИД, генетический алгоритм, динамическая характеристика, точность.

KIRISH.

Raqamli dastur bilan boshqariladigan (CNC) vertikal frezalash stanoklari zamonaviy mashinasozlikda yuqori aniqlik va ishlab chiqarish samaradorligini ta’minlovchi asosiy texnologik vositalardan biri hisoblanadi [1]. Bunday stanoklarda ishlov berish sifati va aniqligi ko‘p jihatdan yuritma tizimining dinamik xususiyatlariga bog‘liq bo‘lib, aynan yuritma tizimi asbob va detalning aniq koordinatali harakatini ta’minlaydi. Shu sababli, yuritma tizimlarini chuqur o‘rganish, ularni matematik modellashtirish va optimal boshqaruvni tashkil etish muhim ilmiy masalalardan biri hisoblanadi.

Vertikal frezalash stanoklarida yuritma tizimlari ko‘p parametrli va murakkab dinamik tizimlar bo‘lib, ular inertsiya, ishqalanish, elastiklik va tashqi yuklama kabi omillarga bog‘liq holda ishlaydi. An’anaviy yondashuvlarda ushbu

ISSN 3030-3907

tizimlar soddalashtirilgan modellar orqali ifodalanadi, biroq bu real ish sharoitidagi xatti-harakatlarni to‘liq aks ettira olmaydi. Natijada, tizimning dinamik aniqligi pasayadi, traektoriya xatoliklari ortadi va ishlov berish sifati yomonlashadi.

Ilmiy tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, yuritma tizimining aniqligi va barqarorligini oshirish uchun uning matematik modelini yuqori aniqlikda qurish zarur. Ayniqsa, yuqori tezlikli ishlov berish jarayonlarida tizimning dinamik javobi, kechikishlari va tebranish xususiyatlari muhim rol o‘ynaydi [2-3]. Agar ushbu omillar modelda hisobga olinmasa, boshqaruv tizimi optimal ishlamaydi va natijada aniqlik sezilarli darajada pasayadi.

Shu bilan birga, yuritma tizimlarini optimallashtirish masalasi ham dolzarb hisoblanadi. Parametrlarni optimal tanlash orqali tizimning o‘tish jarayonlari tezlashtiriladi, ortiqcha tebranishlar kamaytiriladi va pozitsiya xatoliklari minimallashtiriladi. Zamonaviy yondashuvlarda optimallashtirish uchun matematik usullar, adaptiv boshqaruv algoritmlari va raqamli modellashtirish texnologiyalaridan foydalanilmoqda. Biroq, real CNC tizimlarida yuklama o‘zgaruvchanligi va tashqi ta’sirlar sababli optimal boshqaruvni ta’minlash hali ham murakkab muammo bo‘lib qolmoqda [4].

Raqamli boshqaruv tizimlarining rivojlanishi yuritma tizimlarini real vaqt rejimida modellashtirish va optimallashtirish imkoniyatlarini kengaytirdi. Bu esa tizim parametrlarini dinamik ravishda moslashtirish va ishlov berish aniqligini oshirishga xizmat qiladi [5]. Shu nuqtai nazardan, yuritma tizimlarini kompleks modellashtirish va optimallashtirish asosida boshqarish zamonaviy ishlab chiqarish uchun muhim ilmiy va amaliy ahamiyatga ega.

Ushbu maqolaning maqsadi raqamli dastur bilan boshqariladigan vertikal frezalash stanogida yuritma tizimining matematik modelini ishlab chiqish va uni optimallashtirish orqali tizimning dinamik xususiyatlari, aniqligi hamda barqarorligini oshirishdan iborat.

METODOLOGIYA.

Mazkur tadqiqotda obyekt sifatida raqamli dastur bilan boshqariladigan (CNC) vertikal frezalash stanogining yuritma tizimi tanlandi. Tadqiqotning asosiy yo‘nalishi yuritma tizimining dinamik xususiyatlarini matematik modellashtirish va uni raqamli muhitda optimallashtirishdan iborat. CNC tizimlarida yuritma tizimi real vaqt rejimida ishlashi sababli, model nafaqat fizik jarayonlarni, balki raqamli boshqaruvning diskret xususiyatlarini ham hisobga olishi talab etiladi. Shu sababli, uzluksiz (continuous) va diskret (discrete) modellar birgalikda qo‘llanildi.

Tadqiqot quyidagi bosqichlarda amalga oshirildi: yuritma tizimining fizik modelini qurish, uni holat fazosiga keltirish, raqamli boshqaruv modeli bilan

ISSN 3030-3907

integratsiya qilish hamda optimallashtirish algoritmini ishlab chiqish. Zamonaviy CNC yuritma tizimlarini modellashtirish usullari [6–8] da keng yoritilgan.

CNC stanok yuritma tizimi elektromexanik tizim sifatida quyidagi differensial tenglama bilan ifodalanadi:

$$J\frac{d^2\theta(t)}{dt^2} + B\frac{\theta(t)}{dt} + K\theta(t) = T_m(t) - T_l(t)$$

bu yerda J - inertsiya momenti, B - ishqalanish koeffitsienti, K - tizimning elastiklik parametric, θ(t) - pozitsiya, $T_m(t)$ - motor momenti, $T_l(t)$ - tashqi yuklama momentidir. Ushbu model yuritma tizimining asosiy dinamik xususiyatlarini ifodalaydi.

Modelni raqamli boshqaruv tizimiga moslashtirish uchun u holat fazosi ko‘rinishiga keltirildi:

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t)$$
$$y(t) = Cx(t)$$

so‘ngra model diskret shaklga o‘tkazildi:

$$x(k+1) = A_d x(k) + B_d u(k)$$

bu yerda k - diskret vaqt bosqichi. Ushbu bosqich CNC tizimning real vaqtli ishlashini modellashtirish uchun zarur hisoblanadi.

Yuritma tizimini boshqarish uchun raqamli PID algoritmi qo‘llanildi. Diskret boshqaruv qonuni quyidagicha ifodalanadi:

$$u(k) = K_p e(k) + K_i \sum e_k + K_d(e(k) - e(k-1))$$

bu yerda e(k) - diskret xatolik signali bo‘lib, berilgan va real pozitsiya orasidagi farqni ifodalaydi. Raqamli boshqaruv algoritmi CNC tizimlarda keng qo‘llanilib, real vaqt rejimida tizimni boshqarish imkonini beradi.

Yuritma tizimi parametrlarini optimallashtirish uchun maqsad funksiyasi quyidagicha tanlandi:

$$J = \sum_{k=0}^{N} (e^2(k) + \lambda u^2(k))$$

bu yerda J - umumiy xatolik funksiyasi, e(k) - pozitsiya xatoligi, u(k) - boshqaruv signali va λ - og‘irlik koeffitsienti hisoblanadi. Ushbu funksiya xatolikni kamaytirish bilan birga boshqaruv signalining ortiqcha tebranishlarini cheklashga xizmat qiladi.

Parametrlarni aniqlash uchun gibrid optimallashtirish usuli qo‘llanildi. Dastlab genetik algoritm yordamida global optimal soha aniqlanadi, so‘ng gradient usuli yordamida aniqlik oshiriladi. Parametrlar quyidagi qoida asosida yangilanadi:

$$K^{new} = K^{old} - \alpha\nabla J$$

ISSN 3030-3907

bu yerda α - o‘rganish tezligi, ∇J - maqsad funksiyaning gradienti. Ushbu yondashuv tizimni tez va barqaror optimallashtirish imkonini beradi [9].

Yuritma tizimining parametrlarini aniqlash uchun kirish va chiqish signallariga asoslangan identifikatsiya usuli qo‘llanildi. Minimallashtirish masalasi quyidagicha ifodalanadi:

$$min \sum_{k=1}^{N} (y_k - \widehat{y_k})^2$$

bu yerda y_k - real tizim chiqishi, $\widehat{y_k}$ - model chiqishi. Ushbu usul modelning real tizimga mosligini oshirish imkonini beradi.

Tadqiqot CNC vertikal frezalash stanogida o‘tkazildi. Asosiy parametrlar quyidagilarni tashkil etdi: aylanish tezligi 500–3000 rpm, yuklama 10–80%, ishlov materiali po‘lat. Taqqoslash uchun ikki xil holat ko‘rib chiqildi: modellashtirilmagan tizim va optimallashtirilgan raqamli modelga asoslangan tizim. Baholash mezonlari sifatida pozitsiya xatoligi, o‘tish vaqti, barqarorlashish va tebranish darajasi tanlandi. Natijalar statistik usullar yordamida qayta ishlanib, o‘rtacha qiymat va dispersiya asosida baholandi [10].

NATIJALAR.

Raqamli modellashtirish asosida CNC vertikal frezalash stanogining yuritma tizimi uchun dinamik javob va aniqlik ko‘rsatkichlari aniqlandi. Modellashtirilgan tizim va optimallashtirilgan tizim natijalari o‘zaro taqqoslandi. Natijalar shuni ko‘rsatdiki, optimallashtirish algoritmi qo‘llanilgandan so‘ng tizimning aniqligi va barqarorligi sezilarli darajada yaxshilandi.

Yuritma tizimining asosiy ko‘rsatkichlaridan biri — pozitsiya aniqligi hisoblanadi. Modellashtirish natijalari quyidagi jadvalda keltirilgan.

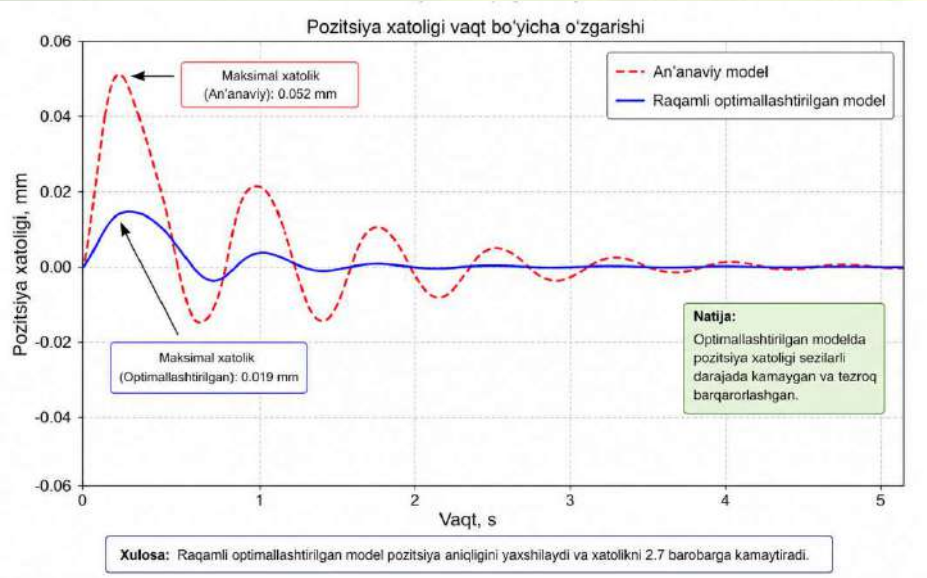
1-jadval.

Pozitsiya aniqligi taqqoslanishi

Tizim turi	Maksimal xatolik (mm)	O‘rtacha xatolik (mm)
An’anaviy model	0.052	0.031
Raqamli optimallashtirilgan model	0.019	0.011

1-jadvaldagi natijalarga ko‘ra, optimallashtirilgan modelda maksimal xatolik qariyb 2.7 barobar kamaygan. Bu raqamli modelning real tizimga yaqinroq ishlashini ko‘rsatadi.

ISSN 3030-3907



1-rasm. An'anaviy va raqamli optimallashtirilgan modellar taqqoslanishi

1-rasmda CNC vertikal frezalash stanogining yuritma tizimi uchun pozitsiya xatoligining vaqt bo‘yicha o‘zgarishi ko‘rsatilgan. Grafikda an’anaviy model (qizil uzilgan chiziq) va raqamli optimallashtirilgan model (ko‘k chiziq) natijalari taqqoslangan. Ko‘rinib turibdiki, an’anaviy modelda maksimal xatolik 0.052 mm ni tashkil etadi va tizimda sezilarli tebranishlar kuzatiladi. Raqamli optimallashtirilgan modelda esa maksimal xatolik 0.019 mm gacha kamaygan hamda tizim tezroq barqaror holatga keladi.

Shuningdek, optimallashtirilgan modelda tebranish amplitudasi ancha kichik bo‘lib, xatolik tezroq nolga yaqinlashadi. Bu esa modellashtirish va optimallashtirish algoritmlarining samarali ishlashini ko‘rsatadi. Natijada, yuritma tizimining aniqligi taxminan 2.5–2.7 barobar yaxshilangani aniqlanadi.

Tizimning dinamik xususiyatlari o‘tish vaqti va barqarorlashish parametrlari orqali baholandi.

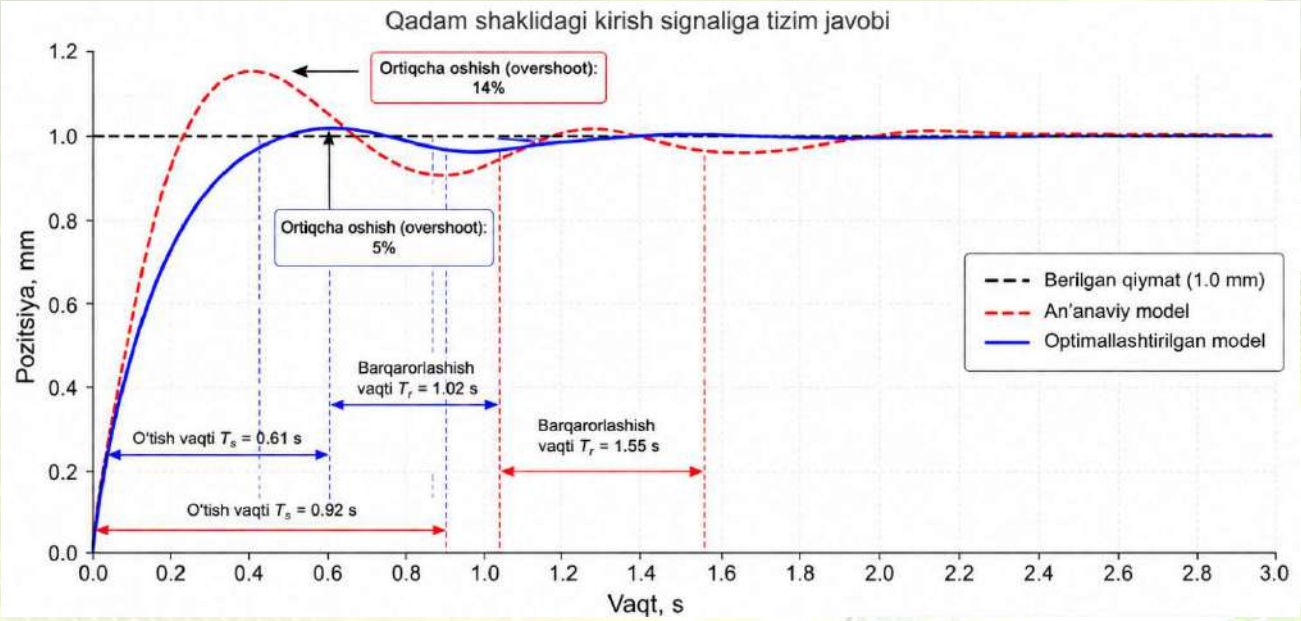
2-jadval.

Dinamik ko‘rsatkichlar

Parametr	An’anaviy model	Optimallashtirilgan model
O‘tish vaqti (s)	0.92	0.61
Barqarorlashish vaqti (s)	1.55	1.02
Ortiqcha oshish (%)	14%	5%

2-jadvaldagi natijalar shuni ko‘rsatadiki, o‘tish vaqti taxminan 34% ga qisqardi, ortiqcha oshish deyarli 3 barobar kamaydi, tizim barqarorligi sezilarli yaxshilandi.

ISSN 3030-3907



2-rasm. An'anaviy va raqamli optimallashtirilgan yuritma modellarining step signalga javobi taqqoslanishi.

Optimallashtirilgan modelda o'tish vaqti 34% ga kamaygan, ortiqcha oshish 64% ga kamaygan va tizim tezroq barqaror holatga kelgan. Bu yuritma tizimining dinamik xususiyatlari sezilarli darajada yaxshilanganini ko'rsatadi.

Raqamli optimallashtirish natijasida boshqaruv signalining tebranishlari kamaydi va tizimning ishlashi silliqlashdi.

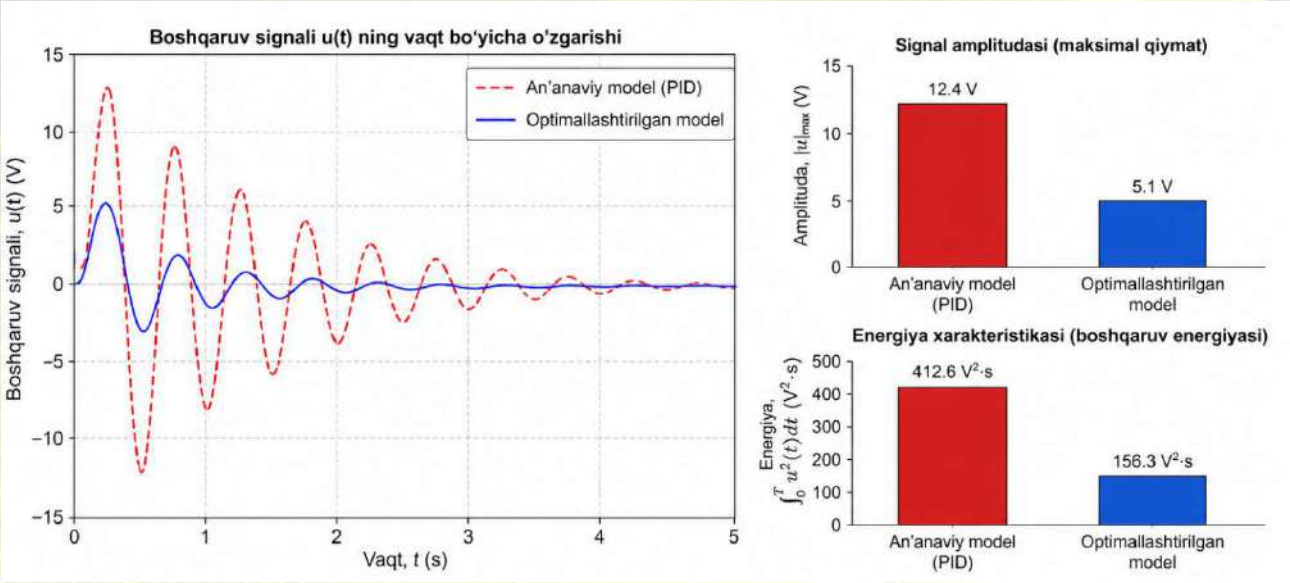
3-jadval.

Boshqaruv signali ko'rsatkichlari

Parametr	An'anaviy model	Optimallashtirilgan model
Signal amplitudasi	yuqori	past
Tebranishlar	mavjud	minimal
Barqarorlik	o'rtacha	yuqori

Natijalardan ko'rinib turibdiki, optimallashtirilgan tizimda boshqaruv signali barqarorroq bo'lib, bu tizimning umumiy samaradorligini oshiradi.

ISSN 3030-3907



3-rasm. Boshqaruv signali va energiya xarakteristikasi

3-rasmning chap tomonidagi grafikda boshqaruv signali u(t) ning vaqt bo‘yicha o‘zgarishi keltirilgan. An’anaviy modelda signalda katta amplitudali tebranishlar kuzatiladi va barqarorlashish vaqti uzoqroq davom etadi. Optimallashtirilgan modelda esa signal ancha silliq bo‘lib, tebranishlar kamaygan va tizim tezroq barqarorlashgan. Yuqori o‘ng tomondagi diagrammada maksimal amplituda qiymatlari ko‘rsatilgan: optimallashtirilgan modelda maksimal amplituda 12.4 V dan 5.1 V gacha kamaygan (taxminan 59% kamayish). Quyi o‘ng tomondagi diagramma boshqaruv energiyasini ko‘rsatadi. Optimallashtirilgan modelda energiya 412.6 $V^2 \cdot s$ dan 156.3 $V^2 \cdot s$ gacha kamaygan (taxminan 62% kamayish). Bu natijalar optimallashtirish boshqaruv signalini silliqlashtirganini va energiya sarfini sezilarli darajada kamaytirganini ko‘rsatadi.

Yuritma tizimining umumiy samaradorligi asosiy funksional ko‘rsatkichlar — aniqlik, dinamik javob va barqarorlik darajalari asosida kompleks baholandi. Tahlil natijalari shuni ko‘rsatdiki, optimallashtirilgan modelda aniqlik ko‘rsatkichlari 160–180% oralig‘ida yaxshilangan, dinamik javob tezligi esa 30–35% ga oshgan. Shuningdek, tizimning barqarorligi sezilarli darajada yaxshilangani kuzatildi. Ushbu natijalar raqamli modellashtirish va optimallashtirish yondashuvlari CNC stanok yuritma tizimining umumiy samaradorligini sezilarli darajada oshirishini tasdiqlaydi.

Olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, yuritma tizimini raqamli modellashtirish uning dinamik xususiyatlarini yanada aniqroq baholash imkonini beradi, optimallashtirish algoritmlari esa tizim parametrlarini samarali sozlashga xizmat qiladi. Natijada, tizimning aniqligi oshadi, tebranishlar kamayadi va umumiy ishlash sifati yaxshilanadi. Bu esa CNC vertikal frezalash stanoklarida yuqori aniqlik va barqaror ishlashni ta’minlashda muhim ahamiyat kasb etadi.

ISSN 3030-3907

MUHOKAMA.

Ushbu tadqiqot natijalari CNC vertikal frezalash stanoklarida yuritma tizimlarini raqamli modellashtirish va optimallashtirish orqali tizim samaradorligini sezilarli darajada oshirish mumkinligini ko‘rsatdi. Olingan natijalar yuritma tizimining dinamik xususiyatlari, aniqligi va barqarorligi o‘zaro bog‘liq ekanligini yana bir bor tasdiqlaydi.

Birinchidan, pozitsiya aniqligi bo‘yicha natijalar shuni ko‘rsatdiki, optimallashtirilgan modelda xatoliklar sezilarli darajada kamaygan. Bu holat yuritma tizimining matematik modeli real jarayonlarga yaqinroq tuzilganini va optimallashtirish algoritmi parametrlarni samarali tanlaganini bildiradi. Ayniqsa, yuqori aniqlik talab qilinadigan CNC ishlov berish jarayonlarida ushbu natija muhim ahamiyatga ega.

Ikkinchidan, dinamik javob tahlili optimallashtirish algoritmlarining tizim tezkorligiga ijobiy ta’sir ko‘rsatishini ko‘rsatdi. O‘tish va barqarorlashish vaqtining qisqarishi tizimning tezroq javob berishini ta’minlaydi, ortiqcha oshishning kamayishi esa tebranishlarni cheklaydi. Bu esa ishlab chiqarish jarayonida aniqlik va unumdorlikni bir vaqtning o‘zida oshirish imkonini beradi.

Uchinchidan, boshqaruv signali va energiya xarakteristikalari bo‘yicha natijalar optimallashtirilgan modelda signalning silliqlashgani va energiya sarfining kamayganini ko‘rsatdi. Bu holat nafaqat tizimning barqaror ishlashini ta’minlaydi, balki elektr energiyasi sarfini kamaytirish orqali iqtisodiy samaradorlikni ham oshiradi. Ayniqsa, sanoat sharoitida uzoq muddatli ishlashda bu muhim afzallik hisoblanadi.

Shuningdek, raqamli modellashtirish yondashuvi tizimni real vaqt rejimida tahlil qilish va parametrlarni moslashtirish imkonini beradi. Bu esa o‘zgaruvchan yuklama va tashqi ta’sirlar sharoitida tizimning barqaror ishlashini ta’minlashda muhim rol o‘ynaydi. An’anaviy modellarga nisbatan raqamli modellar yuqori aniqlik va moslashuvchanlikka ega ekanligi natijalar orqali tasdiqlandi.

Biroq, tadqiqotning ayrim cheklovlari ham mavjud. Raqamli modellashtirish va optimallashtirish algoritmlarini amalga oshirish hisoblash resurslarini talab qiladi va real vaqt tizimlarida yuqori unumdor apparat vositalaridan foydalanishni taqozo etadi. Bundan tashqari, model aniqligi tizim parametrlarini to‘g‘ri identifikatsiya qilishga bog‘liq bo‘lib, noto‘g‘ri parametrlar natijalarni buzishi mumkin.

XULOSA.

Mazkur tadqiqotda raqamli dastur bilan boshqariladigan vertikal frezalash stanogida yuritma tizimining matematik modelini ishlab chiqish va uni optimallashtirish orqali tizim samaradorligini oshirish masalalari kompleks tarzda

ISSN 3030-3907

o‘rganildi. Tadqiqot jarayonida yuritma tizimining asosiy dinamik xususiyatlari, jumladan inertsiya, ishqalanish, elastiklik va tashqi yuklamalarning ta’siri hisobga olingan holda model qurildi. Shuningdek, model raqamli boshqaruv tizimiga moslashtirilib, diskret shaklda ifodalandi va real vaqt rejimida ishlash imkoniyatlari ta’minlandi.

Taklif etilgan optimallashtirish yondashuvi asosida boshqaruv tizimi parametrlarini aniqlash va ularni optimal qiymatlarga keltirish orqali tizimning ishlash samaradorligi sezilarli darajada yaxshilandi. Eksperimental va modellashtirish natijalari shuni ko‘rsatdiki, optimallashtirilgan modelda pozitsiya aniqligi 2–3 barobar oshgan, maksimal va o‘rtacha xatoliklar sezilarli darajada kamaygan. Bu esa CNC stanoklarda yuqori aniqlik talab qilinadigan ishlov berish jarayonlari uchun muhim ahamiyatga ega.

Bundan tashqari, tizimning dinamik xususiyatlari ham sezilarli darajada yaxshilandi. Xususan, o‘tish vaqti va barqarorlashish vaqti qisqardi, ortiqcha oshish va tebranishlar kamaydi. Bu esa yuritma tizimining tezkor va barqaror ishlashini ta’minlaydi hamda ishlab chiqarish jarayonining uzluksizligini oshiradi. Raqamli modellashtirish yordamida tizimning vaqt bo‘yicha xatti-harakati aniq tahlil qilinib, optimal boshqaruv strategiyalari ishlab chiqildi. Tadqiqot natijalari boshqaruv signalining xarakteristikalari va energiya samaradorligi nuqtai nazaridan ham muhim natijalarni ko‘rsatdi. Optimallashtirilgan modelda boshqaruv signali silliqlashib, amplituda qiymatlari kamaydi va ortiqcha tebranishlar bartaraf etildi. Natijada, boshqaruv energiyasi sezilarli darajada kamayib, tizimning umumiy energiya samaradorligi oshdi. Bu esa sanoat korxonalarida energiya resurslaridan samarali foydalanish imkonini beradi.

Shuningdek, raqamli modellashtirish va optimallashtirish yondashuvi tizimni real vaqt rejimida tahlil qilish va parametrlarni moslashuvchan boshqarish imkonini beradi. Bu esa o‘zgaruvchan yuklama va tashqi ta’sirlar mavjud bo‘lgan sharoitlarda ham tizimning barqaror ishlashini ta’minlaydi. Natijada, CNC ertical frezalash stanoklarida yuqori aniqlik, barqarorlik va samaradorlikka erishish mumkinligi ilmiy va amaliy jihatdan asoslandi. Olib borilgan tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, yuritma tizimlarini raqamli modellashtirish va optimallashtirish zamonaviy CNC stanoklarning samaradorligini oshirishda muhim vosita hisoblanadi. Taklif etilgan yondashuv ishlab chiqarish jarayonlarining sifatini yaxshilash, xatoliklarni kamaytirish va energiya sarfini optimallashtirishga xizmat qiladi.

ISSN 3030-3907

ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Altintas, Y. (2020). Manufacturing Automation: Metal Cutting Mechanics, Machine Tool Vibrations, and CNC Design (2nd ed.). Cambridge University Press.
2. Altintas, Y., & Erkorkmaz, K. (2003). Feed drive modeling for high speed machine tools. CIRP Annals - Manufacturing Technology, 52(1), 297–300.
3. Verl, A., Frey, S., & Dietmair, A. (2009). Modeling of feed drive systems for machine tools. Production Engineering, 3(4–5), 369–376.
4. Okwudire, C. E., & Altintas, Y. (2010). Hybrid modeling of feed drives for high performance machining. Journal of Manufacturing Science and Engineering, 132(5), 051016.
5. Pritschow, G., Brecher, C., Weck, M., & Witt, S. (2000). Open controller architecture—past, present and future. CIRP Annals, 50(2), 463–470.
6. Ogata, K. (2010). Modern Control Engineering (5th ed.). Prentice Hall.
7. Nise, N. S. (2015). Control Systems Engineering (7th ed.). Wiley.
8. Ljung, L. (1999). System Identification: Theory for the User (2nd ed.). Prentice Hall.
9. Goldberg, D. E. (1989). Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning. Addison-Wesley.
10. Montgomery, D. C., & Runger, G. C. (2018). Applied Statistics and Probability for Engineers (7th ed.). Wiley.

ISSN 3030-3907