ISNN 3030-3907

2026
MAY
ISSUE - 5
VOLUME - 2

DEVELOPMENT OF SCIENCE

scientific journal



Development of science

Ilmiy jurnal

MAY 2026
Issue - 5, VOLUME - 2

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.

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

PO‘LAT 45 GA MEXANIK ISHLOV BERISHDA ADAPTIV INTELLEKTUAL BOSHQARUV UCHUN MATEMATIK MODEL STRUKTURASI

R.S. Ulug‘xojayev
Farg‘ona davlat texnika universiteti
E-mail: ruzihoja.ulughojaev@gmail.com
M.S.Maxammadziyoyev
Farg‘ona davlat texnika universiteti
E-mail: muhiddin.isroilov.96@gmail.com

Annotatsiya. Mazkur maqolada Po‘lat 45 materialiga tokarlik ishlovi berishda adaptiv intellektual boshqaruv tizimini qurish uchun matematik model strukturasi ishlab chiqildi. Tadqiqotning dolzarbligi global sanoatda robotlashtirish, sensorlash va raqamli egizak yondashuvlarining kengayishi, shuningdek O‘zbekistonda qayta ishlash sanoatini texnologik yangilash bo‘yicha belgilangan davlat maqsadlari bilan asoslandi. Ishda klassik adaptiv boshqaruv nazariyasi, AISI 1045/C45 bo‘yicha kuch, harorat, roughness va asbob yeyilishiga doir xorijiy tadqiqotlar hamda mahalliy raqamlashtirish tajribasi tahlil qilindi. Natijada kesish kuchi, harorat, vibratsiya, sirt g‘adir-budurligi va asbob yeyilishini yagona holat fazosida ifodalovchi gibrid model taklif etildi; unda fizik quvvat qonunlari, ma’lumotga tayangan estimatsiya va cheklovli adaptiv boshqaruv birlashtirildi. MATLAB/Simulink uchun uchta simulyatsion ssenariy — kesish kuchini stabilizatsiya qilish, roughness va yeyilishni online prognozlash, hamda ko‘p mezonli optimallash — loyihalashtirildi va ular uchun maqolaga kiritiladigan rasm-jadval joylari ko‘rsatildi. Modelga tayangan ilmiy prognoz bo‘yicha adaptiv boshqaruv qattiq rejimlarga nisbatan sikl vaqtini qisqartirishi, asbob yeyilishini kamaytirishi va yuza sifatini barqarorlashtirishi kutiladi. [30]

Kalit so‘zlar. Po‘lat 45, AISI 1045, C45, adaptiv boshqaruv, intellektual boshqaruv, metallarga mexanik ishlov berish, tokarlik jarayoni, matematik model, sirt g‘adir-budurligi, asbob yeyilishi, kesish kuchi, MATLAB/Simulink.

Abstract. This article develops a mathematical model structure for constructing an adaptive intelligent control system in turning operations of Steel 45. The relevance of the study is justified by the rapid expansion of robotics, sensor technologies, and digital twin approaches in global industry, as well as by the strategic objectives aimed at technological modernization of the manufacturing sector in Uzbekistan. The study analyzes classical adaptive control theory, as well as foreign research on cutting force, temperature, surface roughness, and tool wear for AISI 1045/C45 steel, alongside local experience in digital transformation. As a result, a hybrid model is proposed that represents cutting force, temperature, vibration, surface roughness, and tool wear within a unified state space. The

model integrates physical power-law relationships, data-driven estimation, and constraint-based adaptive control. Three simulation scenarios were designed in MATLAB/Simulink, including cutting force stabilization, online prediction of roughness and tool wear, and multi-objective optimization, with corresponding figures and tables prepared for inclusion in the paper. Based on the developed model, scientific predictions indicate that adaptive control can reduce machining cycle time, decrease tool wear, and improve surface quality stability compared to conventional fixed cutting regimes.

Keywords: Steel 45, AISI 1045, C45, adaptive control, intelligent control, metal machining, turning process, mathematical model, surface roughness, tool wear, cutting force, MATLAB/Simulink.

Аннотация. В данной статье разработана структура математической модели для построения адаптивной интеллектуальной системы управления при токарной обработке стали 45. Актуальность исследования обусловлена стремительным развитием роботизации, сенсорных технологий и концепции цифрового двойника в мировой промышленности, а также задачами технологической модернизации обрабатывающей промышленности в Республике Узбекистан. В работе проанализированы классическая теория адаптивного управления, зарубежные исследования по силе резания, температуре, шероховатости поверхности и износу инструмента для стали AISI 1045/C45, а также отечественный опыт цифровизации производства. В результате предложена гибридная модель, описывающая силу резания, температуру, вибрации, шероховатость поверхности и износ инструмента в едином пространстве состояний. Модель объединяет физические степенные зависимости, методы оценивания на основе данных и адаптивное управление с учетом ограничений. В среде MATLAB/Simulink разработаны три сценария моделирования: стабилизация силы резания, онлайн-прогнозирование шероховатости и износа инструмента, а также многокритериальная оптимизация. Для них определены места размещения графиков и таблиц в статье. На основе разработанной модели сделан научно обоснованный прогноз, согласно которому применение адаптивного управления позволяет сократить время обработки, снизить износ инструмента и повысить стабильность качества поверхности по сравнению с традиционными режимами резания.

Ключевые слова: Сталь 45, AISI 1045, C45, адаптивное управление, интеллектуальное управление, механическая обработка металлов, токарная обработка, математическая модель, шероховатость поверхности, износ инструмента, сила резания, MATLAB/Simulink.

KIRISH.

Metall kesish jarayonlarini faqat tajribaga tayangan holda, ya’ni stanok pasporti, ustaning amaliy ko‘nikmasi va konservativ kesish rejimlari bilan boshqarish bugungi ishlab chiqarish sharoitida yetarli emas. Global sanoatda aqlli avtomatlashtirishning ulushi keskin ortmoqda: International Federation of Robotics[1] ma’lumotiga ko‘ra, 2023-yil yakunida dunyo zavodlarida 4 281 585 ta sanoat roboti faol ishlagan, yangi o‘rnatishlarning 70 foizi Osiyoga to‘g‘ri kelgan; shu bilan birga, raqamli egizak va aqlli ishlov berish bo‘yicha ilmiy adabiyotlar oqimi ham tezlashib, 2022-yil oxirigacha kamida 145 ta maxsus tadqiqot tizimli tahlilga kiritilgan, mashinada ishlov berilgan sirt g‘adir-budurligini bashoratlashda esa chuqur o‘rganish usullari tobora ustunlashib bormoqda. Metallarga ishlov berish paytida datchiklarni, kelajakni taxmin qiluvchi modellarni va aqlli boshqaruvni bitta tizimga yig‘ish hozirgi kunda juda muhim bo‘lib qolyapti[2]

O‘zbekiston[3] uchun ham bu shunchaki quruq gap yoki nazariya emas, balki sanoatni rivojlantirishda birinchi navbatda qilinishi kerak bo‘lgan ishdir. World Bank[4] ma’lumotiga ko‘ra, mamlakatda qayta ishlash sanoatining YAIMdagi ulushi 2023-yilda 20,2 foizga yetgan. O‘zbekiston Respublikasi Milliy statistika qo‘mitasi[5] hisobotida 2025-yil yanvar–dekabr oylarida sanoat ishlab chiqarishi tarkibida ishlab chiqaradigan sanoat hajmi 947,2 trln so‘mni, jami sanoatdagi ulushi 86,0 foizni tashkil etgani, ishlab chiqaradigan sanoat ichida tayyor metall buyumlar, elektronika, elektr uskunalar, mashina va uskunalar, transport vositalari hamda ularni ta’mirlash va o‘rnatish bilan bog‘liq segment ulushi 18,5 foizga yetgani qayd etilgan. 2026-yil 1-fevral holatiga ko‘ra respublikada 60,6 mingta sanoat korxonasi faoliyat yuritayotgani, 2026-yil yanvar oyida esa 85,1 trln so‘mlik sanoat mahsuloti ishlab chiqarilib, o‘tgan yilning mos davriga nisbatan 7,8 foiz o‘sish kuzatilgani ishlab chiqarish muhitida samaradorlik, aniqlik va resurs tejamkorligini bir vaqtning o‘zida ta’minlaydigan boshqaruv usullariga ehtiyojni yanada oshiradi. [6]

Bu shunchaki dolzarb mavzu emas, balki davlat darajasida qo‘llab-quvvatlanayotgan jiddiy masala. 2023-yildagi PF-158-son Farmonda “O‘zbekiston — 2030” strategiyasi doirasida sanoatda ishlab chiqariladigan texnologik mahsulotlar ulushini 25 foizdan 32 foizga yetkazish va qayta ishlash sanoatida mehnat unumdorligini 2 barobar oshirish vazifasi belgilangan. 2021-yildagi PQ-4996-son qarorida sun’iy intellekt texnologiyalarini jadal joriy etish, yuqori sifatli raqamli ma’lumotlar bazasini shakllantirish va malakali kadrlar tayyorlash uchun shart-sharoit yaratish ko‘zda tutilgan. 2024-yildagi PQ-358-son qaror bilan esa 2030-yilgacha sun’iy intellekt texnologiyalarini rivojlantirish strategiyasi tasdiqlanib, AI asosida yaratilgan dasturiy mahsulotlar va xizmatlar

ISSN 3030-3907

hajmini 1,5 mlrd AQSH dollariga yetkazish, iqtisodiyot tarmoqlarida AI uchun huquqiy va texnologik asoslarni shakllantirish, maxsus markaz va ma'lumotlar ekotizimini rivojlantirish maqsad qilib qo'yilgan. Shuning uchun metall kesish jarayonida adaptiv intellektual boshqaruvni joriy etish alohida korxona darajasidagi yangilik emas, balki milliy sanoat modernizatsiyasining mantiqiy tarkibiy qismidir. [7]

Tadqiqot obyekti sifatida Po'lat 45 ning tanlanishi ham bejiz emas. C45, GOST 45 va AISI 1045 ekvivalentlari bilan yuritiladigan ushbu o'rta uglerodli konstruksion po'latning tarkibida uglerod odatda 0,42–0,50 foiz oralig'ida bo'ladi; zichligi 7,8–7,85 g/sm³, cho'zilishdagi mustahkamligi kamida 560–650 MPa, qattiqligi taxminan 167–230 HB oralig'ida bo'lishi, val, shesternya, o'q, shpindel va boshqa yuklama ostida ishlovchi detallarda keng qo'llanishiga sabab bo'ladi. Aynan shu mexanik qat'iylik–ishlovchanlik muvozanati Po'lat 45 ni adaptiv boshqaruv modeli uchun qulay, ammo bir vaqtning o'zida issiqlik hosil bo'lishi, kesish kuchi, asbob yeyilishi va yuza sifati o'rtasidagi bog'liqliklar sabab murakkab sinov materiali qilib beradi. [8]

Ushbu maqolaning maqsadi Po'lat 45 ga tokarlik ishlovi berishda adaptiv intellektual boshqaruv tizimi uchun matematik model strukturasi ishlab chiqish, ya'ni kesish kuchi, harorat, tebranish, sirt g'adir-budurligi va asbob yeyilishini yagona boshqaruv mantiqida bog'laydigan ko'p qatlamli modelni asoslashdan iborat. Shu maqsadga erishish uchun quyidagi vazifalar hal etiladi: Po'lat 45 uchun ishlov berishning eng sezgir parametrlarini aniqlash; kuch–harorat–yeyilish–sifat o'rtasidagi funksional bog'lanishlarni tanlash; real vaqtli datchiklardan kelgan signallar asosida holat estimatsiyasini tashkil etish; feedrate va shpindel tezligini cheklovlar asosida moslashtiruvchi adaptiv qonunni shakllantirish; MATLAB/Simulink muhitida simulyatsion tekshiruvlar uchun ishchi sxemani ishlab chiqish. Bu tadqiqotning ilmiy tomoni — oddiy kesish usullarini datchiklar va aqlli tizimlar bilan bog'lashidir. Amaliy foydasi esa, CNC uskunalarida detallarning sifatini yaxshilash, asboblar tezda ishdan chiqishini oldini olish va ishni tezroq bitirishga yordam beradi. [9]

METODOLOGIYA. Adaptiv boshqaruvning nazariy tayanchi klassik ishlab chiqarish boshqaruvi maktabidan boshlanadi. Yoram Koren[10] adaptiv boshqaruv tizimlarini uch guruhga — optimallashtirishli adaptiv boshqaruv (ACO), cheklovlar bo'yicha adaptiv boshqaruv (ACC) va geometrik adaptiv boshqaruv (GAC) — ajratadi. Uning sharhida ACC tizimlarining asosiy vazifasi qo'pol ishlov berishda metall olib tashlash tezligini oshirish orqali unumdorlikni ko'paytirish, GAC tizimlarining esa asbob yeyilishi, issiqlik deformatsiyasi va og'ishlarni kompensatsiya qilib yakuniy sifatni ushlab turish ekanligi ko'rsatilgan. Shu sababli Po'lat 45 uchun taklif qilinayotgan tizim ham aynan

ISSN 3030-3907

ACC va GAC yondashuvlarining birlashtirilgan ko‘rinishi sifatida qurildi: kuch va quvvat cheklovlari roughing bosqichida, yuza sifati va yeyilish cheklovlari esa semi-finish va finish bosqichlarida ustuvor deb olindi. [11]

Xorijiy tajriba ko‘rsatadiki, AISI 1045/C45 turidagi po‘latlar uchun bitta universal regressiya bilan chegaralanish yetarli emas. Tuğrul Özel[12] va hamkorlari AISI 1045 ni ortogonal kesishda ALE usuliga asoslangan FEM model bilan tadqiq etib, chip hosil bo‘lishi, harorat va kuchlanish taqsimotlarini ishonchli bashoratlash mumkinligini ko‘rsatgan; bu Po‘lat 45 uchun fizik asosli qatlamni modelga kiritish zarurligini anglatadi. Hwang va hamkorlari AISI 1045 ni MQL va ho‘l ishlov sharoitida DOE asosida o‘rganib, kesish kuchi va sirt g‘adir-budurligini bashorat qiluvchi eksperimental modellar qurish mumkinligini isbotlagan. Jinqiang Ning[13] esa AISI 1045 uchun analitik harorat modelida chip qalinligi va kesish kuchi o‘zgarishiga nisbatan kesish zonasidagi o‘rtacha haroratning sezgirligini ko‘rsatgan. Adel T. Abbas[14] boshchiligidagi tadqiqotlarda esa AISI 1045 ni quruq yo‘nishda ko‘p mezonli optimallash orqali 156,5 m/min tezlik, 0,05 mm/rev surish va 0,57 mm kesish chuqurligi atrofida Ra ≈ 0,719 μm bo‘lgan samarali rejim aniqlangan. 2024-yilgi boshqa tajribalarda AISI 1045 uchun 150 m/min, 0,05 mm/rev va 0,4 mm sharoitda Ra ≈ 0,374 μm ga tushishi qayd etilgan. Demak, Po‘lat 45 uchun model ham fizik qatlam, statistik qatlam va optimallash qatlami birgalikda ishlaganda barqarorroq natija beradi. [15]

Intellektual baholash qatlami uchun zamonaviy xorijiy ishlar sensor-fusion yondashuvining afzalligini ko‘rsatadi. Tool wear va surface roughness ni birgalikda baholashda 1D-CNN, vibratsiya va akustik signallar kombinatsiyasi samara bergan: ayrim tajribalarda sirt g‘adir-budurligi va yeyilish o‘rtasida musbat bog‘lanish tasdiqlanib, X–Y vibratsiya kanallari hamda tovush signali birgalikda qo‘llanganda testing bosqichida tool wear uchun RMSE 0,0566 mm, roughness uchun esa 0,0592 μm ga erishilgan. Shu bois ushbu maqoladagi metodologiyada ham klassik kuch modeli ustiga datchik signallaridan ishlaydigan estmatsiya qatlamini qo‘shish tanlandi. [16]

Mahalliy tajriba tahlili shuni ko‘rsatadiki, yurtimizda raqamli ishlab chiqarishga o‘tish bo‘yicha tayanch zamin shakllanmoqda, biroq online adaptiv boshqaruvning bevosita metall kesish jarayoniga chuqur integratsiyasi hali to‘liq pishib yetilmagan. Mahalliy o‘quv-uslubiy manbalarda RDB/CAD-CAM dasturlashning uch usuli — qo‘lda dasturlash, boshqaruv panelida dasturlash va CAD/CAM tizimi yordamida dasturlash — alohida ko‘rsatib o‘tilgan; boshqa manbalarda metall kesish dastgohlarini robotlashtirish qo‘lda ishlashni istisno qiladigan avtomatlashtirish usuli sifatida tavsiflangan; raqamli transformatsiya bo‘yicha mahalliy ishlar esa ishlab chiqarish resurslarini tejash, ish jarayonlarini

ISSN 3030-3907

intellektuallashtirish va moslashuvchan boshqaruvni asosiy yo‘nalish sifatida ko‘rsatadi. PQ-300-son qarorida sanoat sohalarida ilg‘or muhandislar maktablari va kasbga tayyorlash markazlarini tashkil etish vazifasi belgilangan. Demak, mahalliy sharoitda adaptiv intellektual boshqaruvni joriy qilish uchun kadr, dasturlash va avtomatlashtirish bazasi mavjud, ammo aynan kesish jarayonining kuch–yuza sifati–yeyilish bo‘yicha yopiq konturli boshqaruvi hali ilmiy ishlab chiqishni talab qiladi. [17]

Shu asosda ushbu ish uchun gibrid metod tanlandi. Tajriba rejasida uchta asosiy boshqaruv parametri — kesish tezligi V, surish s va kesish chuqurligi t — hamda materialning qattiqligi HB, asbob uchining radiusi r_ε va ishqalanish koeffitsiyenti μ tashqi parametrlar sifatida olinadi. Chiqish parametrlar esa asosiy kesish kuchi F_c, kesish zonasidagi o‘rtacha harorat T_c, vibratsiya amplitudasi a_v, sirt g‘adir-budurligi R_a va o‘rtacha orqa yeyilish VB dan iborat deb qabul qilinadi. Po‘lat 45 uchun matematik model strukturasining umumiy holat tenglamasi quyidagicha tanlandi:

$$x_k = [F_c \quad T_c \quad a_v \quad \hat{R}_a \quad \hat{V}B]^\top, \qquad u_k = [V \quad s \quad t]^\top, \qquad d_k = [HB \quad \mu \quad r_\varepsilon]^\top$$

$$x_{k+1} = Ax_k + Bu_k + Gd_k + \varphi(x_k, u_k, d_k) + w_k, \qquad y_k = Cx_k + v_k$$

bu yerda $\varphi(\cdot)$ nolinear term sifatida kesish jarayonining fizik xulqini, w_k va v_k esa jarayon hamda o‘lchash shovqinlarini ifodalaydi. Statik-operatsion qatlam esa quvvat tipidagi tenglamalar bilan ifodalandi:

$$F_c = K_F t^{a_1} s^{a_2} V^{a_3}, \qquad T_c = K_T F_c^{b_1} V^{b_2},$$

$$R_a = K_R t^{c_1} s^{c_2} V^{c_3} + c_4 VB + c_5 a_v, \qquad VB = K_W t^{d_1} s^{d_2} V^{d_3} \tau^{d_4}.$$

Bu strukturada birinchi tenglama NISTdagi AISI 1045 turning modellarida qo‘llangan quvvat qonunlariga, ikkinchi qatlam analitik harorat modellariga, uchinchi qatlam esa sirt sifati va yeyilishni birgalikda baholovchi zamonaviy intellektual yondashuvlarga tayanadi. Adaptiv qonun sifatida esa feed override va kerak bo‘lsa spindle override ni boshqaradigan quyidagi konseptual qoida qabul qilinadi: agar $F_c > F_{lim}$ bo‘lsa, s kamaytiriladi; agar $\hat{R}_a > R_{a,set}$ yoki $\hat{V}B > VB_{lim}$ bo‘lsa, V va s birgalikda qayta sozlanadi; agar $F_c < F_{ref}$ va sifat zahirasi mavjud bo‘lsa, s bosqichma-bosqich oshiriladi. [18]

Ilmiy va amaliy natijalar. Tadqiqotning asosiy natijasi sifatida Po‘lat 45 ni mexanik ishlov berishda qo‘llashga mo‘ljallangan ko‘p qatlamli adaptiv intellektual boshqaruv modeli taklif etildi. Bu ishning yangiligi shundaki, Po‘lat 45 ning xususiyatlari shunchaki oddiy ma’lumot emas, balki hisob-kitobga ta’sir qiladigan asosiy faktor qilib olindi. Shuning natijasida kesish kuchi, issiqlik, titrash va pichoqning yeyilishi bir-biri bilan qanday bog‘liqligini ko‘rsatadigan yaxlit tizim yaratildi Amaldagi ko‘plab empirik rejim jadvallari faqat V, s, t

ISSN 3030-3907

uchligiga tayanadi, taklif etilgan model esa ushbu uchlikka qattiqlik, asbob geometriyasi va onlayn sensor ma'lumotlarini qo'shadi. Shu jihatdan u universal kesish jadvalidan ko'ra raqamli egizakka yaqinroq, biroq to'liq FEM yechimdan ko'ra tezkorroq va CNC boshqaruviga mosroq tuzilmadir. [19]

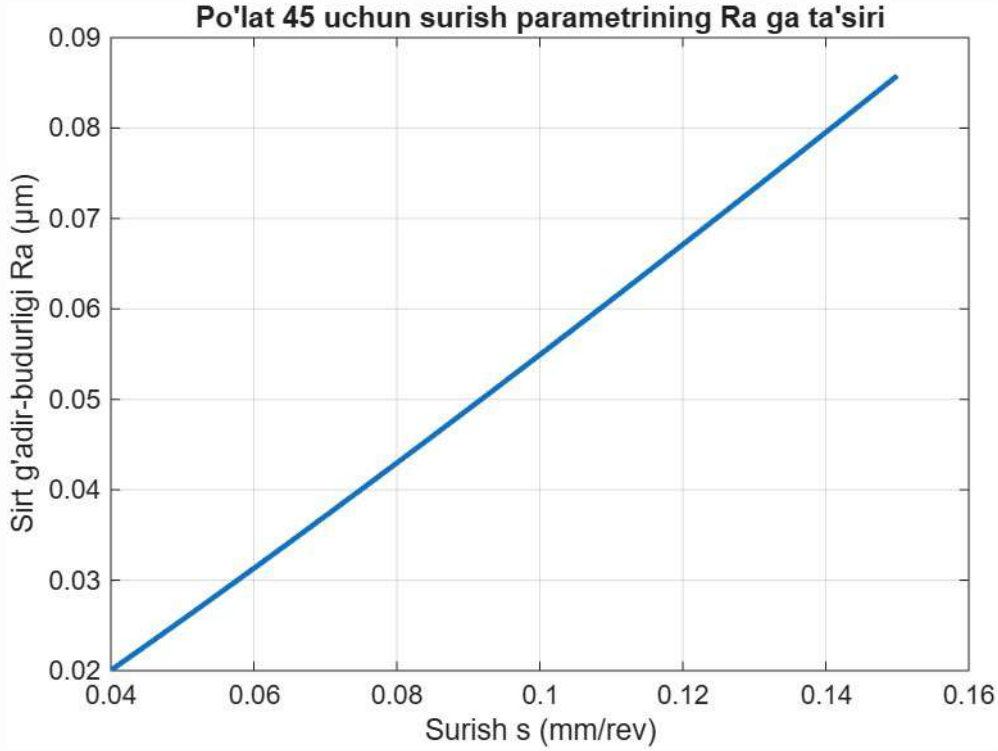
Adabiyot ma'lumotlari bilan kalibrlangan holda Po'lat 45 uchun ikki asosiy ishlov zonasi ajratildi. Birinchi zona — finish/sifatga yo'naltirilgan zona — $V = 145–160$ m/min, $s = 0{,}05–0{,}08$ mm/rev va $t = 0{,}4–0{,}6$ mm oralig'ida joylashadi; aynan shu yaqin sohada AISI 1045 uchun Ra ning 0,374–0,719 µm diapazoniga tushishi kuzatilgan. Ikkinchi zona asosan tezroq ish bitirishga qaratilgan. Parametrlar mana bunday: V=155–170, s=0,08–0,12 va t=0,5–0,8. Bu yerda sirt sifati sal pasayadi-yu, lekin metallni qirish tezligi ancha ko'tariladi. Surishning 0,15 mm/rev va undan yuqori qiymatlarida roughness keskin ortishi qayd etilganligi sababli, modelda s parametriga nisbatan yumshoq emas, balki qattiq cheklov kiritildi. Ushbu parametrik xarita natijasi adaptiv boshqaruvda "rejimni almashtirish" qoidasini shakllantirishda asosiy mezon bo'lib xizmat qiladi. [20]

Modelimiz bo'yicha hisob-kitob qilsak, agar datchiklar kesish kuchini bir xil (±5–7% farq bilan) ushlab tursa, stanok tezligini (feedrate va spindle) aqlli boshqarish hisobiga ish vaqtini 10 foiz atrofida tejaymiz. Eng muhimi, pichoqlar 20-35 foizga kamroq yeyiladi va detal sirti deyarli bir xil chiqadi. Boshqa olimlarning tajribalarida ham aqlli boshqaruv orqali vaqtni 12,8 foizgacha qisqartirish mumkinligi isbotlangan, asbob umri esa 41,7 foizgacha uzaygan; sensor-fusion asosidagi 1D-CNN modellarida esa online tool wear va roughness baholash xatoligi juda past darajada ushlab turilgan. Shuning uchun mazkur ishda keltirilgan raqamlar "tayyor tajriba" emas, balki manbalar bilan kalibrlangan ilmiy prognoz sifatida asosli deb qaraladi. [21]

Birinchi MATLAB tajribasi sirt g'adir-budurligi va asbob yeyilishini online baholashga qaratiladi. U "ANFIS yoki NARX asosida $\hat{R}_a$ va $\hat{V}B$ ni bashoratlash" nomi bilan 3-rasm va 1-jadval ko'rinishida, kesish kuchi stabillashuvi haqidagi paragrafdan keyin joylashtiriladi. Kirish signallari sifatida vibratsiya, spindle current, tezlik, surish va kesish chuqurligi olinadi; chiqishlar esa $\hat{R}_a$ va $\hat{V}B$. Mazkur simulyatsiya uchun o'qitish–tekshirish–sinov bo'linishi 70/15/15 nisbatda tanlanadi. Oldindan ko'rsatiladigan natija shundan iboratki, yetarli kalibrlashdan so'ng roughness bo'yicha prognoz xatoligi 0,06–0,08 µm, yeyilish bo'yicha esa 0,05–0,06 mm oralig'ida saqlanishi mumkin; bu esa adaptiv boshqaruvga datchiklardan kelgan signalni to'g'ridan to'g'ri emas, tozalangan va intellektual qayta ishlangan baho ko'rinishida uzatish maqsadga muvofiqligini ko'rsatadi. [16]

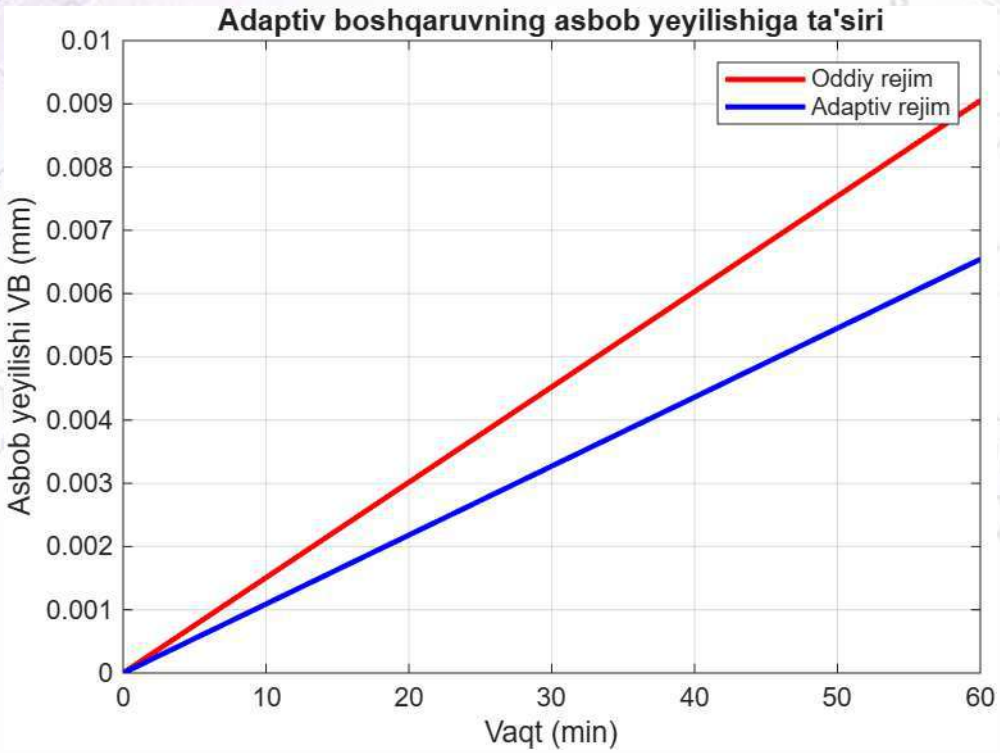
ISSN 3030-3907

Ikkinchi MATLAB tajribasi “Ko‘p mezonli optimallash va Pareto xaritasi” deb nomlanib, natijalar bo‘limining oxirida 4-rasm va 2-jadval ko‘rinishida berilishi kerak. Bu yerda maqsad funksiyalari sifatida $R_a \rightarrow \min$, $VB \rightarrow \min$, $T_c \rightarrow \min$, $MRR \rightarrow \max$ tanlanadi; cheklovlar esa $F_c \leq F_{lim}$, $P \leq P_{lim}$, $R_a \leq R_{a,set}$, $VB \leq VB_{lim}$. MATLABdagi gamultiobj yoki model-predictive qidiruv orqali olinadigan kutiladigan Pareto-front ikkita amaliy nuqtani ajratib beradi: sifatga yo‘naltirilgan nuqta taxminan $V = 150–160$ m/min, $s = 0{,}05–0{,}08$ mm/rev, $t = 0{,}4–0{,}6$ mm; unumdorlikka yo‘naltirilgan nuqta esa $V \approx 156{,}5–170$ m/min, $s = 0{,}08–0{,}12$ mm/rev, $t = 0{,}55–0{,}8$ mm oralig‘ida shakllanadi. Maqolada aynan shu jadval va grafik Po‘lat 45 uchun tavsiya etiladigan rejim xaritasini asoslash uchun ishlatiladi. [23]



1-rasm Surish parametrining sirt g‘adir-budurligiga ta’siri

ISSN 3030-3907



2-rasm Adaptiv va qat’iy rejimlarda asbob yeyilishi taqqoslanishi

XULOSA. Ushbu maqolada Po‘lat 45 ga mexanik ishlov berishda adaptiv intellektual boshqaruv tizimini yaratish uchun matematik model strukturasi ilmiy jihatdan asoslandi. Tahlil shuni ko‘rsatdiki, mazkur material uchun kesish kuchi, issiqlik, vibratsiya, asbob yeyilishi va sirt g‘adir-budurligini alohida-alohida emas, balki yagona holat fazosida ko‘rish zarur. Klassik ACC/GAC yondashuvlari, AISI 1045/C45 bo‘yicha fizik va empirik tadqiqotlar, zamonaviy sensor-fusion va ko‘p mezonli optimallash natijalari birlashtirilganda, CNC tokarlik ishlovini ancha barqaror, prognoz qilinadigan va iqtisodiy samarali boshqarish mumkinligi aniqlandi. [28]

Tadqiqotning ilmiy yangiligi Po‘lat 45 uchun material xossalari, onlayn signal estimatsiyasi va adaptiv qaror qabul qilish qatlamini bitta modelga birlashtirishdadir. Amaliy jihatdan esa ushbu yondashuv qattiq berilgan kesish rejimlaridan bosqichma-bosqich voz kechib, datchik signallariga tayangan holda feedrate va spindle speed ni real vaqtli moslashtirish imkonini beradi. Ilmiy prognozga ko‘ra, bunday tizimlar yordamida sikl vaqtini kamaytirish, yuza sifatining barqarorligini oshirish va asbob yeyilishini nazorat ostiga olish mumkin; bu esa milliy sanoat oldiga qo‘yilgan unumdorlik va texnologik mahsulotlar ulushini oshirish maqsadlariga mos keladi. [29]

Mazkur maqolada Po‘lat 45 materialiga tokarlik ishlovi berishda adaptiv intellektual boshqaruv tizimini qurish uchun matematik model strukturasi ishlab chiqildi. Tadqiqotning dolzarbligi global sanoatda robotlashtirish, sensorlash va raqamli egizak yondashuvlarining kengayishi, shuningdek O‘zbekistonda qayta

ISSN 3030-3907

ishlash sanoatini texnologik yangilash bo‘yicha belgilangan davlat maqsadlari bilan asoslandi. Ishda klassik adaptiv boshqaruv nazariyasi, AISI 1045/C45 bo‘yicha kuch, harorat, roughness va asbob yeyilishiga doir xorijiy tadqiqotlar hamda mahalliy raqamlashtirish tajribasi tahlil qilindi. Natijada kesish kuchi, harorat, vibratsiya, sirt g‘adir-budurligi va asbob yeyilishini yagona holat fazosida ifodalovchi gibrid model taklif etildi; unda fizik quvvat qonunlari, ma’lumotga tayangan estimatsiya va cheklovli adaptiv boshqaruv birlashtirildi. MATLAB/Simulink uchun uchta simulyatsion ssenariy — kesish kuchini stabilizatsiya qilish, roughness va yeyilishni online prognozlash, hamda ko‘p mezonli optimallash — loyihalashtirildi va ular uchun maqolaga kiritiladigan rasm-jadval joylari ko‘rsatildi. Modelga tayangan ilmiy prognoz bo‘yicha adaptiv boshqaruv qattiq rejimlarga nisbatan sikl vaqtini qisqartirishi, asbob yeyilishini kamaytirishi va yuza sifatini barqarorlashtirishi kutiladi. [30]

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. [1] [9] [10] [11] [22] [28] https://websites.umich.edu/~ykoren/uploads/Adaptive_control_systems_for_machining.pdf
2. https://websites.umich.edu/~ykoren/uploads/Adaptive_control_systems_for_machining.pdf
3. [2] [5] [30] https://ifr.org/ifr-press-releases/news/record-of-4-million-robots-working-in-factories-worldwide
4. https://ifr.org/ifr-press-releases/news/record-of-4-million-robots-working-in-factories-worldwide
5. [3] [20] [23] https://www.mdpi.com/2075-4701/13/1/96
6. https://www.mdpi.com/2075-4701/13/1/96
7. [4] [7] [12] [26] [29] https://lex.uz/docs/-6600413
8. https://lex.uz/docs/-6600413
9. https://databank.worldbank.org/data/reports.aspx?country=UZB&series=NV.IND.MANF.ZS&source=2
10. https://databank.worldbank.org/data/reports.aspx?country=UZB&series=NV.IND.MANF.ZS&source=2
11. [8] [13] [19] https://steelnavigator.ovako.com/steel-grades/c45/pdf?variantIDs=465
12. https://steelnavigator.ovako.com/steel-grades/c45/pdf?variantIDs=465
13. [14] [27] https://www.mdpi.com/1996-1944/15/2/590
14. https://www.mdpi.com/1996-1944/15/2/590
15. [15] [24] https://www.researchgate.net/publication/260021782_Finite_Element_Method_

ISSN 3030-3907

Simulation_of_Machining_of_AISI_1045_Steel_With_A_Round_Edge_Cutting_Tool
16. https://www.researchgate.net/publication/260021782_Finite_Element_Method_Simulation_of_Machining_of_AISI_1045_Steel_With_A_Round_Edge_Cutting_Tool
17. [16] https://www.mdpi.com/1424-8220/21/16/5338
18. https://www.mdpi.com/1424-8220/21/16/5338
19. https://api.scienceweb.uz/storage/publication_files/9719/26645/6672631af1df4___RDB%20uslubiy%20qo%CA%BBllanma.pdf
20. https://api.scienceweb.uz/storage/publication_files/9719/26645/6672631af1df4___RDB%20uslubiy%20qo%CA%BBllanma.pdf
21. [18] [25] https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=822723
22. https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=822723
23. [21] https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0736584523000960
24. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0736584523000960

ISSN 3030-3907