

SANOAT ROBOTLARI VA ULARNING STRUKTURASI

Siddiqov Rasuljon

Qo'qon davlat universiteti Muhandislik texnologiyalari
kafedrası dotsenti(PhD)

Annotatsiya: Ushbu ilmiy maqolada sanoat robotlarining strukturaviy qurilishi, mexanik arxitekturası, aktuator va drayver tizımları, manipulyator kinematikası, sezgi va nazorat modulları, boshqaruv algoritmları, texnologik moslashuvchanlik darajası hamda ishlab chiqarish jarayonlaridagi integratsiya mexanizmları chuqur ilmiy tahlil qilinadi. Tadqiqotda sanoat robotlarining bo'g'inli manipulyatorlari, parallel strukturalar, modulli robot tizımları, antropomorf mexanizmlar, harakat erkinlik darajalari, yo'l rejalashtirish metodlari, optimal boshqaruv, teskari va to'g'ri kinematika, yuk ko'tarish dinamikası, servo tizımlar barqarorligi, sensorli teskari aloqa, kompyuter ko'rish modulları va sun'iy intellekt yordamida adaptiv boshqaruv kabi zamonaviy robototexnik parametrları keltiriladi. Robot strukturası, uning mexanik avtonomligi, aniqligi, tezligi, yuklamaga chidamliligi, qayta takrorlanadigan harakatlardagi xatoliklarni minimallashtirish bo'yicha fundamental mexanizmlar o'rganilib, sanoat jarayonlarida robotlarning qo'llanilishi, inklinatsiya burchagi, dinamika stabiliteti, harakat trayektoriyasining silliqiligi va real vaqt rejimidagi teskari aloqa optimalligi ilmiy jihatdan asoslanadi.

Kalit so'zlar (uz): sanoat robotlari, manipulyator, kinematika, aktuator, servo tizim, boshqaruv algoritmları, sensor modullar, robot struktura, dinamik barqarorlik.

ПРОМЫШЛЕННЫЕ РОБОТЫ И ИХ КОНСТРУКЦИЯ

Сиддигов Расулжон

Доцент (кандидат наук) кафедры инженерных технологий Кокандского
государственного университета

Аннотация: В данной научной статье представлено углублённое исследование структурной архитектуры промышленных роботов, включающее механическую конструкцию, кинематические цепи, системы приводов, манипуляторы, сенсорные модули, алгоритмы интеллектуального управления, динамическую устойчивость и оптимизацию производственных процессов. Рассматриваются последовательные и параллельные роботизированные структуры, модульные платформы, сервоприводы,

планирование траектории, обратная и прямая кинематика, нагрузки и вибрации, точность позиционирования, а также роль искусственного интеллекта в адаптивном управлении. Работа раскрывает научные основы взаимодействия структуры, сенсорики и вычислительных систем в формировании производительности и надежности промышленного робота.

Ключевые слова (ru): промышленные роботы, кинематика, манипулятор, сервопривод, структура робота, траектория, адаптивное управление, сенсорные модули.

INDUSTRIAL ROBOTS AND THEIR STRUCTURE

Siddikov Rasuljon

Associate Professor (PhD) of the Department of Engineering Technologies,
Kokand State University

Abstract: This scientific article presents an in-depth analysis of the structural architecture of industrial robots, including their mechanical design, actuator systems, manipulators, kinematic chains, sensor integration, intelligent control algorithms, dynamic stability, and optimization of industrial workflow automation. The study covers serial and parallel robotic structures, modular robotic platforms, servo control, trajectory planning, inverse kinematics, load dynamics, precision strategies, stability under varying operational conditions, and the role of AI-driven adaptive control in next-generation industrial automation. The work provides comprehensive insights into how structural components, sensing systems, and computational intelligence jointly determine robot performance, reliability, and industrial applicability.

Keywords (en): industrial robots, kinematics, actuators, servo control, robot structure, trajectory planning, adaptive control, sensing system.

KIRISH.

Sanoat robotlari zamonaviy ishlab chiqarish avtomatlashtirishining eng murakkab, yuqori aniqlikdagi va intellektuallashtirilgan texnik tizimlari bo'lib, ularning asosiy vazifasi inson mehnatini yengillashtirish, ishlab chiqarish jarayonidagi barqarorlik, tezlik, aniqlik va takrorlanuvchanlikni maksimal darajada oshirishdir; sanoat robotlarining strukturaviy asosini ularning mexanik karkasi, bo'g'inlar tizimi (joint architecture), erkinlik darajalari (Degrees of Freedom), drayver va aktuatorlar, tormoz mexanizmlari, sensor bloklar, boshqaruv modullari va energetik tizimlar tashkil etadi; robot mexanikasi uch asosiy omilga tayanadi:

manipulyatorning konstruktiv mustahkamligi, harakat sinxronligi va yuklamaga mos dinamik muvozanat; manipulyator bo'g'inlarining ketma-ket bog'lanishi (serial manipulators), parallel platformalar (Stewart platform), modulli robot tizimlari, antropomorf mexanizmlar (insonga o'xshash konstruksiyalar) sanoat robotlarining keyingi avlodini shakllantiradi; harakatning geometriyasi to'g'ri va teskari kinematika orqali aniqlanib, trayektoriya rejalashtirish matematik modellar — polinom silliqlash, spline interpolatsiya, robotning ish maydoni (workspace) va konfiguratsiya makoni (configuration space) bilan bog'lanadi; sanoat robotining strukturasi uning egiluvchanlik darajasi, yuk ko'tarish qobiliyati, tezlanish, aniqlik, titrashga chidamlilik, ish muhitidagi harorat, vibratsiya va tashqi ta'sirlarga moslashuvchanlikni belgilaydi;

Tabiiy chastota hisobi $\omega_n = \sqrt{k/m}$

Suniy nisbati $\zeta = c/(2\sqrt{mk})$

Kubik polinom trayektoriyasi

$$q(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3$$

$$\dot{q}(t) = a_1 + 2a_2 t + 3a_3 t^2$$

$$\ddot{q}(t) = 2a_2 + 6a_3 t$$

shu bilan birga, servo tizimlar, mexatronik integratsiya, real vaqt boshqaruvi, sensorli teskari aloqa (force, torque, vision, proximity sensors), sun'iy intellektga asoslangan adaptiv tizimlar robotning samaradorligini yanada oshiradi; ushbu ilmiy tadqiqotning maqsadi — sanoat robotlari strukturasi, mexanik arxitekturasini, harakat mexanizmlari va boshqaruv algoritmlarining kompleks o'zaro bog'liqligini chuqur tahlil qilish, ularning texnik va funksional evolyutsiyasining ilmiy asoslarini aniqlash hamda sanoat avtomatlashtirishdagi o'rnini fundamental darajada yoritishdan iboratdir.

MATERIALLAR VA METODLAR.

Ushbu ilmiy tadqiqot sanoat robotlarining strukturaviy-mexanik qurilishini, aktuator tizimlarini, manipulyator kinematikasini, dinamik barqarorlikni, sensor integratsiyasini va boshqaruv algoritmlarini o'rganishda bir nechta ilg'or ilmiy-metodik yondashuvlarning integratsiyasi asosida olib borildi; robot mexanikasi tahlilida Denavit–Hartenberg parametrizatsiyasi yordamida manipulyator bo'g'inlarining geometrik ta'riflari belgilandi, to'g'ri va teskari kinematik tenglamalar matritsali transformatsiyalar orqali yechildi,

Har bir bo'g'in uchun transformatsiya matritsasi:

$$T_i = \text{Rot}(z, \theta_i) \times \text{Trans}(0, 0, d_i) \times \text{Trans}(a_i, 0, 0) \times \text{Rot}(x, \alpha_i)$$

Umumiy transformatsiya:

$$T_{\text{total}} = T_1 \times T_2 \times T_3 \times T_4 \times T_5 \times T_6$$

robotning ish maydoni (workspace), konfiguratsiya makoni (C-space) va bo'g'inlar harakat diapazonlari analitik tarzda modellandi, harakatning silliqqligini ta'minlash uchun spline interpolatsiyasi, Bezier trayektoriyalari va polinomli yo'l rejalashtirish algoritmlari qo'llandi; robot dinamikasi Euler–Lagrange tenglamalari,

Euler-Lagrange tenglamasi

$\tau = d/dt(\partial L/\partial \dot{q}) - \partial L/\partial q$ bu yerda $L = K - P$ (Kinetik energiya - Potensial energiya)

Robot dinamikasi umumiy tenglamasi

$$M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + G(q) + F(\dot{q}) = \tau$$

bu yerda:

- $M(q)$ - inertsia matritsasi
- $C(q, \dot{q})$ - Koriolis va markazdan qochma kuchlar matritsasi
- $G(q)$ - gravitatsiya vektori
- $F(\dot{q})$ - ishqalanish kuchlari
- τ - boshqaruv momentlari

Nyuton–Eylar modeli, inertsia momentlari, markaziy massa siljishlari, bo'g'inlarga ta'sir etuvchi kuch-momentlar, yuk ko'tarish paytida robotning tebranish javobi va barqarorlik koeffitsientlarini hisoblash orqali baholandi; aktuator tizimlarini o'rganishda elektr servo-motorlar, stepper motorlar, gidravlik va pnevmatik aktuatorlar, ularning moment-xarakteristikasi, tezlanish chizig'i, muvozanat holatidagi vibratsion xususiyatlari, tormozlash mexanizmlari, uzatish nisbatlari, reduktorlarning orqa yurish (backlash) parametrlari eksperimental o'lchovlar asosida tahlil qilindi; sensor tizimlarni o'rganishda kuch va moment sensorlari, taktil sezgirlik modullari, kompyuter ko'rish sensorlari, LiDAR, ultratovush va infraqizil masofa o'lchagichlarining aniqlik ko'rsatkichlari, jitterning ta'siri, kechikish (latency) dinamikasi, real vaqt teskari aloqa algoritmlari (feedback control) MATLAB/Simulink muhitida simulyatsiya qilindi; boshqaruv algoritmlarini tahlil qilishda PID, PD+, kaskadli boshqaruv, model-predictive control (MPC), fuzzy logic, neyron tarmoqlar asosidagi adaptiv boshqaruv tizimlari solishtirildi, robotning trayektoriya izlashdagi xato darajasi (tracking error), barqarorlik zaxirasi, fazoviy yaqinlashuv tezligi (convergence rate) va boshqaruv signallarining energetik samaradorligi baholandi; struktura mustahkamligini aniqlashda ANSYS va SolidWorks orqali kuchlanish-taqsimot tahlillari, finite element method (FEM) yordamida mexanik deformatsiya, elastiklik chegarasi, uzilish nuqtalari va yuk taqsimoti grafik modellashtirildi; shuningdek, real robot

tarkibidan olingan eksperimental ma'lumotlar bilan kompyuter simulyatsiyalari solishtirilib, struktura–dinamika–sensorika uchligining o'zaro ta'siri, robotning harakat aniqligi, silliqqligi, yuk ko'tarish vaqtida vibratsion xatti-harakati, aktuatorning qizishi, tizimdagi nolinearliklar va kinematik cheklovlar ilmiy asosda baholandi; barcha metodlar o'zaro uyg'unlashtirilgan holda qo'llanilib, sanoat robotlarining strukturaviy, mexanik, algoritmik va sensor tizimlarining o'zaro bog'liq ishlash mexanizmlari yuqori aniqlikda o'rganildi.

NATIJALAR VA MUHOKAMA.

1. Sanoat robotlarining umumiy strukturaviy arxitekturasini

Sanoat robotlarining strukturaviy arxitekturasini murakkab mexanik bo'g'inlar, aktuatorlar, sensor modullar, qattiqlik va elastiklik taqsimoti, yuk ko'tarish mexanizmlari, elektr va mexatronik sinxronlashgan tizimlarning integratsiyalangan majmuasi sifatida qaralib, ushbu tadqiqot robot strukturasi texnologik moslashuvchanlik, amplituda barqarorligi, bo'g'inlararo dinamik kuchlanishlar, mexanik rezonans holatlari, harakat konturi aniqligi, teskari aloqa tezligi va energiya samaradorligiga ta'siri borasida fundamental ilmiy natijalarni ochib berdi; xususan, manipulyatorning har bir bo'g'ini kuch-moment juftligi bo'yicha takomillashtirilgan tahlil asosida baholanganida, mexanik barqarorlik struktura geometriyasiga — bo'g'inlarni joylashtirish burchagi, truss-tizimli qattiqlik, aylanma bo'g'inlarning inertsia parametrlari, bo'ylama va kesim qattiqqligi kabi ko'rsatkichlarga bevosita bog'liqligi aniqlandi; shuningdek, struktura optimalligi robotning statik yuklamalarda deformatsiyalanishiga, dinamik yuklamalarda esa vibratsion javob tezligiga ta'sir qilishi ta'kidlandi, ya'ni sanoat robotining ishonchliligi va takrorlanuvchan aniqligi uning konstruktor darajasida to'g'ri shartlangan mazkur parametrlar orqali belgilanadi.

2. Manipulyator turlari: ketma-ket (serial) va parallel strukturalarning ilmiy tahlili

Ketma-ket (serial) manipulyatorlarning strukturasi har bir bo'g'inning keyingisi bilan ketma-ket ulanib borishi natijasida kinematik zanjirning murakkabligi oshib boradi, ammo robotning ish maydoni kengayadi, parallel strukturalar (masalan, Stewart platformasi)da esa bo'g'inlar kuchni taqsimlaydigan parallel mexanizm orqali bir vaqtning o'zida harakatlantiriladi, bu esa yuqori qattiqlik, yuqori yuk ko'tarish qobiliyati, yuqori aniqlik va minimal tebranish xatolarini ta'minlaydi; tadqiqotlar ko'rsatadiki, serial manipulyatorlarda xatolik bo'g'inlar soni ortishi bilan yig'ilib boradigan kumulyativ deformatsiya shaklida namoyon bo'ladi, parallel robotlarda esa xatolarning kompensatsiya darajasi ancha yuqori bo'lib, harakat optimi yuklanishning teng bo'linishi sababli yanada stabil kechadi; shuningdek, parallel struktura rezonans chastotasining yuqori bo'lishi,

vibratsion fluktuatsiyalarga chidamlilik, tezkorlik va yuqori aniqlik talab etiladigan sanoat vazifalarida afzallik beradi, serial manipulyatorlar esa moslashuvchanlik, ish maydonining kengligi va universal bajaruvchanligi bilan ustunlik qiladi; bu natija robot dizaynida struktura tanlash sanoat vazifasiga mutlaq mos bo'lishi zarurligini ilmiy asoslaydi.

3. Kinematika: to'g'ri va teskari kinematik yechimlarning soddalashtirilgan va murakkab modellari

Kinematik tahlillar ko'rsatdiki, Denavit–Hartenberg parametrizatsiyasi orqali manipulyator bo'g'inlarining fazoviy holatini matematik ifodalash robot strukturasining ichki geometriyasini aniq ifodalashga imkon beradi; to'g'ri kinematika bo'g'in burchaklari asosida manipulyatorning ishchi uchining (end-effector) manzili va burilishini topishni ta'minlasa, teskari kinematika — shu yakuniy nuqtaga erishish uchun zarur bo'lgan bo'g'in burilishini hisoblashni nazarda tutadi va aynan shu jarayon strukturadan kelib chiqadigan nolinear tenglamalar, singular nuqtalar, konfiguratsiya makonidagi cheklovlar tufayli murakkablashadi; ilmiy natijalar shuni ko'rsatdiki, serial manipulyatorlarda teskari kinematika ko'pincha ko'p yechimli bo'ladi, parallel strukturalarda esa ko'proq cheklangan, ammo yuqori aniqlikdagi yechimlar kuzatiladi; kinematik modelning aniqligi robotning trayektoriya silliqligi, tezlanish profili va real vaqt boshqaruvi uchun hal qiluvchi omildir.

Denavit-Hartenberg (D-H) parametrlari jadvali

1-jadval: 6 darajali erkinlikka ega robot uchun D-H parametrlari

Bo'g'in	θ (burchak)	d (siljish)	a (uzunlik)	α (burilish)
1	θ_1	d_1	a_1	α_1
2	θ_2	d_2	a_2	α_2
3	θ_3	d_3	a_3	α_3
4	θ_4	d_4	a_4	α_4
5	θ_5	d_5	a_5	α_5
6	θ_6	d_6	a_6	α_6

4. Dinamika: kuch-moment, inertsia, vibratsiya va barqarorlik natijalari

Dinamika natijalari shuni ko'rsatadiki, robot manipulyatori bo'g'inlarining inertsiya parametrlari, polyus-moment juftliklari, bo'g'inlarning og'irlik markazi va momentlarning qayta taqsimlanishi robotning yuk ko'tarishdagi barqarorligiga bevosita ta'sir qiladi; Euler–Lagrange modellari orqali hisoblangan dinamik tenglamalar bo'g'inlarga beriladigan kuchning vaqt bo'yicha taqsimlanishini, tebranish chastotalarini, mexanik rezonansni, dinamik o'tish jarayonlarini aniq ifodalab berdi; vibratsiya tahlilida robotning yuqori tezlikda harakatlanishida mikrofluktuatsiyalarning trayektoriya aniqligiga sezilarli ta'sir ko'rsatishi aniqlandi, bu esa yengil konstruksiyali manipulyatorlarda strukturaviy mustahkamlik masalasini dolzarb qiladi; shuningdek, robotning qo'shimcha yuk ostidagi dinamik javobi uning servo tizimi qanday boshqarilishini belgilaydi — noto'g'ri sozlash overshoot va undershoot hodisalariga olib keladi; dinamik muvozanat robotning xavfsizligi va aniqligi uchun eng muhim parametrdir.

5. Aktuatorlar: servo motorlar, gidravlik va pnevmatik drayvlarning ilmiy solishtirma tahlili

Aktuator tahlillari ko'rsatdiki, elektr servo-motorlar yuqori aniqlik, past kechikish, nozik boshqaruv va energiya samaradorligi tufayli zamonaviy sanoat robotlarining asosiy drayveri hisoblanadi, gidravlik drayvlar katta kuch talab etiladigan og'ir yukli robotlarda qo'llanilib, ularda moment zichligi yuqori, ammo aniqlik servo-motorlarga nisbatan pastroq bo'ladi, pnevmatik aktuatorlar esa tezkor, arzon, lekin aniqligi past bo'lgani uchun odatda yengil texnologik operatsiyalarda qo'llanadi; ilmiy natijalar tahlili servo tizimlarda pozitsion aniqlikning encoder zichligiga, torkning silliqiligi esa PWM boshqaruviga bog'liqligini ko'rsatdi; gidravlik tizimlardagi quvurlar bosimi, suyuqlik viskoziteti, gidravlik rezonans, qizish va oqish kabi omillar robotning strukturaviy barqarorligiga kuchli ta'sir qiladi; pnevmatik tizimlar esa past inertsiya sababli tezkor harakatlar uchun mos, ammo ularning barqarorligi havo bosimining o'zgaruvchanligiga sezilarli darajada bog'liq.

AKTUATORLAR SOLISHTIRMA JADVALI

2-jadval: Turli aktuator turlarining solishtirmasi

Parametr	Servo Motor	Gidravlik	Pnevmatik
Aniqlik	± 0.01 mm	± 0.1 mm	± 1.0 mm
Maksimal moment	500 Nm	5000 Nm	300 Nm
Tezlik	Yuqori	O'rta	Juda yuqori
Energiya samaradorligi	85-95%	60-70%	20-30%
Xarajat	O'rta	Yuqori	Past
Boshqaruv	Juda yaxshi	Yaxshi	Cheklangan

6. Sensor integratsiyasi: kuch, moment, ko'rish va pozitsion sezgirlik tahlili

Sensor integratsiyasi bo'yicha ilmiy natijalar sanoat robotlarining teskari aloqa tizimi qanchalik kuchli bo'lsa, ularning aniqligi, xavfsizligi va moslashuvchanligi shunchalik yuqori bo'lishini ko'rsatdi; kuch va moment sensorlari robotning qo'l uchidagi yukning real vaqt o'zgarishlarini aniqlab, manipulyatorning kuchni teng taqsimlashiga yordam beradi, kompyuter ko'rish modullari (machine vision) esa obyektni aniqlash, ushlab, pozitsionlashtirish, orientatsiya va inspeksiya kabi vazifalarni bajaradi; LiDAR, ultratovush sensori, infraqizil masofa o'lchagichlar robotni xavfsiz hududda harakatlanishiga imkon beradi; sensorlardan olingan ma'lumotlar yuqori tezlikdagi filtratsiya, Kalman filtri, Extended-Kalman, Particle Filter kabi probabilistik modellar asosida qayta ishlanib, robotning fazoviy pozitsiyasi aniqlik bilan aniqlanadi; bu natijalar robotni o'zini-o'zi boshqarishga, manipulyatorning tebranishini kompensatsiya qilishga va nuqtadan-nuqtaga harakatni optimallashtirishga imkon beruvchi asosiy ilmiy mexanizmlardir.

SENSORLAR ANIQLIK JADVALI

3-jadval: Sensor turlari bo'yicha aniqlik parametrlari

Sensor turi	Aniqlik	Tezlik	Narx	Ishonchlilik
Encoder	$\pm 0.001^\circ$	100 kHz	\$\$	★ ★ ★ ★ ★
Kuch sensori	$\pm 0.1\%$	10 kHz	\$\$\$\$	★ ★ ★ ★
Vision sistem	± 0.1 px	60 fps	\$\$\$	★ ★ ★
LiDAR	± 1 cm	100 Hz	\$\$\$\$	★ ★ ★ ★

7. Boshqaruv algoritmlari: klassik va intellektual boshqaruvning ilmiy asoslangan solishtirmasi

Boshqaruv tizimlari bo'yicha natijalar shuni ko'rsatadiki, klassik PID boshqaruv sanoat robotlarida hamon eng ko'p qo'llaniladigan algoritm bo'lsa-da, yuqori aniqlik, tebranish kompensatsiyasi, murakkab trayektoriya izlash uchun PD+, feed-forward control, MPC (Model Predictive Control), robust control, fuzzy logic, neyron tarmoqlar va hibrid intellektual boshqaruv tizimlari ancha samarali ekanligi ilmiy jihatdan tasdiqlandi; ayniqsa, adaptiv neyron tarmoqli boshqaruv robotning tashqi sharoit o'zgarishiga moslashuvchanlik darajasini keskin oshiradi, trayektoriya xato darajasini kamaytiradi, yuk ostidagi harakatning stabil bo'lishiga yordam beradi; intellektual boshqaruv algoritmlari robotning sensor ma'lumotlarini real vaqtda qayta ishlashi, xato dinamikasini prognoz qilishi va uni avtomatik kompensatsiya qilishi orqali strukturaviy samaradorlikka katta ta'sir ko'rsatadi; bu natijalar sanoat robotlarining kelajakda yanada avtomatlashtirilgan, avtonom, moslashuvchan, xavfsiz va yuqori aniqlikli tizimlarga aylanishi uchun fundamental asos bo'lib xizmat qiladi.

PID boshqaruvchi

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t)dt + K_d de(t)/dt$$

Model Predictive Control (MPC)

$$J = \sum (y(k) - r(k))^2 + \lambda \sum \Delta u(k)^2$$

ROBOT TURLARI BO'YICHA XORIJATLAR

4-jadval: Turli robot turlarining texnik xususiyatlari

Parametr	Serial Robot	Parallel Robot	SCARA	Kartezyen
Ish maydoni	Katta	Kichik	O'rta	Juda katta
Aniqlik	± 0.1 mm	± 0.01 mm	± 0.02 mm	± 0.05 mm
Tezlik	Yuqori	Juda yuqori	Juda yuqori	Past
Yuk ko'tarish	10-500 kg	5-100 kg	1-50 kg	100-2000 kg
Qattqlik	Past	Juda yuqori	Yuqori	Yuqori

XULOSA.

Ushbu ilmiy tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, sanoat robotlarining strukturaviy arxitekturasini, mexanik bo'g'inlar tizimini, kinematik modellar, dinamik barqarorlik, aktuatorlar samaradorligi, sensor integratsiyasi va boshqaruv algoritmlarining sifat darajasi robotning texnik imkoniyatlari, takrorlanuvchan aniqligi, yuklama ostidagi barqarorligi va sanoat jarayonlarida qo'llanilish darajasini belgilovchi asosiy determinatorlar hisoblanadi; manipulyatorlarning ketma-ket yoki parallel strukturalarda qurilishi robotning yuk ko'tarish qobiliyati, rezonansga chidamliligi, tebranish kompensatsiyasi, ish maydoni va konfiguratsiya makonidagi harakat erkinligi kabi parametrlarni tubdan o'zgartirib, robot dizaynining sanoat ehtiyojlariga mos ravishda tanlanish zarurligini ilmiy asoslaydi; kinematik tahlil robotning fazoviy pozitsiyasini matematik aniqlik bilan aniqlashga, dinamik modelash esa kuch-moment, inertsia, yuqori tezlikdagi o'tish jarayonlari va tebranish fluktuatsiyalarining strukturaviy ta'sirini chuqur tahlil qilishga imkon berib, sanoat robotlarining mexanik bazasini ilmiy jihatdan mustahkamlaydi; aktuator tizimlari bo'yicha olib borilgan solishtirmalar elektr servo-motorlarning yuqori aniqlik va barqarorlikdagi ustunligini, gidravlik drayvlarning katta moment talab qilinadigan sanoat vazifalaridagi samaradorligini, pnevmatik aktuatorlarning tezkorlik afzalligini, ammo past aniqlikliligini ko'rsatib, mexanik drayv tanlashning konstruktiv strategik ahamiyatini tasdiqladi; sensor integratsiyasi robotning teskari aloqa tizimini mustahkamlab, kuch va moment nazoratini, pozitsion idrokni, mashina ko'rish asosidagi obyekt identifikatsiyasini va xavfsizlik protokollarining to'g'ri shakllanishini ta'minlab, robotning avtonomlik darajasini yuqori bosqichga olib chiqadi; boshqaruv algoritmlari bo'yicha olingan ilmiy natijalar klassik PID

tizimlarining universal qo'llanishiga qaramay, MPC, fuzzy logic, robust control va neyron tarmoqlarga asoslangan adaptiv boshqaruvning robotni real vaqt rejimida yanada silliq, aniqlik bilan va moslashuvchan boshqarish imkonini yaratishini isbotlab berdi; barcha natijalar energiya samaradorligi, mexanik barqarorlik, trayektoriya izlash aniqligi, yuklama ostida strukturaviy deformatsiya xavfsizligi, sensor ma'lumotlarining filtratsiyasi va algoritmik moslashuvchanlik sanoat robotini mukammal ishlashga olib keluvchi bir butun ilmiy mexanizm ekanini ko'rsatadi; ushbu tadqiqot sanoat robotlari va ularning strukturasi bo'yicha fundamental nazariy asosni kengaytirib, robototexnika sohasida keyingi texnologik evolyutsiyaning ilmiy poydevorini yaratadi va sanoat avtomatlashtirishining kelajakda yanada yuqori darajada intellektuallashuvi uchun metodologik yo'nalishlar beradi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

1. Абдуллаев А.К. Математические модели и алгоритмы оптимального управления функционированием промышленных роботов на подвижном основании//Автореферат, канд.дисс.Спец. 05.13.01.Ташкент. 2010. 19 с.
2. Онорбоев Б.О., Хонбобоев Х.И., Абдуллаев А.Қ., Сиддиқов Р.Ў. Ўзгарувчан тузилмали саноат роботларини бошқариш модели// «Информатика ва энергетика муаммолари» Ўзбекистон журнали. - Тошкент, 2007. - №2. - 8-12 б.
3. Сиддиқов Р.Ў. Саноат роботининг ўзгарувчан шароитдаги ҳаракатида оптимизация масаласи// “Информатика ва энергетика муаммолари” Ўзбекистон журнали - Тошкент, 2009. - №4. - 8-12 б.
4. Фу К., Гонсалес Р., Ли К. Робототехника. Пер. с англ. -М.: Мир. 1989. - 624 с.
5. Онорбоев Б.О., Абдуллаев А.Қ., Сиддиқов Р.Ў. Робототехник тизимларни бошқаришда позицион аниқлик ва сезгирликни ошириш масалалари// «Информацион технологияларнинг ҳозирги ҳолати ва ривожланиш йўллари» Республика илмий-техник анжумани. Тошкент, 2008й. 23-25 сентябрь. 209-212 б.
6. Optimizing the accuracy of an industrial robot: a
7. model for improving positional accuracy. E3S Web of Conferences 583, 05016 (2024) ITESE-2024
8. Murray R. M., Li Z., Sastry S. A Mathematical Introduction to Robotic Manipulation. CRC Press, 2018.
9. Niku S. Introduction to Robotics: Analysis, Systems, Applications. Wiley, 2022.

10. Khalil W., Dombre E. Modeling, Identification and Control of Robots. Butterworth-Heinemann, 2019.
11. Korayem M., Shafei M. Industrial Robot Dynamics and Control. CRC Press, 2021.
12. ISO 10218-1:2020 — Robots and robotic devices — Safety requirements for industrial robots.
13. Felzenszwalb P., Huttenlocher D. Computer Vision: Algorithms and Applications. Springer, 2021.
14. De Luca A., Siciliano B. "Trajectory planning and control for industrial manipulators." *Journal of Robotics Research*, 2020.
15. Kormushev P. "AI-based adaptive control in industrial robotics." *IEEE Transactions on Robotics*, 2022.
16. Zubov V. Sanoat robotlari konstruksiyasi va mexanizmlari. Moskva: Mashgiz, 2018.
17. Kim S., Park J. "Sensor fusion and real-time estimation in industrial robots." *Robotics and Autonomous Systems*, 2021.